

Tiltaksrettede undersøkelser i Lundevågen, Farsund, trinn 3 risikovurdering



Rene Listerfjorder

Ole K. Larsen

Tiltaksrettede undersøkelser i Lundevågen, Farsund, trinn 3 risikovurdering

Rene Listerfjorder

Ecofact rapport: 409

www.ecofact.no

Referanse til rapporten:	Larsen, O.K. 2014. Tiltaksrettede undersøkelser i Lundevågen, Farsund, trinn 3 risikovurdering. Rene Listerfjorder. Ecofact rapport 409, 64 s.
Nøkkelord:	Miljøundersøkelser, forurensning, prøvetaking, økologiske tilstander og biotaanalyser
ISSN:	1891-5450
ISBN:	978-82-8262-407-7
Oppdragsgiver:	Farsund kommune / Rene Listerfjorder
Prosjektleder hos Ecofact:	Ole K. Larsen.
Samarbeidspartnere:	
Prosjektmedarbeidere:	Ulla Ledje
Kvalitetssikret av:	Ulla Ledje
Forside:	Lundevågen Foto: Ole K. Larsen

www.ecofact.no

INNHold

1 FORORD	1
2 SAMMENDRAG	2
3 INNLEDNING	4
4 OMRÅDEBESKRIVELSE	5
4.1 GEOGRAFISK AVGRENSNING OG OMRÅDEBESKRIVELSE	5
4.2 FYSISKE FORHOLD	6
4.3 HISTORIKK OG AREALUTNYTTELSE.....	7
5 TIDLIGERE UNDERSØKELSER.....	10
6 ØNSKET MILJØTILSTAND.....	11
6.1 LANGSIKTIG FORVALTNINGSMÅL	11
6.2 LOKALE TILTAKSMÅL	11
7 METODE	13
7.1 RISIKOVURDERING ETTER TRINN 3.....	13
7.2 SEDIMENTPRØVER	13
7.3 HELSEDIMENTTEST.....	14
7.4 POREVANNSPRØVER	15
7.5 MILJØGIFTER I BLÅSKJELL	15
7.6 MILJØGIFTER I BUNNFAUNA	15
7.7 MILJØGIFTER I TORSK (LEVER OG FILET)	16
7.8 OKSYGENPROFILER.....	16
7.9 TURBIDITETSMÅLERE.....	17
7.10 RISIKOANALYSE – GJENNOMFØRING	18
7.11 RISIKOANALYSE- MODELLERING OG PRESENTASJON.....	18
8 RESULTATER	20
8.1 SEDIMENTKJEMI	20
8.1.1 Verneområdet	20
8.1.2 Kommunekaia	22
8.1.3 Smalsundet	23
8.1.4 Lundevågen (d)	25
8.1.5 Oversikt over prøvepunkter og feltobservasjoner	27
8.1.6 Oppsummert	28
8.2 HELSEDIMENTTEST.....	31
8.3 ANALYSER AV BUNNFAUNA.....	32
8.4 ANALYSER AV BLÅSKJELL.....	33
8.5 ANALYSER AV TORSK (<i>GADUS MOHUA</i>)	35
8.6 UTVIDEDE PAH ANALYSER	37
8.7 TURBIDITETSMÅLINGER.....	38
8.8 OKSYGENPROFILER.....	40
9 RISIKOVURDERING TRINN 3.....	41
9.1 BAKGRUNN	41
9.2 RESULTATER FRA BEREGNINGSVERKTØY IHT. TA2802/2011	42
9.2.1 Verneområdet	42

9.2.2	<i>Kommunekaien</i>	45
9.2.3	<i>Smalsundet</i>	48
9.2.4	<i>Lundevågen(d)</i>	51
9.3	VURDERINGER	54
9.4	FORURENSNINGSKILDER	55
9.5	ØVRIGE BETRAKTNINGER	56
10	KONKLUSJON	57
10.1	VERNEOMRÅDET	57
10.2	KOMMUNEKAI	57
10.3	SMALSUNDET	57
10.4	LUNDEVÅGEN (D)	57
10.5	OPPSUMMERT	58
11	KILDER	59

1 FORORD

Ecofact har blitt engasjert av Farsund kommune, gjennom Rene Listerfjorder ved Terje Aamot, til å gjennomføre en risikovurdering av sedimentene i Lundevågen, Farsund. Feltarbeidet ble gjennomført forsommer 2014 av Ulla Ledje og undertegnede. Det rettes stor takk til Marvin Brekne som stilte med ruser for prøvefiske og var til stor bistand i arbeidet. Øystein Hadland fra skjærgårdstjenesten takkes også for godt hjelp som skipper av fartøyet Lister.

Til slutt takkes oppdragsgiver v/ Terje Aamot for god dialog og god tilgang til informasjon.

Sandnes
November 2014

Ole K. Larsen

2 SAMMENDRAG

Det er gjennomført miljøundersøkelser i Lundevågen, Farsund, i 2014. Risikovurderingen som ble gjennomført viser at det foregår spredning fra sedimentene og at dette gir negative økologiske effekter på organismesamfunnet. Undersøkelsen viser også at det ikke foregår en merkbar forbedring i forurensningssituasjonen sammenlignet med resultater fra undersøkelser gjennomført i samme området i 2006.

Undersøkelsesområdet ligger i Farsund kommune, like sør for Farsund by og er en mindre fjordarm i forbindelse med Byfjorden i østlig retning.

Lundevågen er inndelt i fire delområder som vurderes hver for seg.

Det er tidligere formulert både langsiktige forvaltningsmål og lokale miljømål for området.

Langsiktige forvaltningsmål:

- Kvaliteten av 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.

Lokale miljømål:

- Det skal ikke være økologiske skader med opphav i sedimentene i Verneområdet innerst i Lundevågen.
- Lundevågen skal være et industriområde.
- Det skal være en akseptabel vannkvalitet i Lundevågen og det skal ikke være spredning av miljøgifter til området utenfor.
- Det skal ikke være helsemessig risiko forbundet med å konsumere fisk fanget i det nære byområdet eller i fjordområdet utenfor

Det er gjennomført analyser på sediment, porevann, biota og spredning (turbiditet) og resultatene er lagt inn i regnearket etter veileder TA-2802 og utgjør grunnlaget for en Trinn 3 risikovurdering. Basert på risikovurdering og øvrige vurderinger av nye og gamle stasjonsdata vurderes det om det trengs en tiltaksplan.

Resultatene viser at forurensningssituasjonen i Lundevågen er dårlig. Det er spesielt parametrene PAH, TBT, PCB og kobber som utgjør problemene. Man kan også finne igjen enkelte miljøgifter i biotaprøvene.

Risikovurderingen identifiserer flere overskridelser av akseptabel risiko for de forskjellige delområdene:

Verneområdet

- Spredning: PAH
- Human helse: Arsen, kobber, kvikksølv og PCB
- Økologisk: PAH, TBT

Kommunkaia

- Spredning: Arsen, bly, kobber, sink, PAH og TBT
- Human helse: Arsen, kvikksølv og PCB
- Økologisk: Metaller, PAH, TBT

Smalsundet

- Spredning: PAH
- Human helse: Arsen kvikksølv og PCB
- Økologisk: PAH, TBT

Lundevågen(d)

- Spredning: Metaller, PAH og TBT
- Human helse: Arsen, kobber, kvikksølv og PCB
- Økologisk: Metaller, PAH, TBT

Basert på risikovurderingen sammen med stasjonsdata og supplerende undersøkelser vurderes ingen av de 4 delområdene å oppfølge miljømålene. For å oppnå miljømålene bør det iverksettes tiltak i alle 4 delområder

3 INNLEDNING

Spredning av miljøgifter fra produkter, industri, transport og avfallsbehandling fører til en gradvis forurensing av jord, luft og vann. Denne ukontrollerte spredningen av miljøgifter er en av de største miljøutfordringene vi står overfor i dag.

Stortingsmelding nr. 12, (2001 – 2002) ”Rent og rikt hav” gir føringer om hvordan vi skal bekjempe miljøgifter i våre fjorder. I Listerregionen har vi flere fjordområder som er belastet med miljøgifter. Dette er avdekket i forbindelse med arbeidet med å utarbeide fylkesvise tiltaksplaner for forurensede sedimenter. I tidligere undersøkelser er det påvist miljøgifter i fjordområder i Flekkefjord, Kvinesdal og Farsund. Dette kan være miljøgifter som stammer fra gamle industriutslipp, avfallsfyllinger eller andre aktiviteter. Slike forurensinger truer både miljøet og vår egen helse. Miljøgiftene blir tatt opp i planter og dyr, og er derfor en fare for biologisk mangfold og vår egen næringskjede. For å unngå at vi belastes med unødige høye inntak av miljøgifter er det innført kostholdsråd for konsum av fisk og skalldyr i flere fjorder i Listerregionen. Disse fjordene berører Flekkefjord, Kvinesdal og Farsund.

I henhold til stortingsmelding nr. 14, (2006 – 2007) ”Sammen for et giftfritt miljø – forutsetninger for en tryggere framtid” er overordnet langsiktig mål i miljøgifts- og kjemikaliepolitikken i Norge at:

utslipp og bruk av helse og miljøfarlige stoffer ikke skal føre til helseskader, skader på økosystemer eller skader på naturens evne til produksjon og selvfornyelse. Konsentrasjonen av de farligste kjemikaliene i miljøet skal bringes ned mot bakgrunnsnivået for naturlig forekommende stoffer, og tilnærmet null for menneskeskapte forbindelser

Flekkefjord, Kvinesdal og Farsund kommuner ønsker å bidra til å nå dette nasjonale målet gjennom å øke innsatsen rettet mot tiltak i de forurensede sedimentene i kommunenes fjorder. Kommunene har derfor opprettet prosjektet ”Rene Listerfjorder”. Denne undersøkelsen er et ledd i dette prosjektet og har til hensikt å peke på konkrete opprydningstiltak om forurensningssituasjonen tilsier dette.

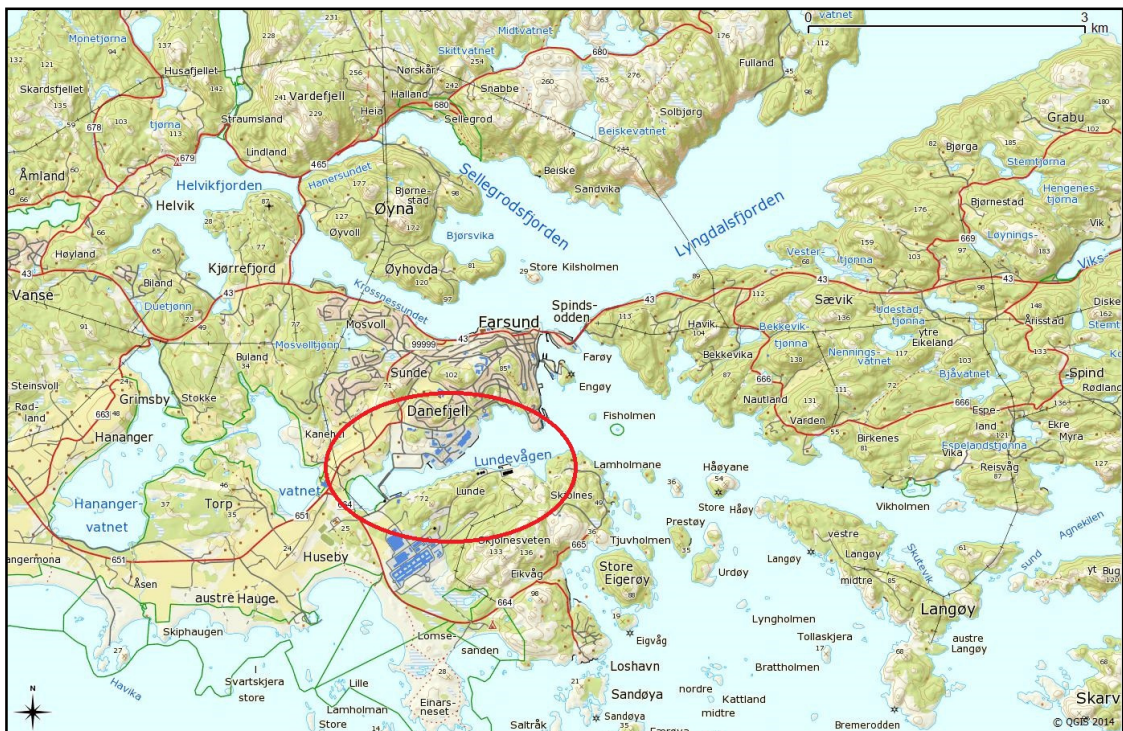
Det er tidligere gjennomført trinn 1 (Fylkesmannen i Vest-Agder 2003) og trinn 2 (NIVA 2006) undersøkelser. Resultatene fra disse undersøkelsene indikerer en naturlig forbedring av tilstanden i Lundevågen. Denne undersøkelsen er ment å svare på om det foregår en naturlig forbedring, og i så tilfelle om denne er tilfredsstillende i forhold til satte miljømål. Hvis situasjonen ikke er tilfredsstillende må det vurderes opprydningstiltak for å sikre at miljømålene blir nådd.

Miljøundersøkelsen er gjennomført i henhold til retningslinjer og veiledere fra Miljødirektoratet.

4 OMRÅDEBESKRIVELSE

4.1 Geografisk avgrensning og områdebeskrivelse

Undersøkelsesområdet ligger i Farsund kommune, like sør for Farsund by og er en mindre fjordarm i forbindelse med Byfjorden i østlig retning. Området heter Lundevågen, og er blitt undersøkt i sin helhet (figur 1). Lundevågen er en fjordarm som går til vest fra Byfjorden. Byfjorden er sjøområdet mellom Noresundbroa og de åpne havområdene utenfor fjordsystemet som består av Lyngdalsfjorden og Sellegrodsfjorden, samt innenforliggende fjordarmer som Framvaren, Åpta- og Drangs fjorden.

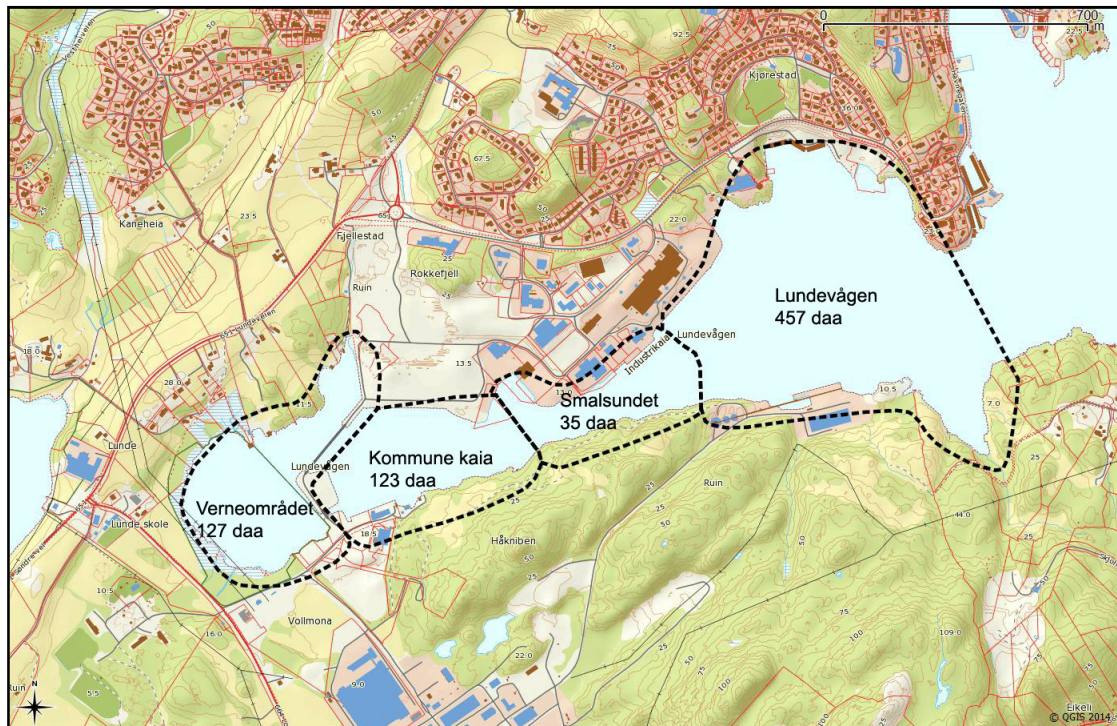


Figur 1. Regional lokalisering av undersøkelsen

Byfjorden er en terskelfjord med begrenset vannutskiftning. Terskeldypet er 20-25 meter mens store deler av fjorden har en dybde på 50-100 meter. De ytre delene av Lundevågen som har en dybde på ca. 30-35 meter, har god vannutskiftning mot Byfjorden, men omtrent midt i Lundevågen (Smalsundet) ligger det en terskel på ca. 16 meter som gir dårligere utskiftning i de indre deler av området hvor det er et basseng på ca. 27 meter. Alcoa Lista tar inn 4.500 m³/time kjølevann fra ca. 2 meters dyp innerst i Lundevågen. Volumet er så stort at det kan påvirke utskiftningsforholdene i den innerste delen av fjordarmen.

Lundevågen er i dette og tidligere prosjekt inndelt i fire delområder som er navngitt fra øst til vest med Lundevågen, Smalsundet, Kommunekaiaen og Verneområde (figur 2). Inndelingen anses som hensiktsmessig da de forskjellige delområdene har hver sin egenart og bruksområde (vannutskiftning, strømningsforhold, dyp, osv.). Delområdet

Lundevågen blir heretter omtalt som Lundevågen (d), for å hindre forveksling med hele undersøkelsesområdet Lundevågen.

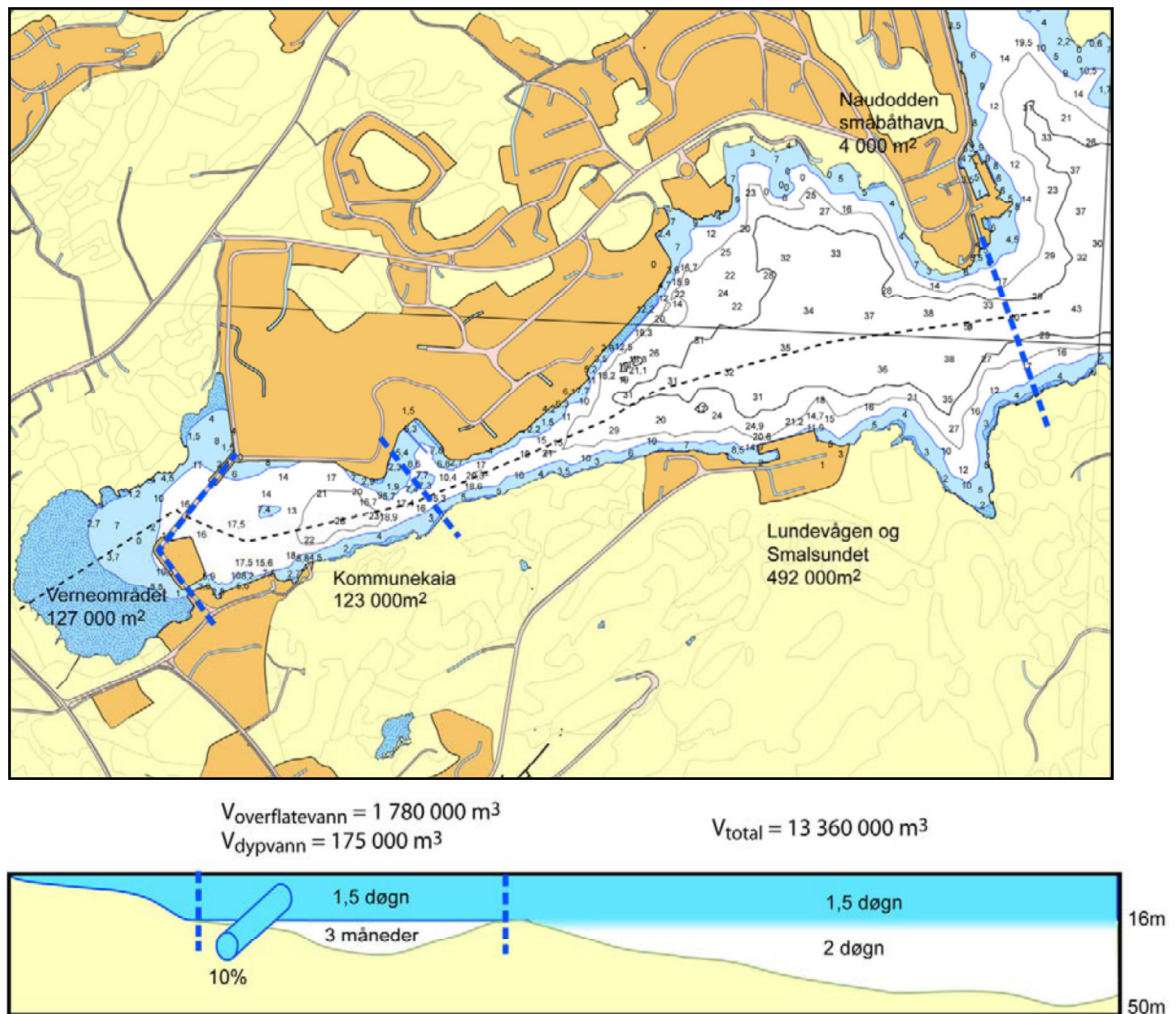


Figur 2. Lundevågen er inndelt i fire delområder.

