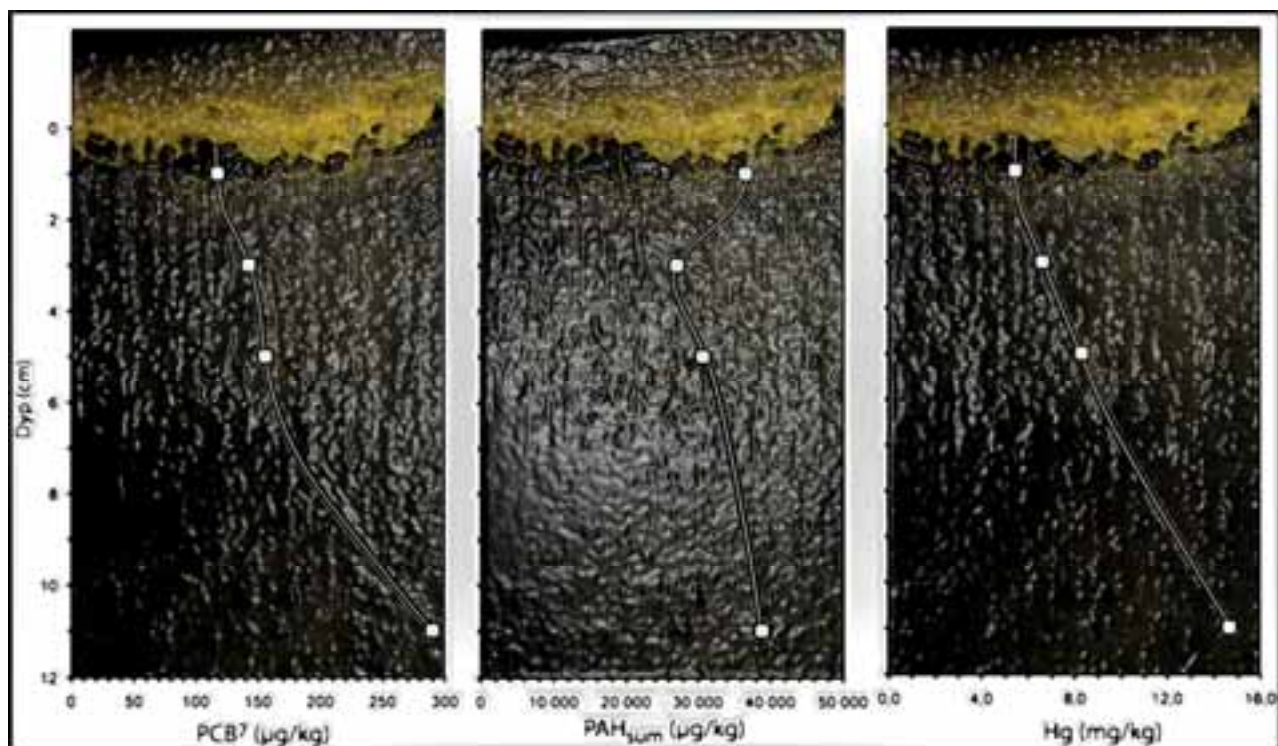


Sedimentunder-søkelse i forbindelse med tiltaksplan for forurensede sedimenter i Arendal: fase 2.



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5005 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Midt-Norge

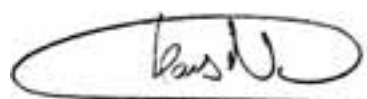
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 73 54 63 85 / 86
Telefax (47) 54 63 87

Tittel Sedimentundersøkelser i forbindelse med tiltaksplan for forurensede sedimenter i Arendal: fase 2.	Løpenr. (for bestilling) 5118-2005	Dato
	Prosjektnr. Undernr. O-25012	Sider Pris
Forfatter(e) Hans C. Nilsson Kristoffer Næs	Fagområde Miljøgifter i sjøvann	Distribusjon
	Geografisk område Aust-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Fylkesmannen i Aust-Agder, Miljøvernavdelingen	Oppdragsreferanse
--	-------------------

Sammendrag: I Norge utarbeides det nå tiltaksplaner mot forurensede sedimenter i havner og fjordområdet, deriblant Arendalsområdet. Det er begrunnet i at tidligere undersøkelser av sedimenter, fisk og skalldyr har vist høye konsentrasjoner av miljøgifter i området ved Arendal. Myndighetene har derfor utstedt kostholdsråd for området. I forbindelse med tiltaksplanene for Arendal er sedimentene prøvetatt på nytt og det er gjennomført en risikovurdering i hht SFTs veileder. Risikovurderingene er knyttet til fare for spredning, risiko for økosystemet og human risiko (i hovedsak ved inntak av fisk og skalldyr fra området). Generelt var det relativt lave konsentrasjoner av tungmetallene kadmium, krom, kobber og bly i hele tiltaksområdet. Det var høye verdier av kvikksølv i området rundt Pollen og Kittelsbukt. Det var generelt høye verdier av TBT og PAH på alle stasjonene i hele tiltaksområdet, mens det var høye verdier av PCB i området rundt Pollen og Kittelsbukt. På alle stasjoner var det en overskridelse i varierende grad av akseptabel risiko. Det eksisterer imidlertid ikke grenseverdier som kan bedømme overskridelsene nærmere. Risikoen som de forurensede sedimentene representerer, er i hovedsak knyttet til innholdet av PCB, til dels også PAH-forbindelsen benzo(a)pyren. Særlig gjelder det området rundt Pollen og Kittelsbukt hvor resultatene kan tyde på mulige aktive kilder. På grunnlag av risikovurderingene er tiltaksområdet delt inn i delområder. Ut fra risikovurderingene og miljømål er det foreslått at eventuelle tiltak konsentreres til et bynært område på ca. 2 km². Det bør utvikles et program som overvåker forurensningsutviklingen i området. Det bør dekke både områder hvor fysiske tiltak gjennomføres og områder hvor endringen drives av naturlig forbedring.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Arendal 2. Sedimenter 3. Miljøgifter 4. Risiko 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Arendal 2. Sediments 3. Micopulation 4. Risk assesment
---	---



Hans C Nilsson
Prosjektleder



Kristoffer Næs
Forskningsleder



Øyvind Sørensen
Ansvarlig

O-25012

**Sedimentundersøkelser i forbindelse med tiltaksplan
for forurensede sedimenter i Arendal: fase 2.**

Forord

Denne undersøkelsen er gjennomført etter oppdrag fra Fylkesmannen i Aust-Agder v/Miljøvernavdelingen i henhold til vårt tilbud av 5. november 2004. Kontaktperson hos oppdragsgiver har vært Eva Boman.

Det har vært en referansegruppe for prosjektet som har omfattet Eva Boman og Marit Bjærke (Miljøvernavdelingen), Anne Rostad (representant for SV), Jan Erland Olsen (representant for FrP) og Terje Jørgensen (Arendal kommune).

Alle analysene er gjennomført ved NIVAs laboratorium.

Hans Nilsson gjennomførte feltarbeidet og har vært ansvarlig for rapporten og prosjektet i sin helhet. Jarle Håvardstun har stått for innsamling av supplerende prøver. Kristoffer Næs har vært ansvarlig for utarbeidelsen av tiltaksplanen.

Alle takkes for innsats.

Oslo, 14. november 2005

Hans C Nilsson

Innhold

Sammendrag	6
1. Innledning	8
1.1 Bakgrunn	8
1.2 Området	8
1.3 Kostholdsråd	9
1.4 Risikoveilederen	10
1.4.1 Trinn 1	10
1.4.2 Trinn 2	10
1.4.3 Trinn 3	11
2. Materiale og metoder	12
2.1 Prøvetaking	12
2.2 Kjemiprøver	12
2.2.1 Sedimentprøver (overflate)	12
2.2.2 Sedimentprøver (kjerner)	12
2.2.3 Analyser (kjemiprøver)	13
2.3 Sedimentprofilfotografering (SPI)	13
2.4 Risikoanalyse – Gjennomføring og begrensninger	15
2.4.1 Trinn 1	15
2.4.2 Trinn 2	15
3. Resultater og diskusjon	16
3.1 Sedimentkjemi	16
3.2 SPI	17
3.3 Tilstandsklasser - miljøgifter	18
3.4 Kjerner	19
4. Risikoanalyse	21
4.1 Trinn 1	21
4.2 Trinn 2	22
4.2.1 Spredning	22
4.2.2 Human helse	24
4.2.3 Økologisk risiko	26
5. Miljømål	28
5.1 Langsiktige forvaltningsmål	28
5.2 Lokale tiltaksmål	28
6. Tiltaksplan	30
I tillegg vil kostnader til planlegging og prosjektering påløpe.Referanser	32
Referanser	33

7. Vedlegg **34**

Vedlegg A. Sediment rådata **35**

Sammendrag

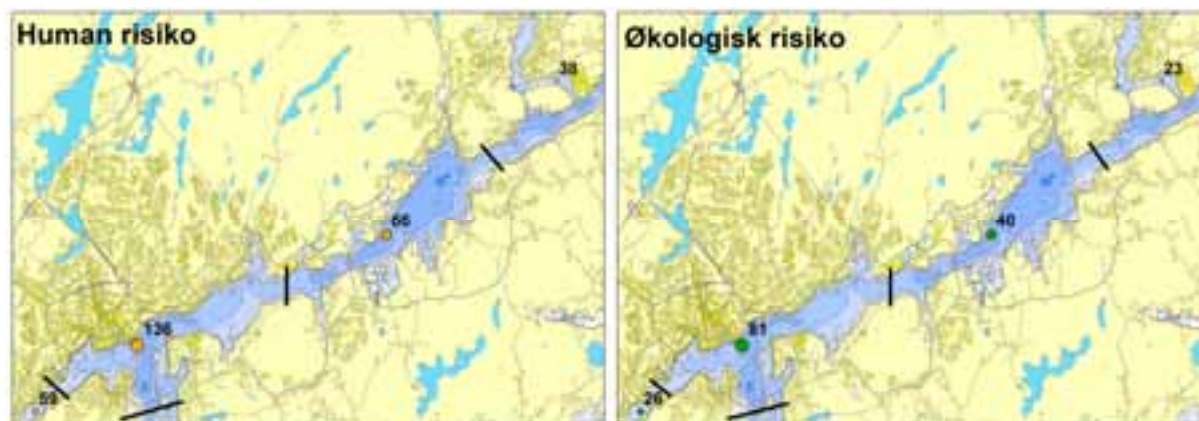
I Stortingsmelding 'Rent og rikt hav' fra 2002 ble det fokusert på en helhetlig forvaltning av kyst- og havområdene. Miljøgifter er her vurdert som en trussel for de marine næringene og forurensede sedimenter er en del av dette trusselbildet. I den sammenheng utarbeides det nå tiltaksplaner i 16 prioriterte områder, deriblant Arendalsområdet. Det er begrunnet i at tidligere undersøkelser av sedimenter og fisk/skalldyr viste høye konsentrasjoner av miljøgifter i området ved Arendal. På grunnlag av disse resultatene, har myndighetene utstedt kostholdsråd for fjordområdet fra Stømbua via Galten i Galtesund til Hastensund nord i Tromøysund. Det bør legges til at datagrunnlaget for miljøgifter i fisk som inngår i grunnlaget for kostholdsrådet, er sparsomt. Tiltaksområdet som er vurdert i denne rapporten omfatter det samme området som kostholdsrådet.

SFT har nylig fått utarbeidet en veileder for risikovurdering av forurensede sedimenter til bruk i prioritering av fjordområder for eventuelle tiltak. Her deles arbeidet inn i tre trinn hvor de to første bygger på bruk av grenseverdier og allmengyldige konstanter for fordeling av miljøgifter mellom vann og sedimenter og for opptak i organismer. Trinn tre åpner for risikovurderinger basert på stedsspesifikke målinger. Det er ikke gjort i denne risikovurderingen.

Risikovurderingene er knyttet til fare for spredning, risiko for økosystemet og human risiko (i hovedsak ved inntak av fisk og skalldyr fra området). Vurderingene er basert på et 100-talls nye og eksisterende prøver av sedimenter i hele tiltaksområdet hvor innholdet av tungmetaller, TBT (tributyltinn), PAH, PCB og olje er målt.

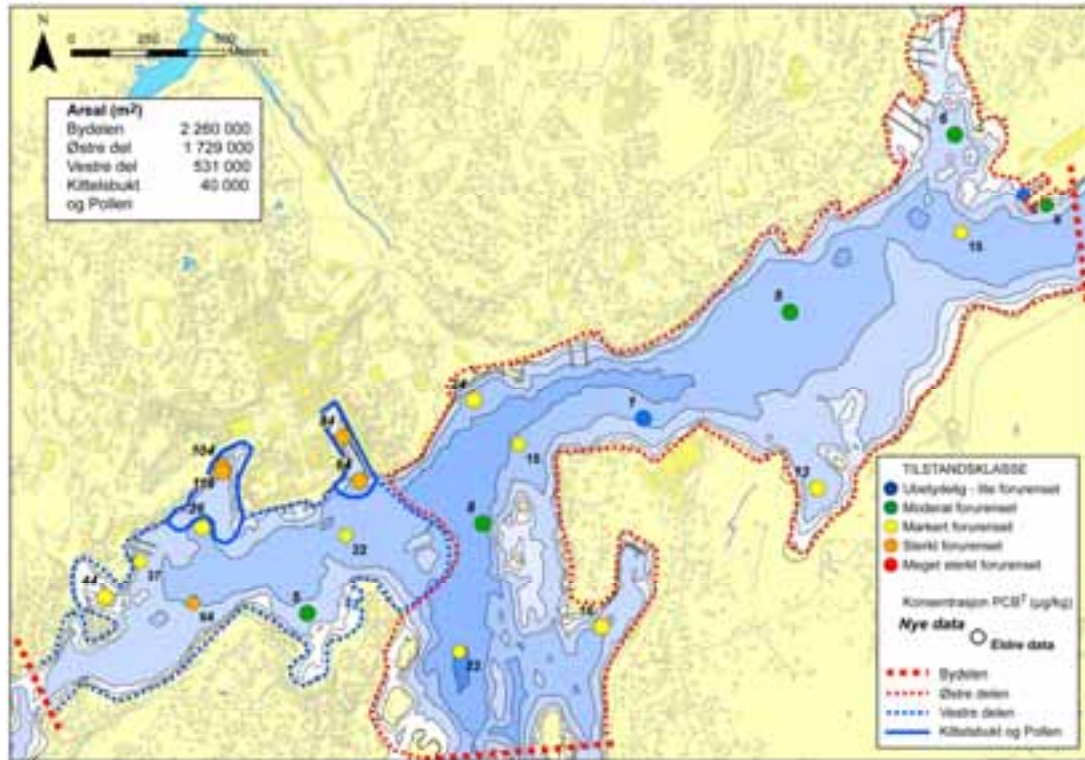
Generelt var det relativt lave konsentrasjoner av tungmetallene kadmium, krom, kobber og bly i hele tiltaksområdet. Det var høye verdier av kvikksølv i området rundt Pollen og Kittelsbukta. Det var generelt høye verdier av TBT og PAH på alle stasjonene i hele tiltaksområdet, mens det var høye verdier av PCB i området rundt Pollen og Kittelsbukta.

