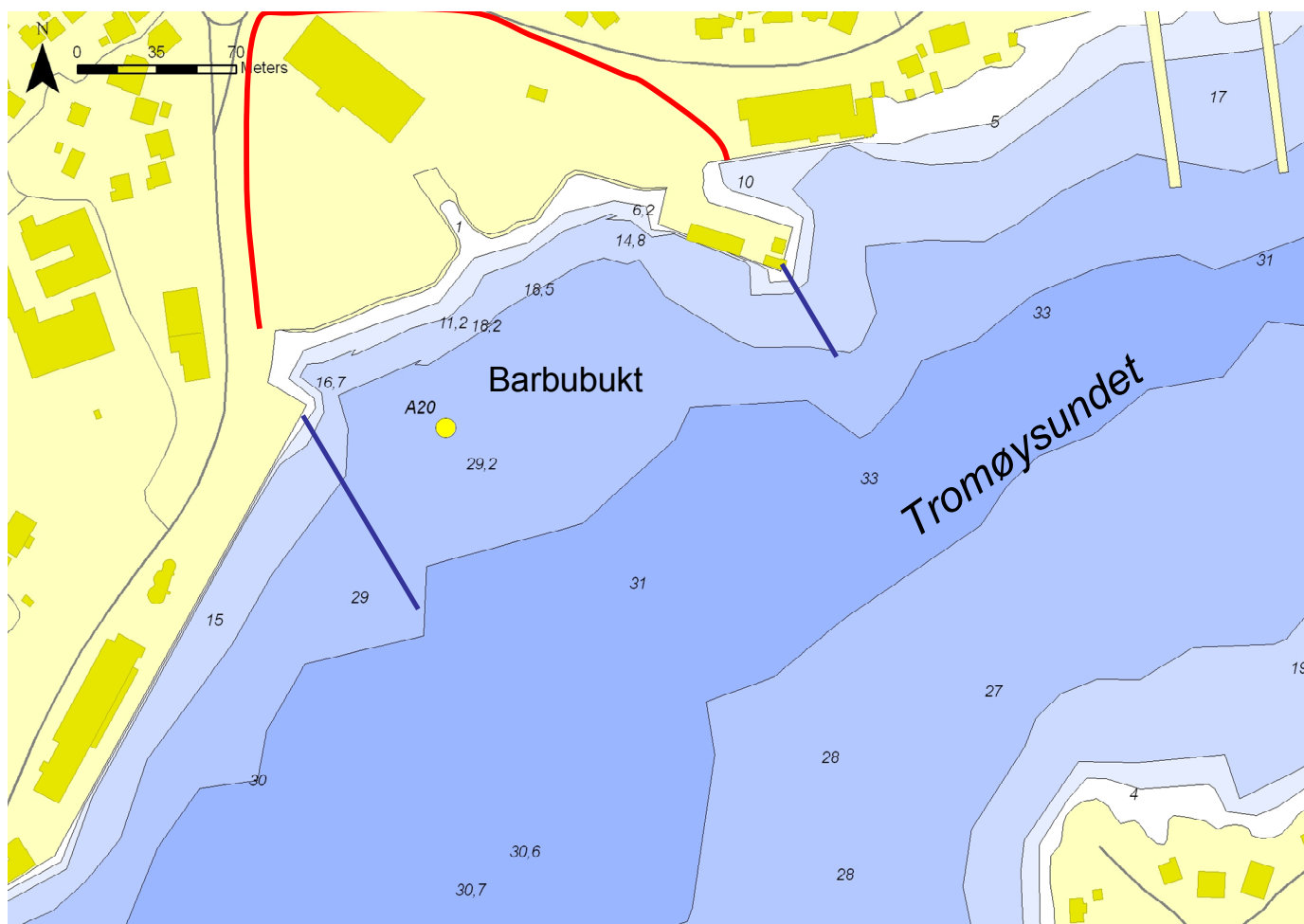


# Miljøundersøkelser i Barbubukt, Arendal

## Risiko og tiltaksvurdering av forurensete sedimenter



**Hovedkontor**

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

**Sørlandsavdelingen**

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

**Østlandsavdelingen**

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

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
Postboks 2026  
5817 Bergen  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 55 23 24 95

**NIVA Midt-Norge**

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

Tittel Miljøundersøkelser i Barbubukt, Arendal. Risiko og tiltaksvurdering av forurensede sedimenter.	Løpenr. (for bestilling) 5833-2009	Dato 26.8.2009
	Prosjektnr. Undernr. O-28458	Sider Pris 29
Forfatter(e) Jarle Håvardstun Merete Schøyen Torgeir Bakke	Fagområde Miljøgifter	Distribusjon
	Geografisk område Aust-Agder	Trykket CopyCat AS

Oppdragsgiver(e) Arendal kommune	Oppdragsreferanse Gunnar Kåre Salvesen
-------------------------------------	---

**Sammendrag**

NIVA har gjennomført miljøundersøkelser av forurenset sediment i Barbubukta i Arendal. Undersøkelsene har inkludert risiko og tiltaksvurdering av sedimentene. Det er tatt prøver både fra fyllingskanten innerst i bukten og fra sedimentområdet utenfor fyllingskanten. Resultatene viser at det var lite sedimenter i fyllingskanten og det var lavere konsentrasjoner av miljøgifter i fyllingskanten, enn i sedimentområdet utenfor. Sedimentene i Barbubukta representerer en uakseptabel risiko mht spredning av miljøgifter ut fra sedimentet, risiko for skade på human helse og risiko for økologisk skade på sedimentlevende organismer. Risikoen for skade på human helse ved konsum av lokal sjømat er ikke akseptabel på grunn av beregnet utlekking av PCB<sub>7</sub>, TBT og PAH. Risikoen for skade på organismer som lever i sedimentene skyldes for høye konsentrasjoner av metallene kobber, nikkel og sink, i tillegg til stoffene TBT og ulike PAH forbindelser. Beregningene viser videre at sedimentene utgjør en risiko for skade på organismer i vannmassene p.g.a utlekking av TBT.

Fire norske emneord 1. Miljøgifter 2. Risikovurdering 3. Trinn 1 og 2 4. Barbubukt, Arendal	Fire engelske emneord 1. Contaminants 2. Risk assessment 3. Step 1 and 2 4. Barbubukt, Arendal
---	--



Jarle Håvardstun  
Prosjektleder



Kristoffer Næs  
Forskningsleder



Bjørn Faafeng  
Seniorrådgiver

## **Miljøundersøkelser i Barbubukt, Arendal**

Risiko og tiltaksvurdering av forurensede sedimenter.

## Forord

NIVA har gjennomført supplerende sedimentundersøkelser, risikovurdering ihht SFTs veileder Trinn 1 og Trinn 2 og tiltaksvurdering av sedimenter i Barbubukt i Arendal. Oppdragsgiver har vært Arendal kommune. Jarle Håvardstun har vært prosjektleder og har sammen med Torgeir Bakke hatt kontakt med oppdragsgiver. Rapporten er skrevet av Jarle Håvardstun og Merete Schøyen. Torgeir Bakke og Kristoffer Næs har kvalitetssikret rapporten.

Grimstad, 26.08.2009.

*Jarle Håvardstun*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Bakgrunn og mål</b>	<b>7</b>
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Undersøkelsesområdet/ områdebeskrivelse	7
1.3 Målsetting	8
1.4 Tidligere miljøundersøkelser	8
<b>2. Metoder og gjennomføring</b>	<b>9</b>
2.1 Prøvetaking av sjøbunnen utenfor fylling og i fyllingskanten	9
2.2 Risikovurdering av sedimenter	10
2.2.1 Trinn 1	10
2.2.2 Trinn 2	11
2.2.3 Trinn 3	11
2.3 Kjemiske analyser og toksisitetstester	11
2.4 Lokal informasjon	12
<b>3. Resultater Trinn 1</b>	<b>13</b>
3.1 Risikovurdering Trinn 1 for sedimentene fra fyllingskanten.	13
3.2 Risikovurdering Trinn 1 for delområde sedimentflate	14
3.2.1 Kjemiske analyser	14
3.2.2 Toksisitetstester	15
3.3 Konklusjon risikovurdering Trinn 1	16
3.3.1 Sedimenter i fyllingskant	16
3.3.2 Sedimentflate utenfor fyllingskant	16
<b>4. Risikovurdering Trinn 2</b>	<b>17</b>
4.1 Trinn 2A, risiko for spredning	17
4.2 Trinn 2B, risiko for skade på human helse	21
4.3 Trinn 2C, risiko for økologisk skade	23
4.4 Risiko for akvatiske organismer	25
4.5 Samlet risikovurdering Trinn 2	26
<b>5. Anbefalinger</b>	<b>27</b>
<b>6. Referanser</b>	<b>28</b>
<b>Vedlegg A. Rådata kjemianalyser</b>	<b>29</b>

---

## Sammendrag

Denne rapporten er utarbeidet av NIVA på oppdrag fra Arendal kommune. Undersøkelsen omfatter undersøkelser og risikovurderinger av sedimentene i fyllingskant og sedimentområdet utenfor Barbubukt i Arendal.

Resultatene fra fyllingskanten er sammenlignet med grenseverdiene for ubetydelig risiko for Trinn 1 i SFTs veileder for bedømming av risiko fra forurenset sediment (tilsvarer grenseverdien mellom tilstandsklasse "God" (II) og tilstandsklasse "Moderat" (III)). Denne sammenligningen viser at for metallene oversteg gjennomsnittsverdien for kobber fra de 4 stasjonene i fyllingskanten grenseverdien for friskmelding i Trinn I (klassifisert til tilstandsklasse III, moderat forurenset). Det samme gjaldt for enkelte PAH-forbindelser, mens konsentrasjonene av andre metaller, PCB og TBT var lavere enn grenseverdien. Imidlertid, forurensningene påvist i selve fyllingskanten var knyttet til mindre sedimentvolum i lommer mellom større steinblokker og grovere masser. Det vil derfor ikke være stor fare for spredning av forurensning ved arbeider i selve skråningen. Den gjennomførte Trinn 1 risikovurderingen av disse sedimentene viste også at nivåene av forurensningene var lavere enn i sedimentet utenfor fyllingskanten. En spredning til nærliggende områder vil derfor ikke medføre økt belastning til disse arealene. På grunnlag av dette ble det vurdert å være lite aktuelt å gjennomføre en Trinn 2-type risikovurdering av sedimentene i fyllingskanten

For sedimentområdet utenfor fyllingskanten var det overskridelser av grenseverdiene for metallene bly og kobber i tillegg til de organiske miljøgiftene PCB<sub>7</sub> og PAH<sub>16</sub> og også TBT. Resultatene fra risikovurderingene (Trinn 1 og 2) i dette delområdet viste at det er uakseptabel risiko for spredning av både metaller og organiske miljøgifter fra dette arealet. Dessuten er det en uakseptabel høy risiko for skade på organismer som lever i sedimentene. Risikoen for skade på human helse ved konsum av lokal sjømat er ikke akseptabel på grunn av beregnet utlekking av sum PCB<sub>7</sub>, TBT og PAH. Den påviste risikoen for skade på human helse er bare reell dersom det fanges og konsumeres fisk eller skalldyr i området.