4.2 Fysiske forhold

Det ble i 2006 beregnet oppholdstid for sjøvann i de forskjellige bassengene. Beregningene er gjort for 3 områder hvor Lundevågen (d) og Smalsundet vurderes som samme basseng, dette fordi terskelen til innenforliggende områder er innerst i Smalsundet. Figur 3 viser areal og oppholdstid i de forskjellige bassengene. Oppholdstiden for vann i ytre del av Lundevågen beregnes til mellom 1 og 3 døgn, mens oppholdstiden for vann i indre delen av Lundevågen påvirkes av terskelen. Dette medfører at vann under terskeldyp på ca. 16 meter har en oppholdstid på ca. 3 måneder.

Lundevågen ligger beskyttet til og har dermed en relativt høy sedimentasjonsrate. Beregninger viser en sedimentasjonsrate på 4 mm i året (Næs og Bjerkeng 2003) Dette gjør at bunnforholdene i områder som ikke påvirkes av bølgeerosjon for det meste består av fine kornstørrelser. Unntaksvis er det noe grovere sand, da spesielt innerst i verneområdet, og enkelte områder med skjellgrus nær strandsonen i de ytterste områdene mot Byfjorden samt flekkvis i Smalsundet.



Figur 3. Vannvolum og oppholdstid for vann i de forskjellige bassengene samt dybdeforhold i Lundevågen. Påvirkning fra pumping av kjølevann til aluminiumsverket er beregnet til ca. 10 % av den totale vannutskiftningen i det indre bassenget (kommuneikaia) (Nilsson og Næs 2006).

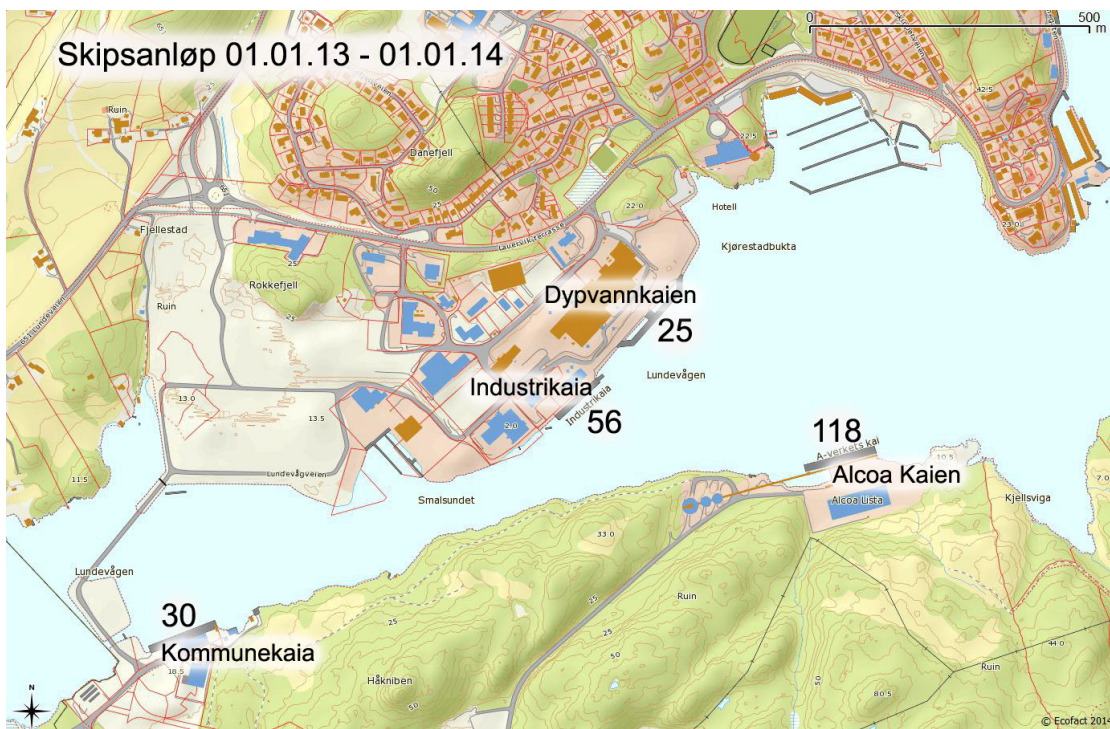
4.3 Historikk og arealutnyttelse

Lundevågen har vært et område med stor aktivitet gjennom mange år. Alcoa Lista har en havn ytterst i fjorden hvor man tar imot viktige råvarer som aluminiumoksid, koks og kulltjære-bek. Fra samme kai skipes det ut elektrolysemetall som eksporteres til øvrige deler av Europa. Innerst i Lundevågen ligger kommuneikaia som ble bygd omkring 1940 – 1942. Her har Farsund kommune hatt forskjellige aktiviteter opp gjennom årene.

Ved oppstart av aluminiumsverket i 1970 ble det brukt fast bek som ble losset ved kai. Denne aktiviteten forgikk til 1982 da verket gikk over til flytende bek. Alcoa Lista (tidl. Elkem aluminium) var en foregangsbedrift ved overgang til flytende bek hvor risikoen for utslipp anses som minimal.

Lundevågen har også en gammel skipshistorie, hvor området har vært anløpssted for dampskip. Dette medførte relativt omfattende handels- og transport aktiviteter som kan tenkes å ha bidratt til lokal PAH-forurensning.

Det er også i dag stor aktivitet i området. Alle de tre ytterste områdene har regelmessige skipsanløp, men Elkem lista sitt kaianlegg er det området som har hyppigst anløp (figur 4). Således er alle delområdene utenom Verneområdet potensielt utsatt for propellturbasjon og mulig oppvirkning og spredning av sedimenter.



Figur 4. Skipsanløp i Lundevågen 2013.

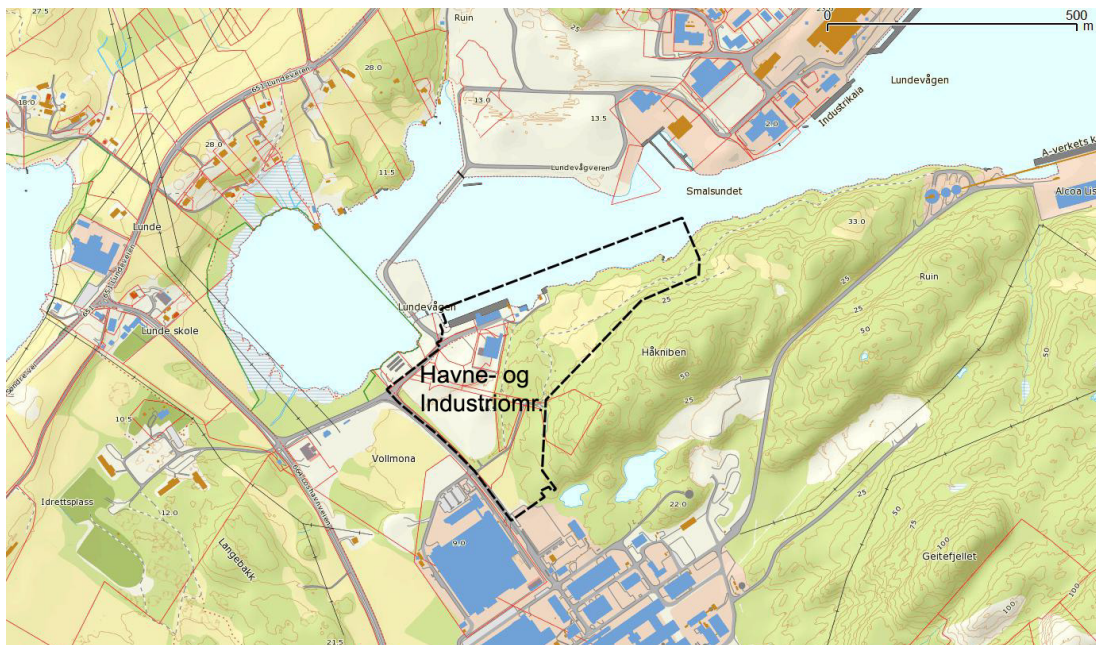
Den største andelen av varer som blir lastet eller losset i Lundevågen er petroleumsrelaterte varer. Tabellen nedenfor gir en oversikt over godsmengde fra 1.12.13-1.12.14:

Vare	Tonn lastet og losset
Sand, grus, singel, stein, bulk	5 510
Petroleumsprodukter og relaterte prod.	212 921
Stålprodukter inkl. metallretur	812
Sement, kalk, salt og gjødsel	450
Diverse produkter	44 657
Aluminium	74 956
Total	339 305

Flytende bek til aluminiumsproduksjon utgjør mesteparten av godset under petroleumsprodukter.

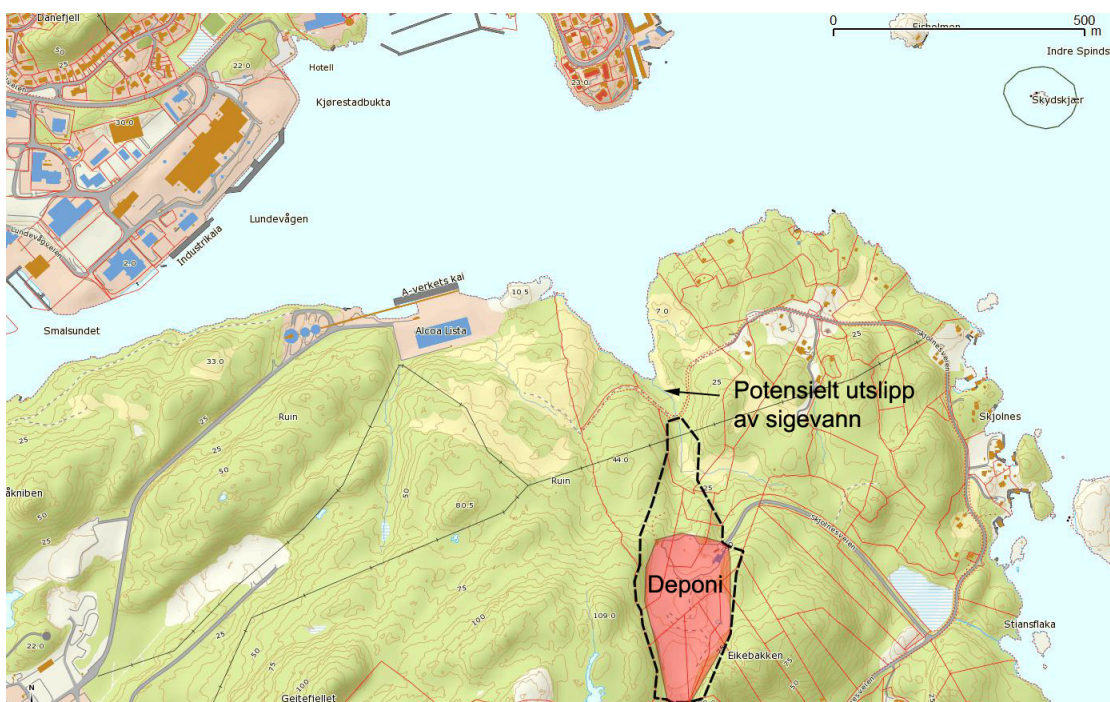
Det er varslet en reguleringsplan ved kommunekaia. Området er regulert til havne- og industriområde. Det er per i dag usikker når eller om planen blir realisert. Men

planens natur og det regulerte området størrelse tilsier konsekvensutredning etter «forskrift om konsekvensutredning». Potensielle konflikter med eventuelle tiltak i Lundevågen skal i så måte belyses og samfunnsinteressen skal ivaretas gjennom konsekvensutredningen.



Figur 5. Omrisset av reguleringsplan for havne- og industriområde.

I tillegg til maritime bruksområder så ligger det et avfallsdeponi på Skjoldnes. Det leder en bekk fra området og ned i Kjellesvika øst for Alcoa Lista kaien. Det finnes et vist potensiale for at det kan drenere sigevann med uønskede elementer fra deponiet og ut i bekken.



Figur 6. Deponi på Skjoldnes

5 TIDLIGERE UNDERSØKELSER

Kostholdsrådet for Farsund ble innført i 2000, og er gitt på bakgrunn av PCB og PAH. Rådet er ikke revurdert siden 2000.

Advarsel: Ikke spis skjell fra Framvaren, Åptafjorden, Lyngdalsfjorden, Lundevågen og Byfjorden. Området avgrenses i sydøst av en linje mellom odden øst for Skjoldnes og odden sydvest for Havik i Spind.

Rapport fra fase 1 i det aktuelle området ble utført av Fylkesmannen november 2003 og omfattet inndeling og beskrivelse av fjordområdene samt en sammenstilling av eksisterende kunnskap om problemomfang, forurensningskilder og interessekonflikter.

Det ble i 2006 gjennomført miljøundersøkelser, risikovurdering trinn 2 i Lundevågen. Resultatene fra disse undersøkelsene danner et sammenligningsgrunnlag for denne rapporten.

Følgende konklusjoner ble framstilt:

«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.»

«På alle stasjoner var det en overskridelse av akseptabel risiko, men i varierende grad. Det eksisterer imidlertid ikke grenseverdier som kan bedømme overskridelsene nærmere. Resultatene fra de stedsspesifikke målingene viser at risikoen som de forurensede sedimentene representerer, i hovedsak kan knyttes til innholdet av PCB. Særlig gjelder det området ved Kommunekaia i Lundevågen, området ved Naudodden småbåthavn og området ved Engøy»

Det gjøres oppmerksom på at undersøkelsesområdet i 2006 var noe større enn i 2014, da det i 2014 var begrenset til Lundevågen. Det er allerede gjennomført tiltak ved både Engøy og Naudodden.

6 ØNSKET MILJØTILSTAND

Fastsettelse av miljømål er nødvendig ved planlegging og gjennomføring av tiltak mot forurensede sedimenter. Målene kan være på forskjellige nivåer som langsiktige forvaltningsmål og lokale tiltaksmål.

Miljømålene bør forankres hos sentrale interesser. Dette vil være kommuner, regionale/sentrale miljømyndigheter, industrien og interesseorganisasjoner. Det er ikke fastsatt lokale miljømål politisk for det aktuelle området, men miljømål er diskutert og forankret i en arbeidsgruppe nedsatt 14. november 2005. Arbeidsgruppen besto av representanter fra kommunen, Bredero Price, Elkem Aluminium Lista (Alcoa Lista) og Fylkesmannen i Vest-Agders miljøvernnavdeling. Det var generell enighet om formuleringene, men det ble påpekt vanskeligheten med økologiske mål i verneområdet.

6.1 Langsiktig forvaltningsmål

Forslagene til langsiktige forvaltningsmål lyder som følgende:

- Kvaliteten av 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.

I tillegg til målsetningen fra arbeidsgruppen er vanndirektivets målsetning om at alle vannforekomster skal ha god kjemisk og økologisk et overordnet forvaltningsmål.

6.2 Lokale tiltaksmål

Tiltak mot forurensede sedimenter gjennomføres for å redusere miljømessig risiko. Risikoen knyttes til:

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

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

- Det skal ikke være økologiske skader med opphav i sedimentene i Verneområdet innerst i Lundevågen.
- Lundevågen skal være et industriområde.

- Det skal være en akseptabel vannkvalitet i Lundevågen og det skal ikke være spredning av miljøgifter til området utenfor.
- Det skal ikke være helsemessig risiko forbundet med å konsumere fisk fanget i det nære byområdet eller i fjordområdet utenfor

7 METODE

7.1 Risikovurdering etter trinn 3

Metoden for risikovurdering trinn 3 baserer seg på metode for trinn 2 i miljødirektoratets veileder TA-2802. Det som skiller trinn 3 fra trinn 2 er at trinn 3 er mer skreddersydd for den gitte forurensningssituasjonen avdekket i trinn 2 og er bedre tilpasset lokale forhold. Trinn 3 vil omfatte elementene som inngår i trinn 2, og har til hensikt å verifisere beregningene gjort i trinn 2, ut i fra lokal undersøkelse. Det er et viktig prinsipp at trinn 3 ikke skal være mer konservativ enn trinn 2.

Det finnes stor frihet til å skreddersy undersøkelsene i trinn 3. Undersøkelsene i dette prosjektet er gitt fra oppdragsgiver side med føringer fra Miljødirektoratet.

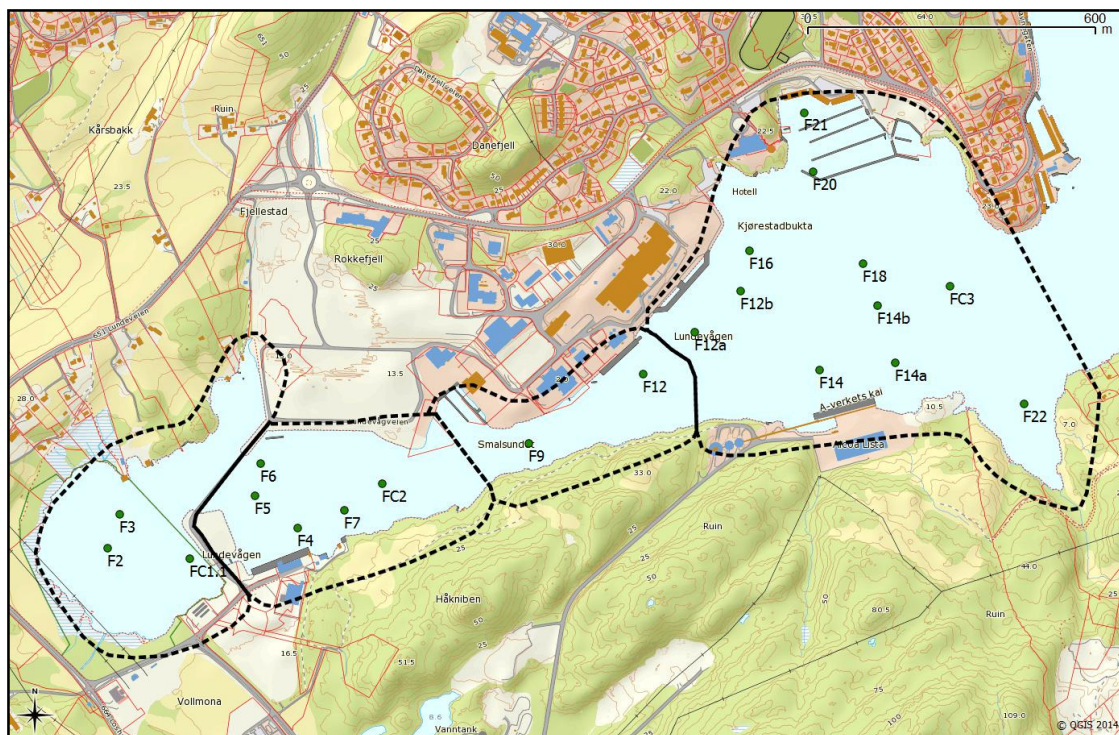
7.2 Sedimentprøver

Det er gjennomført prøvetaking av sedimentene fra 21 stasjoner fordelt på fire delområder i Lundevågen (figur 7). Til sedimentprøvene ble standard feltmetodikk brukt etter internasjonal standard ISO 16665. Det ble hentet ut 6-800 g prøvemateriale per stasjon. For prøvetaking ble det fra båt brukt en Van Veen grabb med volum på 0,1 m³ som har lokk med et nett i rustfritt stål og gummimatter som slipper ut vann i toppen av grabben og dermed reduserer sjokkeffekten når grabben treffer sedimentene.