På alle stasjoner var det en overskridelse i varierende grad av akseptabel risiko. Det eksisterer imidlertid ikke grenseverdier som kan bedømme overskridelsene nærmere. Risikoen som de forurensede sedimentene representerer, er i hovedsak knyttet til innholdet av PCB, til dels også PAH-forbindelsen benzo(a)pyren. Særlig gjelder det området rundt Pollen og Kittelsbukta hvor resultatene kan tyde på mulige aktive kilder. Det har imidlertid ikke vært mulig å knytte konkrete kilder til PCB-forurensingen og nærmere kildeopsporing må gjennomføres. På grunnlag av risikovurderingene er tiltaksområdet delt inn i delområder. Gjennomsnittlig økologisk og human risiko for disse delområder er vist i figurene nedenfor.



Figuren viser gjennomsnittlig human og økologisk risiko for forskjellige delområder beregnet etter SFTs risikoveileder. Tallene angir antall ganger risikoen overskrider grenseverdiene.

Eventuelle tiltak må ta utgangspunkt i lokale tiltaksmål. Slike mål er til en viss grad diskutert i prosjektgruppen (representanter for Fylkesmannens miljøvernavdeling, Arendal kommune og representant for SV og FrP) for prosjektet, men denne diskusjonen trenger å føres i større detalj og omfang med problemeiere og interessenter. Ut fra risikovurderingene og miljømål er det foreslått at eventuelle tiltak konsentreres til det bynære området som vist i figuren under.



Figuren viser aktuelle områder for tiltak. Punktene representerer lokaliteter hvor sedimentet er prøvetatt. Fargene på punktene angir sedimentets miljøtilstand (tilstandsklasse) med hensyn på PCB₇ i hht. SFTs kriterier.

En nærmere detaljering av områder foreslått for fysiske tiltak er vist i tabellen under

Område	Delområde	Tiltak
Bynært område	Hele	Verifisering av kildekontroll
Bynært område	Østre del	Tildekking
	Vestre del	Tildekking
	Pollen og Kittelsbukta	Fjerning av masser i sjø Tildekking
Tromøysund	Krøgenes	Tildekking*
	Øvrige	Naturlig forbedring**

* Allerede gjennomført

** Eventuelle utbyggingsaktiviteter bør ha som mål å forbedre lokale forhold

Det bør utvikles et program som overvåker forurensningsutviklingen i området. Det bør dekke både områder hvor fysiske tiltak gjennomføres og områder hvor endringen drives av naturlig forbedring.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

I Stortingsmelding nr. 12 'Rent og rikt hav' fra 2002 ble det fokusert på en helhetlig forvaltning av kyst- og havområdene. Miljøgifter er der vurdert som en trussel for de marine næringene og forurensede sedimenter er en del av dette trusselbildet. Med SFTs rapport om miljøgifter i norske fjorder som utgangspunkt, tar Stortingsmeldingen for seg forurensede sedimenter og behov for en nasjonal plan for tiltak basert på fylkesvise tiltaksplaner. Dette var starten på en stor satsing for å tilrettelegge for lokalt tilpassede tiltak som skal redusere trusselen mot bruk og utvikling av fjord- og kystområder fra til forurensede sedimenter. En klar forutsetning for dette er at det sørges for kildekontroll når det gjelder landbaserte tilførsler slik at en opprydding i sedimentene får en langsiktig effekt. Det ble likeledes forutsatt at tiltak skal være samfunnsøkonomisk lønnsomme.

'Rent og rikt hav' legger rammene for arbeidet med opprydding i forurensede sedimenter i norske fjorder. I meldingen er de fylkesvise tiltaksplanene presentert som det helhetlige grepet som skal sikre lokal forankring. SFT har i samråd med fylkesmennene valgt ut 16 fjordområder som det skal lages tiltaksplaner for innen 2005. Blant disse er Arendal havneområde med Tromøysund.

Arbeidet med tiltaksplanene er delt i to faser, jf. SFTs brev til fylkesmennene datert 3. februar 2003. Rapport fra fase 1 i det aktuelle området ble utarbeidet av NIVA 28. oktober 2003 (Kroglund m.fl. 2003). Denne omfatter inndeling og beskrivelse av områdene, og sammenstilling av eksisterende kunnskap om problemomfang, forurensningskilder og interessekonflikter.

1.2 Området

Tiltaksområdet omfatter Arendal havneområde avgrenset av Strømsbrua, Galten i Galtesund og Tromøysund til Hastensund. Tiltaksområdets areal er ca. 10 km² i henhold til DN's Fjordkatalog og tilhørende nedbørfelt er ca. 120 km².

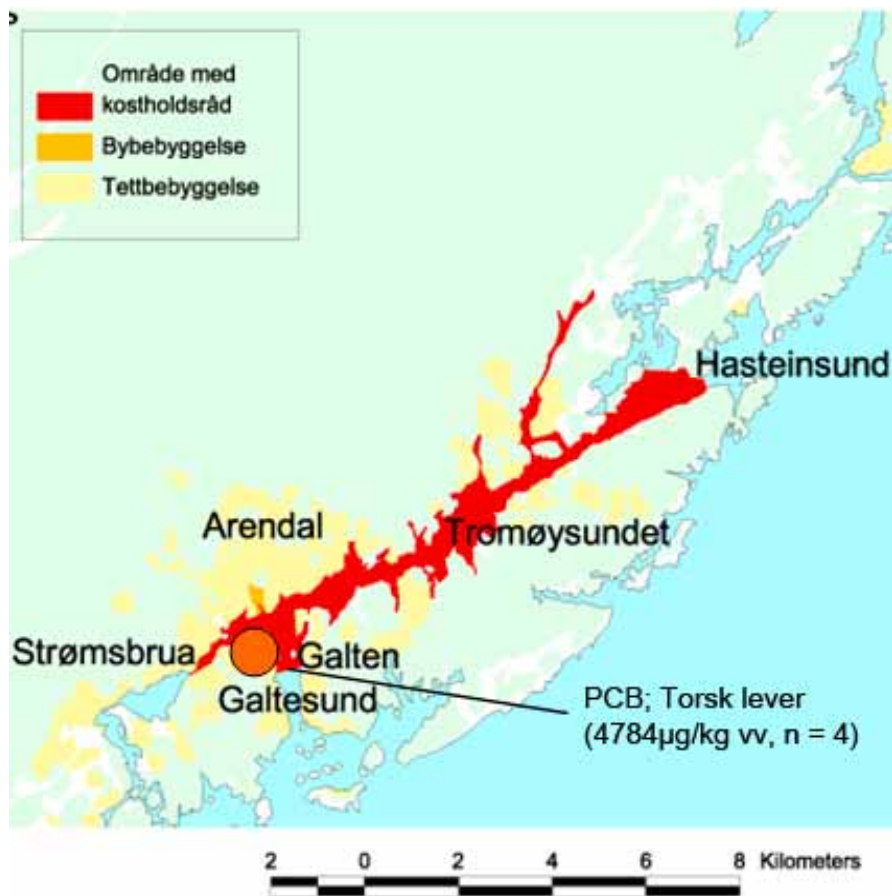
Tromøysund og Galtesund utgjør innseilingsleder til Arendal by fra henholdsvis nordøst og sørsørøst. Tromøysund er ca. 17 km lang og strekker seg fra Arendal by til nordøstpynten av Tromøy. Langs sundet er det flere bassenger med dyp på 30-50 m og mellomliggende terskler på omkring 20 m. Galtesund ligger mellom Tromøy og Hisøy. Galtesund har en terskel på ca. 25 m omtrent midtveis i sundet. Innenfor terskelen er det et dypbasseng på 57 meter ved Jomfruholmen og utenfor terskelen er det en dyprene på 50-60 m. I vest har sjøområdet ved Arendal by forbindelse på innsiden av Hisøy over Hølen til utløpet av Nidelva.

Generelt er det god utskiftning av vannmassene i Tromøysund og Galtesund, men i dypbassengene er det stagnerende forhold og periodevis nedsatte oksygenkonsentrasjoner (Dahl og Danielssen 1986). Overflatestrømmen går i hovedsak fra øst mot vest i Tromøysund og mot sør utover Galtesund. Det er funnet svært høye miljøgiftverdier i sedimentene, spesielt i områdene rundt Arendal by og i deler av Tromøysund. Hele tiltaksområdet omfattes av kostholdsråd.

1.3 Kostholdsråd

Tidligere undersøkelser av sedimenter og fisk/skalldyr har vist høye konsentrasjoner av miljøgifter ved Arendal havneområde. På grunnlag av resultater fra undersøkelser av fisk og skalldyr, har Mattilsynet fastsatt kostholdsråd for sjøområdet begrenset av Stømsbrua, Galtesund og Hastensund. I dette området er kostholdsrådet knyttet til nivået av PCB i fisk fanget og samlet inn i Kolbjørnsvik (Næs m. fl. 2000).

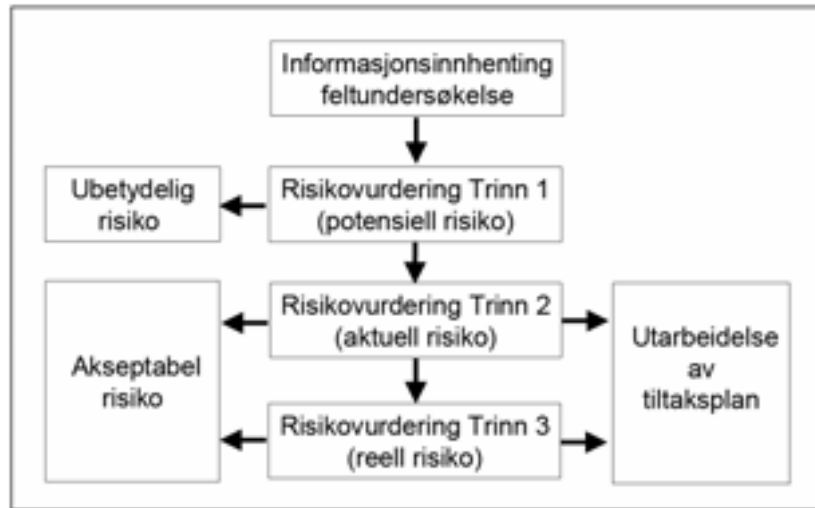
Området med kostholdsråd er vist med rødt på kartet i **Figur 1** og lyder: ”Konsum av lever fra fisk fanget i Arendal havneområde avgrenset av Stømsbrua, Galten i Galtesund og Tromøysund til Hastensund frarådes”.



Figur 1. Området med kostholdsråd. Kilde: Mattilsynet. Prøvetakingsstedet som ligger til grunn for kostholdsrådet er markert i figuren.

1.4 Risikoveilederen

Veilederen for risikovurdering av forurensede sedimenter er utarbeidet til bruk ved prioritering av fjordområder for eventuelle tiltak (Breedveld m. fl. 2005). Risikovurderingen gjøres trinnvis der hvert trinn er mindre konservativt enn det foregående, hvilket hindrer at unødig innsats brukes på områder som utgjør en ubetydelig risiko for miljøet, og at områder som utgjør en betydelig risiko innledningsvis blir friskmeldt. Hovedstrukturen for risikovurderingssystemet er angitt i **Figur 2**.



Figur 2. Hovedstrukturen for risikovurderingssystemet (Breedveld m. fl. 2005).

1.4.1 Trinn 1

Trinn 1 har som siktemål å skille områder med ubetydelig risiko fra de som bør vurderes videre. Ved å sammenligne måledata fra sedimentet med allmenngyldige grenseverdier for akseptable konsentrasjoner og giftighet, vurderes det om sedimentene utgjør en **potensiell risiko**. Grenseverdiene omfatter både sedimentets innhold av miljøgifter og giftighet gjennom et utvalg generelle toksisitetstester. Toksisitetstester er inkludert i trinn 1 for å dekke risikobidraget fra toksiske stoffer som ikke er kjemisk identifisert. Som grunnlag for trinn 1 er det behov for minimum 5 overflateprøver i hvert område. Dersom en eller flere av grenseverdiene overskrides i en eller flere av prøvene, er den potensielle risiko fra sedimentene ikke ubetydelig, og trinn 2 i risikovurderingen bør gjennomføres.

1.4.2 Trinn 2

Trinn 2 er en mer omfattende prosess og har som mål å vurdere om sedimentet utgjør en **aktuell risiko** ut fra stedlige forhold. Trinn 2 omfatter tre uavhengige vurderinger:

- A. Risiko for spredning
- B. Risiko for human helse
- C. Risiko for økosystemet

Risiko for spredning vurderes ut fra beregnet miljøgifttransport fra sediment til vannmassene via diffusjon og bioturbasjon, oppvirling som følge av vannstrømmer, bølger og skipstrafikk og spredning gjennom optak i organismer.

Risiko for human helse vurderes ut fra hvordan et risikoområde brukes: rekreasjon, fangst av fisk og skalldyr osv. Eksponeringsveier er via konsum av fisk og skalldyr, samt inntak av og kontakt med

sediment og vann. Dette benyttes for å beregne en livstidsbelastning som sammenlignes med maksimal akseptabel risiko for human helse.

Risiko for økosystemet vurderes ut fra estimert eksponering i forhold til grenseverdier for effekter i vann og sediment. I tillegg anbefales det at vurderingsgrunnlaget styrkes ved gjennomføring av 2 helsedimenttester, test på effekter på atferd og overlevelse, og test på bioakkumulering ved eksponering direkte for sedimentet.

Tolkning og vektlegging av delresultatene fra trinn 2 (spredning, human risiko og økologisk risiko) vil være avhengig av miljømålet for området samt nåværende og planlagt bruk. Tolkningen skiller sedimentområder med akseptabel risiko fra de som det må utarbeides tiltaksplan for. Dersom man ikke allerede velger å gå til utarbeidelse av tiltaksplan etter trinn 2, vil trinn 3 gjennomføres.

1.4.3 Trinn 3

Trinn 3 omfatter utvidede målinger lokalt for å verifisere og presisere de beregningene som er gjort i trinn 2. Dette brukes for å klargjøre om den **reelle risiko** er lik eller lavere enn den som er estimert i trinn 2. Innholdet i trinn 3 vil måtte skreddersys til den enkelte situasjon. Følgende elementer kan for eksempel inngå i en trinn 3-vurdering:

- Måling av spredning og transport, f.eks. sedimentfeller, diffusjonskammer.
- Bestemmelse av fordelingskoeffisienter i de aktuelle sedimenter.
- Bestemmelse av miljøgiftinnhold i organismer fra området.
- Numerisk modellering av transport og opptak i næringskjeden.
- Bunnfaunastruktur, sårbarhet og biodiversitet.

2. Materiale og metoder

2.1 Prøvetaking

Feltarbeidet ble gjennomført 2. - 3. mars 2005 fra F/F 'Trygve Braarud' og 11. - 12. april 2005 fra F/F 'Bjørn Føyn' tilhørende Universitet i Oslo. Stasjonsplasseringen er vist i **Figur 3** mens posisjoner, vanddyp og sedimentforhold for alle stasjoner i denne undersøkelsen er gitt i **Tabell 2**.



Figur 3. Stasjonsplassering. Stasjoner merket med rødt ble prøvetatt og analysert i denne undersøkelsen. Stasjoner merket med grønt ble prøvetatt, men sedimentene er ikke blitt analysert i henholdsvis til kjemi. Sediment profile bilde (SPI) ble analysert ved alle stasjoner. Navn på områder definert i rapporten er gitt.

2.2 Kjemi prøver

2.2.1 Sedimentprøver (overflate)

Sedimentprøvene ble tatt med en Van Veen grabb (0,026 m²). De øverste 2 cm av sedimentlaget ble skrapet av med en skje. Aksepterte prøver fra grabber hadde vann over sedimentoverflaten slik at man kunne fastslå at overflaten var intakt.