På grunnlag av disse resultatene bør tiltak iverksettes for å hindre spredning ved arbeider som kan forårsake oppvirvlingslik som for eksempel utfylling, pøling eller graving i disse sedimentene, må en gjøre tiltak for å hindre spredning.

## Summary

Title: Environmental study in Barbubukt, Arendal. Risk assessment Step 1 and 2 and evaluation of remedial actions.

Year: 2009

Author: Jarle Håvardstun, Merete Schøyen, Torgeir Bakke.

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-5568-3

NIVA has completed environmental investigations and evaluation of environmental risk and remedial actions regarding pollution status for the bottom sediments and sediments from a fill slope into Barbubukt in Arendal. The results have been treated in accordance with The Norwegian Pollution Control Authorities (SFTs) risk assessment tools (Bakke m.fl. 2007) for a Tier 1 and Tier 2 evaluation.

The fill slope which mainly consists of stones and coarse materials had lower concentrations of PAH, PCBs and metals than the seabed outside the slope. Compared with the SFT risk assessment tool Tier 1 guidelines, PAH<sub>16</sub> and Cu from the fill slope was classified to "Moderately polluted, class III". Due to the relatively small amounts of sediments in the fill slope and the coarse composition of the sediments there was not conducted a Tier 2 evaluation of these sediments.

In the sediments outside the fill slope the metals Pb and Cu was classified to "Moderately polluted, class III". The organic pollutants PCB<sub>7</sub> and PAH<sub>16</sub> were also classified to "Moderately polluted, class III". Due to this it was also necessary to conduct a Tier 2 evaluation of these sediments.

The tier 2 evaluation showed that the sediments represented too high risk of damage regarding dispersion from the sediments and risk of damage to human health and also risk to sediment ecology. Several of the contaminants contributed to the human health risk and risk to sediment ecology. It was also a too high risk of damage to organisms living in the water body. This was due to high TBT levels in the sediments. However the Tier 2 Risk Assessment only represents a potential risk for damage, and the real risk can be better assessed through a site specific Tier 3 approach. This has not been conducted in this investigation.

It has been proposed remedial actions that can be conducted if construction work are going to take place in Barbubukt.

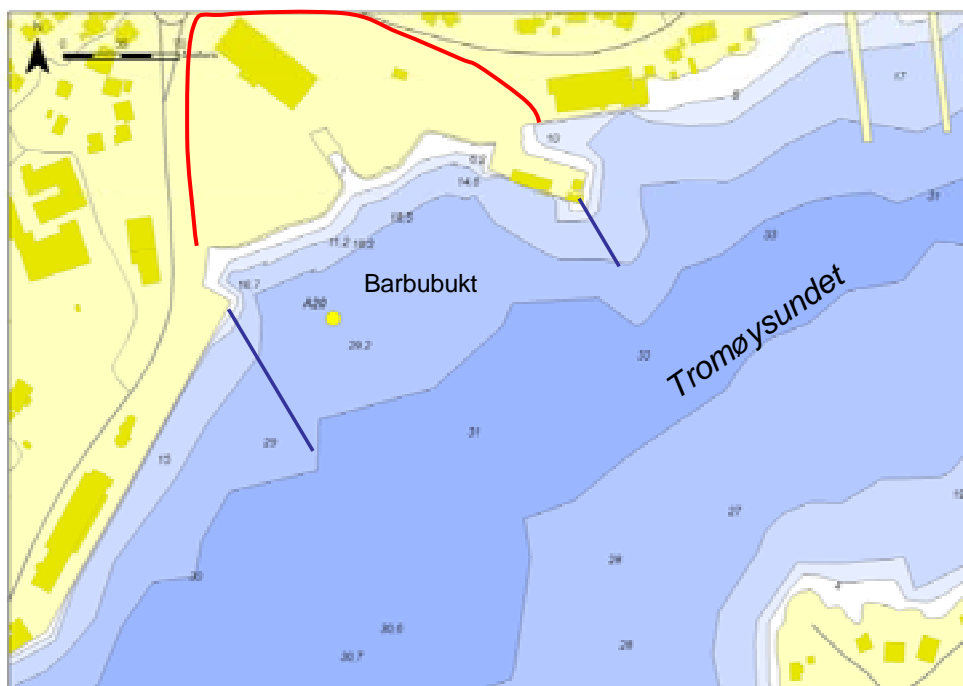
# 1. Bakgrunn og mål

## 1.1 Bakgrunn

Basert på sedimentresultatene fra fase 2 (Nilsson og Næs 2005) i tiltaksplan for forurensede sedimenter i Arendal, og en nylig vedtatt reguleringsplan, har Arendal kommune fått innvilget støtte fra SFT til gjennomføring av miljøtiltak i Kittelsbukta, Barbubukta og Bukkevika for supplerende undersøkelser, utarbeidelse av gjennomføringsplaner og gjennomføring av eventuelle tiltak. For Barbubukta skulle midlene brukes til å utarbeide plan for og gjennomføre undersøkelser for å avklare tiltaksbehov. Det er tatt sedimentprøver fra fyllingskanten og fra sjøbunnen utenfor. I tillegg er det gjort videofilming av fyllingskant og sjøbunnen utenfor.

## 1.2 Undersøkelsesområdet/ områdebeskrivelse

Området, som ligger i den nordøstlige delen av Arendal, har tidligere vært en åpen bukt, men ble på 1970-tallet og over en lengre periode gjenfylt med ulike og ukjente masser (**Figur 1**).



**Figur 1.** Kart over Barbubukta med dybdekoter inntegnet. Rød linje på land angir omtrentlig den opprinnelige strandlinja. Blå streker gir forslag til avgrensning av undersøkelsesområdet. Gul sirkel markerer sedimentprøve tatt i 2005.

Bortsett fra en større bygning angitt i figuren, er arealene åpne og brukes til parkering. Den ytre delen av fyllinga ligger i dag under havnivå og har i henhold til geotekniske undersøkelser behov for stabilisering. Barbuelva løper lukket gjennom fyllinga til sjøen, og i kommuneplanen for Barbu er det foreslått å åpne bekkeløpet. Området er i kommunedelplanen avsatt til byggeområde. Det er to grunneiere: Arendal kommune og Barbu Brygge AS. I forslag til reguleringsplaner har området også vært pekt på som rekreasjonsområde/friområde med badeplass og grøntanlegg. Det er videre nevnt at elva er en god lokalitet for gytende sjøørret.



### 1.3 Målsetting

Målsettingen med de supplerende undersøkelsene i sjø var å få en tilfredsstillende dokumentasjon på dagens forurensningssituasjon, både i bunnsedimentene ut mot Tromøysundet og i den delen av utfyllinga i Barbubukt som ligger under havnivå. Undersøkelsene skal bedre grunnlaget for å planlegge tiltak, som åpning av bekkeløpet og stabilisering av fyllingskant, og sikre at man velger tiltak som ikke skaper uakseptabel miljørisiko.

På grunnlag av dette er det gjennomført følgende undersøkelseelementer:

- Prøvetaking i sjøbunnen utenfor fyllingen.
- Prøvetaking i fyllingskant
- Videundersøkelse av sjøbunn og fyllingskant.

### 1.4 Tidligere miljøundersøkelser

I sedimentundersøkelsene som dannet grunnlaget for fase 2 i tiltaksplanarbeidet (Nilsson og Næs 2005) ble en stasjon i Barbubukt undersøkt (stasjon A20 vist i **Figur 1**). Dette er så vidt vi vet den eneste undersøkelsen som er gjort av sedimentene. Analysen dekket de øvre 2 cm av sedimentene som ble tatt på 30 m dyp. Sedimentene ble klassifisert som leire (64 % andel < 0,063 mm). I følge SFTs reviderte miljøkvalitetsklassifisering (SFT TA-2229/2007) ble tilstanden klassifisert som moderat-dårlig (klasse III-IV) for de fleste metallene, først og fremst Cu og Pb, moderat (klasse III) for PCB, dårlig (klasse IV) for PAH og TBT. Innholdet av oljehydrokarboner lå også vel dobbelt så høyt som erfaringsgrensen for effekter på bunndyr. Ut fra dette kan det konkluderes med at sedimentet på denne stasjonen utgjør en uakseptabel risiko for effekter på bunnlevende organismer i følge SFTs risikoveileder Trinn 1.

Det er også gjort en undersøkelse i 2007 på revurdering av kostholdsrestriksjoner i Arendals fjordbasseng (Håvardstun og Næs 2008).

## 2. Metoder og gjennomføring

### 2.1 Prøvetaking av sjøbunnen utenfor fylling og i fyllingskanten

Prøvetakingen dekker de krav/anbefalinger som er gitt i SFTs risiko- og klassifiseringsveiledere for forurenset sediment (SFT TA-2230/2007 og SFT TA-2229/2007) og følger norsk standard NS-EN ISO 5667-19:2004 for sedimentprøvetaking.

Hensikten med å prøveta fyllingskanten var å få informasjon om forurensningsnivået i fyllingsmasser under havnivå som kan bli forstyrret i forbindelse med tiltak for å bedre geoteknisk stabilitet. Målet var å få finkorninge prøver hvor man kan forvente å finne akkumulerte miljøgifter som kan bli virvlet opp og transportert ved graving i fyllinga.

Undersøkelsen beskriver bunnens beskaffenhet. Registreringene ble gjort ved at bunnen ble filmet langs 5 rette linjer (transekter) utover fra land til maksimalt 30 m dyp. Filmingen ble utført med undervannskamera kabelstyrt fra liten båt og transektene ble kartfestet. Tilsvarende registreringer ble gjennomført i Kittelsbukta i 2007 (Helland m.fl. 2007). Videoopptakene er lagret på egen DVD og blir lagt ved rapporten.