Det ble tatt fire parallelle prøver på hver stasjon som til sammen utgjør en prøve. For at grabbskuddene skal være godkjent må det være overstående vann over sedimentene og synlig intakt overflate. Det oksygenerte laget (laget med bioturbasjon) ble hentet ut med kajakrør og skje. Dette laget målte ca. 5 cm over hele prøveområdet, men i enkelte tilfeller avvek det noe (+/- 2 cm). Det er ikke tatt kjerneprøver i denne undersøkelsen. Men det foreligger kjerneprøveresultater fra 2006.

Sedimentprøvene ble analysert for:

- Tungmetaller: Hg, Cd, Pb, Cu, Cr, Zn, Ni og As
- Ikke klorerte organiske forbindelser: Enkeltforbindelsene i PAH₁₆
- Klorerte organiske forbindelser: Enkeltkongenene i PCB₇
- TOC
- TBT
- Metylkvikksølv
- Alkylerte PAH (NDP)



Figur 7. 21 prøvepunkt fordelt på 4 delområder

Analyseresultatene sammenstilles med klassegrenser etter TA-2229 (miljødirektoratet 2007).

Tabell 1. Tilstandsklasser for sediment (Miljødirektoratet 2007)

Tilstandsklasse	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5
Beskrivelse	Meget god/bakgrunn	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig
Effekt på vann/sedimentlevende organismer	Ingen toksisk effekt	Ingen toksisk effekt	Kronisk effekt ved langtidseksponering	Akutt toksisk effekt ved korttidseksponering	Omfattende akutt-toksisk effekt

7.3 Helsedimenttest

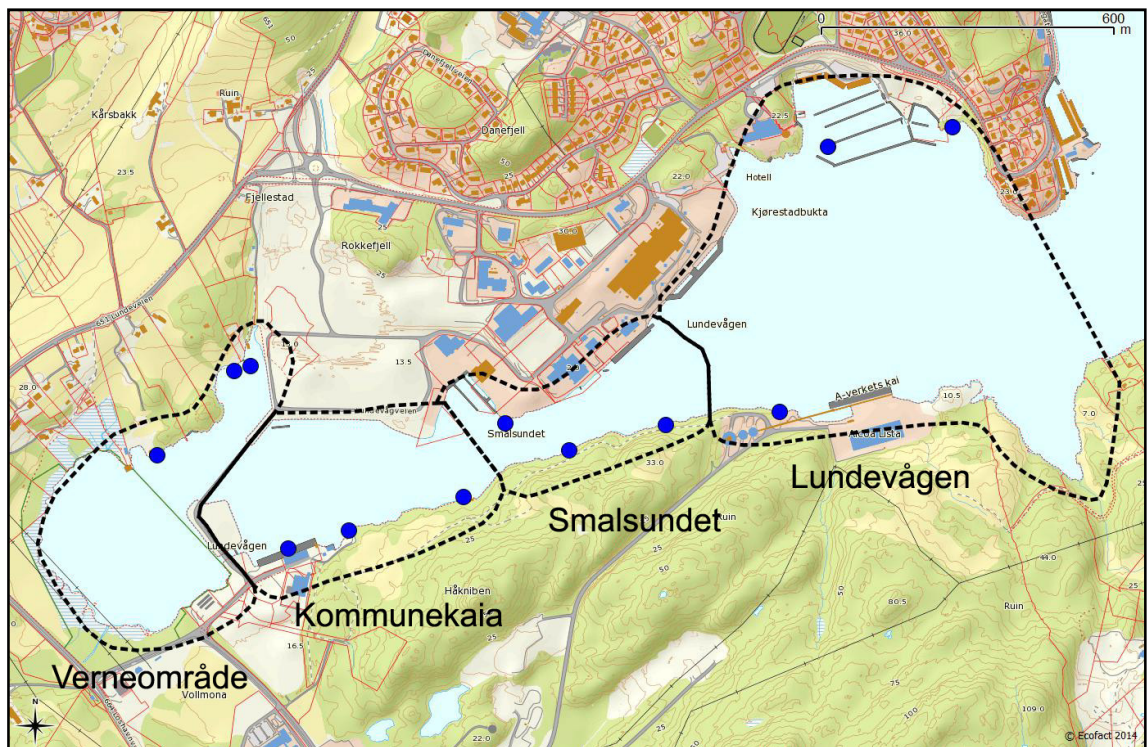
Det ble samlet inn materiale fra hvert delområde for å gjennomføre helsedimenttest. Det ble tatt ut sedimenter fra de 21 stasjonene, samt noen supplerende grabbskudd i Verneområdet og Smalsundet (kun 3 og 2 stasjoner). Prøvene utgjorde 6 liter sediment som ble sendt til testing. Helsedimenttestene ble gjennomført på både fjæremarken *Arenicola marina* og krepsdyret *Corophium volutator*

7.4 Porevannsprøver

For uttak av porevannsprøver ble det hentet ut sedimenter fra 6 delområder. Områdene utgjorde de 3 innerste delområdene (lengst vest) som gjengitt i figur 2. I tillegg ble det opparbeidet 3 prøver fra delområde Lundevågen (d) (lengst øst). Prøvene besto av blandprøver fra de 21 stasjonene, samt supplerende prøver der det ikke ble nok prøvemateriale (Verneområdet og Smalsundet). 10 liter sedimenter ble hentet opp fra hver av de 6 områdene. Prøvene ble sent til laboratorium for porevannsekstraksjon og analyse.

7.5 Miljøgifter i blåskjell

Blåskjell ble hentet i batcher på 3x20 for hvert delområde. De tre innsamlingsstasjonene for hvert delområde utgjør en blandprøve. Innsamlingsstasjonene er gjengitt i figur 8 under. Blåskjellprøvene ble analysert for samme parameter som sedimentprøvene unntatt TOC, men med fettinnhold. Klassegrenser etter TA-1467/1997, *klassifisering av miljøkvaliteter i fjorder og kystvann*, er brukt for å vurdere miljøtilstanden.

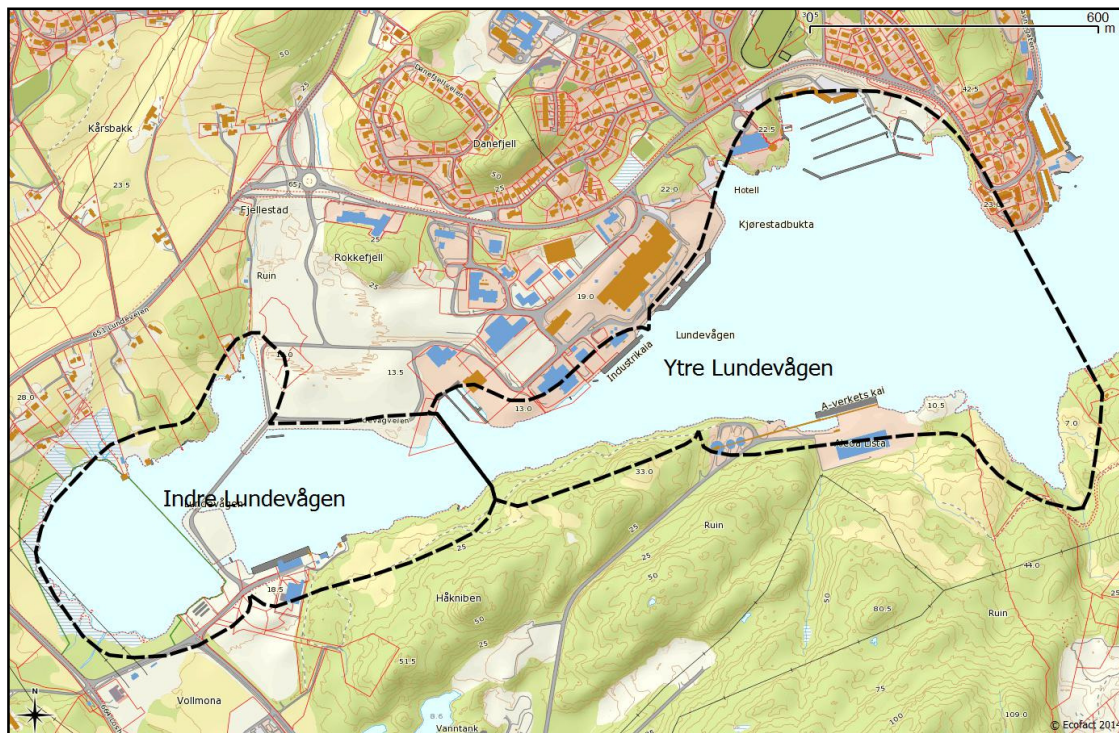


Figur 8. Gjengir 3 innsamlingsstasjoner for blåskjell per delområde.

7.6 Miljøgifter i bunnfauna

Det ble gjennomført kjemisk analyse på to blandprøver av bunnfauna. En for indre Lundevågen (Verneområdet og Kommunekeien) og en for ytre Lundevågen (Smalsundet og Lundevågen (d)) (figur 9). Prøvene besto av både infauna og epifauna. Prøvene var sammensatt av muslinger, pigghuder, børstemark og sjøtenner. Det finnes ikke klassegrenser for bunndyr, men klassegrensene for blåskjell etter TA-

1467/1997, *klassifisering av miljøkvaliteter i fjorder og kystvann*, er brukt for å vurderer miljøtilstanden av bunndyr.



Figur 9. Bunnfaunaprøver og prøver av torsk (filet og lever) samlet inn fra indre og ytre Lundevågen. Prøvene fra Indre Lundevågen supplerer resultatene fra andre analyser for delområdene Verneområdet og Kommunekaia. Prøvene fra Ytre Lundevågen supplerer resultater fra andre analyser for delområdene Smalsundet og Lundevågen (d).

7.7 Miljøgifter i torsk (lever og filet)

Det ble analysert på to blandprøver av torskefilet og to blandprøver av torskelerver. Prøvene ble hentet fra to delområder, en for indre Lundevågen (Verneområdet og Kommunekaia) og en for ytre Lundevågen (Smalsundet og Lundevågen) (figur 9). Det ble fanget 9 individer fra indre Lundevågen og 6 individer fra ytre Lundevågen. Klassegrenser etter TA-1467/1997, *klassifisering av miljøkvaliteter i fjorder og kystvann*, er brukt for å vurderer miljøtilstanden (kvikksølv og PCB7).

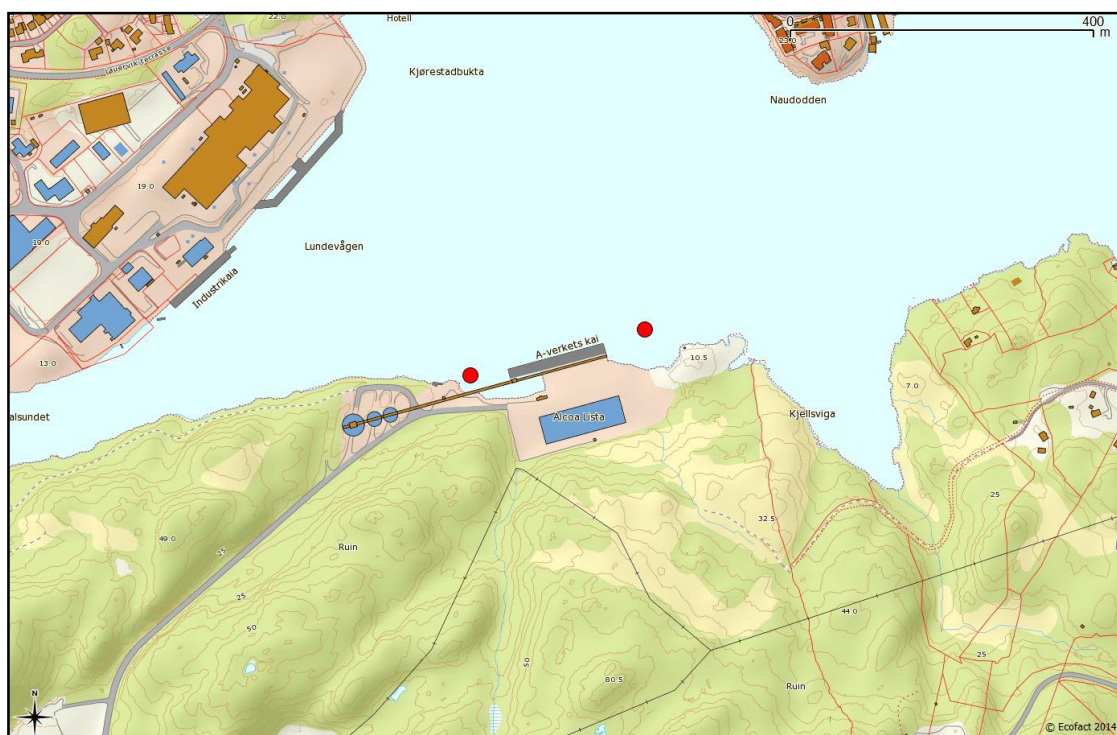
7.8 Oksygenprofiler

Vannsøylens oksygennivå ble undersøkt i sammen med støtteparameter som salinitet og temperatur. Undersøkelsene ble gjennomført med sonde (YSI Professional plus) sentralt i hvert av de fire delområdene.

7.9 Turbiditetsmålere

Det ble satt ut turbiditetsmålere (Aqua logger 210) for å måle spredning av sedimenter som følge av skipstrafikk. To turbiditetsmålere ble satt ut ved den mest trafikkerte kaien (Alcoa Lista) og logget i 11 dager. Loggerne ble plassert på begge sider av kaien (figur 10).

Plassering av turbiditetsmålere ble valgt med tanke på anløpshyppighet. Det var i undersøkelsestidspunktet ikke varslet anløp ved de andre kaiene, men 3 anløp ved Alcoa Lista kaien. Turbiditetsmålerene måtte settes med en avstand på 70 meter fra kaikanten etter instruks fra havnevesenet. Den store avstanden var ikke ideell, men turbiditetsmålerene kunne ikke plasseres nærmere pga. sikkerhet.



Figur 10. Plassering av turbiditetsmålere i forhold til Alcoa Lista kaien.

7.10 Risikoanalyse – Gjennomføring

Utover standard sedimentanalyser gir metoden for risikovurdering rom for skreddersøm av prøvetakingsprogrammet. Denne friheten og tilpasningen til undersøkelsesområdet blir større hvor lengre opp i trinnvurderingene man kommer. Det er derfor spesifiser hvilke parameter som er utgått eller inngått (utover standard) i de forskjellige trinnene:

Trinn 1

- Toksisitetstester er ikke utført.

Trinn 2 (2006)

- Normalisering av øvrige data og/eller grenseverdien er utført ved å multiplisere den stedsspesifikke fordelingskoeffisienten (K_d -verdien) i veilederen med % TOC i prøven.
- Partikkelfraksjonen 63 μ m er blitt benyttet siden 2 μ m fraksjonen er svært kostbar og vanskelig å måle, jf. anbefalinger gitt i risikoveilederen. Dette vil dermed være en konservativ fremgangsmåte siden en større del av sedimentet beregnes (f_{susp}) å virvle opp i forbindelse med skipsanløp. Fraksjonen 63 μ m inkluderer 2 μ m fraksjonen + 2-63 μ m fraksjonen, som vanligvis er en betydelig større del av sedimentet enn kun 2 μ m fraksjonen. En høyere del oppvirvlet sediment i vannet vil gi høyere konsentrasjoner av miljøgifter i vann og en høyere risiko for spredning.
- Helsediment-toksisitetstester er ikke utført.
- Bioakkumuleringsforsøk er ikke utført.
- Oppholdstid for sjøvann i de forskjellige bassengene er beregnet

Trinn 3 (2014)

- Bestemmelser av stedsspesifikke fordelingskoeffisienter (K_d) sediment/vann ved fire delområder. Porevannsundersøkelser er gjennomført.
- Oppholdstid av vannet i sedimentområdet er beregnet
- 2 μ m-fraksjon er benyttet som parameter.
- Helsedimenttest er utført
- Bioakkumuleringstest er utført
- Turbiditetsmålinger er utført for Lundevågen (d) for å registrere mengde oppvirvlet finfraksjon som følge av skipstrafikk.

7.11 Risikoanalyse- modellering og presentasjon

Trinn 3 ev risikovurderingen er gjennomført ved å implementere undersøkelser av spredning av miljøgifter i fauna inn i utregningsmodellen, samt implementering av stedsspesifikke koeffisienter som sediment fraksjoner (<2 μ m), Stedsspesifikk K_d og omløpstid. Det er i tillegg beregnet spredning som følge av skipstrafikk for delområde Lundevågen (d).

Det er også gjennomført helsedimenttest for å teste sedimentets toksisitet for sedimentlevende organismer.

Risikoen sedimentene utgjør for omgivelsene er vurdert og presentert for hvert delområde. Hvis risikoen for det enkelte delområde i sin helhet er uakseptabel vil man vurdere stasjonsmålinger for videre å identifisere mulige tiltaksområder. Ved stasjonsmålingene legges klassegrensene etter veileder TA 2229 til grunn.

8 RESULTATER

I dette kapitlet gis en presentasjon av nøkkeltall av analyseresultatene. Enkelte analyseparameter er utelatt her for leselighetens skyld, men er brukt som bakgrunnsparametre i trinn 3 analysen eller øvrige vurderinger. For å se alle bakgrunnstallene henvises det til egen datarapport (Larsen & Ledje 2014).

8.1 Sedimentkjemi

8.1.1 Verneområdet

Tabell 2. Resultater av sedimentanalysene i Verneområdet. 2014 undersøkelsen er sammenholdt med 2006 undersøkelsen.