2.2.2 Sedimentprøver (kjerner)

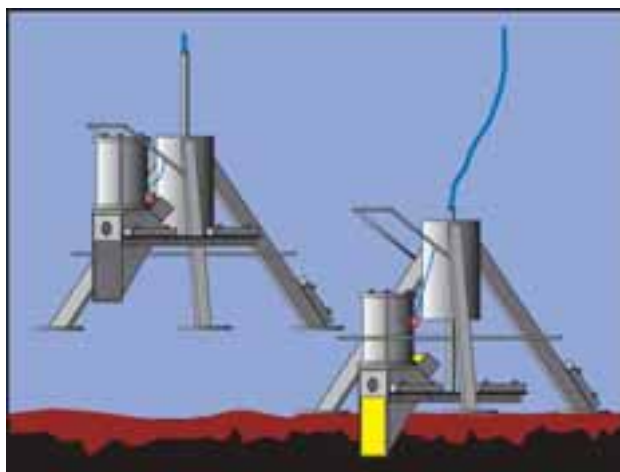
Kjerner ble tatt med en kjerneprøvetaker (0,01 m², Gemini). Kjerner ble snittet i 2 cm tykke sjikt. Dypeste snitt som ble analysert var 10 til 12 cm ved stasjon A11bc, A15c, A31c og A35c.

2.2.3 Analyser (kjemiprøver)

Analysevariablene omfatter kornfordeling (vektprosent partikler finere enn 63 µm), totalt organisk karbon (TOC), kadmium (Cd), kopper (Cu), krom (Cr), kvikksølv (Hg), bly (Pb), tribetyltinn (TBT), polyklorerte bifenyler (PCB₇, syv enkeltforbindelser med nr. 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180) og polisykliske aromatiske hydrokarboner (PAH, enkeltforbindelsene naftalen, acenaftylen, acenaften, fluoren, fenantren, antracen, fluoranten, pyren, benzo(a)antracen, krysen/trifenylen, benzo(b+j+k)fluoranten, benzo(a)pyren, indeno(1,2,3-cd)pyren, dibenz(ac/ah)antracen, benzo(ghi)perylene). I resultatpresentasjonen for tilstandsklasser vil PCB₇ betegne summen av de syv enkelte PCBene ganget med to i henhold til praksis fra SFT (Molvær m. fl. 1997), mens PAH representerer summen av PAH-forbindelsene gitt i rådata minus naftalen (disyklisk forbindelse). Benzo(j)fluoranten inkluderer verdien for benzo(k)fluoranten. Andel finstoff ble bestemt ved våtsikting og TOC ved hjelp av en CHN-elementanalysator etter at karbonater var fjernet i syredamp. Metallene (bortsett fra kvikksølv) ble bestemt på ICP etter opplutning i salpetersyre. Kvikksølv ble bestemt med kalddampeteknikk. Ekstraksjon av PCB₇ og PAH i sedimentene ble gjort ved en teknikk kalt "Accelerated Solvent Extraction". Metoden baserer seg på ekstraksjon av vått sediment med en blanding av organiske løsningsmidler (diklormetan:cyklohexan i forhold 1:1) under høyt trykk og temperatur. Prøveekstraktene ble rensert med bl.a. gel permeasjonskromatografi for analyse. De klororganiske komponentene bestemmes med GC/ECD mens PAHene ble analysert ved hjelp av GC/MSD. TBT bestemmes ved at prøvene tilsettes en indre standard og oppsluttes med alkoholisk lut. Etter pH-justering og direkte derivatisering ekstraheres de tinnorganiske forbindelsene med organiske løsningsmidler og prøvene renses ved hjelp av gel-permeasjonskromatografi og oppkonsentreres. Prøvene analyseres ved bruk av gasskromatografi og atomemisjons-deteksjon GC-AED. De ulike forbindelsene identifiseres ved hjelp av retensjonstidene som oppnås og selve kvantifiseringen utføres med den indre standarden. Oljekomponenter (THC) bestemmes ved at prøvene tilsettes indre standard og ekstraheres med en blanding av n-pentan og metanol. Ekstraktene gjennomgår ulike rensetrinn for fjerning av svovel og polare forbindelser. Ekstraktet analyseres på en kapillærkolonne i gasskromatograf med flammeionisasjonsdetektor (GC/FID). Oljeinnholdet bestemmes ut fra alkanområdet C10-C40 ved sammenlikning med indre standard.

2.3 Sedimentprofilfotografering (SPI)

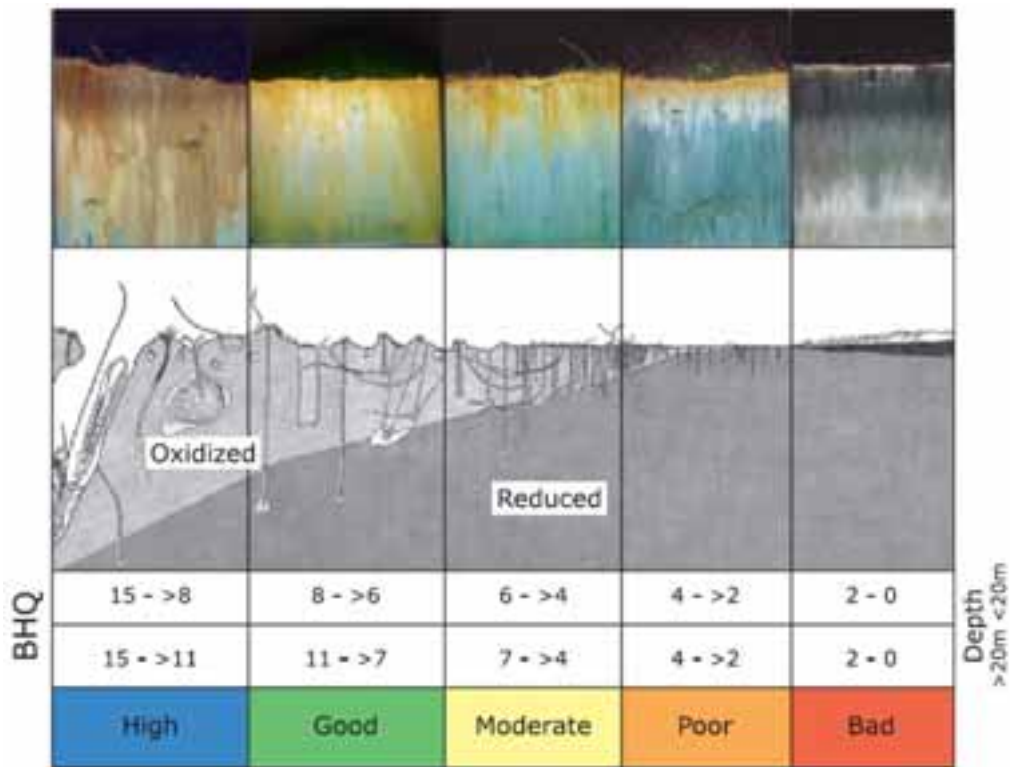
NIVA har tatt i bruk en ny metode for kartlegging og klassifisering av marin bløtbunn ved hjelp av sedimentprofilkamera (Sediment Profile Imaging; SPI).



Figur 4. Prinsippskisse for SPI-kamera. (Venstre: Kamera og rigg over bunnen. Høyre: Kamera med prismet som har trengt ned i sedimentet og bildet eksponeres).

Teknikken kan sammenlignes med et omvendt periskop som ser horisontalt inn i de 20 øverste cm av sedimentet. Bildet, som blir 18 cm bredt og 25 cm høyt, tas nede i sedimentet uten å forstyrre strukturer i sedimentet. Et digitalt kamera med blits er montert i et vanntett hus på en rigg med tre ben (**Figur 4**). Denne senkes ned til sedimentoverflaten slik at en vertikal glassplate presses 20 cm ned i sedimentet. Bildet tas gjennom glassplaten via et skråstilt speil som til sammen utgjør prismet. Resultatet er digitale fotografier med detaljer både av strukturer og farger av overflatesedimentet.

Fra bildene kan en beregne en miljøindeks ut fra strukturer i sedimentoverflaten (rør av børstemark, fødegrop og ekskrementhaug) og strukturer under sedimentoverflaten (bløtbunnsfauna, faunagang og oksiderte tomrom i sedimentet) samt redox-forhold (RPD) i sedimentet. Indeksen (Benthic Habitat Quality index; BHQ-indeks) varierer på en skala mellom 0 og 15. Denne indeksen kan siden sammenlignes med Pearson & Rosenbergs klassiske modell for faunaens suksesjonsstadium. Fra denne modellen kan bunnmiljøet klassifiseres i henhold til retningslinjer i EUs vannrammedirektiv (**Figur 5**).



Figur 5. Miljøstressgradient, inndelt i miljøkvalitetsindeksen (BHQ-indeks) for marine sedimenter med en klassifisering tilpasset EUs vannrammedirektiv (Nilsson og Rosenberg 1997, Rosenberg m. fl. 2004).

2.4 Risikoanalyse – Gjennomføring og begrensninger

Risikoanalyse av sedimenter har blitt utført trinnvis etter risikoveilederen. Beregningene er utført med begrensninger i forhold til risikoveilederen som vist i kap. 2.4.1 og 2.4.2. For beregninger av risiko har kun data innsamlet i denne undersøkelsen blitt benyttet. Analyser av risiko er utført for hver enkelt stasjon i alle trinn og for de forskjellige områdene i trinn 2. Inngangsdata er vist i **Tabell 1**.

2.4.1 Trinn 1

- Toksitetester er ikke utført.

2.4.2 Trinn 2

- Normalisering av øvrige data og/eller grenseverdien er utført gjennom å multiplisere K_d-verdien i veilederen med % TOC i prøven i henhold til bakgrunnsdokumentet til risikoveilederen.
- 63µm-fraksjonen er benyttet i stedet for 2µm-fraksjonen*.
- Hersediment-toksitetester og bioakkumuleringsforsøk er ikke utført.
- Oppholdstid for sjøvann i de forskjellige stasjonene er bestemt etter analyse av SPI-bilder etter følgende tankerekke: Områder med dårlige bunnforhold: oppholdstid i måneder, gode bunnforhold: oppholdstid i dager til uker.

Tabell 1. Inngangsdata for risikoanalyse. Se Risikoveilederen (Bredveld m.fl. 2005).

Stasjon	TOC%	fsusp (<63µm)*	dyp sjø (m)	Nskip (antal skip)	Ased (m ²)	Oppholdstid vann tr. (år)	Oralt intak sed.	Oralt intak vann	Oralt intak part.mtrl.	Hudkont sed.	Hudkont vann	Inntak av fisk
A3	8	0,60	14,3	1	115 000	0,5	1	1	1	1	1	1
A11	9	0,77	15,4	1	2 260 000	0,5	1	1	1	1	1	1
A11bc	10	0,71	16,3	1	2 260 000	0,5	1	1	1	1	1	1
A13	13	0,59	21,2	1	2 260 000	0,02	1	1	1	1	1	1
A14	8	0,43	12,0	1	2 260 000	0,25	1	1	1	1	1	1
A15c	6	0,92	35,4	0	2 260 000	0,01	1	1	1	1	1	1
A17	9	0,68	22,8	1	2 260 000	0,02	1	1	1	1	1	1
A20	5	0,64	29,8	1	2 260 000	0,01	1	1	1	1	1	1
A22b	2	0,30	22,0	1	2 260 000	0,02	1	1	1	1	1	1
A23	9	0,68	16,2	1	2 260 000	0,02	1	1	1	1	1	1
A25	5	0,88	27,5	0	2 260 000	0,01	1	1	1	1	1	1
A4	10	0,74	11,6	1	2 260 000	0,25	1	1	1	1	1	1
A7	9	0,76	20,7	1	2 260 000	0,02	1	1	1	1	1	1
A9	3	0,21	15,6	1	2 260 000	0,02	1	1	1	1	1	1
A28	5	0,45	13,1	2	2 370 000	0,02	1	1	1	1	1	1
A31c	7	0,89	34,5	0	2 370 000	0,02	1	1	1	1	1	1
A36	13	0,77	9,2	1	2 370 000	0,01	1	1	1	1	1	1
A38	2	0,39	24,3	0	2 370 000	0,02	1	1	1	1	1	1
A39c	7	0,53	56,8	0	2 370 000	0,02	1	1	1	1	1	1
A40	6	0,75	16,0	1	2 370 000	0,01	1	1	1	1	1	1
AKS1	1	0,08	9,0	1	2 370 000	0,02	1	1	1	1	1	1
AKS2	10	0,17	5,0	1	2 370 000	0,02	1	1	1	1	1	1
AKS3	2	0,10	15,0	1	2 370 000	0,02	1	1	1	1	1	1
AKS5	1	0,11	24,0	1	2 370 000	0,02	1	1	1	1	1	1
A44	18	0,93	15,0	1	1 310 000	0,25	1	1	1	1	1	1
A46	13	0,91	13,5	1	1 310 000	0,5	1	1	1	1	1	1

3. Resultater og diskusjon

3.1 Sedimentkjemi

Posisjoner, vanddyb, sedimentforhold og analyse av SPI-bilder er gitt i **Tabell 2**.

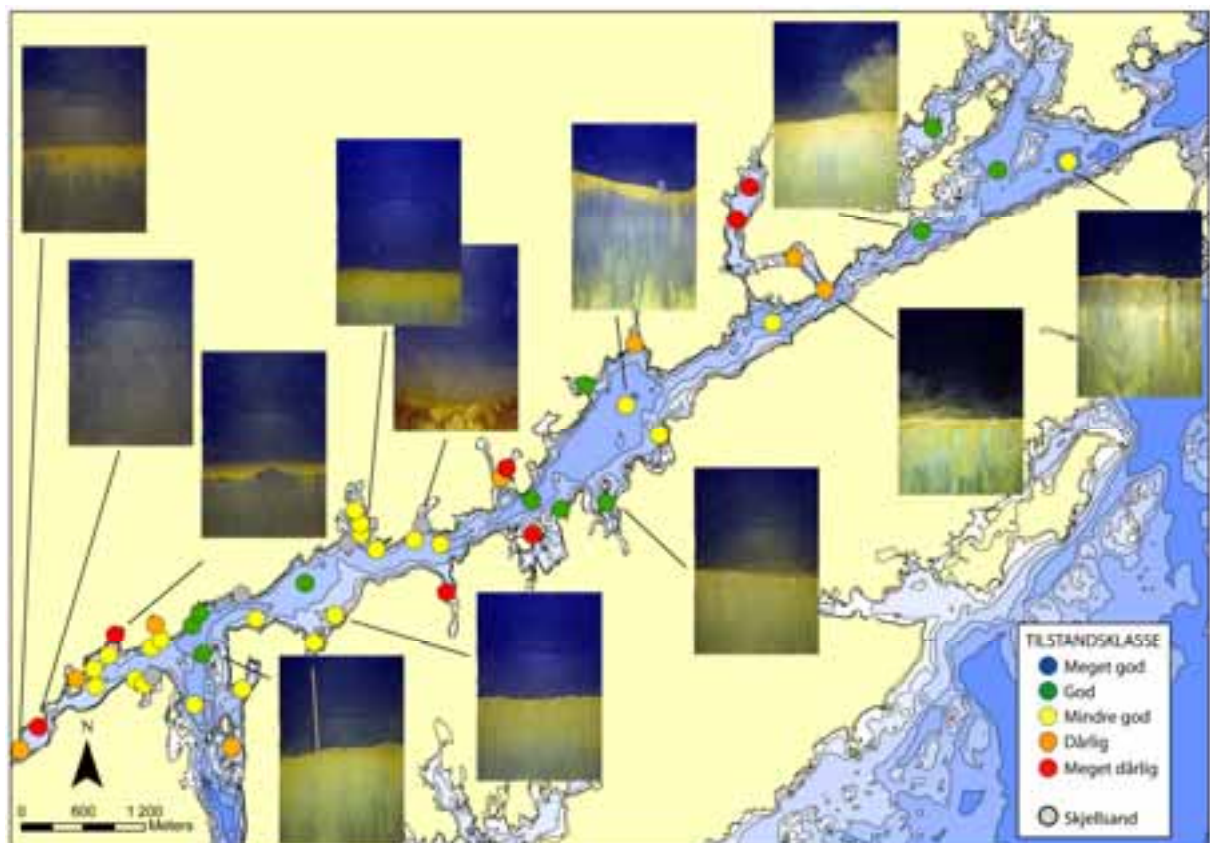
Tabell 2. Posisjoner, vanddyb, sedimentforhold og beskrivelse og analyse av sedimentprofilbilde (redox-forhold (RPD), BHQ-indeks, Tilstandsklass og habitat).