Sedimentprøvene fra fyllingskanten samt stasjonene 1 og 2 fra sedimentflaten ble samlet inn med dykker fra Agder Dykk. Dykkeren brukte corer-rør som ble stukket ned i sedimentlommer mellom steiner i fyllinga. Rørene ble tettet med gummipropper og tatt med til overflaten etter endt dykk. Til sedimentprøvetakingen av stasjonene 3, 4 og 5 ble det benyttet en VanVeen-grabb med prøvetakingsareal på 20 x 20 cm. Stasjonsnummer, posisjon og vanddyb er gjengitt i **Tabell 1**.

**Tabell 1.** Stasjonsnummer, vanddyb og posisjoner.

Stasjon	Vanddyb (m)	Posisjon N	Posisjon Ø
1 sedimentflate	20	58° 27.657	8° 46.483
2 sedimentflate	19	58° 27.687	8° 46.572
3 sedimentflate	27	58° 27.697	8° 46.607
4 sedimentflate	29	58° 27.659	8° 46.623
5 sedimentflate	29	58° 27.623	8° 44.522
6 fyllingskant	16,0	58° 27.686	8° 46.526
7 fyllingskant	15,0	58° 27.692	8° 46.532
8 fyllingskant	16,5	58° 27.699	8° 46.569
9 fyllingskant	12,0	58° 27.703	8° 46.579

Fra hver stasjon ble det samlet inn 4 parallelle grabbprøver. En like stor delprøve av de øvre ca 5 cm fra hver grabb ble slått sammen til en blandprøve som gikk til kjemisk analyse av miljøgifter. Restmaterialet fra de 5 prøvepunktene ble slått sammen til en blandprøve som ble benyttet til toksisitetstester.

Undersøkellesområdet går fra land og ut mot midtpunktet av Tromøysundet og langs land som angitt i **Feil! Fant ikke referanseilden..** Dette arealet utgjør omtrent 33 000 m<sup>2</sup> og 9 prøvetakingsstasjoner ble undersøkt. Bare stasjonene med hvit sirkel inngår i risikovurderingen Trinn 2.



**Figur 2.** Kart som viser plassering av sedimentstasjoner i Barbusbukta. Svarte sirkler er stasjoner i fyllingskanten, hvite sirkler er stasjoner utenfor fyllingskanten.

Bunntopografien har svakt skrånende bunn utover fra foten av fyllingskanten som ligger på ca 20 m dyp.

## 2.2 Risikovurdering av sedimenter

Risikoveilederen (SFT TA 2230/2007) benyttes for å bedømme risiko fra sedimentene i deres nåværende tilstand på basis av kvantitativ analyse av miljøgiftinnhold og toksisitet. Den benyttes fortrinnsvis i forbindelse med beslutning om miljøtiltak i sedimentene i fjord- og kystområder, inkludert havner. Risikoveilederen er et hjelpemiddel for å avgrense og differensiere sedimentområder når det skal utarbeides konkrete planer før en eventuell opprydding og er ledd i saksgangen for opprydding i forurensede sedimenter. Risikovurderingen gjøres trinnvis og kan bestå av 3 trinn der hvert trinn er mer arbeidskrevende, men gir økt lokal forankring og økt sikkerhet i konklusjonene. Dette hindrer at unødig innsats brukes på områder som utgjør en ubetydelig risiko for miljøet, og hindrer at områder som utgjør en betydelig risiko blir friskmeldt innledningsvis.

### 2.2.1 Trinn 1

Trinn 1 er en forenklet risikovurdering hvor miljøgiftkonsentrasjon og toksisitet av sedimentet sammenlignes med grenseverdier for økologiske effekter ved kontakt med sedimentet. Trinn 1 omhandler kun risiko for økologiske effekter, ikke risiko for human helse.

I tillegg til de kjemiske analysene inneholder Trinn 1 tre toksisitetstester. Disse testene gjennomføres for å avdekke mulige gifteffekter av stoffer som ikke inngår i det kjemiske analyseprogrammet og for å avdekke samvirkende effekter av flere stoffer. Det ble utført toksisitetstester på porevann og på et

organisk ekstrakt av en blandprøve fra de 5 sedimentstasjonene fra sedimentflaten utenfor fyllingskanten. Toksisitetstesten av porevann ble utført med den marine algen *Skeletonema costatum*.

Toksisiteten av organisk ekstrakt av sedimentet ble utført med to tester:

- Alger (*Skeletonema costatum*), hvor veksthemming måles ved forskjellige doser av ekstraktet.
- DR-CALUX test for spesifikk påvisning av dioksiner og dioksinliknende PCB hvor testen anvender cellekulturer som eksponeres for ulike doser av det organiske ekstraktet.

### **2.2.2 Trinn 2**

Trinn 2 er en mer omfattende risikovurdering enn Trinn 1 og har som mål å fastslå om risikoen for skade på miljø eller helse forbundet med sedimentene der de ligger er akseptabel, eller om man må vurdere tiltak. Vurderingen gjøres ut fra miljøgiftenes mobilitet og fra stedlige forhold. Trinn 2 omfatter tre sider av risikobildet:

- Risiko for spredning av miljøgifter
- Risiko for skade på human helse
- Risiko for skade på økosystemet

I Trinn 2 beregnes spredning av miljøgifter fra sedimentet til andre deler av økosystemet. Til å gjennomføre disse beregningene er det laget et regneark tilpasset veilederen hvor det fylles inn verdier for lokale forhold, og en kan benytte ferdige sjablongverdier for parametere som ikke er målt eller tallfestet. Tolkning og vektlegging av delresultatene fra Trinn 2, human helse og/eller økologiske effekter, vil være avhengig av miljømålet for området samt nåværende og planlagt bruk. Trinn 2 i risikovurderingen er en stedsspesifikk risikovurdering hvor lokale forhold som antall skipsanløp, problemområdets areal, arealbruk og sedimentenes innhold av totalt organisk karbon (TOC) og leire blir tatt hensyn til.

Det beregnes ett tall for total spredning som følge av oppvirvling fra skip, diffusjon (egentlig biodiffusjon som er samlet transport ut av sedimentet som følge både av fysisk diffusjon og bunndyrenes aktivitet i sedimentet) og transport via opptak i organismer. Total human helserisiko kan beregnes på grunnlag av eksponering via sjømat og via kontakt med sedimenter og vann. Spredning av tungmetaller, metallorganiske forbindelser (TBT) og de organiske miljøgiftene PAH og PCB som følge av diffusjon, oppvirvling og transport via organismer er beregnet med utgangspunkt i regnearket som er tilpasset den reviderte risikoveilederen (TA-2230/2007).

Denne risikovurderingen er basert på undersøkelsene av miljøgifter i sedimenter fra Barbubukt som NIVA foretok 2009. Prøven fra stasjon A 20 som ble prøvetatt i 2005 er referert til, men er ikke inkludert i risikoberegningene.

### **2.2.3 Trinn 3**

Trinn 3 er eventuelt en siste vurdering av sedimentene der en kan velge å måle ulike sjablongverdier som ligger til grunn for vurderingene i Trinn 1 og Trinn 2, og deretter erstatte disse verdiene med målte verdier. Denne undersøkelsen omfatter ikke en Trinn 3 vurdering.

## **2.3 Kjemiske analyser og toksisitetstester**

Metallanalysene ble utført av NIVAs laboratorium i Oslo. De organiske analysene av sedimenter ble utført av Eurofins i Moss. De biologiske toksisitetsanalysene ble utført ved NIVAs forsøksstasjon på Solbergstrand i Drøbak og DR-CALUX testen ble utført ved BDS i Holland.

## 2.4 Lokal informasjon

**Tabell 2** viser de stedsspesifikke verdiene som er lagt til grunn for beregningene utført i risikoveilederens regneark ved gjennomføring av Trinn 2 risikovurderingen.

**Tabell 2.** Stedsspesifikk informasjon for undersøkelsesområdet.

	<b>Sedimentområde Utenfor fyllingskant</b>
Gjennomsnittsdyp (m)	27
Totalt areal (m <sup>2</sup> )	33000
Vannvolum over sedimentet (m <sup>3</sup> )	810000
Vannets oppholdstid over sedimentene (år)	0,02
Totalt organisk karbon % (TOC)	4,6
Fraksjon suspendert sediment (%<63µm)	0,3
Skipsanløp	26

I tabellen er det kun lagt inn verdier for sedimentområdet utenfor fyllingskanten. Det var lite sediment i selve fyllingskanten som hovedsakelig består av grove steiner og grus. Dette medfører at konstantene og sjablongverdiene som ligger til grunn i veilederen ikke egner seg for risikovurdering av dette arealet. Miljøgiftinnholdet i prøvene fra fyllingskanten er derfor kun sammenlignet med verdiene for akseptabel økologisk risiko i Trinn 1.

For sedimentområdet utenfor fyllingskanten er sedimenttypen karakterisert som silt og leire, og i beregningene av oppvirvling fra propeller har vi benyttet risikoveilederens kategori industrihavn. Opplysninger om skipsanløp for registrerte kaibesøk er fremskaffet av havnesjef Rune Hvass. For prøver hvor innholdet av forurensning var lavere enn deteksjonsgrensen for analysemetoden, er konsentrasjoner tilsvarende halvparten av deteksjonsgrensen benyttet i regnearket.

### 3. Resultater Trinn 1

#### 3.1 Risikovurdering Trinn 1 for sedimentene fra fyllingskanten.

Innholdet av miljøgifter (maks og middelværdier) i sedimentene fra fyllingskanten i Barbubukt er vist i **Tabell 3**. Grenseverdiene for akseptabel økologisk risiko i Trinn 1 tilsvarer med få unntak grensen mellom tilstandsklasse II og III. Tabellen viser med hvor mange prosent grenseverdien overskrides for både gjennomsnitts- og maksimumsverdier for prøvene. Negative verdier (d.v.s akseptabel risiko) viser hvor mange % under grenseverdien ett stoff er.