	Verneområdet					
	FC1.1		F2		F3	
	2006	2014	2006	2014	2006	2014
Arsen (As) mg/kg TS		9,4		1,6		2,3
Bly (Pb) mg/kg TS	13	37	3	1,4		2,9
Kadmium (Cd) mg/kg TS	0,2	0,45	0,2	0,03		0,11
Kobber (Cu) mg/kg TS	5	23	1,8	0,61		1,8
Krom (Cr) mg/kg TS		11		1,3		1,7
Kvikksølv (Hg) mg/kg TS	0,015	0,064	0,005	0,003		0,009
Nikkel (Ni) mg/kg TS		6,7		0,69		1,1
Sink (Zn) mg/kg TS	34,2	160	14	12		20
PAH 16 EPA						
Naftalen mg/kg TS	0,013	0,082	0,0072	<0,010	0,12	0,013
Acenaftalen mg/kg TS	0,002	<0,010	0,002	<0,010	0,0061	<0,010
Acenaften mg/kg TS	0,033	0,37	0,002	<0,010	0,27	0,02
Flouren mg/kg TS	0,015	0,31	0,002	<0,010	0,18	<0,010
Fenantren mg/kg TS	0,14	1,6	0,01	<0,010	1,2	0,077
Antracen mg/kg TS	0,028	0,36	0,002	<0,010	0,18	0,012
Flouranten mg/kg TS	0,35	2,6	0,023	<0,010	2,5	0,17
Pyren mg/kg TS	0,31	2,2	0,019	<0,010	2	0,14
Benzo[a]antracen mg/kg TS	0,3	2,2	0,016	<0,010	1,3	0,13
Krysen/Trifenyl mg/kg TS	0,36	2,3	0,024	<0,010	1,3	0,16
Benzo[b]flouranten mg/kg TS	0,56	2,3	0,036	0,018	2,8	0,23
Benzo[k]flouranten mg/kg TS	0,22	0,75	0,016	<0,010	1	0,069
Benzo[a]pyren mg/kg TS	0,43	1,8	0,024	<0,010	1,9	0,14
Indeno[1,2,3-cd]pyren mg/kg TS	0,3	1,8	0,02	<0,010	1,5	0,14
Dibenzo[a,h]antracen mg/kg TS	0,081	0,51	0,0037	<0,010	0,41	0,026
Benzo[ghi]perylene mg/kg TS	0,31	1,8	0,022	<0,010	1,5	0,13
SUM PAH(16) EPA mg/kg TS	3,45	21	0,2229	0,018	18,166	1,5
SUM 7 PCB mg/kg TS	0	0,18	0	0	0,0495	0,0085
Tributyltinn µg/kg TS	3,5	16	2	<1	360	<1
Totalt organisk karbon (TOC) % TS	0,46	4,1	0,11	0,1	2,11	0,3
Tørrstoff %	74	42	78	80,7	63	76,4
Finstoff < 2µm (leire) % TS		10,6		1		<1,0
Finstoff < 63µm % TS	6	11	2	1,2	10	<1,0

Prøvepunktene F2 og F3 i verneområdet har bra tilstand, med noen enkeltforbindelser av PAH 16 som ligger i tilstandsklasse 4 ved prøvepunkt F3. Dette er grunne områder med stor utskiftning i overflatevannet. Områdene er såpass grunne at friksjon som følge av bølgeenergi er med å vaske ut sedimentene. Området består derfor av sand med en relativt grov kornstørrelse.

Det er trolig ingen kilder til forurensning inne i verneområdet. Forurensningen som befinner seg i verneområdet er trolig spredt fra de øvrige delområdene. Denne spredningen skjer ved turbasjon/oppvirvling av finstoff. Stasjon F1.1 har verdier i klasse 5 og ligger nede i et lokalt basseng i verneområdet (Figur 9-12). Det er trolig årsaken til de høye verdiene ved stasjonen. Finnstoffet som blir vasket ut fra omkringliggende områder, akkumuleres nede i bassenget ved F1.1. Dette lokale bassenget ligger svært beskyttet til, noe som gjør at det vil ta lang tid før man kan forvente en naturlig forbedring av tilstanden selv om man stopper kilden til forurensning fra øvrige områder.

Resultatet avviker fra 2006 undersøkelsen, men ser man på analysedataene ser man av kornstørrelsen at prøven ikke ble tatt nedi det lokale bassenget i 2006.

8.1.2 Kommunekaia

Tabell 3. Resultater av sedimentanalysene ved kommunekaia. 2014 undersøkelsen er sammenholdt med 2006 undersøkelsen.

	Kommunekaia									
	FC2		F4		F5		F6		F7	
	2006	2014	2006	2014	2006	2014	2006	2014	2006	2014
Arsen (As) mg/kg TS		16		14		13		7,9		16
Bly (Pb) mg/kg TS	32	53	52,5	61	28	56		28		63
Kadmium (Cd) mg/kg TS	0,3	0,3	0,3	0,39	0,2	0,39		0,16		0,4
Kobber (Cu) mg/kg TS	44,1	63	47,7	59	23,6	45		22		71
Krom (Cr) mg/kg TS		29		24		21		11		29
Kvikksølv (Hg) mg/kg TS	0,091	0,083	0,12	0,092	0,071	0,087		0,038		0,092
Nikkel (Ni) mg/kg TS		19		18		14		7,7		20
Sink (Zn) mg/kg TS	151	200	169	220	196	250		150		230
PAH 16 EPA										
Naftalen mg/kg TS	0,087	0,092	0,12	0,13	0,072	0,095	0,043	0,047	0,14	0,14
Acenaften mg/kg TS	0,0075	<0,020	0,0043	0,015	0,0064	0,013	0,0047	<0,010	0,014	<0,02
Acenaften mg/kg TS	0,2	0,19	0,26	0,34	0,17	0,24	0,11	0,12	0,32	0,36
Flouren mg/kg TS	0,11	0,12	0,13	0,21	0,084	0,14	0,069	0,074	0,2	0,22
Fenantren mg/kg TS	0,9	0,76	0,97	1,4	0,63	0,96	0,54	0,51	1,5	1,5
Antracen mg/kg TS	0,2	0,16	0,23	0,33	0,15	0,21	0,11	0,11	0,28	0,34
Flouranten mg/kg TS	1,9	1,9	1,9	3,3	1,4	2,4	1,3	1,3	3,3	3,7
Pyren mg/kg TS	1,8	1,7	2	3,1	1,4	2,2	1,2	1,2	3	3,4
Benzo[a]antracen mg/kg TS	1,4	1,5	1,5	2,7	1,2	1,9	1,1	1,1	2,2	3
Krysen/Trifenyl mg/kg TS	1,6	1,6	1,9	2,8	1,5	2,1	1,2	1,2	2,4	3,1
Benzo[b]flouranten mg/kg TS	2,8	3	2,5	4,7	2	3,4	2,3	2,1	5	5,1
Benzo[k]flouranten mg/kg TS	0,88	1	1,2	1,6	0,93	1,1	0,89	0,71	1,8	1,7
Benzo[a]pyren mg/kg TS	2,1	1,8	2,2	3	1,8	2,1	1,8	1,3	3,5	3,3
Indeno[1,2,3-cd]pyren mg/kg TS	1,5	1	1,7	1,6	1,3	1,1	1,5	0,83	3	1,6
Dibenzo[a,h]antracen mg/kg TS	0,36	0,24	0,47	0,38	0,37	0,27	0,41	0,22	0,83	0,46
Benzo[ghi]perylene mg/kg TS	1,5	0,86	1,7	1,3	1,3	0,94	1,6	0,72	3	1,3
SUM PAH(16) EPA mg/kg TS	17,344	16	18,784	27	14,312	19	14,177	11	30,484	29
SUM 7 PCB mg/kg TS	0,0313	0,032	0,7296	0,39	0,0484	0,057	0,00889	0,032	0,129	0,07
Tributyltinn µg/kg TS	360	210	190	540	95	120		64		460
Totalt organisk karbon (TOC) % TS	0,11	5	2,57	4,1	2,28	3,9	1,32	2,3	5,68	5,5
Tørrstoff %	78	25,6	46	35,3	50	32,9	52	56,6	29	27,3
Finstoff < 2µm (leire) % TS		24,9		13,9		13,7		10		23,5
Finstoff < 63µm % TS	2	26,7	43	21,7	68	20,4	40	15	65	33,6

Ved Kommunekaia ser man samme trend i 2014 undersøkelsen som i 2006 undersøkelsen. Analysene utpeker kobber, PCB, PAH og TBT som alvorligste forurensningsparametere

8.1.3 Smalsundet

Tabell 4. Resultater av sedimentanalysene i Smalsundet. 2014 undersøkelsen er sammenholdt med 2006 undersøkelsen.

	Smalsundet			
	F9		F12	
	2006	2013	2006	2013
Arsen (As) mg/kg TS		9,2		14
Bly (Pb) mg/kg TS	34	34	63,6	74
Kadmium (Cd) mg/kg TS	0,2	0,19	0,5	0,31
Kobber (Cu) mg/kg TS	23,6	36	79,3	69
Krom (Cr) mg/kg TS		16		35
Kvikksølv (Hg) mg/kg TS	0,13	0,044	0,18	0,218
Nikkel (Ni) mg/kg TS		12		25
Sink (Zn) mg/kg TS	94,8	120	226	220
PAH 16 EPA				
Naftalen mg/kg TS	0,16	0,095	0,4	0,3
Acenaftylen mg/kg TS	0,0067	<0,01	0,013	0,017
Acenaften mg/kg TS	0,33	0,22	0,78	0,68
Flouren mg/kg TS	0,21	0,13	0,4	0,4
Fenantren mg/kg TS	1,4	0,88	2,6	2,7
Antracen mg/kg TS	0,24	0,17	0,56	0,51
Flouranten mg/kg TS	2,8	1,9	4,5	5,8
Pyren mg/kg TS	2,4	1,7	4,4	4,9
Benzo[a]antracen mg/kg TS	1,5	1,2	3,1	3,6
Krysen/Trifenyl mg/kg TS	1,8	1,4	3,8	4,2
Benzo[b]flouranten mg/kg TS	2,9	2,1	4,6	6,4
Benzo[k]flouranten mg/kg TS	1,1	0,7	2,1	2,1
Benzo[a]pyren mg/kg TS	2,1	1,3	3,8	3,9
Indeno[1,2,3-cd]pyren mg/kg TS	1,7	0,65	2,7	2,1
Dibenzo[a,h]antracen mg/kg TS	0,49	0,14	0,84	0,53
Benzo[ghi]perylene mg/kg TS	1,8	0,53	2,8	1,6
SUM PAH(16) EPA mg/kg TS	20,937	13	37,393	40
SUM 7 PCB mg/kg TS	0,0116	0,019	0,02409	0,034
Tributyltinn µg/kg TS	100	140	990	580
Totalt organisk karbon (TOC) % TS	2,5	2,8	4,66	6,1
Tørrstoff %	54	54,2	29	33,3
Finstoff < 2µm (leire) % TS		9,7		23,2
Finstoff < 63µm % TS	20	14,8	82	26,9

Ved Smalsundet er også forholdene like mellom 2006- og 2014-undersøkelsene. I Smalsundet er det PAH og TBT som utgjør hovedproblemet. Ytterst i Smalsundet er forholdene verst, her utgjør også kobber et vesentlig problem. Ved den innerste/vestligste stasjonen i Smalsundet finner man det grunneste partiet av terskelen

som Smalsundet utgjør. Kornfordelingen viser at det er grovere sedimenter her. Dette skyldes trolig at det oppstår ganske høy velositet over terskelen ved at tidevannet presser vannmassene over terskelen slik at man får større vannmengde per tid på det aktuelle stedet. Dette fører igjen til at mye av finstoffet vaskes ut fra dette området.

Terskelen har et ca. dyp på 16 meter, og kan i teorien bli påvirket av propellturbasjon som er med å bidra til lavt innhold av finstoff.

8.1.4 Lundevågen (d)

Tabell 5. Resultater av sedimentanalysene i Lundevågen(d). 2014 undersøkelsen er sammenholdt med 2006 undersøkelsen.

	Lundevågen																	
	F12a	F12b	F14		F14a	F14b	F16		F18		F20		F21		F22		FC3	
	2013	2013	2006	2013	2013	2013	2006	2013	2006	2013	2006	2013	2006	2013	2006	2013	2006	2013
Arsen (As) mg/kg TS	16	8,3		19	6,6	18		9		18		14		32		9		19
Bly (Pb) mg/kg TS	81	31	61,6	120	48	85	31	280	63,7	88	64	71	26	61	53,1	40		110
Kadmium (Cd) mg/kg TS	0,3	0,075	0,4	0,46	0,11	0,24	0,2	0,64	0,3	0,26	0,4	0,36	0,5	1,8	0,3	0,14		0,21
Kobber (Cu) mg/kg TS	68	19	57,8	78	31	43	16,5	21	32,9	43	36,9	38	20,6	64	26,8	19		46
Krom (Cr) mg/kg TS	36	10		47	16	37		24		38		24		34		13		42
Kvikksølv (Hg) mg/kg TS	0,106	0,032	0,15	0,146	0,046	0,114	0,14	0,051	0,16	0,1	0,32	0,093	0,14	0,16	0,15	0,049		0,118
Nikkel (Ni) mg/kg TS	25	7,2		33	11	25		13		26		16		21		8,7		28
Sink (Zn) mg/kg TS	220	71	177	280	140	170	82,3	75	140	170	146	140	79,8	210	132	10		180
PAH 16 EPA																		
Naftalen mg/kg TS	0,31	0,13	1,1	1,5	0,8	0,36	0,25	0,064	0,29	0,34	0,4	0,27	0,051	0,12	0,32	0,45	0,32	0,3
Acenaftylen mg/kg TS	<0,02	<0,010	0,016	0,032	0,016	<0,02	0,0094	<0,010	0,012	<0,020	0,022	0,018	0,0022	0,14	0,007	0,019	0,017	<0,020
Acenaften mg/kg TS	0,71	0,29	2,2	3,4	1,8	0,83	0,56	0,13	0,54	0,76	0,83	0,61	0,1	0,26	0,64	1	0,63	0,65
Flouren mg/kg TS	0,42	0,18	1,2	2,1	1,1	0,51	0,34	0,079	0,28	0,47	0,57	0,37	0,051	0,19	0,34	0,65	0,38	0,39
Fenantren mg/kg TS	2,7	1,2	5,6	13	6,8	3,2	2,5	0,53	1,9	3	3,7	2,5	0,38	1,1	2	4,3	3	2,6
Antracen mg/kg TS	0,53	0,22	1,3	2,5	1,3	0,61	0,43	0,098	0,41	0,58	0,62	0,47	0,07	0,54	0,46	0,86	0,52	0,5
Flouranten mg/kg TS	5,9	2,4	8,4	25	14	6,6	4,9	1,1	3,3	6,1	7,3	5,1	0,72	4,3	3,2	8,7	5,7	5,4
Pyren mg/kg TS	5	2,1	8,8	21	11	5,5	4,1	0,96	3,1	5,2	6,1	4,3	0,65	3,6	3,2	7,4	4,8	4,5
Benzo[a]antracen mg/kg TS	3,5	1,5	6	13	8	3,8	2,5	0,69	2,2	3,6	3,7	3,1	0,46	2,1	2,2	5,6	3,4	3,1
Krysen/Trifenyyl mg/kg TS	3,9	1,7	7,4	14	8,7	4,2	2,9	0,81	2,7	4	4,4	3,4	0,59	2,3	2,8	6	3,3	3,5
Benzo[b]flouranten mg/kg TS	5,6	2,5	8,1	18	11	5,7	5,3	1,2	3,3	5,3	7,4	4,6	0,81	3,5	3,2	9,3	6,4	4,8
Benzo[k]flouranten mg/kg TS	1,9	0,83	4,2	5,8	3,5	1,8	1,7	0,39	1,4	1,8	2,6	1,5	0,31	1,2	1,5	2,9	1,7	1,6
Benzo[a]pyren mg/kg TS	3,4	1,5	7,4	11	6,8	3,3	3,5	0,71	2,7	3,2	5,1	2,8	0,59	2	2,8	5,6	4,3	2,8
Indeno[1,2,3-cd]pyren mg/kg TS	1,6	0,8	5,2	4,4	2,8	1,5	2,7	0,37	1,8	1,5	3,7	1,3	0,43	0,97	2	2,7	3,2	1,4
Dibenzo[a,h]antracen mg/kg TS	0,47	0,23	1,9	1,3	0,86	0,41	0,83	0,088	0,55	0,43	1,1	0,37	0,13	0,25	0,72	0,78	0,7	0,35
Benzo[ghi]perylen mg/kg TS	1,3	0,65	5,3	3,2	2	1,1	2,9	0,3	2	1,2	3,9	1	0,44	0,77	2,1	2	3	1,1
SUM PAH(16) EPA mg/kg TS	37	16	74,116	140	81	40	35,419	7,5	26,482	38	51,442	32	5,784	23	27,487	58	41,047	33

	Lundevågen																	
	F12a	F12b	F14		F14a	F14b	F16		F18		F20		F21		F22		FC3	
SUM 7 PCB mg/kg TS	0,032	0,015	0,04364	0,11	0,043	0,023	0,01117	0,0042	0,0223	0,02	0,01406	0,028	0,00319	0,07	0,02078	0,023	0,00641	0,019
Tributyltinn µg/kg TS	230	94	500	180	78	180	47	56	59	660	99	88	67	500	9,9	14		96
Totalt organisk karbon (TOC) % TS	6,1	2,5	4,38	6,5	4	7,5	1,81	1,9	4,73	8	4,86	7,3	3,15	18,4	3,2	3,1	5,31	7,9
Tørrstoff %	26	60,9	33	21,5	47,1	26,6	53	57,7	28	27,1	31	31,9	59	21,4	51	50,2	20,5	24,6
Finstoff < 2µm (leire) % TS	17,6	12,6		24,3	17,1	25,2		10,1		29,1		17,7		18,2		12,2		29,1
Finstoff < 63µm % TS	23	15,5	65	32,4	17,5	32,7	62	17,4	91	41,6	52	21,2	14	19,6	22	13,1	89	29,8

I Lundevågen (d) er det tatt fire supplerende prøvestasjoner utover etablert stasjonsnett fra 2006 undersøkelsen. Bortsett fra F12b viser disse stasjonen det samme angående forurensningssituasjonen som øvrige, etablerte stasjoner og er således med å underbygge at området er svært homogent med tanke på forurensning. To områder skiller seg ut, F12b og F16. Disse stasjonene ligger en klassegrense under for flere av parameterne. Ved prøvetaking ble det registrert at grabbskuddene bestod av røde sedimenter fra disse områdene. Ved nærmere undersøkelse viser det seg at det er losset malm i området. Noe av dette har gått i havnebassenget og trolig tildekket gammel forurensning.

Generelt er det PAH16, kobber, bly og TBT som utgjør de alvorligste forurensningsparameterne.

8.1.5 Oversikt over prøvepunkter og feltobservasjoner

Tabell 6. Tabellen viser data som ble notert for stasjonene i felt.

Delområde	Stn	Dato	Dyp	Dyp pore-vannspr.*	Lukt	Farge*	Konsistens	Prøvekvalitet***
Verneområdet	FC 1.1	12.6	8	8	OK	Svart	Mudder	OK
	F2	12.6	4,5	4,5	OK	Lyst topplag, ellers svart. Anoksisk lag når nesten til sedimentoverflaten	Sand,mudder	OK
	F3	12.6	0,7	0,7	OK	Lys, ikke anoksisk	Sand	OK
Kommunekaiaen	FC 2	21.5	24,7	25	OK	Brun	Mudder	Relativt bra
	F4	21.5	18,7	18	OK	Brun	Mudder	OK
	F5	21.5	17,3	17	OK	Brun	Mudder	OK
	F6	21.5	14,7	14	OK	Brun	Mudder	OK
	F7	21.5	21,3	21	OK	Brun	Mudder	OK
Smalsundet	F9	21.5	19,2	20	OK	Brun	Sandig	OK
	F12	21.5	23	23	OK	Brun	Mudder	OK
Lundevågen	FC3	20.5	34	34,8	OK	Brun	Mudder	Full grabb, prøvde 4 ggr
	F14	20.5	20	31,3	OK	Brun	Mudder	OK
	F16	20.5	21	21,8	OK	Rød **	Mudder	OK
	F18	20.5	32	32	OK	Brun	Mudder	Full grabb
	F20	21.5	11	27	OK	Brun	Mudder	OK
	F21	21.5	8	8	OK	Svart	Lag med org. mtrl på toppen, sandig mudder under	OK
	F22	20.5	23,8	20	OK	Brun	Mudder, sand, stein, mye skjell	OK
	F12a	21.5	20	30	OK	Brun	Mudder	Nesten full grabb for porevannsprøve tatt på 30 m dyp, for sedimentprøven ble prøven tatt på 20 m dyp, og var trolig OK
	F12b	21.5	20	21,8	OK	Brun/rød **	Sandig, grus	OK
	F14a	21.5	25	21	OK	Brun	Mudder	OK
	F14b	21.5	33,4	33	OK	Brun	Mudder	Full grabb

* Generelt for alle prøver gjelder at anoksisk lag begynner ca. 5 cm ned i sedimentet.