Stasjon	Feltdata					Kjemidata			SPI-data			
	Latitude	Longitude	Dyp (m)	Sedimentstruktur	H2S	TTS%	Korn <63µm	TOC%	RPD	BHQ-indeks	Tilstandsklasse	Habitat
A2	58,44760	8,74795	10,5	Silt leire	1				0,7	4	4	
A3	58,44862	8,75060	14,3	Leire	1	20	60	8,2	0,0	0		5
A4	58,45410	8,75613	11,6	Leire	1	22	74	10,2	1,0	4		4
A5	58,45360	8,75950	20,6	Silt leire	0				1,9	6		3
A6	58,45510	8,75887	20,2	Silt leire	0				2,7	8		3
A7	58,45640	8,76113	20,7	Silt leire	0	28	76	9,0	2,4	7		3
A8	58,45455	8,76593	21,0	Silt leire sand	0				2,3	6		3
A9	58,45417	8,76742	15,6	Silt leire sand	0	53	21	2,6	1,9	6		3
A10	58,45495	8,76868	18,9	Silt leire sand	0				1,8	5		4 Sand
A11	58,45822	8,76195	15,4	Silt leire	1	27	77	8,8	0,6	3		5
A11bc	58,45808	8,76198	16,3	Silt leire		28	71	9,9	1,4	6		3
A12	58,45740	8,76808	27,0	Silt leire sand	0				1,9	7		3
A13	58,45818	8,76962	21,2	Silt leire sand	0	23	59	13,4	1,3	5		3
A14	58,45942	8,76847	12,0	Silt leire sand	1	29	43	8,4	1,5	4		4
A15c	58,45727	8,77667	35,4	Leire	0	30	92	5,9	2,9	8		2
A16	58,45282	8,77612	57,5	Leire	0				1,5	7		3
A17	58,45457	8,78380	22,8	Silt leire	0	27	68	9,0	1,7	6		3
A18	58,44950	8,78297	23,0	Leire	0				1,0	4		4
A19	58,45968	8,77453	30,5	Silt leire sand	0				2,4	9		2
A20	58,46085	8,77555	29,8	Leire	0	39	64	4,7	2,9	9		2
A21	58,46277	8,78217	8,7	Silt leire sand	0							Skjellgrus
A22	58,46034	8,78565	17,5	Sand skjell	0							
A22b	58,46077	8,78503	22,0	Silt leire sand	0	54	30	1,7	1,5	6		3
A23	58,45920	8,79503	16,2	Leire	0	21	68	9,5	1,7	5		3
A24	58,46172	8,79807	16,5	Silt leire	0				3,3	6		3
A25	58,46428	8,79260	27,5	Silt leire	0	31	88	5,0	4,0	10		2
A26	58,46808	8,79912	24,0	Silt leire	0							Hardbunn
A27	58,46902	8,80112	12,5	Sand skjell	0				1,6	8		2
A28	58,46990	8,80083	13,1	Leire	0	42	45	4,5	3,2	7		3
A28b	58,47103	8,79973	10,0	Silt leire	0				1,8	6		3
A29	58,47020	8,81107	6,5	Sand skjell	0							
A30	58,46460	8,81617	6,2	Silt leire	1				0,5	2		5
A31c	58,46875	8,81442	34,5	Leire	0	23	89	6,8	2,4	7		3
A32	58,47280	8,83385	21,0	Silt leire sand	0				1,9	10		2
A33	58,47037	8,82955	13,5	Silt leire sand	0				0,1	2		5
A34	58,47333	8,82883	36,0	Silt leire	0				3,1	9		2
A35	58,47500	8,82328	10,2	Leire	1				1,0	3		4
A36	58,47592	8,82422	9,2	Silt leire	1	14	77	13,1	0,4	2		5
A37	58,47370	8,84127	20,8	Leire	0				3,2	9		2 Skjellgrus
A38	58,48005	8,84905	24,3	Silt leire	0	52	39	1,7	2,6	9		3
A39c	58,48237	8,84308	56,8	Silt leire	0	30	53	6,9	1,6	6		3
A40	58,48383	8,83600	16,0	Silt leire	0	28	75	6,4	1,4	7		2
A41	58,48782	8,84357	20,3	Silt leire sand	0				1,2	5		4
A42	58,49075	8,86615	42,8	Silt leire	0				1,6	7		3

Stasjon	Feltdata					Kjemidata			SPI-data			
	Latitude	Longitude	Dyp (m)	Sedimentstruktur	H2S	TTS%	Korn <63µm	TOC%	RPD	BHQ-indeks	Tilstandsklasse	Habitat
A43	58,49400	8,87432	29,3	Sand silt	0				1,4	5	4	Sand
A44	58,49657	8,86870	15,0	Silt leire	0	27	93	17,9	1,0	4	4	
A45	58,49943	8,85858	15,3	Silt leire	1				0,0	0	5	
A46	58,50240	8,86028	13,5	Silt leire	1	14	91	13,1	0,0	0	5	
A47	58,49988	8,88947	36,8	Silt leire	0				1,5	8	2	
A48	58,50898	8,88985	25,0	Leire	0				2,7	8	2	
A49c	58,50713	8,91273	65,0	Leire	0				1,8	7	3	
A50	58,50794	8,93407	13,0	Silt leire	1							Skjellgrus
A51	58,46777	8,80390	23,0	Silt leire	0				2,8	7	3	
A52	58,46893	8,81000	25,5	Leire	0				2,4	8	3	
A53	58,50585	8,90118	42,7	Leire					2,7	8	2	

3.2 SPI

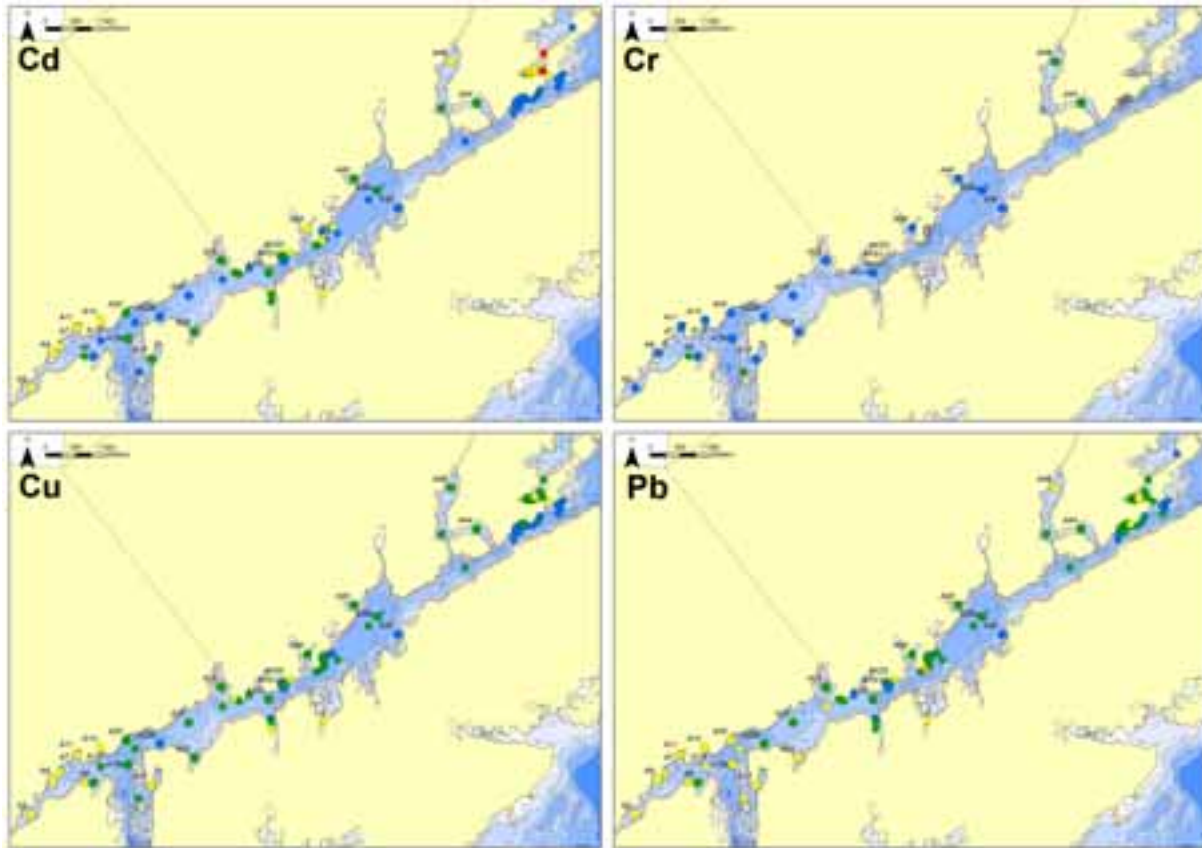
Ved totalt 54 stasjoner ble 4 sedimentprofilbilder pr. stasjon samlet for en karakterisering av bløtbunnfauna og kvantifisering av bioturbasjon i området (**Figur 6**). Bunnmiljøet i sin helhet i henhold til BHQ-indeksen varierte meget kraftig i Tromøysund. Mindre gode til meget dårlige forhold ble observert fremfor alt inne i trange vikene, men også i dyphølene i selve Tromøysundet. I områder med dårlig bunnmiljø var det bioturberte laget (lag blandet av dyr) grunt (< 1cm), mens i områder med godt bunnmiljø var det bioturberte laget betydelig dypere (2,5 - 4 cm).



Figur 6. Tilstandsklasser for bløtbunnfauna i henhold til BHQ-indeksen (Rosenberg m. fl. 2004) og eksempler på sedimentprofiler fra området.

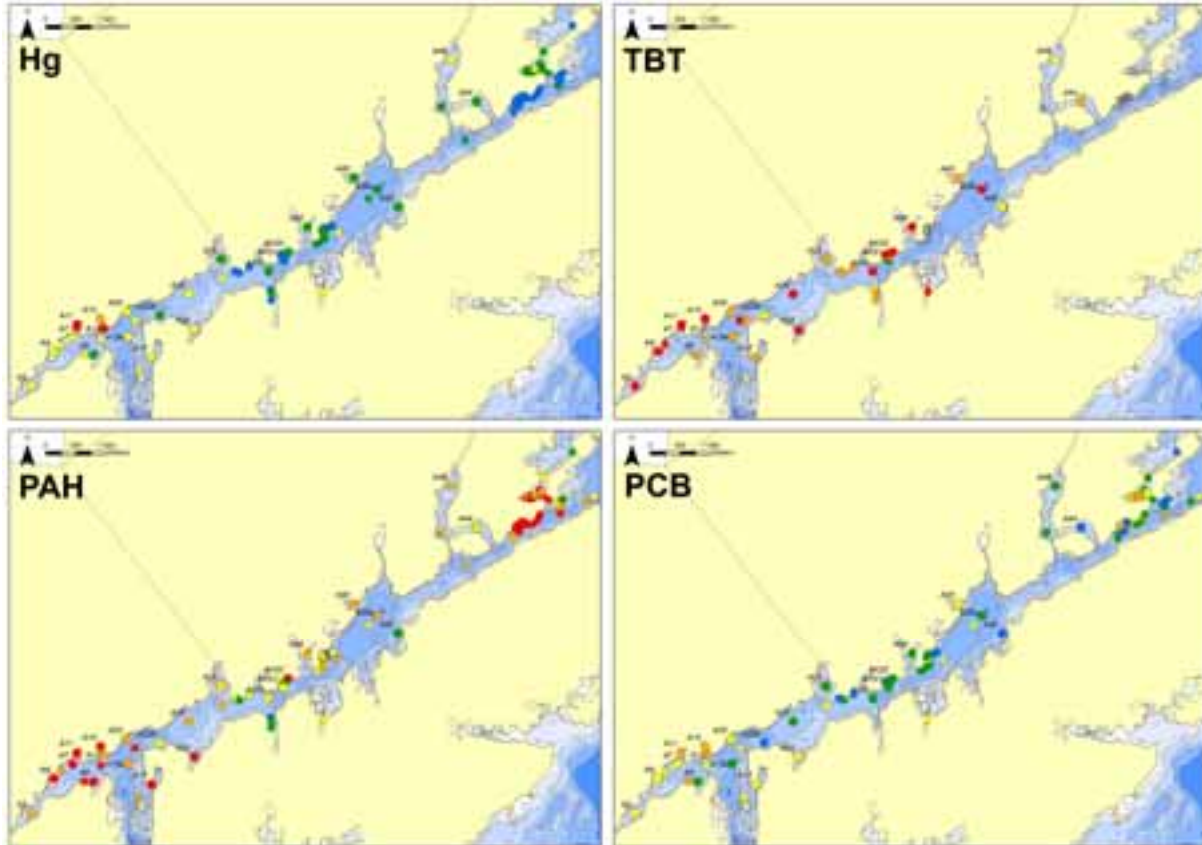
3.3 Tilstandsklasser - miljøgifter

I Vedlegg A vises rådata av sedimentanalyser. Den geografiske fordelingen i området og tilstandsklassifisering av metallene kadmium, krom, kobber og bly er vist i **Figur 7**. Generelt var innholdet av metaller høyest nær Arendal by. Områdene nær byen, de sentrale delene av Tromøysund og Nitriden var markert forurenset av kadmium, kobber og bly. Det ble observert kun ubetydelig til moderat forurensete sedimenter av krom.



Figur 7. Fordeling av kadmium (Cd), krom (Cr), kobber (Cu) og bly (Pb) i overflatesedimentet (0-2cm) basert på SFTs klassifisering av miljøkvalitetskriterier (Molvær m. fl. 1997). Store symboler og stasjonsbetegnelse (nye data) og små symboler (eldre data).