**Tabell 3.** Målt sedimentkonsentrasjon fra stasjonene i fyllingskanten sammenlignet med Trinn 1 grenseverdier. Positive verdier betyr overskridelse.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon overskrider trinn 1 grenseverdi med:	
	Antall prøver	C <sub>sed, max</sub> (mg/kg)	C <sub>sed, middel</sub> (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	4	6	4,25	52	-88 %	-92 %
Bly	4	70,2	50,4	83	-15 %	-39 %
Kadmium	4	0,84	0,51	2,6	-68 %	-80 %
Kobber	4	87,9	65,825	51	<b>72 %</b>	<b>29 %</b>
Krom totalt (III + VI)	4	25,7	21,15	560	-95 %	-96 %
Kvikksølv	4	0,41	0,245	0,63	-35 %	-61 %
Nikkel	4	16,1	13,75	46	-65 %	-70 %
Sink	4	393	240,75	360	<b>9 %</b>	-33 %
Naftalen	4	0,092	0,05875	0,29	-68 %	-80 %
Acenaftylene	4	0,077	0,0315	0,033	<b>133 %</b>	-5 %
Acenaften	4	0,1	0,03825	0,16	-38 %	-76 %
Fluoren	4	0,14	0,05175	0,26	-46 %	-80 %
Fenantren	4	0,92	0,3975	0,50	<b>84 %</b>	-21 %
Antracene	4	0,25	0,10325	0,031	<b>706 %</b>	<b>233 %</b>
Fluoranten	4	1,3	0,655	0,17	<b>665 %</b>	<b>285 %</b>
Pyren	4	1	0,5175	0,28	<b>257 %</b>	<b>85 %</b>
Benzo(a)antracene	4	0,52	0,256	0,06	<b>767 %</b>	<b>327 %</b>
Krysen	4	0,52	0,2695	0,28	<b>86 %</b>	-4 %
Benzo(b)fluoranten	4	0,51	0,2725	0,24	<b>113 %</b>	<b>14 %</b>
Benzo(k)fluoranten	4	0,25	0,134	0,21	<b>19 %</b>	-36 %
Benzo(a)pyren	4	0,48	0,24475	0,42	<b>14 %</b>	-42 %
Indeno(1,2,3-cd)pyren	4	0,42	0,215	0,047	<b>794 %</b>	<b>357 %</b>
Dibenzo(a,h)antracene	4	0,12	0,06225	0,59	-80 %	-89 %
Benzo(ghi)perylene	4	0,35	0,1925	0,021	<b>1567 %</b>	<b>817 %</b>
PCB 28	4	0,002	0,00175			
PCB 52	4	0,0019	0,00109			
PCB 101	4	0,0026	0,0015525			
PCB 118	4	0,0036	0,0022775			
PCB 138	4	0,0048	0,003225			
PCB 153	4	0,0051	0,00355			
PCB 180	4	0,0027	0,002125			
Sum PCB7	4	2,27E-02	1,56E-02	0,017	<b>34 %</b>	-8 %
Tributyltinn (TBT-ion)	4	0,076	0,02495	0,035	<b>117 %</b>	-29 %

Kobber er det eneste metallet der grenseverdien overskrides. Gjennomsnittskonsentrasjonen av kobber overstiger Trinn 1 grenseverdi med 29 %. Grenseverdien for Trinn 1 overskrides med fra 14 % til 817

% for gjennomsnittskonsentrasjonene av 7 enkeltforbindelser av PAH. For de andre forbindelsene overskrider ikke middelverdiene Trinn 1 grenseverdiene.

## 3.2 Risikovurdering Trinn 1 for delområde utenfor fyllingskanten

### 3.2.1 Kjemiske analyser

Innholdet av miljøgifter (maks og middelverdier) i sedimentene fra sedimentområdet utenfor fyllingskanten i Barbubukt er vist i **Tabell 4**.

**Tabell 4.** Målt sedimentkonsentrasjon fra stasjonene i utenfor fyllingskanten sammenlignet med Trinn 1 grenseverdier. Positive verdier betyr overskridelse.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon overskrider trinn 1 grenseverdi med:	
	Antall prøver	C <sub>sed, max</sub> (mg/kg)	C <sub>sed, middel</sub> (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	5	14	10,5	52	-73 %	-80 %
Bly	5	146	103,18	83	76 %	24 %
Kadmium	5	0,83	0,59	2,6	-68 %	-77 %
Kobber	5	113	92,98	51	122 %	82 %
Krom totalt (III + VI)	5	42,4	34,16	560	-92 %	-94 %
Kvikksølv	5	0,76	0,592	0,63	21 %	-6 %
Nikkel	5	22,4	20,58	46	-51 %	-55 %
Sink	5	296	271,4	360	-18 %	-25 %
Naftalen	5	0,091	0,0582	0,29	-69 %	-80 %
Acenaftylene	5	0,19	0,1122	0,033	476 %	240 %
Acenaften	5	0,064	0,044	0,16	-60 %	-73 %
Fluoren	5	0,1	0,067	0,26	-62 %	-74 %
Fenantren	5	1,4	0,788	0,50	180 %	58 %
Antracen	5	0,41	0,302	0,031	1223 %	874 %
Fluoranten	5	3	1,96	0,17	1665 %	1053 %
Pyren	5	2,5	1,656	0,28	793 %	491 %
Benzo(a)antracen	5	1,3	0,892	0,06	2067 %	1387 %
Krysen	5	1,1	0,788	0,28	293 %	181 %
Benzo(b)fluoranten	5	1,3	0,904	0,24	442 %	277 %
Benzo(k)fluoranten	5	0,72	0,482	0,21	243 %	130 %
Benzo(a)pyren	5	1,4	0,964	0,42	233 %	130 %
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5	1,5	0,954	0,047	3091 %	1930 %
Dibenzo(a,h)antracen	5	0,36	0,244	0,59	-39 %	-59 %
Benzo(ghi)perylene	5	1,4	0,898	0,021	6567 %	4176 %
PCB 28	5	0,002	0,0018			
PCB 52	5	0,0015	0,001276			
PCB 101	5	0,0025	0,00206			
PCB 118	5	0,0047	0,00368			
PCB 138	5	0,0057	0,00468			
PCB 153	5	0,0056	0,0048			
PCB 180	5	0,003	0,00236			
Sum PCB7	5	2,50E-02	2,07E-02	0,017	47 %	22 %
Tributyltinn (TBT-ion)	5	0,16	0,069	0,035	357 %	97 %

For metallene bly og kobber overskrides middelverdiene med hhv 24 og 82 %. For 12 av enkeltforbindelsene av PAH overskrider middelverdiene av prøvene grenseverdiene for Trinn 1 med fra 58 % for Fenantren og 4176 % for Benzo(ghi)perylene. Det er ikke etablert grenseverdier for enkeltkongenerene av PCB i Trinn 1, kun for summen av 7 enkeltkongenerer (sum PCB<sub>7</sub>).

Middelverdi av sum PCB<sub>7</sub> overskrider grenseverdien i Trinn 1 med 22 %. Også middelverdien av TBT overskrider Trinn 1 grenseverdi med 97 %.

For å kunne påvise om det er enkeltstasjoner som overskrider gjennomsnittsnivåene betydelig, og som derfor må behandles spesielt, beregner risikoveilederen en "hotspot indeks" som viser i hvor stor grad enkeltprøver innenfor hvert område avviker betydelig fra medianverdien av alle prøvene. En "hotspot indeks" >2 kan tyde på inhomogenitet i sedimentene. Resultatet av denne beregningen er vist i **Tabell 5**.

**Tabell 5.** Konsentrasjonen av metaller, PAH-forbindelser, PCB og TBT. En kontroll av homogenitet, indeks for "hotspot" er vist i kolonnen med overskrift "kontroll av homogenitet".

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Kontroll av homogenitet	INPUT: Målt sedimentkonsentrasjon, C <sub>sed</sub> (mg/kg)				
	Antall prøver	C <sub>sed, max</sub> (mg/kg)	C <sub>sed, midlet</sub> (mg/kg)	C <sub>sed, max</sub> / C <sub>sed, median</sub> (Verdi større enn 2 kan tyde på inhomogenitet/hotspot)	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Prøve 4	Prøve 5
Arsen	5	1,40E+01	1,05E+01	1,9	7,20	9,30	11,00	11,00	14,00
Bly	5	1,46E+02	1,03E+02	1,9	75,90	92,40	92,60	109,00	146,00
Kadmium	5	8,30E-01	5,90E-01	1,4	0,60	0,72	0,83	0,40	0,40
Kobber	5	1,13E+02	9,30E+01	1,0	113,00	87,20	96,50	85,70	82,50
Krom totalt (III + VI)	5	4,24E+01	3,42E+01	1,6	27,20	31,50	34,50	35,20	42,40
Kvikksølv	5	7,60E-01	5,92E-01	2,8	0,27	0,56	0,67	0,70	0,76
Nikkel	5	2,24E+01	2,06E+01	1,4	16,10	20,80	22,40	21,50	22,10
Sink	5	2,96E+02	2,71E+02	1,0	292,00	286,00	296,00	233,00	250,00
Naftalen	5	9,10E-02	5,82E-02	2,8	0,03200	0,03800	0,05300	0,07700	0,09100
Acenaftalen	5	1,90E-01	1,12E-01	5,4	0,03500	0,06600	0,13000	0,14000	0,19000
Acenaften	5	6,40E-02	4,40E-02	1,7	0,03700	0,03000	0,03300	0,06400	0,05600
Fluoren	5	1,00E-01	6,70E-02	2,0	0,04900	0,04000	0,05500	0,10000	0,09100
Fenantren	5	1,40E+00	7,88E-01	2,4	0,58000	0,48000	0,55000	1,40000	0,93000
Antracen	5	4,10E-01	3,02E-01	1,7	0,24000	0,19000	0,30000	0,37000	0,41000
Fluoranten	5	3,00E+00	1,96E+00	2,5	1,20000	1,30000	1,70000	3,00000	2,60000
Pyren	5	2,50E+00	1,66E+00	2,6	0,98000	1,10000	1,50000	2,50000	2,20000
Benzo(a)antracen	5	1,30E+00	8,92E-01	2,6	0,50000	0,63000	0,83000	1,20000	1,30000
Krysen	5	1,10E+00	7,88E-01	2,3	0,48000	0,55000	0,71000	1,10000	1,10000
Benzo(b)fluoranten	5	1,30E+00	9,04E-01	2,6	0,50000	0,69000	0,83000	1,20000	1,30000
Benzo(k)fluoranten	5	7,20E-01	4,82E-01	2,8	0,26000	0,33000	0,46000	0,64000	0,72000
Benzo(a)pyren	5	1,40E+00	9,64E-01	2,8	0,50000	0,67000	0,95000	1,30000	1,40000
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5	1,50E+00	9,54E-01	3,7	0,41000	0,69000	0,87000	1,30000	1,50000
Dibenzo(a,h)antracen	5	3,60E-01	2,44E-01	3,0	0,12000	0,19000	0,22000	0,33000	0,36000
Benzo(ghi)perylene	5	1,40E+00	8,98E-01	3,5	0,40000	0,67000	0,82000	1,20000	1,40000
PCB 28	5	2,00E-03	1,80E-03	2,0	0,00100	0,00200	0,00200	0,00200	0,00200
PCB 52	5	1,50E-03	1,28E-03	1,0	0,00150	0,00098	0,00130	0,00120	0,00140
PCB 101	5	2,50E-03	2,06E-03	1,0	0,00250	0,00160	0,00170	0,00200	0,00250
PCB 118	5	4,70E-03	3,68E-03	1,2	0,00390	0,00290	0,00300	0,00390	0,00470
PCB 138	5	5,70E-03	4,68E-03	1,1	0,00510	0,00370	0,00400	0,00490	0,00570
PCB 153	5	5,60E-03	4,80E-03	1,1	0,00520	0,00400	0,00450	0,00470	0,00560
PCB 180	5	3,00E-03	2,36E-03	1,3	0,00240	0,00170	0,00300	0,00240	0,00230
Tributyltinn (TBT-ion)	5	1,60E-01	6,90E-02	1,0	0,16000	0,03300	0,03800	0,05900	0,05500

Tabellen viser en "hotspotindeks" på over 2 for flere av parametrene, men siden det er ulike prøver som avviker for ulike parametere, tyder ikke resultatene på at noe enkeltpunkt er så sterkt forurenset at det bør vurderes eller håndteres separat m.h.t tiltak.