** Prøver tatt utenfor dypvannskaiaen er svært røde – jernmalm fra Sør-Afrika?

*** Med prøvekvalitet menes om prøvene er intakt (med vann over sedimentflaten). Ved prøvetakingen for porevannsprøver var det kun prøver på over 30 m dyp som var vanskelige å få til

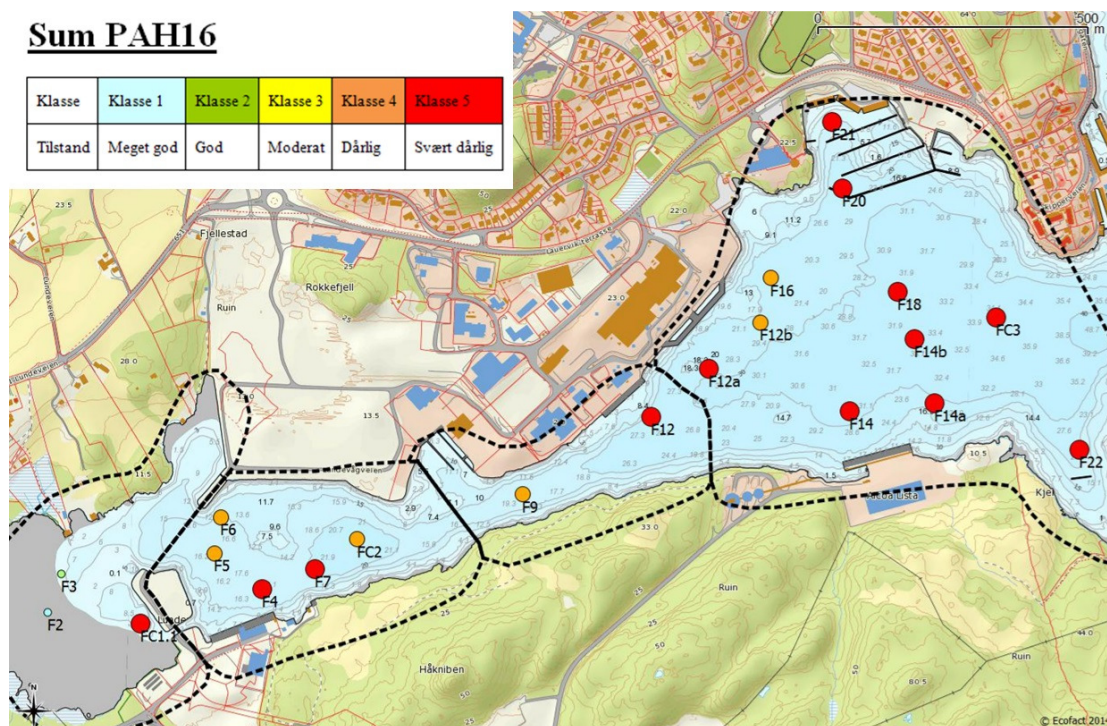
8.1.6 Oppsummert

Resultatene fra sedimentundersøkelsene viser at forholdene er relativt stabile mellom undersøkelsene gjennomført i 2014 og undersøkelsene gjennomført i 2006. Det finnes noen områder der resultatene fra de to undersøkelsene avviker noe. Disse stasjonene er F1.1 i Verneområdet, samt F16 og F12b i Lundevågen (d).

Det er i 2014 undersøkelsen gjennomført analyser fra supplerende punkt i delområde Lundevågen (d) (F12a, F12b, F14a og F14b). Disse punktene viser det samme som øvrige punkt og er således med å underbygge forurensningens homogenitet i dette delområdet.

Resultatene viser også at ytre deler av Smalsundet er mer forurenset en indre deler.

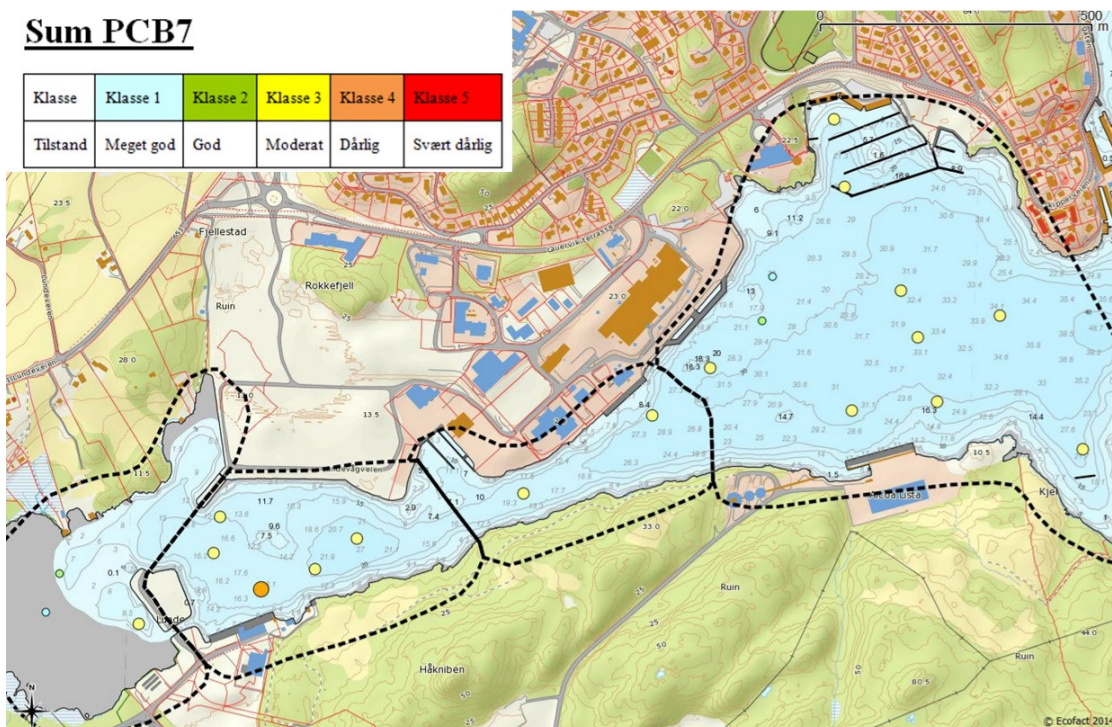
PAH 16, PCB 7, kobber og TBT er lagt til grunn for visuell fremstilling med kart av sedimentkjemi i figur 8, 9 og 10.



Figur 11. Det er registrert klasse 5 verdier av sum PAH16 i alle delområdene. De laveste verdiene finner man i de grunne områdene i verneområdet.

Sum PCB7

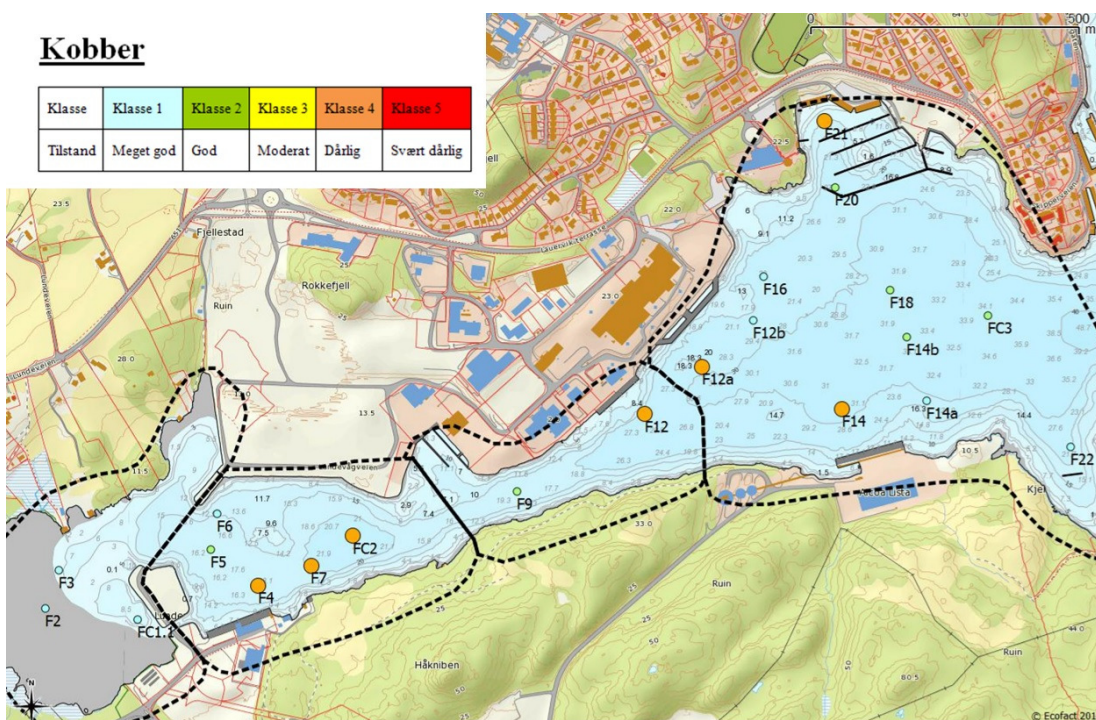
Klasse	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5
Tilstand	Meget god	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig



Figur 12. Det er klasse 4 verdier av PCB7 ved kommunekaien. De laveste verdiene er innerst i Verneområdet og ved F12b og F16 i Lundevågen.

Kobber

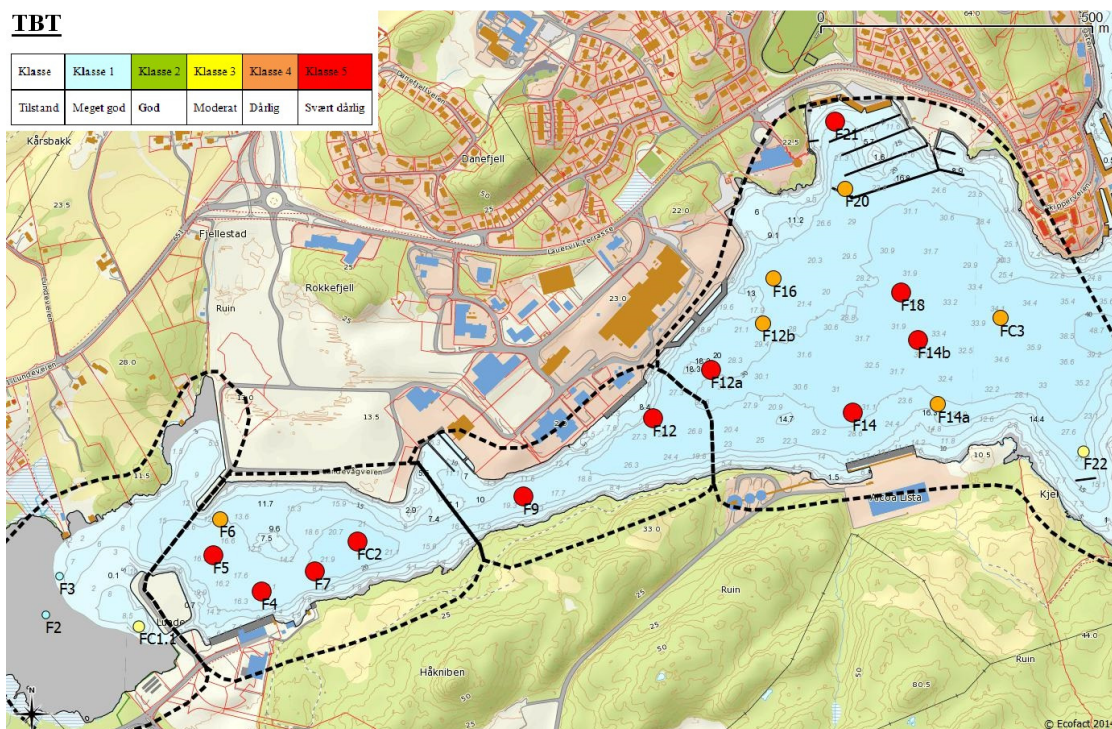
Klasse	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5
Tilstand	Meget god	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig



Figur 13. Det er registrert klasse 4 kobberverdier flere steder. Alle de høye kobberverdiene finnes i nær tilknytning til kaianlegg.

TBT

Klasse	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5
Tilstand	Meget god	God	Moderat	Dårlig	Svært dårlig



Figur 14. TBT forurensningen forekommer følger skipstrafikken.

8.2 Helsedimenttest

Det er gjennomført helsedimenttest på blandprøver av sedimentene fra hvert delområde. Testen er utført på krepsdyret *Corophium volutator* og fjæremarken *Arenicola marina*. Begge artene lever i U- eller J formede rør i sedimentene. *C. volutator* i lever ekskrementdannede rør mens *A. marina* danner slamkledde rør. *A. marina* spiser løst organisk materiale og store mengder sedimenter passerer tarmen daglig. *A. marina* kan sies å være mer direkte i kontakt med sedimentet i forhold til *C. volutator*.

Art: *Corophium volutator*

Tabell 7. Resultat fra helsedimenttest Lundevågen 2014 på arten *C. volutator*. Oppgitte tall er prosent dødelighet etter eksponering av sedimentene.

<u>Verneområdet</u>				
	Replikant			Grenseverdi
	1	2	3	
Dødelighet %	0	0	10	3
<u>Kommunekaiaen</u>				
	Replikant			Grenseverdi
	1	2	3	
Dødelighet %	0	5	5	3
<u>Smalsundet</u>				
	Replikant			Grenseverdi
	1	2	3	
Dødelighet %	0	0	0	0
<u>Lundevågen</u>				
	Replikant			Grenseverdi
	1	2	3	
Dødelighet %	10	0	10	7

Art: *Arenicola marina*

Tabell 8. Resultat fra helsedimenttest Lundevågen 2014 på arten *A. marina*. Oppgitte tall er prosent dødelighet etter eksponering av sedimentene.

<u>Verneområdet</u>		
	Resultat	Grenseverdi
Dødelighet %	100	20
<u>Kommunekaiaen</u>		
	Resultat	Grenseverdi
Dødelighet %	100	20
<u>Smalsundet</u>		
	Resultat	Grenseverdi
Dødelighet %	60	20
<u>Lundevågen</u>		
	Resultat	Grenseverdi
Dødelighet %	20	20

De to forskjellige artene responderer svært ulikt på sedimentene. *C. volutator* viser svært liten toksisk respons med lav dødelighet, mens *A. marina* viser svært høy dødelighet på de samme sedimentene.

C. volutator er mye brukt som testorganisme i Norge. Arten egner seg godt til å observere adferd da den forlater sedimentene hyppig ved unormale tilstander. Forsøk viser at arten er sensitiv på reduserte forhold og metallforgiftning.

A. marina må vurderes å brukes hyppigere i områder hvor hydrokarboner er problemstillingen. Flere forsøk viser at arten er sensitiv til enkelte PAH forbindelser (fluoranthene, pyrene, benzo(b)fluoranthene og benzo(k)fluoranthene) (Morales-Casseles et al, 2007)

Cellestrukturer eksponert for organisk ekstrakt i DR Calux *in vitro* viste ingen overskridelser av grenseverdi for noen av delområdene.

8.3 Analyser av bunnfauna

Det finnes ikke klassegrenser for miljøgifter i bunndyr, det er derfor benyttet klassegrenser for blåskjell etter Miljødirektoratets veileder TA-1467. (97:03) «Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann». Det er kun parameter med klassegrenser som vises i tabell 5. For øvrige parameter vises det til datarapporten.

Tabell 9. Resultater fra bunndyrsundersøkelsene i Lundevågen. Klassegrenser etter TA-1467.

		Indre Lundevågen	Ytre Lundevågen
Arsen (As)	mg/kg	2,4	2,5
Bly (Pb)	mg/kg	0,32	4,7
Kadmium (Cd)	mg/kg	0,11	0,14
Kobber (Cu)	mg/kg	2,1	3,5
Krom (Cr)	mg/kg	0,49	1,2
Kvikksølv (Hg)	mg/kg	0,024	0,051
Nikkel (Ni)	mg/kg	0,38	1,2
Sink (Zn)	mg/kg	33	43
SUM PAH(16) EPA	µg/kg	66	3000
SUM 7 PCB	µg/kg	5,40	2,70
Tributyltinn (TBT)	µg/kg	3,57	4,40
Fettinnhold	%	2,7	1,3

Resultatene viser at PAH16 er biotilgjengelig i ytre Lundevågen. De indre delene er det lite utslag og ingen parameter overstiger klassegrense 2. En mulig årsak til den store variasjonen mellom PAH verdiene for ytre- og indre Lundevågen kan skyldes flere faktorer.

- Blandprøven består av individer fra verneområdet (som er mindre forurensset) og det er forventet å finne lavere verdier i indre Lundevågen.
- Bunndyrprøvene er tatt som blandprøver hvor indre Lundevågen utgjør Verneområdet og Kommunekaiaen. Det var svært lite bunndyr tilgjengelig i sedimentene ved Kommunekaiaen, slik at bunndyr fra de «renere» områdene i Verneområdet trolig er noe overrepresentert for denne blandprøven.
- Snittverdiene av PAH16 i sedimentene ligger også ved Kommunekaiaen noe lavere (klasse 4) enn i ytre Lundevågen (klasse 5).

8.4 Analyser av blåskjell

Tabell 10. Blåskjellanalysene gjengir generelt bra resultater. Det er registrert klasse 3 verdier av PAH i verneområdet og relativt høye verdier av krom i Lundevågen. Klassegrenser etter TA-1467.

		Verneområdet	Kommunekaia	Smalsundet	Lundevågen
Arsen (As)	mg/kg	1,5	1,3	1,6	1,5
Bly (Pb)	mg/kg	0,22	0,21	0,24	0,25
Kadmium (Cd)	mg/kg	0,18	0,15	0,18	0,17
Kobber (Cu)	mg/kg	0,97	1,1	1,1	1,2
Krom (Cr)	mg/kg	0,12	0,057	0,095	11
Kvikksølv (Hg)	mg/kg	0,018	0,012	0,018	0,019
Nikkel (Ni)	mg/kg	0,12	0,095	0,11	2,2
Sink (Zn)	mg/kg	13	12	14	12
SUM PAH(16) EPA	µg/kg	320	140	150	150
SUM 7 PCB	µg/kg	2,3	2,9	2,9	4
Methylkvikksølv (Methyl Hg)	mg/kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Tributyltinn (TBT)	µg/kg	5,58	27,5	6,54	8,99
Fettinnhold	%	2,6	2,4	3,1	2,6

De øvre vannlag er underlagt en egen dynamikk og utskifningsregime i forhold til dypere vannlag. Dette gjelder generelt ved at øvre vannlag er vindpåvirket og kan være preget av både halo- og termokliner. Forskjellen mellom øvre og dypere vannlag gjør seg spesielt gjeldende innenfor terskelområder. Blåskjell filtrerer vann fra de øverste vannlagene. Slik sett er blåskjell gode indikatorer på tilstanden i de øvre vannlag. Å teste forholdene i blåskjell kan derfor si noe om spredningen fra sedimentene og gjennom vannsøylen til biota.

Av resultatene i tabell 8 ser vi at det kun er registrert 2 tilfeller av klasse 3, sum PAH 16 i verneområdet og krom i Lundevågen.

Blåskjellene ble ved to stasjoner i Lundevågen hentet fra bryggeanlegg. Det kan derfor tenkes at de moderate verdiene av krom kommer fra impregnert trevirke fra bryggeanleggene.

Sedimentene har høye sum PAH16 verdier i hele undersøkelsesområdet bortsett fra enkelte stasjoner i Verneområdet. At verneområdet har de høyeste sum PAH16 verdiene i blåskjell skyldes nok at utskiftningen i de øvre vannlag er dårligst i de indre deler av undersøkelsesområdet.

8.5 Analyser av torsk (*Gadus mohua*)

Tabell 11. Resultater fra analyser av torskefilet og lever. Der det foreligger klassegrensener er disse klassifisert etter TA1467/1997.