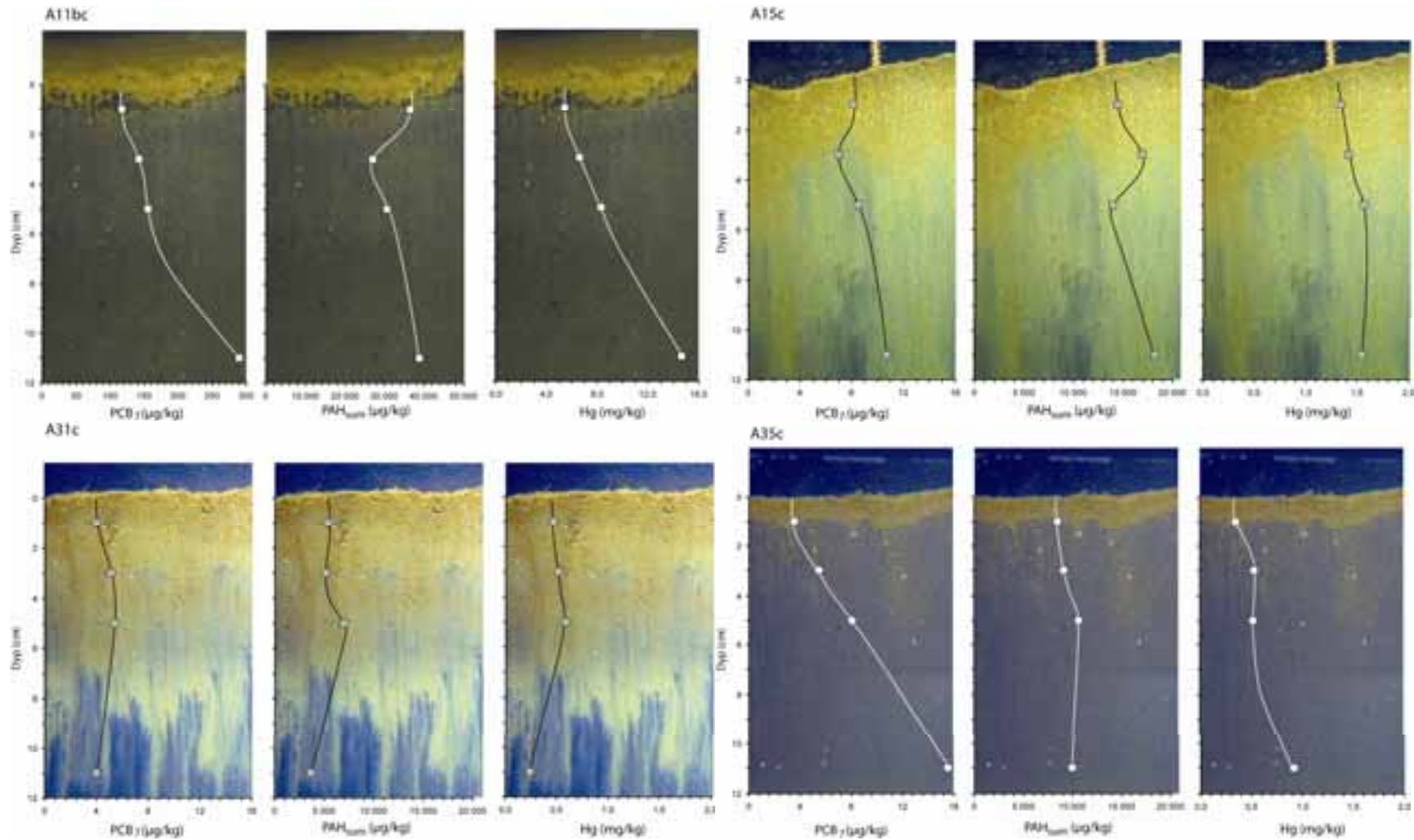
Den geografiske fordelingen i området og tilstandsklassifisering av kvikksølv, tribetyltinn (TBT), sumPAH og PCB₇ er vist i **Figur 8**. Av metallene hadde kvikksølv de høyeste konsentrasjonene (meget sterkt forurenset). Høye konsentrasjoner av kvikksølv ble observert ved Kittelsbukta og Pollen. Høye konsentrasjoner (markert til meget sterkt forurenset) av tribetyltinn ble observert i hele området. Høye konsentrasjoner (markert til meget sterkt forurenset) av PAH ble observert i hele området. Høye konsentrasjoner (sterkt forurenset) av PCB₇ ble observert fremfor alt ved Kittelsbukta og Pollen. Tidligere har like høye konsentrasjoner av PCB₇ blitt observert ved Nitriden.



Figur 8. Fordeling av kvikksølv (Hg), tribetyltinn (TBT), sumPAH og PCB₇ i overflatesediment (0-2cm) basert på SFTs klassifisering av miljøkvalitetskriterier (Molvær m. fl. 1997). Store symboler og stasjonsbetegnelse (nye data) og små symboler (eldre data).

3.4 Kjerner

I **Figur 9** vises fordeling av PCB₇, sumPAH og Hg i forskjellige snitt i sedimentet sammenlignet med et SPI-bilde fra respektive stasjoner. PCB₇-konsentrasjonen i sedimentet ved stasjonene A11bc (Kittelsbukta) og A35c (Bråten) øker med dybden mens ingen tydelige trender i PCB₇-konsentrasjoner kan observeres ved stasjonene A15c (Galtesund) og A31c (Krøgenes). Disse konsentrasjonene er dog lave også i de dypere sedimentsjiktene (tilstandsklasse I og II, ubetydelig til moderat forurenset). Ingen direkte forandring av sumPAH - konsentrasjoner kan observeres vertikalt i noen av kjernene. Kvikksølv øker i dypere sjikt i kjernene A11bc og A35c, mens ingen tydelige trender ble observert i kjernene fra stasjon A15c og A31c. Resultatene fra disse analysene fra Kittelsbukta og Bråten tyder på en reduksjon av tilførsel av PCB₇ og kvikksølv til sedimentene i området, mens tilførsel av PAH ikke har forandret seg. De tydelige trendene som ble observert ved stasjon A11bc og A35c skyldes fraværende bioturbasjon ved disse stasjonene.

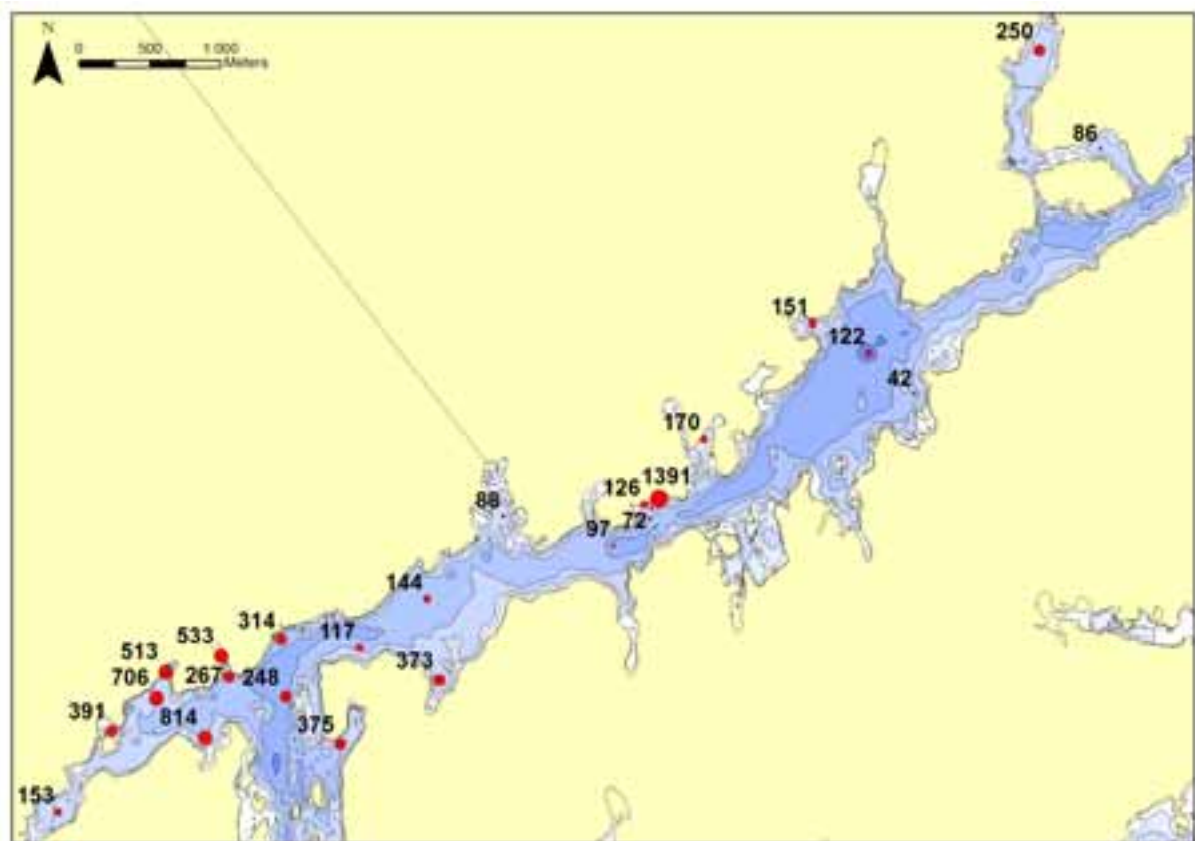


Figur 9. Fordeling av PCB₇, sumPAH og Hg i forskjellige snitt (0-2, 2-4, 4-6 og 10-12 cm) i sedimentet sammenlignet med et SPI-bilder fra respektive stasjon A11bc; Kittelsbukta, A15c; Galtesund, A31c; Krøgenes og A35c; Bråten. NB! Skala for konsentrasjonene ved stasjon A11bc er forskjellig fra de øvrige stasjoner.

4. Risikoanalyse

4.1 Trinn 1

I **Figur 10** vises summen av de forskjellige stoffenes risikobidrag (RI_p = Risiko Index per prøve) beregnet ut fra risikoveilederen. Risikoanalyse trinn 1 gir 2 relativt definerte problemområder (området nær Arendal by og Krøgenes) og et mer generelt problem med hensyn til høye verdier av TBT og PAH i hele området. Den høyeste overskridelsen er observert ved Krøgenes (RI_p = 1391) og den laveste verdien er observert sentralt i Tromøysund (RI_p = 42).



Figur 10. Beregnet risiko fra analyserte prøver i denne undersøkelsen. Tallet angir antall ganger den totale risikoen overskrider grenseverdien for de forskjellige stoffene. Størrelsen på punktet illustrerer størrelsen på risikobidraget (delt inn i 4 klasser).

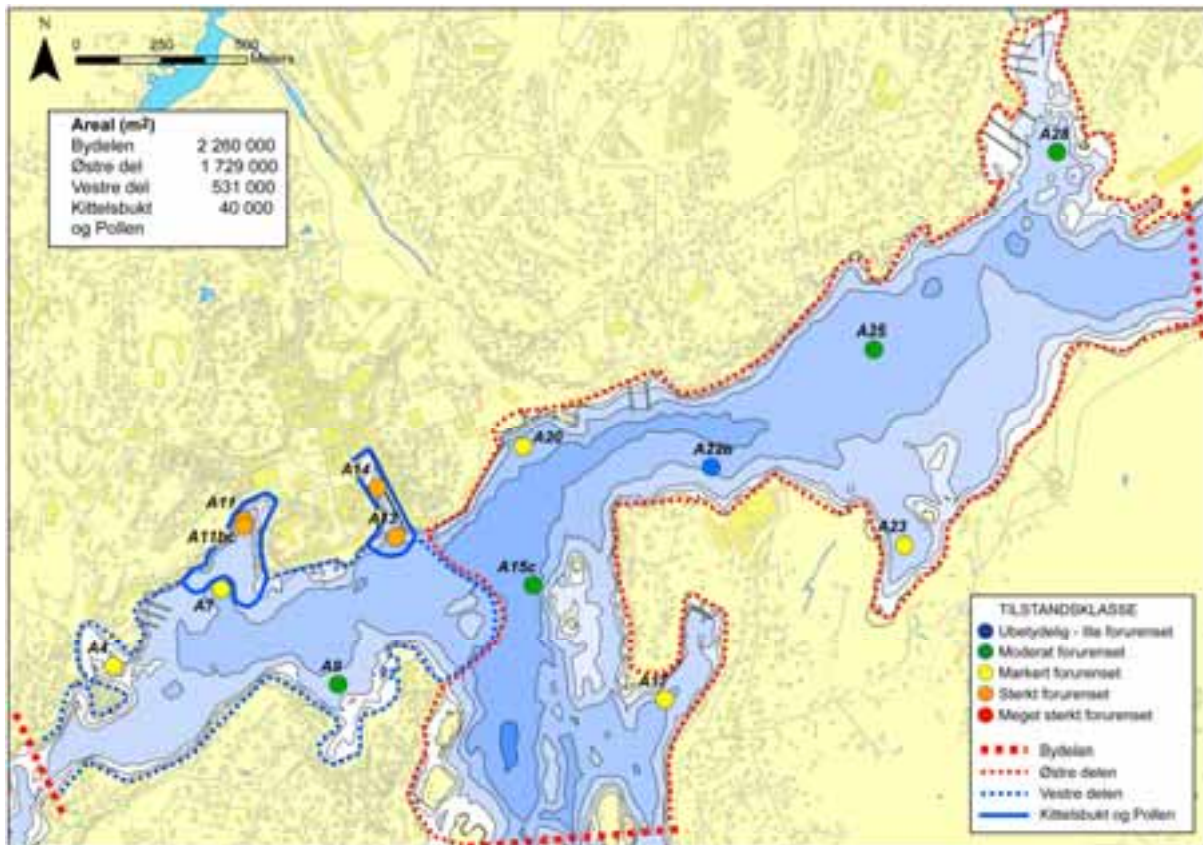
4.2 Trinn 2

I Vedlegg C vises resultatene fra beregninger av spredning, human og økologisk risiko for var enkelte forbindelse i henhold til risikoveilederen trinn 2.

4.2.1 Spredning

I risikoveilederen beregnes risiko for spredning som en vertikal parameter (mengde stoff per kvm og år). Siden den beregnede spredningen er arealspesifikk er risikoen for spredning fra et område proporsjonal med områdets størrelse. Risikoen for spredning deles i 3 prosesser: Diffusjon forsterket av bunnfaunaens aktivitet, oppvirvling fra skipstrafikk og transport via organismer.

Vi har her beregnet risiko for spredning ut fra problemområdene definert med høye PCB₇-konsentrasjoner, dvs. Kittelsbukt og Pollen. Området Kittelsbukt og Pollen har sammenlagt et areal på ca. 40 000 m² (ca. 2 % av det som er definert som Bydelen, **Figur 11**). Dette arealets risiko for spredning er sammenliknet med risikoen for spredning fra hele Bydelen (ca. 2 260 000 m²). Dette området er igjen delt i et vestre (24 % av totalt areal) og østre del (76 % av totalt areal).