### 3.2.2 Toksisitetstester

For å kunne påvise giftige effekter av kjemiske forbindelser som det ikke er analysert på, og eventuelle samvirkende effekter av flere forbindelser, anbefaler veilederen at det utføres toksisitetstester.

Det ble utført toksisitetstester på porevann og på ett organisk ekstrakt fra en blandprøve av sedimentene fra sedimentflaten. I tillegg ble det utført en DR-CALUX *in vitro* biotest som måler effekter av dioksiner og dioksinlignende forbindelser. Veilederen anbefaler også at det gjennomføres



en helsedimenttest på børstemark. Resultatene fra toksisitetstestene utført på en blandprøve fra sedimentflaten utenfor fyllingskanten er gitt i **Tabell 6**.

**Tabell 6.** Målt økotoksisitet sammenlignet med Trinn 1 grenseverdier.

Parameter	Målt økotoks		Grenseverdi for økotoksisitet	Målt økotoksisitet overskrider grenseverdi med:	
	Maks	Middel		Maks	Middel
Porevann, Skeletonema (TU)	47,87452	47,87452	1,0	4687 %	4687 %
Organisk ekstrakt, Skeletonema (TU som l/g)	0,712	0,712	0,5	42 %	42 %
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	45	45	TEQ < 50 ng/kg	-10 %	-10 %
Helsedimenttest, Arenicola marina (% dødelighet)	ikke målt	ikke målt	20 %		

Resultat fra algetesten av porevann viser at den veksthemmende effekten av porevannet er betydelig og grenseverdien overskrides med 4687 %.

Resultatet fra algetesten på organisk ekstrakt viser at grenseverdien ble overskredet med 42 % som medfører en tydelig veksthemming på Skeletonemaalgenene.

Resultat DR-Calux *in vitro* test viser at grenseverdien ikke ble overskredet og det tyder på at det ikke er signifikante virkninger av eventuelle dioksiner og dioksinlignende forbindelser i sedimentet i Barbubukt.

### 3.3 Konklusjon risikovurdering Trinn 1

#### 3.3.1 Sedimenter i fyllingskanten.

Det var overskridelser av grenseverdiene for kobber og 7 PAH forbindelser i fyllingskanten. Dette skulle i følge risikoveilederen medføre at en Trinn 2 vurdering skal gjennomføres. Overskridelsene var imidlertid ikke dramatisk høye og alle konsentrasjoner var lavere enn i sedimentene i sjøbunnen utenfor. Videofilmen viser også at det er lite sedimenter, kun enkelte lommer mellom de grove steinene og grusen. På denne bakgrunnen finner vi det ikke nødvendig å gå videre med en Trinn 2 vurdering av sedimentene i fyllingskanten.

#### 3.3.2 Sedimentområdet utenfor fyllingskanten.

Det var overskridelser av grenseverdiene for metallene bly og kobber. I tillegg var det betydelige overskridelser for 12 PAH forbindelser og noe lavere overskridelser for PCB<sub>7</sub> og TBT. Toksisitetstestene av porevann og organisk ekstrakt oversteg også Trinn 1 grenseverdiene. Dette medfører at en Trinn 2-vurdering ble gjennomført for sedimentene utenfor fyllingskanten. Resultatene videre baserer seg derfor utelukkende på konsentrasjonene fra de 5 sedimentprøvene utenfor fyllingskanten.

## 4. Risikovurdering Trinn 2

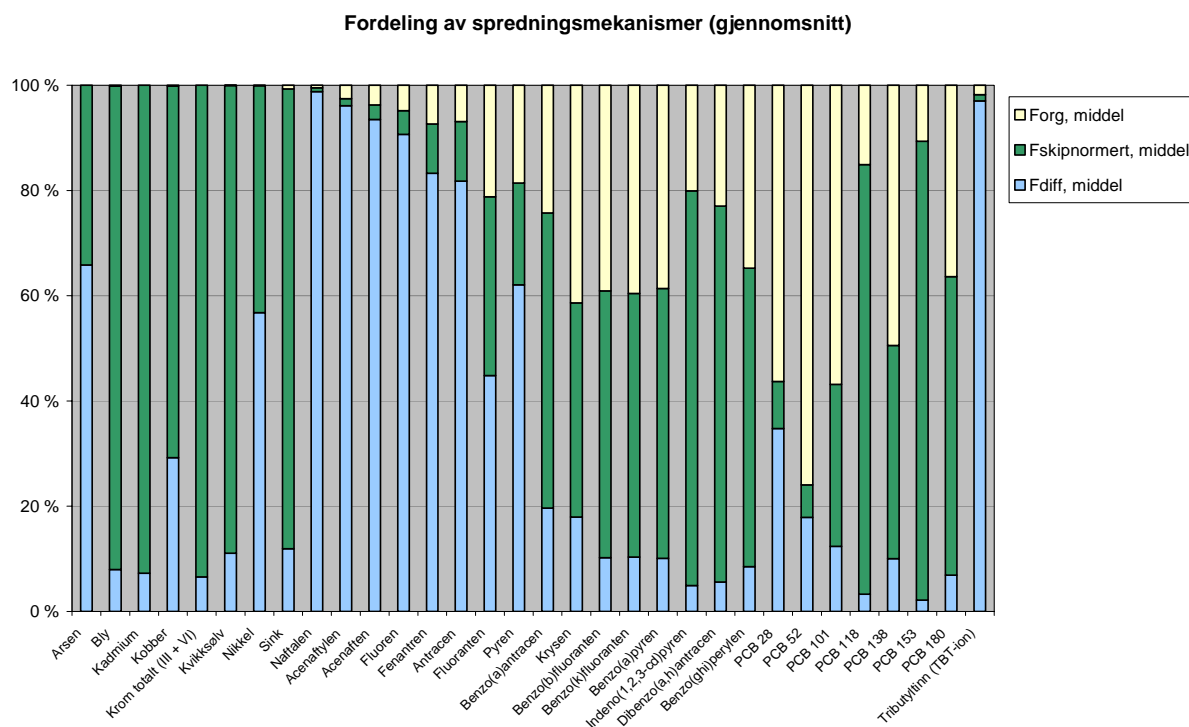
### 4.1 Trinn 2A, risiko for spredning

Beregnet spredning av tungmetaller, PAH, PCB og TBT ut fra sedimentet som følge av biodiffusjon ( $F_{diff}$ ), oppvirvling ( $F_{skipsnormert}$ ) og transport via organismer ( $F_{org}$ ) er vist i **Tabell 7**.

**Tabell 7.** Beregnet spredning (mg pr. m<sup>2</sup> pr. år) av metaller, PAH-forbindelser, PCB og TBT. Tabellen viser spredning ut fra den høyeste sedimentkonsentrasjonen (maksimum spredning) og på basis av et gjennomsnitt for sedimentprøvene (middels spredning).