		Indre Lundevågen		Ytre Lundevågen	
		Torskefilet	Torskelever	Torskefilet	Torskelever
Arsen (As)	mg/kg	4,2	12	3,5	12
Bly (Pb)	mg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Kadmium (Cd)	mg/kg	<0,001	0,03	<0,001	0,1
Kobber (Cu)	mg/kg	0,24	11	0,26	15
Krom (Cr)	mg/kg	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Kvikksølv (Hg)	mg/kg	0,095	0,55	0,166	0,109
Nikkel (Ni)	mg/kg	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Sink (Zn)	mg/kg	5,4	29	5,7	30
PAH 16 EPA					
Naftalen	ng/kg	<3,96	<4,11	<3,77	<4,00
Acenafylen	ng/kg	<0,100	0,594	<0,100	0,277
Acenafthen	ng/kg	<0,27	3,54	<0,27	2,66
Flouren	ng/kg	<0,31	2,19	<0,30	2,20
Fenantren	ng/kg	<0,88	3,69	<0,84	3,46
Antracen	ng/kg	<0,10	0,21	<0,10	0,3
Flouranten	ng/kg	<0,27	0,61	<0,26	0,57
Pyren	ng/kg	<0,30	<0,31	<0,28	0,72
Benzo[a]antracen	ng/kg	<0,10	<0,10	<0,10	0,18
Krysen	ng/kg	<0,10	<0,10	<0,10	0,11
Benzo[b/j]flouranten	ng/kg	<0,10	<0,10	<0,10	0,11
Benzo[k]flouranten	ng/kg	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Benzo[a]pyren	ng/kg	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Indeno[1,2,3-cd]pyren	ng/kg	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Dibenzo[a,h]antracen	ng/kg	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Benzo[ghi]perylen	ng/kg	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
SUM PAH(16) EPA, eks. LOQ	ng/kg	nd	10,8	nd	10,6
SUM PAH(16) EPA inkl. LOQ	ng/kg	6,99	16,1	6,72	15,1
SUM 7 PCB	µg/kg	3,90	420	4,8	470
Methylkvikksølv (Methyl Hg)	mg/kg	0,087	0,041	0,163	
Tributyltinn (TBT)	µg/kg	1,75	1,85	3,32	3,89
Fettinnhold	%	0,7	40,3	0,7	27,8

Tabell 9 viser resultatene fra analyse av miljøgifter i torskefilet og torskelever fra indre og ytre Lundevågen. Resultatene er klassifisert etter TA1467/1997. I denne finnes det grenseverdier for PCB i torskelever og torskefilet i tillegg til kvikksølv i torskefilet.

PCB akkumuleres i fettvev. Det er derfor vanlig å finne høyere konsentrasjoner av PCB i organismer enn i omkringliggende omgivelser. Av tabell 9 ser man at PCB innholdet i lever er ca. 100 ganger høyere enn det man finner i muskelvev. PCB-nivåene i torskeleveren overskrider grenseverdiene for konsum (EU/EØS) med god margin for nivået som er satt som konsumgrense for fiskeprodukter (disse verdiene er ikke direkte overførbare til PCB7 i lever). For leverolje er verdiene enda høyere, da PCB akkumuleres i fett. Det vil si at leverolje i indre Lundevågen inneholder 1042 µg/kg, mens tilsvarende tall for ytre Lundevågen er 1690 µg/kg, sett at alt PCB er utelukkende bunnet til fettvevet.

PAH metaboliseres raskt i fisk og er således ikke et fullgodt parameter for bioakkumulasjon. I verdiene uten deteksjonsgrensene er det kun noen få komponenter å spore i lever. Sum PAH 16 ligger i samme størrelsesorden for indre og ytre Lundevågen.

For utenom TBT, kvikksølv og metylkvikksølv er verdien av øvrige parameter relativt like for ytre og indre Lundevågen for henholdsvis lever og filet.

Av resultatene kan man se at alt kvikksølv foreligger som metylkvikksølv for filet, men ikke for lever (mangler data på MetylHG lever for Ytre Lundevågen).

Det finnes ikke klassetilstander for metylkvikksølv i fisk. WHO/FAO har anslått et tolerabelt ukentlig inntak på 1,3 µg per kilo kroppsvekt. For ytre Lundevågen vil det si at en voksen person på 70 kg kan spise 558 g fisk per uke og et barn på 15 kg kan spise 119 g per uke. Tilsvarende tall fra ytre Lundevågen er 1047 g per uke for voksen og 223 g for barn. EFSA beregner gjennomsnittlig inntak for fisk i Norge for til 560 g/uke per person (70 kg) og 1 925 g per uke for høykonsumenter. I ytre Lundevågen vil et slikt inntak av 560 g fisk overskride TWI for voksne med 2 g, mens det i indre Lundevågen ligger langt innenfor terskelverdiene for normalkonsumenter. For høykonsumenter (1 925 g/uke) overskrides terskelverdien for både indre og ytre Lundevågen med stor margin, henholdsvis 3,4 og 1,8 ganger for ytre og indre Lundevågen.

8.6 Utvidede PAH analyser

Det er påvist høye konsentrasjoner av PAH 16 i sedimentene i alle delområdene. Ved alle stasjoner utenom F2 og F3 i verneområdet ligger verdiene av sum PAH i klasse 5 og 4.

PAH 16 er et standard utvalg av PAH forbindelser som det er utarbeidet klassegrenser for, både i sedimenter, vann og for enkelte biota. PAH forurensningen består imidlertid av en rekke PAH-forbindelser utover de forbindelsene det vanligvis analyseres på. Det er i denne undersøkelsen gjort utvidede undersøkelser for å få et bedre grunnlag for å identifisere kildene til denne forurensningen.

Det er gjennomført tilleggsanalyser på en gruppe alkylerte PAHer (NPD forbindelser). De alkylerte PAHene har alkylgrupper som er substituert inn på ulike steder på ringstrukturen i PAH-molekylet. PAHer kan ha forskjellige opphav, det skilles typisk mellom pyrogen og petrogene kilder i forurensningsaker, men biogene kilder er også med å danne et bakgrunnsnivå av PAHer i naturen. Med verdiene registret i Lundevågen snakker vi om petrogene eller pyrogene forbindelser som hovedkilder:

Pyrogene kilder: PAHer dannes ved ufullstendig forbrenning som blant annet vedfyring, sot fra diesel motorer og industri (smelteverk).

Petrogene kilder: eks, oljesøl.

PAHer fra pyrogene kilder inneholder som regel mindre enn 40 % alkylerte PAHer, mens andelen alkyl-PAHer i petrogene kilder kan overstige 99 %. Alkylerte PAHer har større fettløselighet enn ikke alkylerte PAHer, og har således en mer toksisk effekt på økosystemet.

En annen metode for å finne kilden til PAH-forurensning er forholdstallet mellom PHE/ANT (fenantren/antracen). Dette forholdstall bekrefter pyrogen opprinnelse for PAH når PHE/ANT er mindre enn 10.

Resultatene i den utvidede PAH undersøkelsen på sedimentene viser at:

- PAH 16 utgjør mellom 95 – 99 % av totalen mot NDP forbindelser.
- PHE/ANT forholdstall ligger mellom 2 og 6,4.

Resultatene indikerer at PAH-forurensningen kommer fra pyrogen kilde.

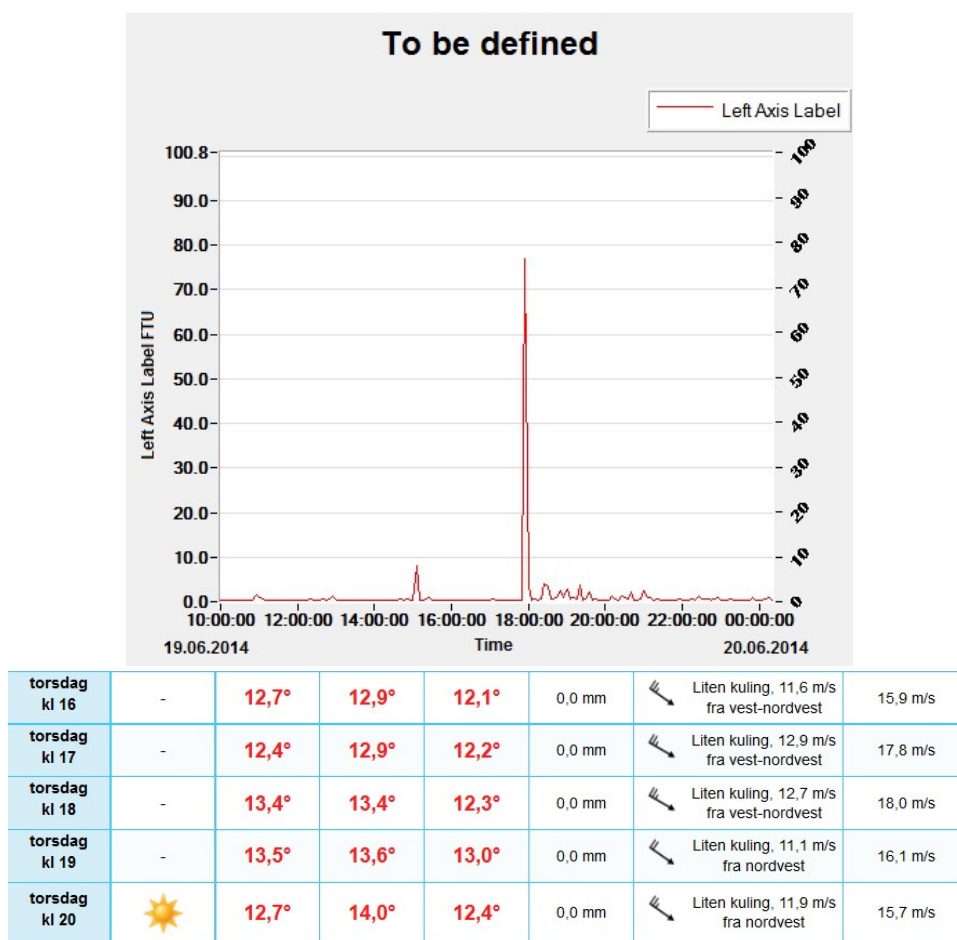
8.7 Turbiditetsmålinger

Turbiditetsmålere ble utplassert ved Alcoa Lista kaien (figur 8). Alcoa Lista kaien er det kaianlegget med mest anløp i undersøkelsesområdet. Loggerne logget i 11 dager (12-23.06.2014). Loggerne ble plassert på begge sider av kaien. I løpet av denne perioden var det 3 anløp ved kaien.

Resultatene viser loggført turbiditet i perioden, men ingen utslag i ved anløp eller ved avgang. Går man derimot inn på værdata for perioden ser man at utslagene på turbiditetsmålerene har sammenheng med sterk vind i området. Tirsdag 17. juni er det utslag på måleren og da var det stiv kuling i Farsund. Det samme gjelder torsdag 19 med vindkast opp i 18 m/s.

Dette illustrerer at turbiditetsmålerene virker som de skal, men at det ikke er noe effekt på turbiditeten som følge av skipstrafikk ved Alcoa Lista kaien. Årsaken til at det ikke forekommer spredning av sedimenter som følge av skipstrafikken skyldes trolig at det er hardbunn i området rundt kaien og området utenfor kaien når raskt dypere farvann (>20 meter).

Det finnes enda en kai innenfor delområdet (dypvannskaie), men her er det enda dypere og sjansene for spredning av sedimenter er dermed enda mindre. Resultatet av disse målingene gjør at spredningsparameteret som følge av skipstrafikk for trinn 3 vurderingene settes mot null i delområde Lundevågen.



Figur 15. Utslag på turbiditetsmåleren sammenfaller med sterk vind i Lundevågen. Turbiditetsmåleren viser registrering på tilnærmet 80 FTU. Her er dataene sammenstilt med offentlige værdata fra 19.06.2014 i tidsrommet 16:00-20:00 (yr.no).

8.8 Oksygenprofiler

Resultatene fra oksygenprofilene i sammen med støtteparameterne er presentert i tabellen nedenfor.

Delområde	Dybde	mg O ₂ /l	% O ₂	temp	Salinitet
Verneområdet	1	8,5	95,9	16,0	17,77
	2	8,71	98,0	15,8	17,79
	3	8,57	97,0	15,9	17,82
	4	8,62	97,0	15,8	17,82
	5	8,54	96,7	15,9	17,90
	6	9,07	100,2	13,2	23,64
Kommunekaia	1	9,00	100,5	15,5	17,39
	2	8,88	99,3	15,6	17,64
	3	8,85	98,4	15,6	17,69
	4	9,18	101,6	14,0	23,15
	5	9,43	103,0	12,9	24,19
	7,5	9,04	97,5	11,0	25,95
	10	8,34	87,6	8,9	28,90
	12,5	7,84	80,9	8,0	31,40
	15	7,22	75,0	7,4	32,40
	17,5	6,95	71,6	7,1	33,18
	20	6,16	63,2	7,1	33,51
	21	0,33	3,6	7,0	33,50
Smalsundet	1	9,17	101,7	15,3	17,48
	2	9,08	101,2	15,3	17,50
	3	9,14	102,0	15,3	17,60
	4	9,42	103,8	13,4	23,30
	5	9,47	103,4	13,1	24,41
	7,5	9,34	100,0	11,4	25,40
	10	8,81	92,4	9,3	28,25
	12,5	8,34	86,6	8,1	30,90
	15	7,50	77,5	7,7	31,88
	17,5	7,30	75,8	7,3	32,86
	20	7,50	76,9	7,0	33,49
	21	7,41	76,2	7,0	33,53
Lundevågen	1	10,0	110,6	15,2	17,6
	2	9,69	107,8		
	3	9,66	107,5	15,2	17,6
	4	9,60	106,7		
	5	9,52	109,9	13,2	
	7,5	9,71	105,0	11,9	25,34
	10	9,64	102,5	11,1	25,90
	12,5	9,01	95,2	9,1	28,70
	15	8,72	91,1	8,4	30,55
	20	7,40	76,3	7,5	32,25
	25	7,72	79,1	7,0	33,47
	29	7,48	76,7	6,8	33,93

Resultatene viser ingen reduserte områder, utenom ved 21 meter ved Kommunekaia. Temperaturprofilene har ingen klare termokliner, men mer en jevnt synkende profil korrelert med dyp. Salinitetsprofilene viser at det er mye ferskt overflatevann i hele undersøkelsesområdet. Det hadde ikke regnet dagene før undersøkelsestidspunktet, så forklaringen er trolig oppstuingsseffekt av ferskvann som følge av vindretning. Kilden til ferskvannet er elvene inne i fjordsystemet, med Lygna som største bidragsyter.

9 RISIKOVURDERING TRINN 3

9.1 Bakgrunn

Struktur og målsetning for Trinn 3 undersøkelsene er i utgangspunktet de samme som for Trinn 2, og konklusjonene brukes på samme måte. Vurderingene i Trinn 3 er imidlertid bedre forankret i lokale forhold og skal derfor gi et sikrere beslutningsgrunnlag for eventuelle tiltak og eventuelle utelatelse av tiltak. Friheten for skreddersøm av prøvetakingsprogrammet er stor i Trinn 3 og kan tilpasses lokale forhold og tidligere undersøkelser. Det er oppdragsgiver med innspill fra miljødirektoratet som i denne undersøkelsen har lagt premissene for prøvetakingsprogrammet.

Beregningene er gjennomført for hvert delområde. Stedspesifikke parametere presenteres i sammen med risikovurderingene. Dersom beregnet risiko etter Trinn 3 fremdeles er uakseptabel må det planlegges tiltak for å redusere risikoen til et akseptabelt nivå.

Tidligere risikovurdering fra 2006 har allerede avdekket at det med stor sannsynlighet er behov for tiltak. Tiltaksområdet fra 2006 undersøkelsen er skissert i området ved Kommunekaia og deler av Verneområdet.

Sluttresultatene for beregningene vises i påfølgende kapittel 9.2 (sediment konsentrasjoner sammenlignet med grenseverdi trinn 1 er utelatt);

- Beregnet spredning sammenlignet med "tillatt spredning"
- Porevannskonsentrasjon sammenlignet med grenseverdier for økologisk risiko (PNEC_w som tilsvarer grensen mellom tilstandsklasse II og III i henhold til veileder TA-2229),
- Human livstids eksponering (total dose) sammenlignet med grenseverdier for human risiko (MTR/TDI 10 %)
- Økotoksresultater sammenlignet med grenseverdier for trinn 1 (presentert i kapittel om helsedimenttest)

Nye analysetall for sediment, porevann, biota og spredning er lagt inn i regnearket og utgjør grunnlaget for en Trinn 3 risikovurdering. Basert på resultatene og vurderinger av gamle og nye resultater utarbeides det en tiltaksplan.

Røde tall presentert i resultater fra beregningsverktøyet indikerer antall ganger et parameter overskrider akseptabel risiko.

9.2 Resultater fra beregningsverktøy iht. TA2802/2011

9.2.1 Verneområdet

GENERELLE PARAMETERE

Grunnleggende sedimentparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
TOC	1	1,5	Snitt av 3 verdier med hotspot i 1.1 (4,1)
Bulkdensitet til sedimentet, ρ_{sed} [kg/l]	0,8	0,8	
Porøsitet, ϵ	0,7	0,7	
Korreksjonsfaktor	315576000	315576000	For å ende opp med mg/m ² /år for spredning ved biodiffusjon
Generelle områdeparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Sedimentareal i bassenget, A_{sed} [m ²]	ingen standard	127 000	Målt
Vannvolumet over sedimentet, V_{sed} [m ³]	ingen standard	354120	Beregnet
Oppholdstid til vannet i bassenget, t_r [år]	ingen standard	0,0041	Lokale basseng har lengre oppholdstid

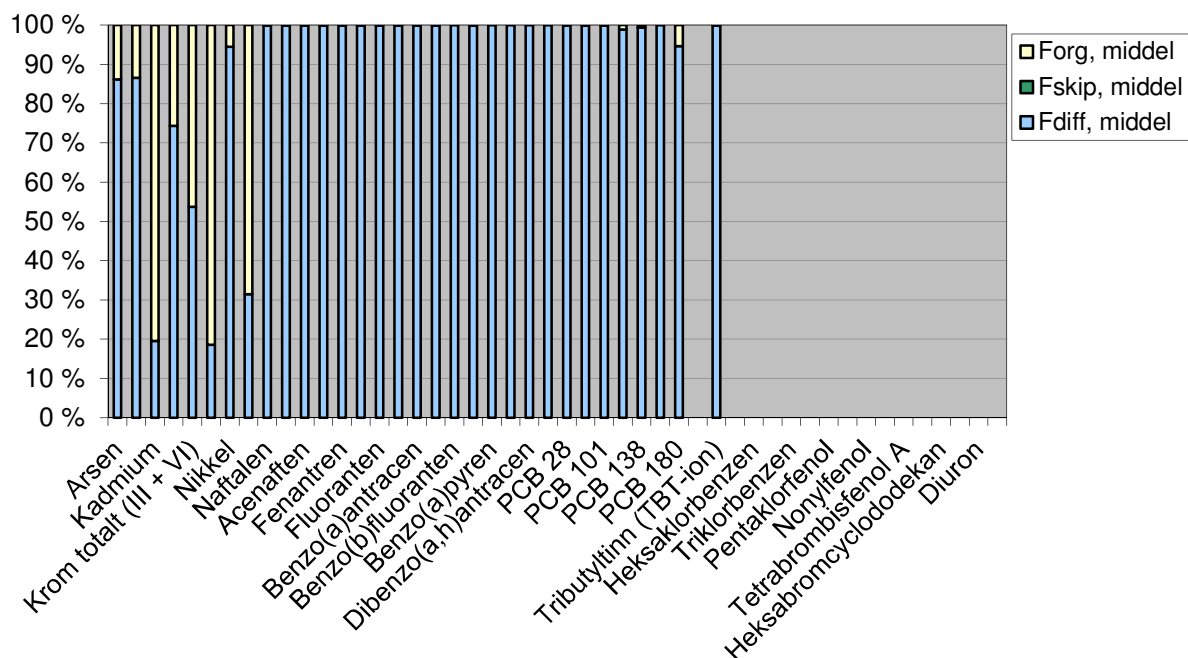
HUMAN HELSE

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, DEI_{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	0,00E+00	0,00E+00	Ingen bading i Verneområdet
Inntak av sediment, DI_{sed} [kg/d]	0,00035	0,001	0	0	Ingen bading i Verneområdet
Parametere for inntak av overflatevann, DEI_{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	0,00E+00	0,00E+00	Ingen bading i Verneområdet
Inntak av sjøvann, DI_{sv} [l/d]	0,05	0,05	0	0	Ingen bading i Verneområdet
Parametere for inntak av partikulært materiale, DEI_{pm}	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp, ipm}$ [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	0,00E+00	0,00E+00	Ingen bading i Verneområdet
Inntak av sjøvann, DI_{sv} [l/d]	Se inntak av overflatevann.				
Parametere for hudkontakt med sediment, DEH_{sed}	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	0,00E+00	0,00E+00	Ingen bading i Verneområdet
Hudareal for eksponering med sediment, HA_{sed} [m ²]	0,28	0,17	0	0	Ingen bading i Verneområdet
Hudhefterate for sediment, HAD_{sed} [kg/m ²]	0,0375	0,0051	0,0000	0,0000	Ingen bading i Verneområdet
Hudabsorpsjonsrate for sediment HAB_{sed} [1/timer]	0,005	0,010	0,000	0,00	Ingen bading i Verneområdet
Eksponeringstid hud med sediment, ET_{sed} [timer/d]	8	8	0	0	Ingen bading i Verneområdet
Parametere for hudkontakt med vann, DEH_{sv}	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp, hsv}$ [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	0,00E+00	0,00E+00	Ingen bading i Verneområdet
Hudareal for eksponering med sediment, HA_{sv} [m ²]	1,80	0,95	0	0	Ingen bading i Verneområdet
Eksponeringstid hud med sjøvann, ET_{sv} [timer/d]	1	2	0	0	
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	Lokal fiske forekommer