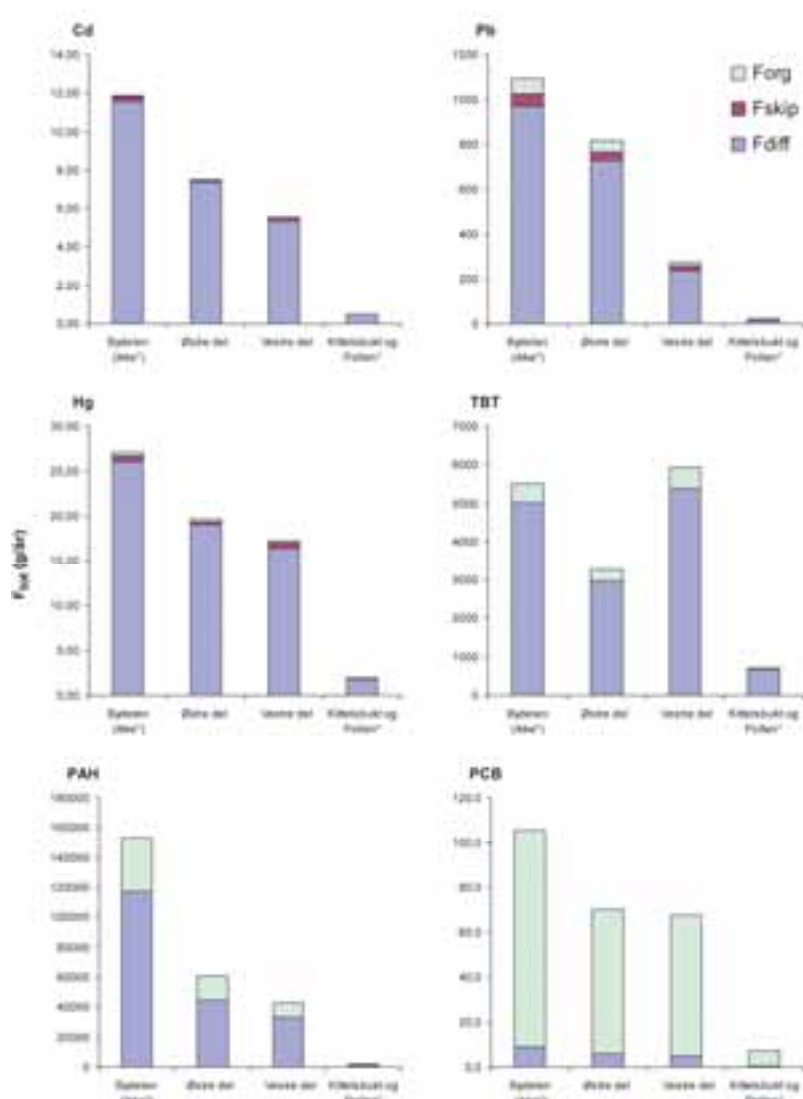
Figur 11. Områdeavgrensninger og tilstandsklasser for PCB₇ for stasjoner benyttet i spredningsberegninger.

For beregning av spredning har vi for området Pollen og Kittelsbukt benyttet en middelværdi av data fra stasjonene A11, A11bc, A13 og A14, området vestre del (st. A11, A11bc, A13, A14, A4, A7 og A9), området østre del (st. A15c, A17, A20, A22b, A23 og A25) og for Bydelen alle stasjoner unntatt stasjonene i Pollen og Kittelsbukt.

I **Figur 12** vises den totale risikoen for spredning av kadmium, bly, kvikksølv, TBT, sumPAH og PCB₇ for området Kittelsbukta og Pollen, vestre del, østre del og hele Bydelen.

Bly har en jevn konsentrasjonsfordeling i hele området (se **Figur 7**) og forskjeller i spredning (F_{tot}) mellom områdene er stort sett bare avhenging av forskjeller i størrelsen på arealene mellom områdene (**Figur 12**). Den observerte konsentrasjonen av PCB₇ er høyere i vestre enn i østre del. Imidlertid er det østre arealet større enn det vestre. Det medfører at spredningen fra de to arealene blir relativt like. Det samme gjelder også for spredning av kvikksølv, sumPAH og kadmium.

I denne undersøkelsen ble det observert svært høye konsentrasjoner av TBT ved en stasjon i Pollen (A14: 1900 $\mu\text{g}/\text{kg}$ t.v.), hvilket medfører at den totale risikoen for spredning av TBT blir høyere fra det vestre området enn i området i sin helhet pga stasjonens innflytelse på de beregnede middelverdier som ligger til grunn for risikoberegningene.



Figur 12. Beregnet total spredning. F_{tot} ; g/år) av kadmium, bly, kvikksølv, sumPAH og PCB₇ via diffusjon (F_{diff}), skipsoppvirvling (F_{skip}) og via organismer (F_{org}). * referer til området Pollen og Kittelsbukta.

Bakgrunnen for kostholdsrådet er PCB hvor risiko for spredning er av størst betydning. Høye konsentrasjoner av PCB₇ er observert i Kittelsbukt og Pollen, men også i hele de vestre området. Betydningen av å fjerne spredningsrisikoen fra Kittelsbukt og Pollen-området sammenlignet med risikoen for spredning fra hele Bydelen, påvirkes av store forskjeller i areal. Derimot kan en minimert spredning fra hele den vestre delen vil være av lik viktighet som for den østre, men siden det vestre arealet er mindre, vil kost/nytte-verdien av tiltak i den vestre delen være større.

Beregningene viser likeså betydningen av de forskjellige spredningsveiene. For metallene er den diffusive transporten dominerende, mens for de organiske miljøgiftene er spredning via organismer av viktig, spesielt for PCB₇.

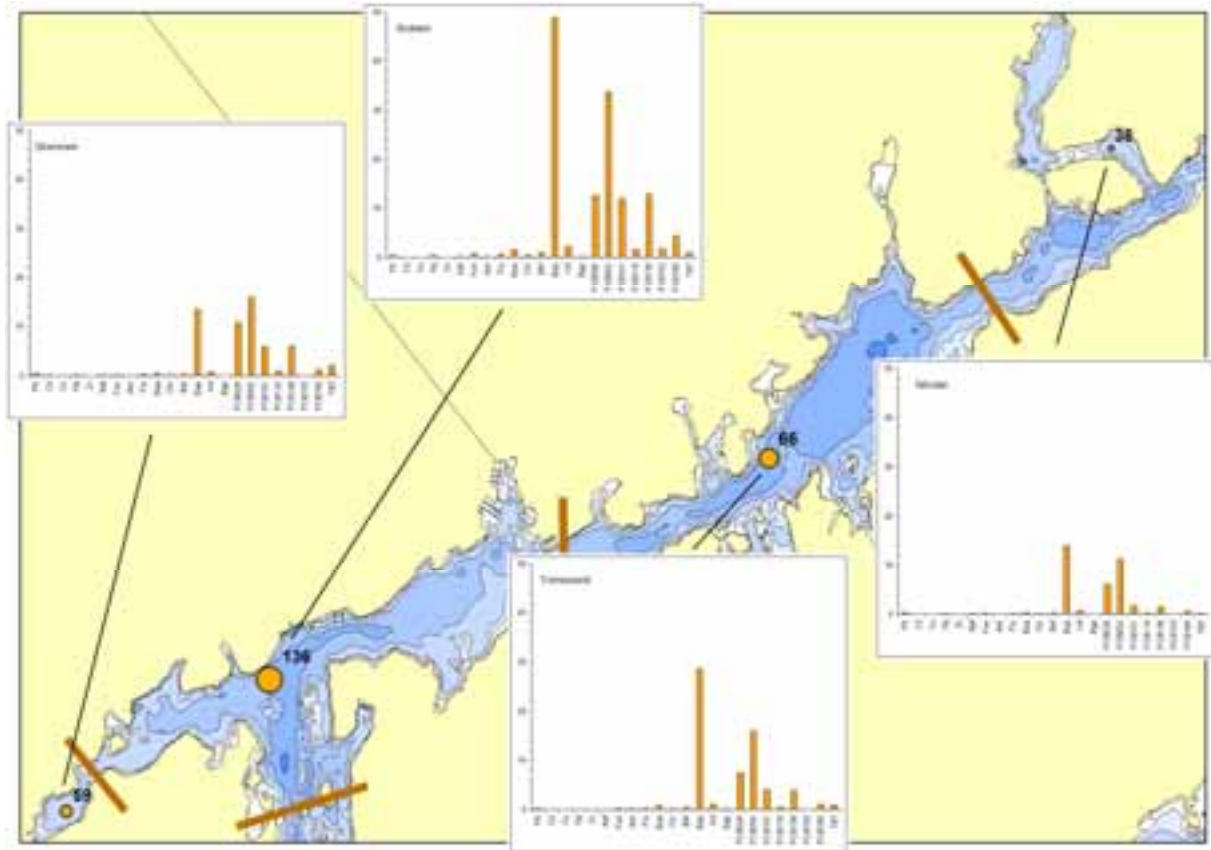
4.2.2 Human helse

I **Figur 13** vises humant risiko (DOSE/10 % MTR human) for de enkelte stasjonene. Resultatene viser et betydelig lavere risikobidrag i trinn 2 enn i trinn 1. De høyeste summerte overskridelsene av grenseverdien i trinn 2 er 263 og er observert ved Kolbjørnsvik. Til sammenligning ble en overskridelse på 1391 ganger i trinn 1-analysen observert ved Krøgenes. Den laveste summerte overskridelsen er 19 ganger overskridelse og er observert ved Nitriden.



Figur 13. Humant risiko (DOSE/10 % MTR human) for de enkelte stasjonene i henhold til trinn 2. Tallet angir antall ganger den totale risikoen (DOSE) overskrider grenseverdien for de forskjellige stoffene. Størrelsen på punktet illustrerer størrelsen på risikobidraget (delt inn i 4 klasser).

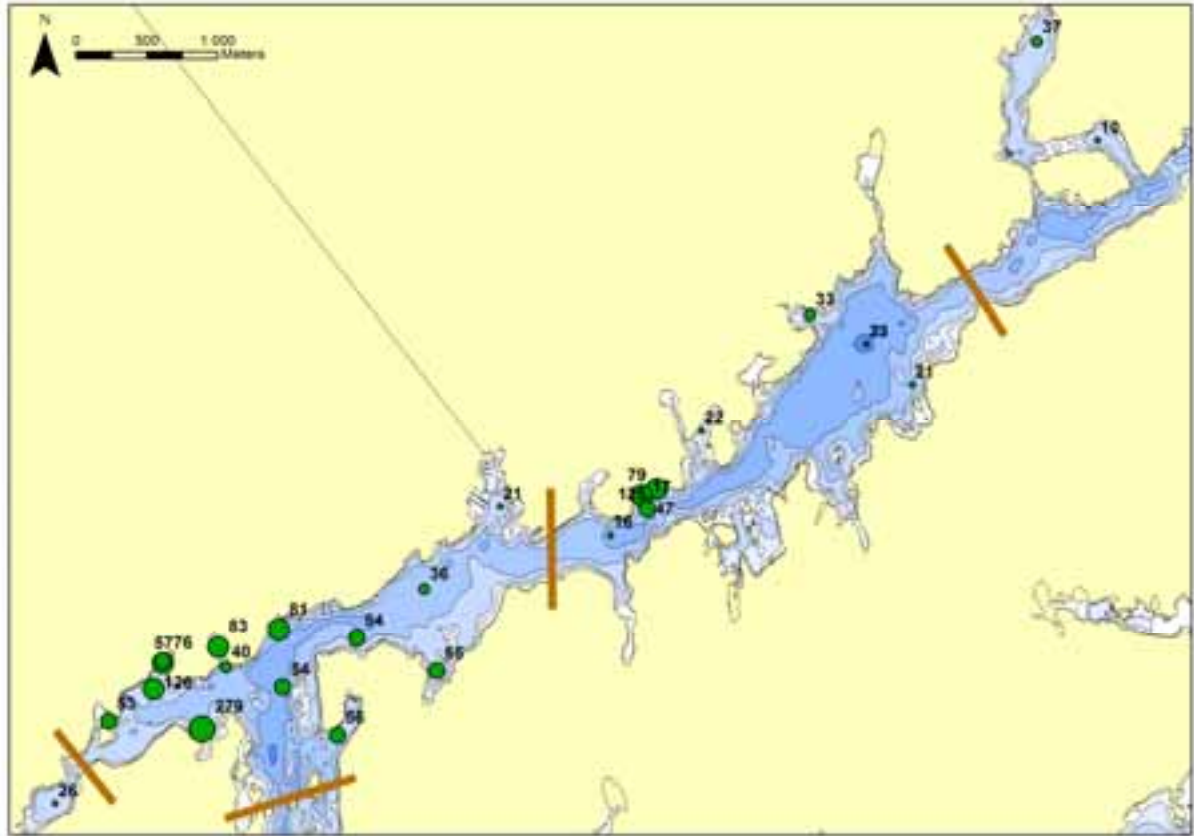
Etter risikoanalysen på de enkelte stasjonene ble hele området inndelt i 4 mindre områder (Strømmen, Bydelen, Tromøysund og Nitriden med hensyn på hydrografi og beregnet risikobidrag (trinn 2). I **Figur 14** vises den summerte middelrisikoen og risikobidraget for de enkelte forbindelsene for de forskjellige områdene i henhold til trinn 2. Benzo(a)pyren og PCB52 er de forbindelsene som gir det største bidraget til den summerte risikoen i hele området.



Figur 14. Beregnet gjennomsnittlig human risiko (DOSE/10 % MTR human) for de forskjellige områdene. Risikobidraget for de enkelte forbindelsene er vist i stolpediagram (bly, kadmium, kopper, kvikksølv, sink, naftalen, fenantren, antracen, fluoranten, benzo(a)antracen, chrysen + trifenyl, benzo(jk)fluoren, benzo(a)pyren, indeno(1,2,3-cd)pyren, benzo(ghi)perylene, PCB25, PCB52, PCB 101, PCB 118, PCB138, PCB 153, PCB180 og tribetyltinn (TBT).

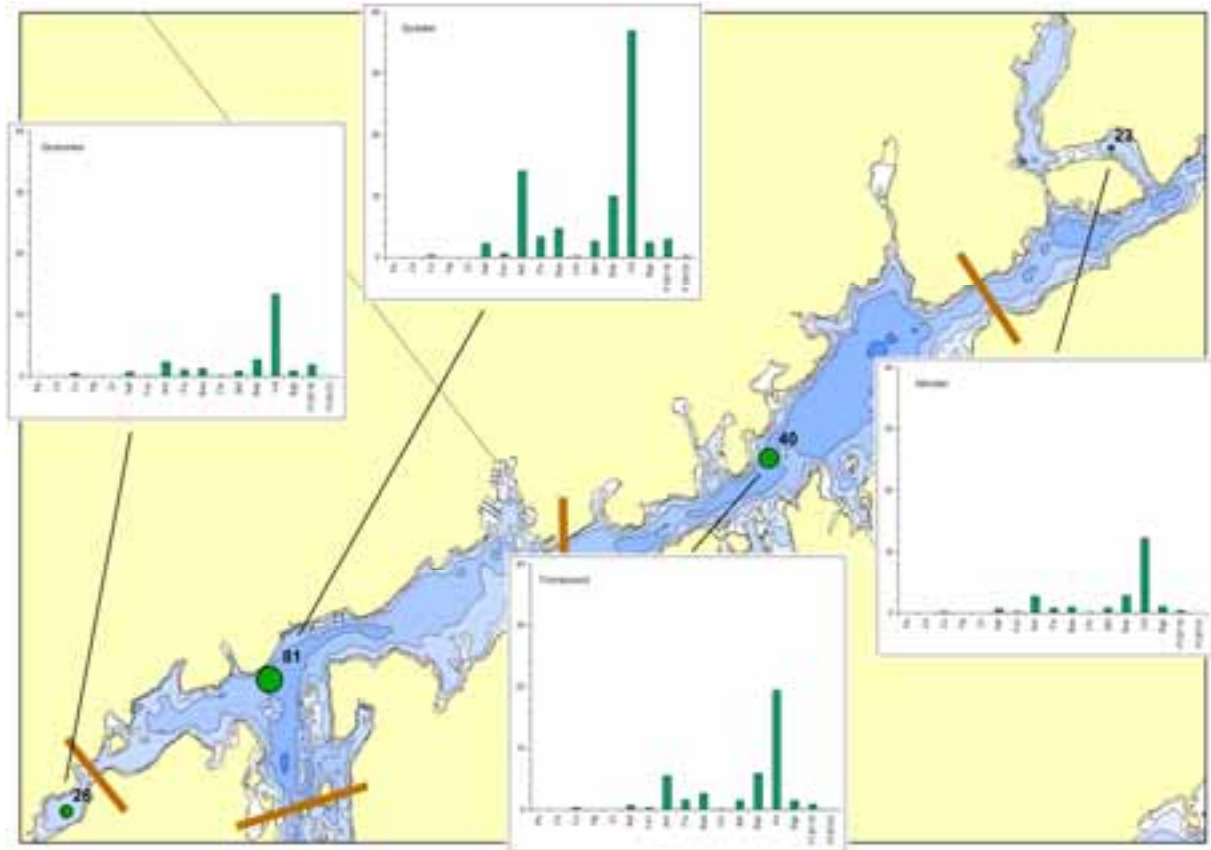
4.2.3 Økologisk risiko

I **Figur 15** vises økologisk risiko (Csed/MPC) for de enkelte stasjonene. De høyeste summerte overskridelsene av grenseverdien for økologisk risiko er 279 og er observert ved Kolbjørnsvik. Til sammenligning ble en overskridelse på 263 ganger i human risiko observert ved samme stasjon. Den laveste summerte økologiske risikoen er 10 gangers overskridelse og er observert ved Nitriden.