Stoff	Beregnet maksimal spredning				Beregnet middel spredning			
	$F_{tot, maks}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	$F_{diff, maks}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	$F_{skipsnormert, maks}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	$F_{org, maks}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	$F_{tot, middel}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	$F_{diff, middel}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	$F_{skipsnormert, middel}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	$F_{org, middel}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]
Arsen	2,51E+01	1,41E+01	1,10E+01	3,18E-03	1,88E+01	1,06E+01	8,22E+00	2,38E-03
Bly	1,21E+02	6,56E+00	1,14E+02	1,41E-01	8,52E+01	4,64E+00	8,05E+01	9,99E-02
Kadmium	6,81E-01	3,38E-02	6,48E-01	1,92E-05	4,84E-01	2,40E-02	4,60E-01	1,36E-05
Kobber	1,13E+02	2,43E+01	8,82E+01	1,39E-01	9,27E+01	2,00E+01	7,26E+01	1,14E-01
Krom totalt (III + VI)	3,46E+01	1,55E+00	3,31E+01	2,12E-03	2,79E+01	1,25E+00	2,66E+01	1,71E-03
Kvikksølv	6,42E-01	4,92E-02	5,93E-01	2,28E-04	5,00E-01	3,84E-02	4,62E-01	1,78E-04
Nikkel	3,29E+01	1,54E+01	1,75E+01	1,90E-02	3,03E+01	1,41E+01	1,61E+01	1,74E-02
Sink	2,53E+02	2,10E+01	2,31E+02	1,22E+00	2,32E+02	1,92E+01	2,12E+02	1,12E+00
Naftalen	9,79E+00	9,65E+00	9,74E-02	4,56E-02	6,26E+00	6,17E+00	6,23E-02	2,91E-02
Acenaftylen	9,41E+00	9,00E+00	1,76E-01	2,39E-01	5,56E+00	5,31E+00	1,04E-01	1,41E-01
Acenaften	1,35E+00	1,25E+00	5,38E-02	4,99E-02	9,29E-01	8,58E-01	3,70E-02	3,43E-02
Fluoren	1,27E+00	1,12E+00	8,17E-02	6,00E-02	8,48E-01	7,53E-01	5,47E-02	4,02E-02
Fenantren	8,37E+00	6,66E+00	1,12E+00	5,88E-01	4,71E+00	3,75E+00	6,28E-01	3,31E-01
Antracen	2,04E+00	1,58E+00	3,25E-01	1,34E-01	1,51E+00	1,17E+00	2,40E-01	9,84E-02
Fluoranten	5,39E+00	2,07E+00	2,35E+00	9,79E-01	3,52E+00	1,35E+00	1,53E+00	6,39E-01
Pyren	7,46E+00	4,23E+00	1,97E+00	1,27E+00	4,94E+00	2,80E+00	1,30E+00	8,39E-01
Benzo(a)antracen	1,55E+00	2,37E-01	1,01E+00	2,93E-01	1,06E+00	1,63E-01	6,96E-01	2,01E-01
Krysen	1,69E+00	2,53E-01	8,59E-01	5,82E-01	1,21E+00	1,81E-01	6,15E-01	4,17E-01
Benzo(b)fluoranten	1,67E+00	1,36E-01	1,01E+00	5,22E-01	1,16E+00	9,47E-02	7,06E-01	3,63E-01
Benzo(k)fluoranten	9,35E-01	7,72E-02	5,62E-01	2,96E-01	6,26E-01	5,17E-02	3,76E-01	1,98E-01
Benzo(a)pyren	1,78E+00	1,43E-01	1,09E+00	5,49E-01	1,23E+00	9,87E-02	7,52E-01	3,78E-01
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,43E+00	5,11E-02	1,17E+00	2,09E-01	9,09E-01	3,25E-02	7,44E-01	1,33E-01
Dibenzo(a,h)antracen	3,56E-01	1,47E-02	2,81E-01	6,02E-02	2,41E-01	9,94E-03	1,90E-01	4,08E-02
Benzo(ghi)perylen	1,65E+00	1,09E-01	1,09E+00	4,46E-01	1,06E+00	7,01E-02	7,01E-01	2,86E-01
PCB 28	1,24E-02	4,12E-03	1,58E-03	6,68E-03	6,81E-03	2,27E-03	8,68E-04	3,67E-03
PCB 52	1,32E-02	2,30E-03	1,18E-03	9,76E-03	1,13E-02	1,96E-03	1,00E-03	8,31E-03
PCB 101	4,88E-03	5,23E-04	1,95E-03	2,41E-03	4,02E-03	4,31E-04	1,61E-03	1,98E-03
PCB 118	4,22E-03	9,84E-05	3,67E-03	4,52E-04	3,30E-03	7,70E-05	2,87E-03	3,54E-04
PCB 138	8,81E-03	7,35E-04	4,45E-03	3,62E-03	7,23E-03	6,03E-04	3,65E-03	2,98E-03
PCB 153	4,80E-03	7,22E-05	4,37E-03	3,56E-04	4,11E-03	6,19E-05	3,74E-03	3,05E-04
PCB 180	3,53E-03	1,90E-04	2,34E-03	1,00E-03	2,78E-03	1,50E-04	1,84E-03	7,88E-04
Tributyltinn (TBT-ion)	1,16E+01	1,12E+01	1,80E-01	2,07E-01	5,01E+00	4,84E+00	7,75E-02	8,92E-02

Den prosentvise betydningen av de ulike spredningsveiene er vist i **Figur 3**.



**Figur 3.** Sedimentområdet utenfor fyllingskanten. Spredning av metaller, PAH-forbindelser, PCB og TBT vist som %-fordeling på de ulike spredningsveiene. Figuren viser % spredning ut fra et gjennomsnitt for sedimentprøvene (middelverdi).

**Tabell 7** og **Figur 3** viser at de viktigste spredningsveiene varierer for de ulike forbindelsene. For metallene Pb, Cd, Cu, Cr, Hg og Zn er det skipsoppvirvling som er den viktigste spredningsveien. For metallene As og Ni er det diffusjon fra sedimentene som er den viktigste spredningsveien i tillegg til skipstrafikk. Fordelingen av spredningsveiene for PAH viser at diffusjon fra sedimentene er viktigst for de PAH-forbindelsene med lavest molekylvekt, og at skipstrafikk i tillegg til spredning via organismer i sedimentene dominerer for de tyngre forbindelsene. Oppvirvling fra skipstrafikk synes også å ha en stor betydning for de fleste av PCB-kongenerene. For TBT er det diffusjon fra sedimentene som er viktigste spredningsvei.

Risikoveilederen angir ikke noen allmenne akseptgrenser for spredning alene, og vi kjenner ikke til at det finnes lokale akseptgrenser for spredning. **Tabell 8** viser hvor mye totalspredningen fra sedimentene i Barbubukta overskrider spredningen fra et referansesediment som akkurat tilfredsstillende grenseverdiene i Trinn 1 (dvs. som har en akseptabel økologisk risiko). Middelverdiene overskrider spredningen fra referansesedimentet for 2 av de 8 metallene og for 8 av PAH-komponentene, men ikke for PCB eller TBT. Siden beregningene viser overskridelse også her, ansees risikoen knyttet til spredning isolert, som for høy til å være akseptabel.

**Tabell 8.** Beregnet spredning sammenlignet med spredning fra et tenkt sediment som tilfredsstillende kravene i Trinn 1. Tabellen viser overskridelse på basis av den høyeste sedimentkonsentrasjonen (maks) og på basis av et gjennomsnitt for sedimentprøvene (middel).

Stoff	Beregnet spredning		Spredning dersom $C_{sed}$ er lik grenseverdi for trinn 1 ( $mg/m^2/år$ )	$F_{tot}$ overskrider tillatt spredning med:	
	$F_{tot, maks}$ ( $mg/m^2/år$ )	$F_{tot, middel}$ ( $mg/m^2/år$ )		Maks	Middel
Arsen	2,51E+01	1,88E+01	9,32E+01	-73 %	-80 %
Bly	1,21E+02	8,52E+01	6,86E+01	76 %	24 %
Kadmium	6,81E-01	4,84E-01	2,13E+00	-68 %	-77 %
Kobber	1,13E+02	9,27E+01	5,09E+01	122 %	82 %
Krom totalt (III + VI)	3,46E+01	2,79E+01	4,57E+02	-92 %	-94 %
Kvikksølv	6,42E-01	5,00E-01	5,33E-01	21 %	-6 %
Nikkel	3,29E+01	3,03E+01	6,77E+01	-51 %	-55 %
Sink	2,53E+02	2,32E+02	3,08E+02	-18 %	-25 %
Naftalen	9,79E+00	6,26E+00	1,43E+02	-93 %	-96 %
Acenaftylen	9,41E+00	5,56E+00	7,43E+00	27 %	-25 %
Acenaften	1,35E+00	9,29E-01	1,51E+01	-91 %	-94 %
Fluoren	1,27E+00	8,48E-01	1,44E+01	-91 %	-94 %
Fenantren	8,37E+00	4,71E+00	1,23E+01	-32 %	-62 %
Antracen	2,04E+00	1,51E+00	6,24E-01	228 %	141 %
Fluoranten	5,39E+00	3,52E+00	9,29E-01	481 %	279 %
Pyren	7,46E+00	4,94E+00	3,06E+00	144 %	62 %
Benzo(a)antracen	1,55E+00	1,06E+00	1,60E-01	868 %	564 %
Krysen	1,69E+00	1,21E+00	1,20E+00	42 %	1 %
Benzo(b)fluoranten	1,67E+00	1,16E+00	7,46E-01	124 %	56 %
Benzo(k)fluoranten	9,35E-01	6,26E-01	6,64E-01	41 %	-6 %
Benzo(a)pyren	1,78E+00	1,23E+00	1,28E+00	39 %	-4 %
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,43E+00	9,09E-01	7,41E-02	1829 %	1127 %
Dibenzo(a,h)antracen	3,56E-01	2,41E-01	1,03E+00	-65 %	-76 %
Benzo(ghi)perylene	1,65E+00	1,06E+00	5,47E-02	2911 %	1831 %
PCB 28	1,24E-02	6,81E-03			
PCB 52	1,32E-02	1,13E-02			
PCB 101	4,88E-03	4,02E-03			
PCB 118	4,22E-03	3,30E-03			
PCB 138	8,81E-03	7,23E-03			
PCB 153	4,80E-03	4,11E-03			
PCB 180	3,53E-03	2,78E-03			
Sum PCB7	5,19E-02	3,95E-02			
Tributyltinn (TBT-ion)	1,16E+01	5,01E+00	1,16E+01	0 %	-57 %

Det er vanlig å legge mest vekt på om middelverdiene overskrides siden det er områdets samlede risiko som vurderes og ikke bare risikobidraget fra ett enkelt prøvepunkt. Spredning basert på gjennomsnittskonsentrasjonene gir det mest realistiske bildet av hva som transporteres ut av sedimentet og som kan påvirke andre deler av økosystemet og human helse.

Som en kontroll på at spredningsberegningene er realistiske, har regnearket en rutine som beregner hvor lang tid det vil ta å tømme sedimentet for miljøgifter med den beregnede spredningen (**Tabell 9**).

**Tabell 9.** Beregnet tid for å tømme sedimentet for de ulike forbindelsene. Tabellen viser tømmetid ut fra et gjennomsnitt for sedimentprøvene.

Stoff	Tiden det tar å tømme sedimentet for gitt stoff, $t_{\text{tom}}$ (år)
	Middel
Arsen	25,4
Bly	55,1
Kadmium	55,4
Kobber	45,6
Krom totalt (III + VI)	55,7
Kvikksølv	53,8
Nikkel	30,9
Sink	53,2
Naftalen	0,4
Acenaftylen	0,9
Acenaften	2,2
Fluoren	3,6
Fenantren	7,6
Antracen	9,1
Fluoranten	25,3
Pyren	15,3
Benzo(a)antracen	38,3
Krysen	29,6
Benzo(b)fluoranten	35,4
Benzo(k)fluoranten	35,0
Benzo(a)pyren	35,7
Indeno(1,2,3-cd)pyren	47,7
Dibenzo(a,h)antracen	46,0
Benzo(ghi)perylene	38,7
PCB 28	7,4
PCB 52	5,2
PCB 101	23,3
PCB 118	50,7
PCB 138	29,4
PCB 153	53,1
PCB 180	38,6
Tributyltinn (TBT-ion)	0,6

Kort tid for å tømme sedimentet for forbindelsen, indikerer at utlekkingen er stor. Imidlertid, siden siden stoffet fremdeles detekteres i sedimentet skyldes det enten at beregningen overestimerer risikoen (gir for høy utlekking) eller at tilførselen til sedimentene fremdeles er betydelig. Det er imidlertid vanskelig å finne data som kan skille mellom disse årsakene.