PARAMETERE FOR SKIPSOPPVIRVLING

Ikke aktuelt

Fordeling av spredningsmekanismer (gjennomsnitt)



Stoff	F _{tot} i forhold til tillatt spredning (antall ganger):		Beregnet total livstidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):		Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):		Beregnet sjøvannskoncentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):	
	Maks	Middel	Maks	Middel	Maks	Middel	Maks	Middel
Arsen			117,75	57,89				
Bly								
Kadmium			3,53	1,38				
Kobber			2,16		1,47			
Krom totalt (III + VI)								
Kvikksølv			53,97	21,69				
Nikkel								
Sink								
Naftalen								
Acenaftylen								
Acenaften								
Fluoren								
Fenantren								
Antracen	1,68	1,68			1,82	1,82		
Fluoranten	13,85	13,85			20,00	20,00		
Pyren	4,53	4,53			121,74	121,74		
Benzo(a)antracen	100,84	100,84			225,00	225,00	1,39	1,39
Krysen	11,62	11,62			38,57	38,57		
Benzo(b)fluoranten	30,86	30,86			146,67	146,67		
Benzo(k)fluoranten	11,75	11,75			55,56	55,56		
Benzo(a)pyren	12,30	12,30	1,66		60,00	60,00		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	412,19	412,19			2100,00	2100,00	11,35	11,35
Dibenzo(a,h)antracen	6,15	6,15			31,67	31,67		
Benzo(ghi)perylene	402,71	402,71			2100,00	2100,00	11,35	11,35
PCB 28					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 52					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 101					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 118					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 138					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 153					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 180					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
Sum PCB7			207,53	70,14	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
Tributyltinn (TBT-ion)					4617,60	1635,40	24,10	8,53

9.2.2 Kommunekaien

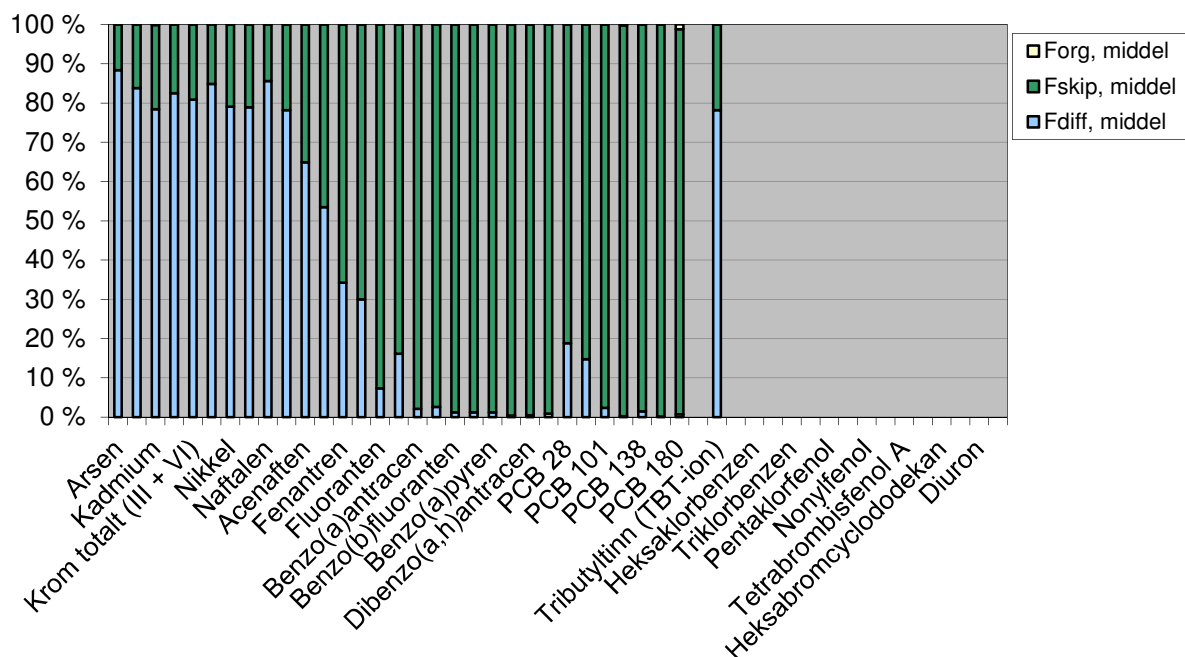
GENERELLE PARAMETERE

Grunnleggende sedimentparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
TOC	1	4,16	Snitt verdi av sedimentprøvene
Bulkdensitet til sedimentet, ρ_{sed} [kg/l]	0,8	0,8	
Porøsitet, ϵ	0,7	0,7	
Korreksjonsfaktor	315576000	315576000	For å ende opp med mg/m ² /år for spredning ved biodiffusjon
Generelle områdeparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Sedimentareal i bassenget, A_{sed} [m ²]	ingen standard	123 000	Målt
Vannvolumet over sedimentet, V_{sed} [m ³]	ingen standard	1955000	Beregnet
Oppholdstid til vannet i bassenget, t_r [år]	ingen standard	0,25	Snitt av overflatevann og stagnert vann under terskel

PARAMETERE FOR SKIPSOPPVIRVLING

Parametere for oppvirvling fra skip, F_{skip}	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Antall skipsanløp per år, N_{skip}	ingen standard	30	Hentet fra havnemyndigheter
Trasélengde for skipsanløp i sedimentareal påvirket av oppvirvling, T [m]	120	200	Lengste innseilingstrasé i sedimentareal påvirket av oppvirvling, dvs. i sedimentareal < 20 m dypt
Mengde oppvirvlet sediment per anløp, m_{sed} [kg]	ingen standard	1660	Sett inn verdi fra faktaboks 6 i veileder
Sedimentareal påvirket av oppvirvling, A_{skip} [m ²]	ingen standard	3000	15 meter bredde (tolig overestimert)
Fraksjon suspendert f_{susp} = sedimentfraksjon < 2 μ m	ingen standard	0,172	Tas fra siktekurve (dersom 5 % er mindre enn 2 μ m, er $f = 0,05$)

Fordeling av spredningsmekanismer (gjennomsnitt)



HUMAN HELSE

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, DEI_{sed}	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp, ised}$ [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	0,00E+00	0,00E+00	Bading forekommer ikke
Inntak av sediment, DI_{sed} [kg/d]	0,00035	0,001	0	0	Bading forekommer ikke
Parametere for inntak av overflatevann, DEI_{sv}	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp, isv}$ [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	0,00E+00	0,00E+00	Bading forekommer ikke
Inntak av sjøvann, DI_{sv} [l/d]	0,05	0,05	0	0	Bading forekommer ikke
Parametere for inntak av partikulært materiale, DEI_{pm}	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp, igm}$ [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	0,00E+00	0,00E+00	Bading forekommer ikke
Inntak av sjøvann, DI_{sv} [l/d]	Se inntak av overflatevann.				
Parametere for hudkontakt med sediment, DEH_{sed}	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	0,00E+00	0,00E+00	Bading forekommer ikke
Hudareal for eksponering med sediment, HA_{sed} [m ²]	0,28	0,17	0	0	Bading forekommer ikke
Hudhefterate for sediment, HAD_{sed} [kg/m ²]	0,0375	0,0051	0,0000	0,0000	Bading forekommer ikke
Hudabsorpsjonsrate for sediment HAB_{sed} [1/timer]	0,005	0,010	0,000	0,00	Bading forekommer ikke
Eksponeringstid hud med sediment, ET_{sed} [timer/d]	8	8	0	0	Bading forekommer ikke
Parametere for hudkontakt med vann, DEH_{sv}	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp, hsv}$ [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	0,00E+00	0,00E+00	Bading forekommer ikke
Hudareal for eksponering med sediment, HA_{sv} [m ²]	1,80	0,95	0	0	Bading forekommer ikke
Eksponeringstid hud med sjøvann, ET_{sv} [timer/d]	1	2	0	0	Bading forekommer ikke
Parametere for eksponering via inntak av fisk/skalldyr, IEI_l	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Daglig inntak av fisk og skalldyr, DI_l [kg v.v./d]	0,138	0,028	0,138	0,028	Noe fiske forekommer

Stoff	F _{tot} i forhold til tillatt spredning (antall ganger):		Beregnet total livstidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):		Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):		Beregnet sjøvannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):	
	Maks	Middel	Maks	Middel	Maks	Middel	Maks	Middel
Arsen	4,33	4,24	117,75	57,24	64,58	64,58	7,83	7,66
Bly	6,70	6,48			281,82	281,82	38,05	36,81
Kadmium	1,05	1,00	2,94	1,18	15,42	15,42	1,71	1,64
Kobber	10,22	9,61	2,16		1171,88	1171,88	125,01	117,49
Krom totalt (III + VI)					105,88	105,88	9,49	9,02
Kvikksølv	1,54	1,50	53,97	21,49	24,79	24,79	3,05	2,98
Nikkel	2,48	2,34			81,82	81,82	8,37	7,92
Sink	4,94	4,75			862,07	862,07	92,47	88,91
Naftalen					1,08			
Acenaftylen								
Acenaften								
Fluoren								
Fenantren	1,29				1,21			
Antracen	5,09	3,44			2,63	1,78		
Fluoranten	15,49	10,55			5,13	3,49	5,03	3,43
Pyren	6,86	4,68			60,33	41,17	27,00	18,42
Benzo(a)antracen	42,36	28,80			11,99	8,15	38,32	26,06
Krysen	8,26	5,75			2,67	1,86	6,83	4,76
Benzo(b)fluoranten	17,21	12,35			5,03	3,61	25,80	18,52
Benzo(k)fluoranten	6,53	4,69			1,91	1,37	9,56	6,87
Benzo(a)pyren	6,39	4,45			1,91	1,33	10,01	6,98
Indeno(1,2,3-cd)pyren	31,49	24,13			8,20	6,29	120,30	92,18
Dibenzo(a,h)antracen							2,31	1,58
Benzo(ghi)perylene	52,24	41,15			15,27	12,03	98,32	77,44
PCB 28					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 52					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 101					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 118					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 138					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 153					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 180					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
Sum PCB7			207,53	70,28	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
Tributyltinn (TBT-ion)	3,94	2,03			56193,81	29012,65	4011,01	2070,87

9.2.3 Smalsundet

GENERELLE PARAMETERE

Grunnleggende sedimentparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
TOC	1	4,45	Snittverdi av sedimentprøvene
Bulkdensitet til sedimentet, ρ_{sed} [kg/l]	0,8	0,8	
Porøsitet, ϵ	0,7	0,7	
Korreksjonsfaktor	315576000	315576000	For å ende opp med mg/m ² /år for spredning ved biodiffusjon
Generelle områdeparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Sedimentareal i bassenget, A_{sed} [m ²]	ingen standard	70000	Målt
Vannvolumet over sedimentet, V_{sed} [m ³]	ingen standard	1038000	Beregnet
Oppholdstid til vannet i bassenget, t_r [år]	ingen standard	0,004	Beregnet

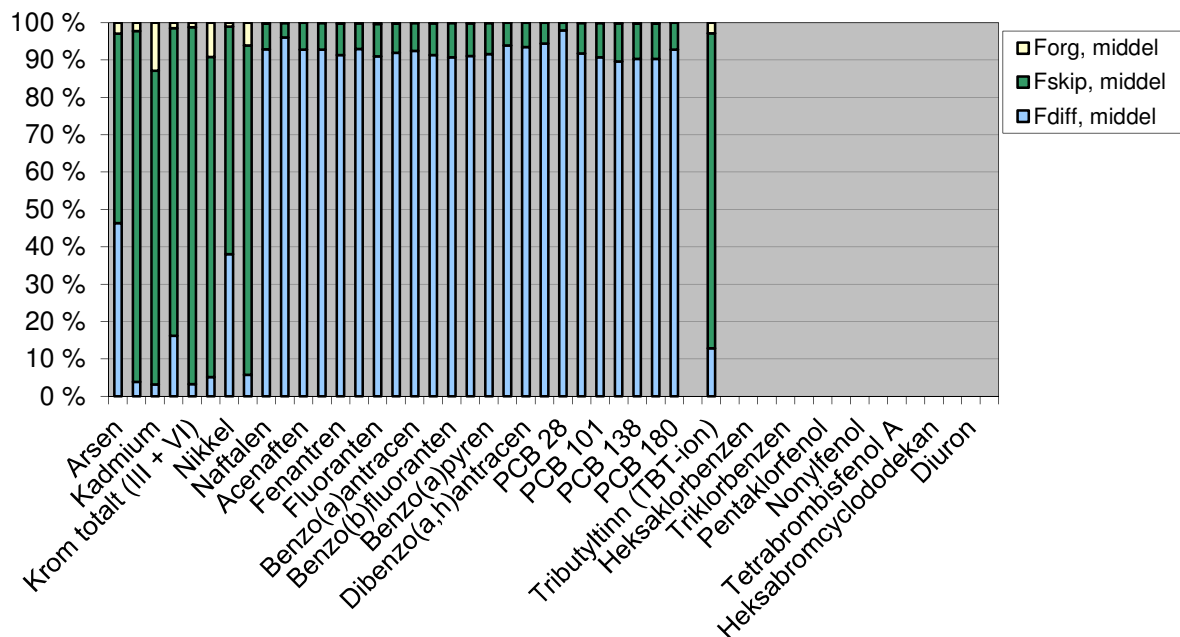
PARAMETERE FOR SKIPSOPPVIRVLING

Parametere for oppvirvling fra skip, F_{skip}	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Antall skipsanløp per år, N_{skip}	ingen standard	30	Hentes fra havnemyndigheter
Trasélengde for skipsanløp i sedimentareal påvirket av oppvirvling, T [m]	120	246	Lengste innseilingstrasé i sedimentareal påvirket av oppvirvling, dvs. i sedimentareal < 20 m dypt
Mengde oppvirvlet sediment per anløp, m_{sed} [kg]	ingen standard	205	Sett inn verdi fra faktaboks 6 i veileder (sand er lagt til grunn)
Sedimentareal påvirket av oppvirvling, A_{skip} [m ²]	ingen standard	3690	15 meter
Fraksjon suspendert f_{susp} = sedimentfraksjon < 2µm	ingen standard	0,16	Tas fra siktekurve (dersom 5 % er mindre enn 2 µm, er $f = 0,05$)

HUMAN HELSE

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, DEI _{sed}	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, f _{exp,ised} [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	0,00E+00	0,00E+00	Bading forekommer ikke
Inntak av sediment, DI _{sed} [kg/d]	0,00035	0,001	0	0	Bading forekommer ikke
Parametere for inntak av overflatevann, DEI _{sv}	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, f _{exp,isv} [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	0,00E+00	0,00E+00	Bading forekommer ikke
Inntak av sjøvann, DI _{sv} [l/d]	0,05	0,05	0	0	Bading forekommer ikke
Parametere for inntak av partikulært materiale, DEI _{pm}	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, f _{exp,ipm} [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	0,00E+00	0,00E+00	Bading forekommer ikke
Inntak av sjøvann, DI _{sv} [l/d]	Se inntak av overflatevann.				
Parametere for hudkontakt med sediment, DEH _{sed}	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	0,00E+00	0,00E+00	Bading forekommer ikke
Hudareal for eksponering med sediment, HA _{sed} [m ²]	0,28	0,17	0	0	Bading forekommer ikke
Hudhefterate for sediment, HAD _{sed} [kg/m ²]	0,0375	0,0051	0,0000	0,0000	Bading forekommer ikke
Hudabsorpsjonsrate for sediment HAB _{sed} [1/timer]	0,005	0,010	0,000	0,00	Bading forekommer ikke
Eksponeringstid hud med sediment, ET _{sed} [timer/d]	8	8	0	0	Bading forekommer ikke
Parametere for hudkontakt med vann, DEH _{sv}	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, f _{exp,hsv} [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	0,00E+00	0,00E+00	Bading forekommer ikke
Hudareal for eksponering med sediment, HA _{sv} [m ²]	1,80	0,95	0	0	Bading forekommer ikke
Eksponeringstid hud med sjøvann, ET _{sv} [timer/d]	1	2	0	0	Bading forekommer ikke
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	Fiske forekommer

Fordeling av spredningsmekanismer (gjennomsnitt)



Stoff	F _{tot} i forhold til tillatt spredning (antall ganger):		Beregnet total livstidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):		Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):		Beregnet sjøvannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):	
	Maks	Middel	Maks	Middel	Maks	Middel	Maks	Middel
Arsen			117,75	55,93				
Bly								
Kadmium			3,53	1,83				
Kobber	1,37	1,04	2,94	1,07	4,42	3,36		
Krom totalt (III + VI)								
Kvikksølv			16,29	9,58				
Nikkel					1,61	1,19		
Sink					1,04			
Naftalen								
Acenaftylen								
Acenaften								
Fluoren								
Fenantren	2,77	2,66			4,69	4,69		
Antracen	13,96	13,50			14,55	14,55		
Fluoranten	74,52	71,37			116,67	116,67		
Pyren	22,86	22,02			608,70	608,70		
Benzo(a)antracen	342,56	330,26			1083,33	1083,33	1,38	1,33
Krysen	44,72	42,89			171,43	171,43		
Benzo(b)fluoranten	98,81	94,43			600,00	600,00		
Benzo(k)fluoranten	39,26	37,62			237,04	237,04		
Benzo(a)pyren	40,84	39,21	1,07		260,00	260,00		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	726,58	703,96			8000,00	8000,00	8,72	8,44
Dibenzo(a,h)antracen	13,72	13,22			136,67	136,67		
Benzo(ghi)perylene	976,58	950,22			7500,00	7500,00	8,09	7,87
PCB 28					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 52					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 101					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 118					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 138					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 153					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 180					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
Sum PCB7			235,10	79,63	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
Tributyltinn (TBT-ion)					80,95	80,95		