Figur 15. Økologisk risiko (Csed/MPC) for de enkelte stasjonene i henhold til trinn 2. Tallet angir antall ganger den totale risikoen (Csed) overskrider grenseverdien for de forskjellige stoffene. Størrelsen på punktet illustrerer størrelsen på risikobidraget (delt inn i 4 klasser).

I **Figur 16** vises den gjennomsnittlige økologiske risikoen (Csed/MPC) og for de enkelte forbindelsene for forskjellige områder. Man skal være oppmerksom på at Risikoveilederen inneholder kun grenseverdien for to PCB-forbindelser med hensyn på økologisk risiko (i motsetning til beregningene av human risiko), mens 10 enkel-PAHer inngår. Det medfører at betydningen av PAH er større med hensyn til økologiske risiko enn ved beregning av den humane risikoen.



Figur 16. Gjennomsnittlig økologisk risiko trinn 2 (Csed/MPC) for de forskjellige områdene. Risikobidraget for de enkelte forbindelsene er vist i stolpediagram (bly, kadmium, kopper, kvikksølv, sink, naftalen, fenantren, antracen, fluoranten, benzo(a)antracen, chrysen + trifenyl, benzo(jk)fluoren, benzo(a)pyren, indeno(1,2,3-cd)pyren, benzo(ghi)perylen, PCB 118 og PCB 153.

5. Miljømål

Fastsettelse av miljømål er nødvendig ved planlegging og gjennomføring av tiltak mot forurensede sedimenter. Målene kan være på forskjellige nivåer, men to typer er sentrale, nemlig:

- Langsiktige forvaltningsmål
- Lokale tiltaksmål

Miljømålene bør forankres hos aktuelle interessenter. Disse er kommunen, regionale/sentrale miljøvernmyndigheter, industrien, interesseorganisasjoner og befolkningen generelt. Slik sett krever fastsettelse av miljømål både en administrativ og politisk prosess. Det er ikke gjennomført for det aktuelle tiltaksområdet.

5.1 Langsiktige forvaltningsmål

Det er viktig at de langsiktige forvaltningsmålene er helhetlige og sektorovergripende. På den måten kan forskjellige aktiviteter i tiltaksområdet utnyttes til miljøforbedring.

Et forslag til langsiktige forvaltningsmål kan være:

- Bunnsedimentene skal ikke være til hinder for utøvelse av friluftsliv, yrkesfiske, havnedrift og industriaktivitet
- Forurensede sedimenter skal ikke føre til langsiktige, negative effekter på økosystemet

Tiltak for å nå det langsiktige forvaltningsmålet bør på sikt bidra til at kostholdsråd kan oppheves. Man skal imidlertid merke seg at datagrunnlaget for kostholdsrådet er spinkelt. Det er en stor lokal variasjon i fiskeprøvene som danner grunnlaget for utformingen av rådet og det er kun 4 fisk fanget ved Kolbjørnsvik som overskrider grenseverdien.

5.2 Lokale tiltaksmål

Tiltak mot forurensede sedimenter gjennomføres for å redusere miljømessig risiko. Den er knyttet til risiko for:

- Spredning av forurensning
- Negativ innvirkning på human helse
- Negative effekter på økosystemet

Beregning av de forskjellige risikotypene gjøres ut fra formelverket i risikoveilederen. Risiko knyttet til human helse er i hovedsak knyttet til inntak av sjømat.

Lokal tiltaks mål er til en viss grad diskutert i prosjektgruppen, men denne diskusjonen trenger å føres i større detalj og omfang med problemeiere og interessenter

På basis av dette og risikobetraktningene gjort tidligere i rapporten, forslås området oppdelt med hensyn på aktuelle tiltak (se **Tabell 3**).

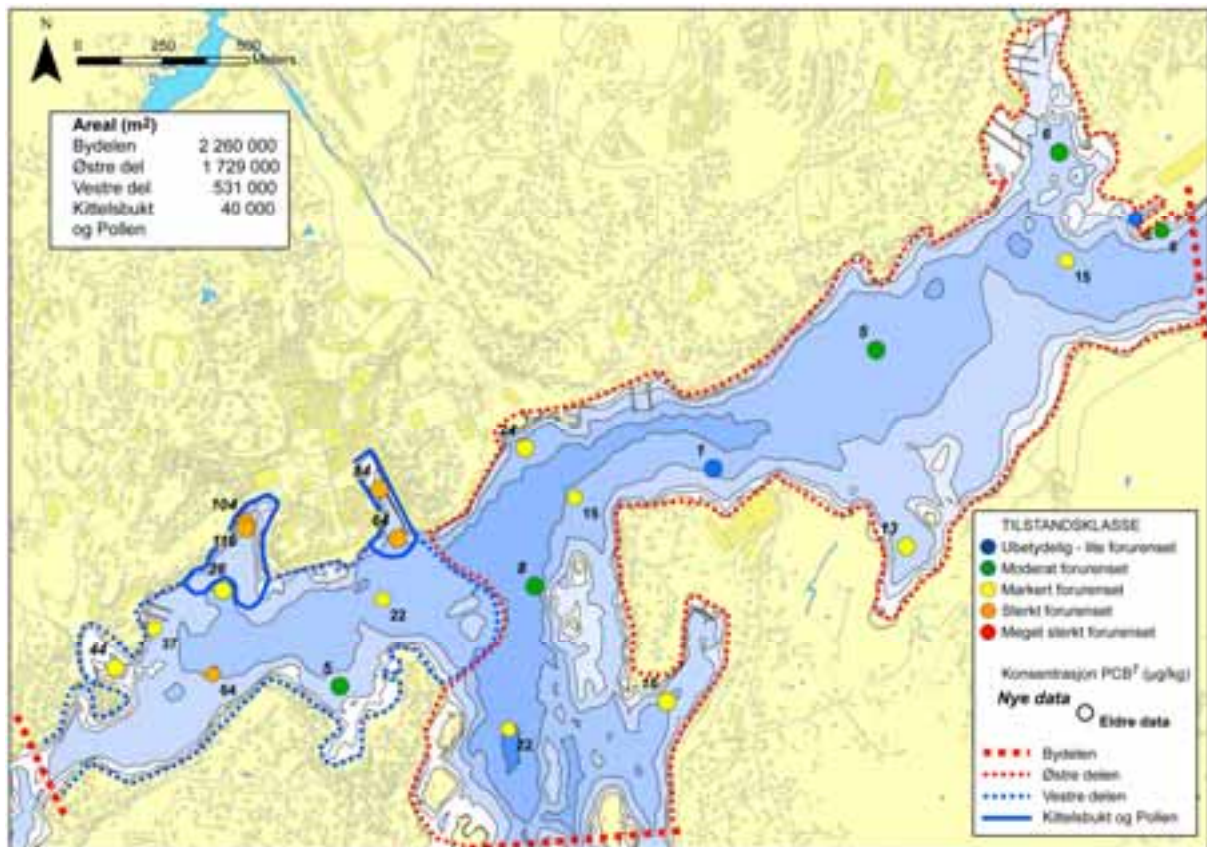
Tabell 3. Forslag til oppdeling av tiltaksområdet i delområder med tilhørende risikotype.

Område	Delområde	Risikotype
Bydelen	Pollen	Spredning
	Kittelsbukt	Spredning
	Vestre del	Spredning/human- /økologisk risiko
	Østre del	Spredning/human- /økologisk risiko
Tromøysund	Krøgenes	Spredning
	Øvrige	Spredning/human- /økologisk risiko

6. Tiltaksplan

På grunnlag av oppdelingen i flere delområder og risikotyper (**Tabell 3**), viser **Figur 17** ytterligere detaljer om de foreslåtte tiltaksområdene:

- Pollen (effektivt areal; 13 600 m²): Høyrisiko-område for human og økologisk risiko. Risiko for spredning til nærliggende område.
- Kittelsbukt (effektivt areal; 26 400 m²): Høyrisiko-område for human og økologisk risiko. Risiko for spredning til nærliggende område.
- Vestre del av Bydelen (effektivt areal; 531 000 m²): Risiko-område for human og økologisk risiko. Risiko for spredning til nærliggende område. Området hvor fisken som forårsaket kostholdsrad i hele området ble fanget.
- Østre del av Bydelen (effektivt areal; 1. 729 000 m²): Risiko-område for human og økologisk risiko. Risiko for spredning til nærliggende område.



Figur 17. Aktuelle områder for tiltak. Punktene angir sedimentets tilstandsklasse med hensyn på PCB₇ i hht SFTs kriterier. I denne figur refereres likeså konsentrasjoner av eldre kjemidata under og til høyre om symbolet (Kroglund m fl. 2003).

Forslag til mulige tiltak er gitt i **Tabell 4**. Kildekontroll er essensielt før fysiske tiltak mot sedimentene settes i gang. Det er i dag ikke avklart at forurensningstilførslene til Bydels-området er tilstrekkelig stoppet. Verifisering av dette er derfor ført opp som et tiltak i seg selv.

Når et fysisk tiltak gjennomføres, er det også nødvendig å stille mål for selve den tekniske utførelsen av tiltaket. Likeledes bør det diskuteres og eventuelt beskrives hvorledes den langsiktige forbedringen i området skal overvåkes og dokumenteres. I den sammenheng må det på grunnlag av dagens situasjon beskrives et overvåkingsprogram som gir mulighet for å kvantifisere tidsutviklingen på en akseptabel måte.

Tabell 4. Forslag til tiltak i delområdene.

Område	Delområde	Tiltak	Miljømål
Bydelen	Hele	Verifisering av kildekontroll	
Bydelen	Østre del	Tildekking	Kons. i sediment < kl. II
	Vestre del	Tildekking	Kons. i sediment < kl. II
	Pollen og Kittelsbukt	Fjerning av masser i sjø Tildekking	Kons. i sediment < kl. II
Tromøysund	Krøgenes	Tildekking*	Kons. i sediment < kl. II
	Øvrige	Naturlig forbedring**	Kons. i sediment < kl. II

* Allerede gjennomført

** Eventuelle utbyggingaktiviteter bør ha som mål å forbedre lokale forhold

Presise kostnader for tiltak er ikke mulig gi før miljømålene for delområdene er ytterligere forankret. Man skal også være klar over at tiltak i begrensede områder slik som Pollen og Kittelsbukt kun vil gi lokale forbedringer med liten effekt på tiltaksområdet som helhet. Skal en forbedring oppnås på et mer regionalt plan må større områder underlegges tiltak. I den sammenheng vil det være naturlig å gjøre tiltak i hele Bydels-området med at samlet areal på ca. 2,3 mill. m². Det mest sannsynlige tiltaket vil være tildekking med rene masser selv om det i enkelte avgrensede delområder kan være aktuelt med fjerning av masser for opprettholdelse eller øking av seilingsdybde.

Basert på erfaringer fra andre utførte prosjekter, er det mulig å gi retningsgivende kostnader for forskjellige typer tiltak. Kostnader for utlegging av sand som tildekkingsmateriale er 30 kr. pr. m³. Kostnader forbundet med anskaffelse, transport og utlegging av sand for tildekking kan settes til 130 kr. pr. m³. Ved mudring av masser vil kostnadene i stor grad avhenge av hvor de kan deponeres. Deponering i lokalt deponi beløper seg ofte til 200-300 kr. m³. eksklusive transportkostnader.

Det er ikke mulig på det nåværende tidspunkt å beregne eventuelle mudringskostnader. Hvis vi går ut fra at tildekking vil være det aktuelle tiltaket, vil kostnadene avhenge av tykkelsen på tildekkingslaget. Tidligere anvendte man tykkelser på flere desimetre. I den senere tid er det blitt mer aktuelt å vurdere såkalt "tynnsjikt-tildekkinge" hvor tildekkingslaget kan være ned på 10 ca. tykt. Ut fra dette vil man få tiltakskostnader som skissert i

Tabell 5. Anslåtte kostnader forbundet med tildekking av sedimentene. Tildekkingslag er satt til 10 cm.

Område	Delområde	Areal, m ²	Anslått kostnad, kr.
Bydelen	Østre del	1 729 000	23 mill.
	Vestre del*	531 000	7 mill.
	Pollen og Kittelsbuk	40 000	0,5 mill

*Tiltak i den vestre delen vil ha større kost/nytte-verdi enn tiltak i den østre delen.

I tillegg vil kostnader til planlegging og prosjektering påløpe.

Referanser

- Breedveld, G., T. Bakke, E. Eik, A. Helland, T. Källqvist, A. Oen. 2005. Veileder i risikovurdering av forurenset sediment. SFT TA-2085/2005, ISBN 82-7655-250-1. 45 s.
- Dahl, F.E. og D.S. Danielssen. 1986. Resipientundersøkelser i Arendalsområdet i perioden 1975-79. Flødevigen Meldinger nr. 5-1986, 68 s.
- Kroglund, T., A. Helland, O. Lindholm 2003. Tiltaksplan for forurensede sedimenter i Aust-Agder. Fase 1 – Miljøtilstand, kilder og prioriteringer. NIVA rapport lnr. 4744.
- Næs, K., J. Knutzen, J. Håvardstun, T. Kroglund, M.C. Lie, J.A. Knutsen, M.L. Wiborg 2000. Miljøgiftundersøkelse i havner på Agder 1997-1998. PAH, PCB, tungmetaller og TBT i sedimenter og organismer. Statlig program for forurensningsovervåking 799/00. NIVA rapport l.nr. 4232-2000.
- Nilsson, H.C. og R. Rosenberg. 1997. Benthic habitat quality assessment of an oxygen stressed fjord by surface and sediment profile images. *J. Mar. Systems.* 11, 249-264.
- Molvær, J., J. Knutzen, J. Magunsson, B. Rygg, J. Skei, J. Sørensen. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Statens forurensningstilsyn. Veiledning 97:03. 36 s
- Rosenberg R., M. Blomqvist, H.C. Nilsson, H. Cederwall, A. Dimming. 2004. Marine quality assessment by use of benthic species-abundance distributions: a proposed new protocol within the European Union Water Framework Directive. *Mar. Poll. Bull* 49, 728-739.
- SNT 2000. (www.snt.no). Kostholdsråd.