For stoffene naftalen, acenaftylen og TBT er tiden for å tømme sedimentene under ett år (**Tabell 9**). Dette er urealistisk høyt og tyder på at utlekkingen er overestimert.

## 4.2 Trinn 2B, risiko for skade på human helse

For å kunne vurdere human eksponering for de ulike miljøgiftene i sedimentet blir det beregnet en total livstidsdose som mg pr. kg kroppsvekt pr. dag gjennom hele livsløpet. Dette er basert på transport fra sedimentet til mennesker. Hovedveien er transport gjennom næringskjeden til fisk og skalldyr, men andre sannsynlige kontaktveier er også inkludert (se **Figur 3**). Denne livstidsdosen sammenlignes så med gitte grenseverdier: tolerabelt daglig inntak (TDI) for stoffer der dette er fastsatt av Mattilsynet eller maksimalt tolerabel risiko (MTR) for de øvrige stoffene. Siden mennesker utsettes for flere miljøgiftkilder er det satt en grense ved at bare 10 % av det totale inntaket får stamme fra sedimenter (for TBT er grensen 100 % da man går ut fra at all påvirkning fra dette stoffet stammer fra sedimenter).

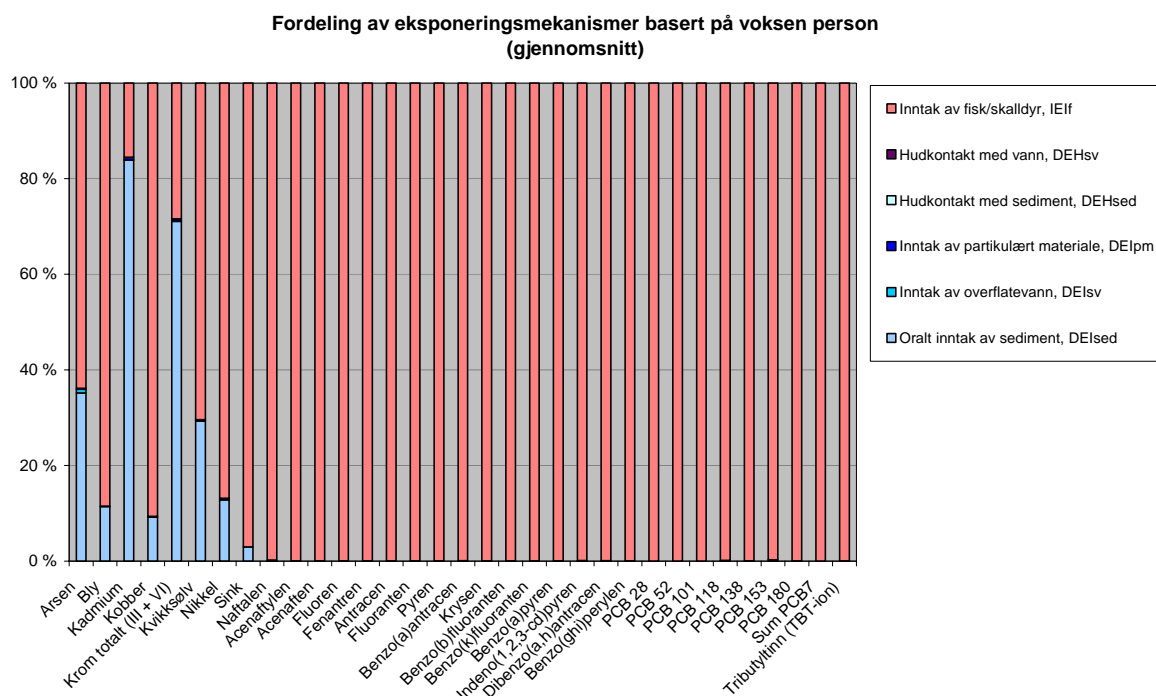
**Tabell 10** viser overskridelser av beregnet livstidsdose for gjennomsnittnivået av miljøgifter fra sedimentet i Barbubukt.

**Tabell 10.** Beregnet total livstidsdose (mg/kg/d), grense for human risiko (MTR/TDI 10 %) og overskridelse av beregnet total livstidsdose av MTR 10 %. Tabellen viser overskridelse på basis av den høyeste sedimentkonsentrasjonen (maks) og på basis av et gjennomsnitt for sedimentprøvene (middel).

Stoff	Beregnet total livstidsdose		Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose overskrider MTR 10 % med:	
	DOSE <sub>maks</sub> (mg/kg/d)	DOSE <sub>middel</sub> (mg/kg/d)		Maks	Middel
Arsen	2,24E-05	1,68E-05	1,00E-04	-77,6 %	-83,2 %
Bly	5,86E-04	4,14E-04	3,60E-04	<b>62,9 %</b>	<b>15,1 %</b>
Kadmium	7,68E-07	5,46E-07	5,00E-05	-98,5 %	-98,9 %
Kobber	5,51E-04	4,53E-04	5,00E-03	-89,0 %	-90,9 %
Krom totalt (III + VI)	4,30E-05	3,46E-05	5,00E-04	-91,4 %	-93,1 %
Kvikksølv	1,39E-06	1,08E-06	1,00E-05	-86,1 %	-89,2 %
Nikkel	8,14E-05	7,47E-05	5,00E-03	-98,4 %	-98,5 %
Sink	4,23E-03	3,88E-03	3,00E-02	-85,9 %	-87,1 %
Naftalen	1,49E-04	9,56E-05	4,00E-03	-96,3 %	-97,6 %
Acenaftylen	7,81E-04	4,61E-04			
Acenaften	1,63E-04	1,12E-04			
Fluoren	1,96E-04	1,32E-04			
Fenantren	1,93E-03	1,08E-03	4,00E-03	-51,8 %	-72,9 %
Antracen	4,37E-04	3,22E-04	4,00E-03	-89,1 %	-91,9 %
Fluoranten	3,20E-03	2,09E-03	5,00E-03	-35,9 %	-58,1 %
Pyren	4,15E-03	2,75E-03			
Benzo(a)antracen	9,60E-04	6,59E-04	5,00E-04	<b>92,1 %</b>	<b>31,8 %</b>
Krysen	1,90E-03	1,36E-03	5,00E-03	-61,9 %	-72,7 %
Benzo(b)fluoranten	1,71E-03	1,19E-03			
Benzo(k)fluoranten	9,67E-04	6,48E-04	5,00E-04	<b>93,5 %</b>	<b>29,5 %</b>
Benzo(a)pyren	1,80E-03	1,24E-03	2,30E-06	<b>78013,7 %</b>	<b>53686,9 %</b>
Indeno(1,2,3-cd)pyren	6,84E-04	4,35E-04	5,00E-04	<b>36,8 %</b>	-13,0 %
Dibenzo(a,h)antracen	1,97E-04	1,34E-04			
Benzo(ghi)perylene	1,46E-03	9,37E-04	3,00E-03	-51,3 %	-68,8 %
PCB 28	2,18E-05	1,20E-05			
PCB 52	3,19E-05	2,72E-05			
PCB 101	7,87E-06	6,49E-06			
PCB 118	1,48E-06	1,16E-06			
PCB 138	1,19E-05	9,74E-06			
PCB 153	1,17E-06	1,00E-06			
PCB 180	3,28E-06	2,58E-06			
Sum PCB7	7,94E-05	6,01E-05	2,00E-06	<b>3872,2 %</b>	<b>2907,4 %</b>
Tributyltinn (TBT-ion)	6,77E-04	2,92E-04	2,50E-04	<b>170,7 %</b>	<b>16,7 %</b>

**Tabell 10** viser at det er store overskridelser av beregnet livstidsdose for gjennomsnittnivået av stoffene benzo(a)pyren og sum PCB<sub>7</sub>. Det er også mindre overskridelser av grenseverdiene for bly og TBT.

Fordelingen av eksponeringsmekanismer for voksne er vist i **Figur 4**.



**Figur 4.** Fordeling av eksponeringsmekanismer til mennesker basert på gjennomsnitt av miljøgifter sedimentprøvene fra sedimentene utenfor fyllingskanten.

**Figur 4** viser at risikoen for skade på human helse fra PAH, PCB<sub>7</sub> og TBT er knyttet til eksponering gjennom konsum av fisk og skalldyr. For enkelte av metallene, spesielt kadmium og krom kan det være ett signifikant bidrag fra eventuelt oralt inntak av sedimenter, i tillegg til inntak av fisk og skalldyr.

### 4.3 Trinn 2C, risiko for økologisk skade

Ved vurdering av økologisk risiko skilles det mellom risiko for organismer som lever i direkte vedvarende kontakt med sedimentene og organismer i vannmassene.

Risikovurdering for organismer i sedimentet baserer seg dels på Trinn 1, siden grenseverdiene her for konsentrasjoner og toksisitet utgjør grense for effekter ved kronisk eksponering ( $PNEC_{\text{sediment}}$ )<sup>1</sup>. I Trinn 2 baseres den også på beregnede porevannskonsentrasjoner av de ulike miljøgiftene sammenliknet med tilsvarende kroniske PNEC-verdier (Predicted No-Effect Concentrations) for konsentrasjoner i vann ( $PNEC_{\text{vann}}$  eller  $PNEC_w$ ).

**Tabell 11** viser beregnet porevannskonsentrasjon sammenliknet med grenseverdi for økologisk risiko.

<sup>1</sup> PNEC: Potential No Effects Concentration



**Tabell 11.** Beregnet porevannskonsentrasjon sammenlignet med grenseverdi for økologisk risiko. Tabellen viser overskridelser på basis av den høyeste sedimentkonsentrasjonen (maks) og på basis av et gjennomsnitt for sedimentprøvene (middel).