9.2.4 Lundevågen(d)

GENERELLE PARAMETERE

Grunnleggende sedimentparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
TOC	1	6,7	Snittverdi av sedimentprøvene
Bulkdensitet til sedimentet, ρ_{sed} [kg/l]	0,8	0,8	
Porøsitet, ϵ	0,7	0,7	
Korreksjonsfaktor	315576000	315576000	For å ende opp med mg/m ² /år for spredning ved biodiffusjon
Generelle områdeparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Sedimentareal i bassenget, A_{sed} [m ²]	ingen standard	422000	Målt
Vannvolumet over sedimentet, V_{sed} [m ³]	ingen standard	12322000	Beregnet
Oppholdstid til vannet i bassenget, t_r [år]	ingen standard	0,0055	Beregnet

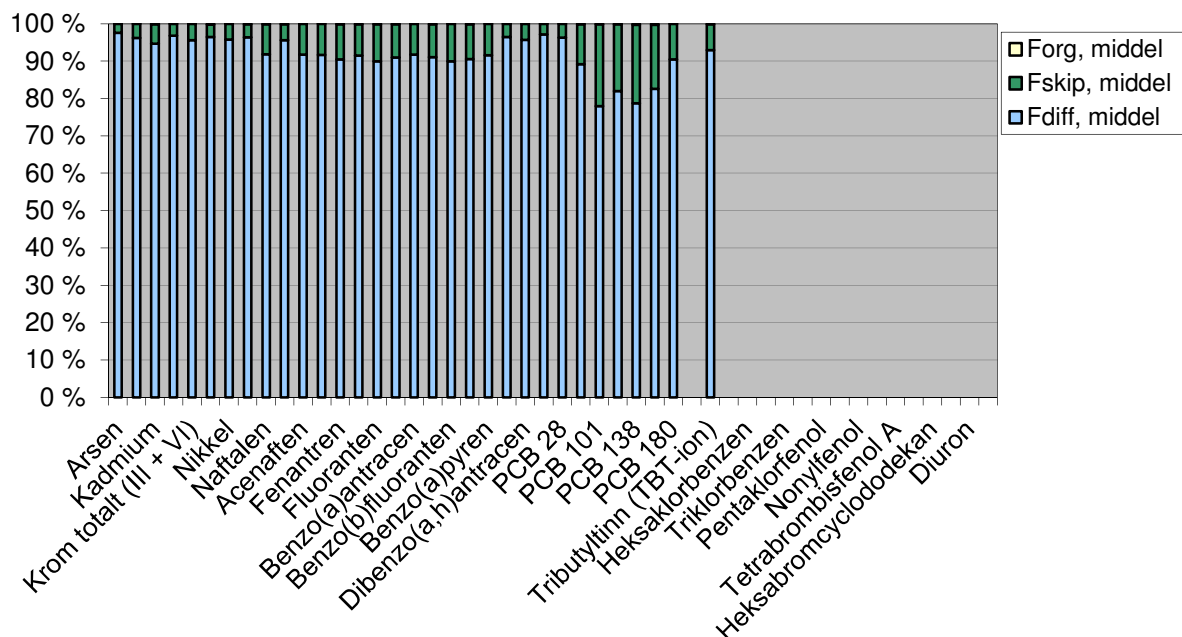
PARAMETERE FOR SKIPSOPPVIRVLING

Parametere for oppvirvling fra skip, F_{skip}	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Antall skipsanløp per år, N_{skip}	ingen standard	199	Hentes fra havnemyndigheter
Trasélengde for skipsanløp i sedimentareal påvirket av oppvirvling, T [m]	120	130	Lengste innseilingstrasé i sedimentareal påvirket av oppvirvling, dvs. i sedimentareal < 20 m dypt
Mengde oppvirvlet sediment per anløp, m_{sed} [kg]	ingen standard	50	Verdien settes lav etter ingen registreringer av turb måler
Sedimentareal påvirket av oppvirvling, A_{skip} [m ²]	ingen standard	1950	15 meter bredde
Fraksjon suspendert f_{susp} = sedimentfraksjon < 2µm	ingen standard	0,19	Tas fra siktekurve (dersom 5 % er mindre enn 2 µm, er $f = 0,05$)

HUMAN HELSE

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, DEI_{sed}	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp, ised}$ [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, DEI_{sv}	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp, isv}$ [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, DEI_{pm}	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp, ipm}$ [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, DEH_{sed}	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 ²]	0,28	0,17	0,28	0,17	
Hudhefterate for sediment, HAD_{sed} [kg/m ²]	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, DEH_{sv}	Sjablong-verdi voksen	Sjablong-verdi barn	Anvendt verdi voksen	Anvendt verdi barn	Begrunnelse
Fraksjon eksponeringstid, $f_{exp, hsv}$ [d/d]	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	8,22E-02	
Hudareal for eksponering med sediment, HA_{sv} [m ²]	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	Noe fiske

Fordeling av spredningsmekanismer (gjennomsnitt)



Stoff	F _{tot} i forhold til tillatt spredning (antall ganger):		Beregnet total livstidsdose i forhold til MTR 10 % (antall ganger):		Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):		Beregnet sjøvannskonsentrasjon i forhold til PNEC _w (antall ganger):	
	Maks	Middel	Maks	Middel	Maks	Middel	Maks	Middel
Arsen	23,29	22,69	118,02	55,73	112,50	112,50		
Bly	56,85	52,77	1,34		590,91	590,91		
Kadmium	7,43	6,33	3,37	1,78	26,25	26,25		
Kobber	41,86	40,81	2,96	1,08	1390,63	1390,63	1,46	1,42
Krom totalt (III + VI)	2,16	2,11	21,67	7,26	161,76	161,76		
Kvikksølv	7,61	7,43	16,30	9,62	31,46	31,46		
Nikkel	12,97	12,61			145,45	145,45		
Sink	19,76	19,19			965,52	965,52	1,01	
Naftalen					1,33			
Acenaftylen								
Acenaften	3,32	1,56			2,11	1,06		
Fluoren	2,13	1,00			2,08	1,05		
Fenantren	13,47	6,30			23,08	11,55		
Antracen	58,36	27,71			61,82	31,02		
Fluoranten	297,19	140,13			533,33	266,93		
Pyren	91,96	43,57			2608,70	1305,57	2,61	1,24
Benzo(a)antracen	972,74	468,00			4083,33	2042,71	3,66	1,76
Krysen	149,75	71,96			700,00	350,18		
Benzo(b)fluoranten	267,10	128,77			2100,00	1051,17	1,79	
Benzo(k)fluoranten	104,25	50,44			814,81	407,87		
Benzo(a)pyren	110,34	53,41	5,44	1,91	920,00	460,25		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1549,89	768,94			27500,00	13763,75	19,91	9,88
Dibenzo(a,h)antracen	27,80	13,75			433,33	217,08		
Benzo(ghi)perylene	2437,89	1213,48			26500,00	13264,50	18,98	9,44
PCB 28					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 52					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 101					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 118					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 138					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 153					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
PCB 180					mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
Sum PCB7			235,15	79,83	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC	mangler PNEC
Tributyltinn (TBT-ion)	2,87				42643,92	12781,43	30,64	9,18

9.3 Vurderinger

Det er påvist overskridelser av akseptkriterier for både spredning, human helse og økologisk risiko for alle fire delområdene. Det er likevel varierende grad av risiko, både når det gjelder overskridelser og parameter.

Her følger et sammendrag av identifiserte risikoer for de forskjellige delområdene:

Verneområdet

- Spredning: PAH
- Human helse: Arsen, kobber, kvikksølv og PCB
- Økologisk: PAH, TBT

Kommunekaia

- Spredning: Arsen, bly, kobber, sink, PAH og TBT
- Human helse: Arsen, kvikksølv og PCB
- Økologisk: Metaller, PAH, TBT

Smalsundet

- Spredning: PAH
- Human helse: Arsen kvikksølv og PCB
- Økologisk: PAH, TBT

Lundevågen(d)

- Spredning: Metaller, PAH og TBT
- Human helse: Arsen, kobber, kvikksølv og PCB
- Økologisk: Metaller, PAH, TBT

Det er registrert lave verdier av arsen i sedimentene (hovedsakelig bakgrunnsverdier, klasse 1). I denne undersøkelsen ligger hovedkilden til arsen i biota, da spesielt i torskefilet og lever (4 og 12 mg/kg). Det er ingen norske eller europeiske miljøkvalitetskriterier for arsen i fisk, men i forhold til kriteriene for blåskjell ville tilstandsklassen vært klasse 2, god tilstand, for torskelever. European Food Safety Authority (EFSA) har konsumgrenser på 0,3 mg/kg våtvekt i mat. Disse grensene overskrides i torskeprøvene fra Lundevågen. I følge NIFES (Nasjonalt institutt for ernærings- og sjømatforskning) inneholder marine dyr naturlig mellom 1 og 100 mg/kg våtvekt av arsen. Arsennivåene skulle derfor kunne ansees som tilnærmet naturlige.

Arsen er et grunnstoff som finnes i relativt høye konsentrasjoner i sjømat, og som foreligger både som organisk og uorganisk. Organisk bundet arsen anses å være lite giftig, mens uorganisk arsen er meget giftig. Arsen analysene som er gjennomført i denne undersøkelsen oppgir kun total mengde arsen. Nyere undersøkelser viser imidlertid at 97-99 % av arseninnholdet i fisk og sjømat er organiske forbindelser som ikke er helseskadelige (Mattilsynet 2013).

Risikoen fra arsen i undersøkelsesområdet bør dermed vurderes opp mot nyere funn på fagfeltet, og anses som mindre reel enn oppgitt som følge av beregningsverktøyet.

Øvrige resultat er vurdert til å utgjøre en reel risiko og PNEC_w, som tilsvarer grensen mellom tilstandsklasse II og III i henhold til veileder TA-2229 (Miljødirektoratet 2007), ligger til grunn for akseptgrensene for økologisk risiko.

9.4 Forurensningskilder

Bek og kull er en kilde til pyrogen PAH forurensning. Stoffgruppen PAH (polyaromatiske hydrokarboner) består av mange forskjellige forbindelser. Noen er giftige, arvestoffskadelige eller kreftfremkallende. PAH dannes ved all ufullstendig forbrenning av organisk materiale. I Norge er det vedfyring og aluminiumsindustrien som er de største kildene til utslipp av PAH forbindelser.

Polyklorerte bifenyler eller PCB er industrikjemikalier som ble utviklet på 1920-tallet. På grunn av sinn anvendelighet ble kjemikaliene brukt i en rekke produkter, blant annet som tilsetning i mørtel til bruk i betong, og maling.

Etter funn av høye PCB verdier i 2006 undersøkelsen ble det ble i gjennomført supplerende PCB undersøkelser (Multiconsult 2007) hvor det ble funnet PCB i en prøve betong og en prøve jord nær Kommunekaia. Øvrige prøver i området viste ingen funn av PCB. PCB verdiene i sedimentene ved Kommunekaia kan ikke forklares med disse to funnene. Det er ellers ikke funnet kilder av PCB i tilknytning til undersøkelsesområdet.

Forhøyede nivåer av TBT (tributyltinn) er typisk å finne i sedimenter ved gamle marinaer, trafikkerte havner og skipsleier. TBT har vært hyppig brukt som smøremiddel på skip og båter siden 50-tallet, men bruken ble stadig begrenset utover 90-tallet, med et totalforbud i 2008. TBT er svært giftig for marine organismer generelt og purpursnegl spesielt. Hunnene utvikler maskuline karaktertrekk, såkalt imposex, som igjen kan føre til sterilitet. Ofte ser man fravær av purpursnegl i gamle havner og skipsleier. Selv om det er et totalforbud mot TBT kan skipstrafikk fortsatt anses som en aktiv kilde, da det finnes rester av TBT på eldre skip.

Kobber er vanlig i bunnstoff. Bruken økte kraftig fra midten av 90-tallet når bruken av TBT ble begrenset. Kobber er i dag vanlig å finne ved båthavner og kaianlegg.

Kjerneprøver i 2006 påviser en eldre forurensning i området. Kjerneprøvene viser en PAH 16 og PCB 7 forurensning ned til 21 cm. Med en sedimentasjonsrate på 4 mm per år vil det si at de nederste lagene har en 50 år gammel forurensning. Bildet er nok noe mer nyansert ved at bioturbasjon drar med seg forurensning nedover i sedimentene samtidig som utslipp og spill kan ha medført en høyere sedimentasjonsrate enn det som er naturlig for området i perioder.

9.5 Øvrige betraktninger

Det er gjennomgående høye konsentrasjoner av PAH i hele undersøkelsesområdet med unntak av to stasjoner i verneområdet. Analyser av PAH forbindelsene viser at de er av pyrogen kilde. Det er ingen merkbar forbedring av forurensningssituasjonen over perioden på 8 år mellom Trinn 2 undersøkelsene og Trinn 3 undersøkelsene. Det foregår en økologisk spredning av PAH som vises igjen i bunndyrsundersøkelsene og til dels i blåskjellundersøkelsene.

TBT er å finne i alle delområdene med skipstrafikk. Med et totalforbud av TBT er situasjonen forventet å forbedre seg på sikt, men tidsperspektivet på dette er nok lang. Skipsleier kan fortsatt anses som delvis aktive kilder for TBT da flere aldre båter kan ha gjenværende TBT i skroget.

PCB har uakseptabel risiko for human helse i alle delområdene. Det er inntak av fisk og skaldyr som er enekilden til risiko for human helse i alle delområdene utenom Lundevågen (d). Her er andre kilder også vurdert til å spille en liten rolle som følge av fritidsaktiviteter og rekreasjonsområder i disse delene av undersøkelsesområde (bading, leking i vannkant mm).

Det er registrert kobber i klasse 4 ved alle kaianleggene, inkludert småbåthavna, i undersøkelsesområde. Dette skyldes trolig kobber i skipsmaling, både på større skip og for enkelte mindre båter. Dette kommer tydelig frem av figur 11.

Stasjonsdata av sedimentprøvene viser lave verdier for kvikksølv. Det er ingen steder kvikksølvverdiene overstiger klasse 2 i sedimentene. I følge risikovurderingen overskrider kvikksølv grenseverdiene for human helse. Dette er som følge av biotaundersøkelsene. Som gjennomgått i kapittel 8.5, overskrider metylkvikksølvverdiene i torskefilet et anbefalt daglig inntak (basert på normal konsument 560 g/dag) med marginale verdier i ytre Lundevågen, mens de i indre Lundevågen overskrides med stor margin.

Kvikksølvproblematikken er derfor kompleks i Lundevågen siden den ikke kan spores tilbake til sedimentene. Forklaringen kan være at kilden til kvikksølv ligger utenfor undersøkelsesområdet eller en forhøyning av verdier i biota som følge av bioakkumulasjon.

Resultatene fra helsedimenttesten viser toksiske sedimenter i alle delområdene for testen gjennomført med fjæremark. Dette resultatet stemmer godt overens med observasjoner under feltarbeid. Det var lite liv i sedimentene og det var problemer med å finne infauna til bunndyrsundersøkelsene. Av oksygenprofilene ser man at dette ikke kan tilskrives reduserte forhold. Lav biomasse i sedimentene kan høyst sannsynlig tilskrives forurensningssituasjonen.

10 KONKLUSJON

10.1 Verneområdet

Det er ingen båttrafikk i indre deler av verneområdet, men noen småbåter går i ytre deler av delområdet. Spredningsfaren som følge av båttrafikk er derfor minimal. Spredningen i området skjer via diffusjon. Det er påvist overskridelser av akseptkriteriene for både spredning, human helse og økologisk risiko i Verneområdet. Forurensningssituasjonen i Verneområdet er ikke i tråd med miljømålene.

Forurensningen ligger i et lokalt basseng.

10.2 Kommunekaia

Ved kommunekaia finner man høye konsentrasjoner av PAH 16, kobber, TBT og PCB 7. Det er i dette området man finner de høyeste konsentrasjonene med PCB 7 i hele undersøkelsesområdet. Risikovurderingen av området viser overskridelser av akseptkriteriene for både spredning, human helse og økologisk risiko. Forurensningssituasjonen ved kommunekaia er ikke i tråd med miljømålene.

Hele delområdet har høye forurensningsverdier, men de alvorligste problemene ligger ved kaia og langs skipsleiet.

10.3 Smalsundet

Smalsundet utgjør terskelen i Lundevågen. Det er derfor god gjennomstrømning av vannmasser ved de grunneste områdene av delområdet. Sedimentene ved terskelen består av sand, i motsetning til øvrige områder (unntatt indre del av Verneområdet) i undersøkelsesområdet som består av mudder og silt. Spredningsfaren fra grovere sedimentene er mindre. Risikovurderingen viser likevel overskridelser av akseptkriteriene for spredning, samtidig som akseptkriteriene for human helse og økologisk risiko ikke blir overholdt. Forurensningssituasjonen i Smalsundet er ikke i tråd med miljømålene.

Det er i de ytterste/østligste delene av Smalsundet problemene er størst innenfor delområdet. Det er likevel enkelte parametere som har verdier i klasse 4 og 5 i den innerste delen.

10.4 Lundevågen (d)

I Lundevågen (d) ble det funnet høye verdier av PAH 16, kobber, TBT, samt moderate verdier av PCB7. Området er det største av delområdene, men har god dekningsgrad med 11 stasjoner. Området er i sin helhet relativt homogent med tanke på forurensningssituasjonen. Unntaket er kobberforurensningen som finnes ved alle kaianleggene i hele undersøkelsesområdet. Stasjonene F12b og F16, ved

dypvannskaie, avviker også fra øvrige stasjoner. Ved disse stasjonene ble det registrert bedre verdier enn ved øvrige stasjoner for flere parameter. Det er påvist overskridelser av akseptkriteriene for både spredning, human helse og økologisk risiko. Forurensningssituasjonen i Lundevågen (d) er ikke i tråd med miljømålene.

10.5 Oppsummert

Basert på risikovurderingen i sammen med stasjonsdata og supplerende undersøkelser vurderes ingen av de 4 delområdene å oppfølge miljømålene. For å oppnå miljømålene bør det iverksettes tiltak i alle 4 delområder. Anbefalte tiltak skisseres i egen rapport (Larsen 2014).

For ytterligere bakgrunnsdata en de som er presentert i denne rapporten henvises det til egen datarapport (Larsen & Ledje 2014)

11 KILDER

Askland, A. 2007. *Supplerende PCB undersøkelser ved Kommunekaia og Nautodden*. Multiconsult 311389/1.

EU/EØS (2006). *Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs*. Commission regulation (EC) No. 1881/2006 of 19 December 2006. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:EN:PDF>

Larsen, O.K., 2014, *Tiltaksplan for Lundevågen i Farsund, Farsund kommune. Rene Listerfjorder*. Ecofact rapport 410, 25 s.

Larsen, O.K. & Ledje, U. 2014. *Miljøundersøkelser i Lundevågen. Datarapport*. Ecofact rapport

Næs, N. og B. Bjerkeng. 2003. *Sedimentundersøkelse ved Kommunekaia og Elkemkaia, Lundevågen, Farsund*. NIVA notat O-23403, 18 s.

Mattilsynet 2013: www.matportalen.no

Miljødirektoratet 2007. TA2229/2007. *Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann - Revisjon av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter*. Veileder. Klima- og Forurensningsdirektoratet.

Miljødirektoratet 2011. TA2802/2011. *Risikovurdering av forurenset sediment*. Veileder. Klima- og Forurensningsdirektoratet.

Morales-Caselles, C., Ramos, J., Riba, I., DelValls, T. A., 2007. *Using the polychaete Arenicola marina to determine toxicity and bioaccumulation of PAHS bound to sediments*. Environmental Monitoring and Assessment. Volume 142, Issue 1-3 , pp 219-226

Nilsson, H.C. & Næs, K. 2006. *Sedimentundersøkelser i forbindelse med tiltaksplan for forurensede sedimenter i Farsund: fase 2, trinn 2*. NIVA rapport O-25397. 49 s.

SNT 2000. (www.snt.no). Kostholdsråd.

Sødal, D.P., 2003: *Fylkesvise tiltaksplaner for forurensede sedimenter. Rapport fra fase 1 for Farsundsområdet med Lyngdalsfjorden*. Fylkesmannen i Vest-Agder, Miljøvern avdelingen, rapport nr. 3-2003. 45 s. + vedlegg.