7. Vedlegg

Vedlegg A. Sediment rådata

STASJON	A3	A4	A7	A9	A11	A11bc	
Latitud	58,44862	58,45410	58,45640	58,45417	58,45822	58,45808	
Longitud	8,75060	8,75613	8,76113	8,76742	8,76195	8,76198	
Dyp	14,3	11,6	20,7	15,6	15,4	16,3	
Sedimentstruktur	Leire	Leire	Silt leire	Leire sand	Silt leire	Silt leire	
Sediment dyp	0-2cm	0-2cm	0-2cm	0-2cm	0-2cm	0-2cm	
TTS %	20,2	21,6	28	53,2	27,4	28	
Korn <63 %	60	74	76	21	77	71	
TOC %	8,16	10,2	9,01	2,6	8,75	9,93	
Cd	(mg/kg t.v.)	3,2	1,8		0,2	2,3	
Cu		167	201		48,2	230	
Cr		44,3	49,4		16,3	55	
Hg		1,20	1,64	2,85	0,55	10,70	5,39
Pb		173	207		105	261	
PCB28		1,7	2,2	2,1	0,66	4	3,4
PCB52	1,3	2,2	1,7	0,67	4,9	12	
PCB101	3,3	8,5	4,7	0,94	18	14	
PCB118	3,8	9	3,7	1,1	15	10	
PCB138	5	14	8,3	1,4	32	21	
PCB153						35	
PCB180	1,9	7,7	5,7	0,61	30	21	
PCB7D	17	43,6	26,2	5,38	103,9	116,4	
PCBSum	17	43,6	26,2	5,38	103,9	116,4	
Naftalen	(µg/kg t.v.)	110	240	1500	390	260	620
Acenaftylen		35	95	79	280	79	110
Acenaften		41	89	1100	320	72	280
Fluoren		54	140	1300	500	130	480
Fenantren		640	1300	9200	4300	1200	2400
Antracen		130	420	2300	1200	360	970
Flouranten		1600	3700	9300	6600	2700	5100
Pyren		1400	3300	7800	5900	2800	5400
Benz a antracen		640	1800	3400	3700	1400	2400
Chrysen		630	1500	3600	3000	1200	2200
Benzo b flouranten		1200	3000	4800	4800	2900	4200
Benzo jk flouranten		430	1100	2000	1900	950	1600
Benzo e pyren				2700			2200
Benzo a pyren		720	2100	3800	3900	1900	2900
Perylen				1100			690
Indeno 123 cd anthracene		680	1700	2600	2300	1600	2000
Dibenz a ca h anthracene		150	410	650	690	390	520
Benzo ghi perylene		620	1500	2600	1900	1400	2000
Dibenzotiofen				530			300
PAH16Sum		9080	22394	60359	41680	19341	36370
KPAH	3820	10110	17250	17290	9140	13620	
NDP	750	1540	11230	4690	1460	3320	
TBT	540	490		41	390		
Olje C10-C40	210	490		200	480		

STASJON	A11bc	A11bc	A11bc	A13	A14	A15c
Latitud	58,45808	58,45808	58,45808	58,45818	58,45942	58,45727
Longitud	8,76198	8,76198	8,76198	8,76962	8,76847	8,77667
Dyp	16,3	16,3	16,3	21,2	12	35,4
Sedimentstruktur	Silt leire	Silt leire	Silt leire	Leire sand	Leire sand	Leire
Sediment dyp	2-4cm	4-6cm	10-12cm	0-2cm	0-2cm	0-2cm
TTS %	34	32	32	23	28,8	29,5
Korn <63 %	49	44	77	59	43	92
TOC %	8,92	6,64	9,4	13,4	8,44	5,85
Cd					1,2	0,3
Cu					208	85,9
Cr					47,3	49,2
Hg	6,59	8,28	14,59	8,10	4,69	1,33
Pb					202	148
PCB28	4,1	5	10	6	2,6	1
PCB52	9,9	10	19	6,7	3,5	0,99
PCB101	18	21	43	12	17	1,7
PCB118	15	16	36	11	16	1,7
PCB138	30	33	63	21	28	2
PCB153	32	42	66			
PCB180	33	28	52	7,3	17	0,68
PCB7D	142	155	289	64	84,1	8,07
PCBSum	142	155	289	64	84,1	8,07
Naftalen	390	410	370	230	170	170
Acenaftylen	97	140	100	95	65	53
Acenaften	140	140	70	61	530	67
Fluoren	240	260	160	140	280	100
Fenantren	1500	1900	2300	1600	2200	1000
Antracen	570	640	530	330	610	270
Flouranten	3400	3900	5700	3000	4100	2400
Pyren	3700	4100	5200	2600	3600	2000
Benz a antracen	1700	2000	2300	1100	2300	1200
Chrysen	1600	1800	2400	1200	1900	1000
Benzo b flouranten	3400	3900	4900	2200	3600	1900
Benzo jk flouranten	1300	1500	1800	870	1300	660
Benzo e pyren	1900	2100	2800	1300		
Benzo a pyren	2400	2700	3400	1500	2600	1300
Perylen	580	610	820	410		
Indeno 123 cd anthracene	1700	1900	2500	1200	2000	1100
Dibenz a ca h anthracene	430	490	600	260	550	280
Benzo ghi perylene	1700	1900	2600	1200	1600	900
Dibenzotiofen	150	170	160	120		
PAH16Sum	26897	30560	38710	19416	27405	14400
KPAH	10930	12490	15500	7130	12350	6440
NDP	2040	2480	2830	1950	2370	1170
TBT					1900	95
Olje C10-C40					550	110

STASJON	A15c	A15c	A15c	A17	A20	A22b
Latitud	58,45727	58,45727	58,45727	58,45457	58,46085	58,46077
Longitud	8,77667	8,77667	8,77667	8,78380	8,77555	8,78503
Dyp	35,4	35,4	35,4	22,8	29,8	22
Sedimentstruktur	Leire	Leire	Leire	Silt leire	Leire	Leire sand
Sediment dyp	2-4cm	4-6cm	10-12cm	0-2cm	0-2cm	0-2cm
TTS %	31	32	33	26,9	38,7	54
Korn <63 %	89	87	87	68	64	30
TOC %	5,85	6,23	6,15	9,03	4,65	1,66
Cd				0,86	0,3	0,2
Cu				157	109	33,1
Cr				51,4	39,3	18,2
Hg	1,41	1,56	1,54	1,73	0,85	0,47
Pb				201	130	73
PCB28	0,77	0,96	1,2	1,3	0,86	0,2
PCB52	0,63	1	1,4	1,2	1,8	0,2
PCB101	1,5	1,9	2,5	2,9	5,3	0,34
PCB118	1,2	1,3	1,8	3,4	4,8	0,21
PCB138	2,1	2,4	2,6	5,5	6,9	0,62
PCB153						
PCB180	0,76	0,91	1,2	2,1	4	0,2
PCB7D	6,96	8,47	10,7	16,4	23,66	1,37
PCBSum	6,96	8,47	10,7	16,4	23,66	1,37
Naftalen	180	180	210	200	190	70
Acenaftylen	45	46	54	88	120	22
Acenaften	86	51	90	87	57	21
Fluoren	120	87	120	140	110	39
Fenantren	1200	880	1300	1400	1100	400
Antracen	290	190	280	390	480	87
Flouranten	2700	2200	2800	4000	2900	920
Pyren	2300	1900	2400	3500	2400	800
Benz a antracen	1100	900	1200	2000	1500	370
Chrysen	1200	870	1200	1600	1300	370
Benzo b flouranten	1800	1500	2000	3000	2200	610
Benzo jk flouranten	730	640	790	1100	800	250
Benzo e pyren	1000	920	1200			370
Benzo a pyren	1300	1100	1500	2100	1600	460
Perylen	350	310	380			120
Indeno 123 cd anthracene	1000	880	1100	1700	1200	360
Dibenz a ca h anthracene	240	210	270	420	300	87
Benzo ghi perylene	1100	930	1200	1400	1000	380
Dibenzotiofen	86	62	86			27
PAH16Sum	16827	13856	18180	23125	17257	5763
KPAH	6170	5230	6860	10320	7600	2137
NDP	1466	1122	1596	1600	1290	497
TBT				89	93	14
Olje C10-C40				190	120	110

STASJON	A23	A25	A28	A31c	A31c	A31c
Latitud	58,45920	58,46428	58,46990	58,46875	58,46875	58,46875
Longitud	8,79503	8,79260	8,80083	8,81442	8,81442	8,81442
Dyp	16,2	27,5	13,1	34,5	34,5	34,5
Sedimentstruktur	Leire	Silt leire	Leire	Leire	Leire	Leire
Sediment dyp	0-2cm	0-2cm	0-2cm	0-2cm	2-4cm	4-6cm
TTS %	20,6	31,3	42,2	22,5	31	25
Korn <63 %	68	88	45	89	84	85
TOC %	9,48	5,03	4,5	6,76	6,93	6,83
Cd	0,6	0,2	0,3	0,6		
Cu	121	65,2	55,8	76,1		
Cr	53,8	47,7	31,9	58,6		
Hg	1,54	0,84	0,43	0,46	0,51	0,58
Pb	204	115	73,8	91,9		
PCB28	1,6	0,58	0,81	0,65	0,62	0,74
PCB52	1,2	0,52	0,66	0,5	0,96	0,72
PCB101	2,3	1,1	1,1	1	0,82	0,93
PCB118	2,1	0,85	1,1	0,89	0,69	0,7
PCB138	3,7	1,4	1,9	1,4	1,6	1,6
PCB153						
PCB180	2,5	0,62	0,87	0,5	0,39	0,68
PCB7D	13,4	5,07	6,44	3,94	5,08	5,37
PCBSum	13,4	5,07	6,44	3,94	5,08	5,37
Naftalen	180	120	51	86	77	110
Acenaftylen	80	34	23	16	10	14
Acenaften	110	60	22	30	24	63
Fluoren	140	74	37	46	38	71
Fenantren	1500	610	390	390	370	540
Antracen	400	150	91	99	65	100
Flouranten	3700	1400	840	810	670	1100
Pyren	3300	1100	710	670	560	880
Benzo a antracen	1800	660	360	390	310	400
Chrysen	1500	620	350	540	430	490
Benzo b flouranten	3000	1100	640	720	640	780
Benzo jk flouranten	1000	380	230	230	230	300
Benzo e pyren					430	500
Benzo a pyren	2100	720	440	450	340	440
Perylen					91	130
Indeno 123 cd anthracene	1700	590	340	350	300	400
Dibenz a ca h anthracene	400	150	82	120	91	110
Benzo ghi perylene	1500	530	320	370	370	470
Dibenzotiofen					36	48
PAH16Sum	22410	8298	4926	5317	5082	6946
KPAH	10000	3600	2092	2260	1911	2430
NDP	1680	730	441	476	483	698
TBT	110	120	55	460		
Olje C10-C40	140	80	100	70		

STASJON	A31c	A36	A38	A39c	A39c	A39c
Latitud	58,46875	58,47592	58,48005	58,48237	58,48237	58,48237
Longitud	8,81442	8,82422	8,84905	8,84308	8,84308	8,84308
Dyp	34,5	9,2	24,3	56,8	56,8	56,8
Sedimentstruktur	Leire	Silt leire	Silt leire	Silt leire	Silt leire	Silt leire
Sediment dyp	10-12cm	0-2cm	0-2cm	0-2cm	2-4cm	4-6cm
TTS %	26	14,3	52	30,3	28	29
Korn <63 %	79	77	39	53	64	69
TOC %	4,02	13,1	1,73	6,88	7,09	7,21
Cd		2,1	0,2	0,6		
Cu		101	16	60,8		
Cr		52	18,1	62,4		
Hg	0,24	0,50	0,16	0,35	0,53	0,52
Pb		112	27	86,9		
PCB28	0,52	1	0,5	0,52	0,65	0,7
PCB52	0,76	1	0,5	0,5	1,2	2,2
PCB101	0,69	1	0,5	1,1	1,2	1,7
PCB118	0,53	1	0,5	0,81	0,83	1,1
PCB138	1,2	1,7	0,5	1,1	1,2	1,8
PCB153						
PCB180	0,25	0,68	0,5	0,5	0,39	0,55
PCB7D	3,95	4,38	0	3,53	5,47	8,05
PCBSum	3,95	4,38	0	3,53	5,47	8,05
Naftalen	52	110	25	120	140	140
Acenaftylen	5,1	30	5,1	8,8	11	10
Acenaften	23	50	15	85	70	65
Fluoren	26	82	20	94	85	69
Fenantren	250	750	160	820	810	590
Antracen	47	180	41	200	160	120
Flouranten	470	1700	300	1300	1300	1100
Pyren	460	1400	250	1100	1100	890
Benzo a antracen	200	720	130	590	580	970
Chrysen	260	760	180	1000	820	1500
Benzo b flouranten	440	1400	260	1100	1000	1700
Benzo jk flouranten	170	490	95	330	370	500
Benzo e pyren	290				680	980
Benzo a pyren	250	920	160	630	540	610
Perylen	97				150	150
Indeno 123 cd anthracene	230	720	130	450	460	450
Dibenz a ca h anthracene	53	180	37	170	160	170
Benzo ghi perylene	270	690	150	500	580	580
Dibenzotiofen	20				72	61
PAH16Sum	3613,1	10182	1958,1	8497,8	9088	10655
KPAH	1343	4430	812	3270	3110	4400
NDP	322	860	185	940	1022	791
TBT		300	12	110		
Olje C10-C40		90	50	110		

STASJON	A39c	A40	A44	A46
Latitud	58,48237	58,48383	58,49657	58,50240
Longitud	8,84308	8,83600	8,86870	8,86028
Dyp	56,8	16	15	13,5
Sedimentstruktur	Silt leire	Silt leire	Silt leire	Silt leire
Sediment dyp	10-12cm	0-2cm	0-2cm	0-2cm
TTS %	32	27,6	26,5	14,4
Korn <63 %	56	75	93	91
TOC %	7,17	6,36	17,9	13,1
Cd		0,5	0,4	3
Cu		53,6	74,7	115
Cr		40,5	286	120
Hg	0,91	0,44	0,19	1,66
Pb		74,9	41,5	175
PCB28	0,92	0,77	0,75	1,7
PCB52	2,6	1,6	0,5	1,8
PCB101	3,8	4,4	0,5	1,9
PCB118	2,7	3,6	0,5	1,3
PCB138	4,1	5,5	0,66	2,4
PCB153				
PCB180	1,4	1,8	0,5	1,8
PCB7D	15,52	17,67	1,41	10,9
PCBSum	15,52	17,67	1,41	10,9
Naftalen	150	120	110	190
Acenaftylen	15	29	8	29
Acenaften	87	61	21	98
Fluoren	94	82	42	140
Fenantren	830	740	430	1400
Antracen	160	150	88	290
Flouranten	1300	1500	530	2200
Pyren	1200	1200	570	3000
Benz a antracen	610	660	410	800
Chrysen	750	860	860	1000
Benzo b flouranten	1300	1200	580	3500
Benzo jk flouranten	440	420	160	1000
Benzo e pyren	770			
Benzo a pyren	600	790	480	1400
Perylen	160			
Indeno 123 cd anthracene	570	620	260	1300
Dibenz a ca h anthracene	160	180	230	350
Benzo ghi perylene	670	630	460	1300
Dibenzotiofen	72			
PAH16Sum	9938	9242	5239	17997
KPAH	3680	3870	2120	8350
NDP	1052	860	540	1590
TBT		57	67	11
Olje C10-C40		90	110	130