Stoff	Beregnet porevannskonsentrasjon		Målt porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC <sub>w</sub> (ug/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon overskrider PNEC <sub>w</sub> med:	
	C <sub>pv, maks</sub> (mg/l)	C <sub>pv, middel</sub> (mg/l)	C <sub>pv, maks</sub> (mg/l)	C <sub>pv, middel</sub> (mg/l)		Maks	Middel
Arsen	2,12E-03	1,59E-03	ikke målt	ikke målt	4,8	-55,9 %	-66,9 %
Bly	9,43E-04	6,66E-04	ikke målt	ikke målt	2,2	-57,2 %	-69,7 %
Kadmium	6,38E-06	4,54E-06	ikke målt	ikke målt	0,24	-97,3 %	-98,1 %
Kobber	4,63E-03	3,81E-03	ikke målt	ikke målt	0,64	<b>623,3 %</b>	<b>495,2 %</b>
Krom totalt (III + VI)	3,53E-04	2,85E-04	ikke målt	ikke målt	3,4	-89,6 %	-91,6 %
Kvikksølv	7,60E-06	5,92E-06	ikke målt	ikke målt	0,048	-84,2 %	-87,7 %
Nikkel	3,16E-03	2,91E-03	ikke målt	ikke målt	2,2	<b>43,8 %</b>	<b>32,1 %</b>
Sink	4,05E-03	3,72E-03	ikke målt	ikke målt	2,9	<b>39,8 %</b>	<b>28,2 %</b>
Naftalen	1,52E-03	9,73E-04	ikke målt	ikke målt	2,4	-36,6 %	-59,4 %
Acenaftilen	1,59E-03	9,38E-04	ikke målt	ikke målt	1,3	<b>22,2 %</b>	-27,8 %
Acenaften	2,24E-04	1,54E-04	ikke målt	ikke målt	3,8	-94,1 %	-95,9 %
Fluoren	2,13E-04	1,43E-04	ikke målt	ikke målt	2,5	-91,5 %	-94,3 %
Fenantren	1,33E-03	7,48E-04	ikke målt	ikke målt	1,3	<b>2,2 %</b>	-42,5 %
Antracen	3,16E-04	2,33E-04	ikke målt	ikke målt	0,11	<b>187,3 %</b>	<b>111,6 %</b>
Fluoranten	4,51E-04	2,95E-04	ikke målt	ikke målt	0,12	<b>276,1 %</b>	<b>145,7 %</b>
Pyren	9,23E-04	6,11E-04	ikke målt	ikke målt	0,023	<b>3911,8 %</b>	<b>2557,4 %</b>
Benzo(a)antracen	5,64E-05	3,87E-05	ikke målt	ikke målt	0,012	<b>369,9 %</b>	<b>222,4 %</b>
Krysen	6,01E-05	4,30E-05	ikke målt	ikke målt	0,07	-14,2 %	-38,5 %
Benzo(b)fluoranten	3,48E-05	2,42E-05	ikke målt	ikke målt	0,03	<b>15,9 %</b>	-19,4 %
Benzo(k)fluoranten	1,97E-05	1,32E-05	ikke målt	ikke målt	0,027	-27,0 %	-51,1 %
Benzo(a)pyren	3,66E-05	2,52E-05	ikke målt	ikke målt	0,05	-26,8 %	-49,6 %
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,39E-05	8,85E-06	ikke målt	ikke målt	0,002	<b>595,5 %</b>	<b>342,3 %</b>
Dibenzo(a,h)antracen	4,01E-06	2,72E-06	ikke målt	ikke målt	0,03	-86,6 %	-90,9 %
Benzo(ghi)perylene	2,97E-05	1,91E-05	ikke målt	ikke målt	0,002	<b>1387,1 %</b>	<b>853,9 %</b>
PCB 28	1,07E-06	5,88E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 52	6,51E-07	5,54E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 101	1,60E-07	1,32E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 118	3,02E-08	2,36E-08	ikke målt	ikke målt			
PCB 138	2,42E-07	1,98E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 153	2,37E-08	2,03E-08	ikke målt	ikke målt			
PCB 180	6,67E-08	5,25E-08	ikke målt	ikke målt			
Sum PCB7	2,24E-06	1,57E-06	ikke målt	ikke målt			
Tributyltinn (TBT-ion)	3,16E-03	1,36E-03	ikke målt	ikke målt	0,0002	<b>1505640,6 %</b>	<b>649250,6 %</b>

**Tabell 11** viser at beregnet porevannskonsentrasjon basert på gjennomsnittskonsentrasjonene i sedimentet overskrider PNEC<sub>w</sub> for 3 metaller (Cu, Ni og Zn), 6 av PAH-forbindelsene og TBT. Overskridelsene er jevnt over store. Dette, sammen med konklusjonen fra Trinn 1, viser at sedimentene utgjør en for høy risiko for skade på organismer i vedvarende kontakt med sedimentet.

#### 4.4 Risiko for akvatiske organismer

Risikovurdering for organismer i vannet over sedimentet baserer seg på beregnet konsentrasjon av den enkelte miljøgift i vannmassene som følge av spredningen fra sedimentene og fortykning i vannmassene (det siste beregnet fra totalt vannvolum og antatt oppholdstid av vannet i bassenget over sedimentet). Dette betegnes som PEC (Predicted Environmental Concentration). I **Tabell 12** er forholdet mellom PEC og grenseverdi for effekter i vannmassene ( $PNEC_w$ ) vist.

**Tabell 12.** Beregnet sjøvannskonsentrasjon av miljøgifter grunnet spredning fra sedimentet ( $C_{sv}$ ) og beregnet overskridelse av  $PNEC_w$  for akvatiske organismer.

Stoff	$F_{tot, middel}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	$F_{diff, middel}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	$F_{skipnormert, middel}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	$F_{org, middel}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	$C_{sv}$ µg/l	$PNEC_w$ µg/l	% overskridelse
Arsen	1,61E+01	1,06E+01	5,49E+00	2,38E-03	0,0119	4,8	
Bly	5,84E+01	4,64E+00	5,37E+01	9,99E-02	0,0432	2,2	-98 %
Kadmium	3,31E-01	2,40E-02	3,07E-01	1,36E-05	0,0002	0,24	-100 %
Kobber	6,86E+01	2,00E+01	4,84E+01	1,14E-01	0,0507	0,64	-92 %
Krom totalt (III + VI)	1,90E+01	1,25E+00	1,78E+01	1,71E-03	0,0141	3,4	
Kvikksølv	3,46E-01	3,84E-02	3,08E-01	1,78E-04	0,0003	0,048	-99 %
Nikkel	2,49E+01	1,41E+01	1,08E+01	1,74E-02	0,0184	2,2	
Sink	1,62E+02	1,92E+01	1,41E+02	1,12E+00	0,1188	2,9	-96 %
Naftalen	6,25E+00	6,17E+00	4,71E-02	2,91E-02	0,0046	2,4	-100 %
Acenaftilen	5,53E+00	5,31E+00	7,46E-02	1,41E-01	0,0040	1,3	-100 %
Acenaften	9,18E-01	8,58E-01	2,56E-02	3,43E-02	0,0007	3,8	-100 %
Fluoren	8,30E-01	7,53E-01	3,73E-02	4,02E-02	0,0006	2,5	-100 %
Fenantren	4,51E+00	3,75E+00	4,23E-01	3,31E-01	0,0031	1,3	-100 %
Antracen	1,43E+00	1,17E+00	1,61E-01	9,84E-02	0,0010	0,11	-99 %
Fluoranten	3,01E+00	1,35E+00	1,02E+00	6,39E-01	0,0018	0,12	-99 %
Pyren	4,51E+00	2,80E+00	8,72E-01	8,39E-01	0,0027	0,023	-88 %
Benzo(a)antracen	8,28E-01	1,63E-01	4,65E-01	2,01E-01	0,0005	0,012	-96 %
Krysen	1,01E+00	1,81E-01	4,11E-01	4,17E-01	0,0004	0,07	-99 %
Benzo(b)fluoranten	9,28E-01	9,47E-02	4,70E-01	3,63E-01	0,0004	0,03	-99 %
Benzo(k)fluoranten	5,00E-01	5,17E-02	2,51E-01	1,98E-01	0,0002	0,027	-99 %
Benzo(a)pyren	9,78E-01	9,87E-02	5,02E-01	3,78E-01	0,0004	0,05	-99 %
Indeno(1,2,3-cd)pyren	6,61E-01	3,25E-02	4,96E-01	1,33E-01	0,0004	0,002	-80 %
Dibenzo(a,h)antracen	1,78E-01	9,94E-03	1,27E-01	4,08E-02	0,0001	0,03	-100 %
Benzo(ghi)perylene	8,24E-01	7,01E-02	4,67E-01	2,86E-01	0,0004	0,002	-80 %
PCB 28	1,07E-02	3,71E-03	9,53E-04	6,01E-03	0,0000		
PCB 52	1,09E-02	1,96E-03	6,73E-04	8,31E-03	0,0000		
PCB 101	3,49E-03	4,31E-04	1,07E-03	1,98E-03	0,0000		
PCB 118	2,35E-03	7,70E-05	1,91E-03	3,54E-04	0,0000		
PCB 138	6,02E-03	6,03E-04	2,44E-03	2,98E-03	0,0000		
PCB 153	2,86E-03	6,19E-05	2,50E-03	3,05E-04	0,0000		
PCB 180	2,18E-03	1,51E-04	1,24E-03	7,93E-04	0,0000		
Tributyltinn (TBT-ion)	4,99E+00	4,84E+00	5,95E-02	8,92E-02	0,0036	0,0002	1628 %

Resultatene viser at PEC overskrider  $PNEC_w$  bare for TBT, men at overskridelsen er høy. Dette betyr at sedimentene, pga utlekking av TBT, også utgjør en risiko for skade på organismer som lever fritt i vannmassene.

## 4.5 Samlet risikovurdering Trinn 2

Beregningene i følge risikoveilederens Trinn 2 viser at spredningen av miljøgifter fra sedimentet til andre deler av økosystemet, basert på gjennomsnittskonsentrasjonene i sedimentet, overskrider spredningen fra et sediment som i Trinn 1 ansees å ha ubetydelig risiko. Isolert sett ansees derfor risikoen knyttet til spredning som for høy for sedimentene i Barbubukta.

Risikoen for skade på human helse ved konsum av lokal sjømat er uakseptabel på grunn av beregnet utlekking av sum PCB<sub>7</sub>, TBT og PAH. Den påviste risikoen for skade på human helse er bare reell dersom det fanges og konsumeres fisk eller skalldyr i området. Det foreligger kostholdsråd for området, og det anbefales ikke å spise lever fra fisk fanget i Arendals havneområde. Det ble i 2007 (Håvardstun og Næs, 2008) analysert på innholdet av PAH i blåskjell fra en stasjon i Barbubukt. Resultatet av denne prøven var uventet lavt og blåskjellene ble klassifisert til "tilstandsklasse I, ubetydelig forurenset", og det ble anbefalt at dette resultatet ble fulgt opp med nye målinger. Dette er foreløpig ikke gjort, men resultatet viser at selv om det er høye konsentrasjoner av PAH i sedimentet, er det ikke nødvendigvis slik at dette blir funnet igjen i organismer i området.

Det er også en risiko for skade på organismer som lever i sedimentene grunnet høye verdier av Cu, Ni, Zn og TBT. Dessuten er det en uakseptabel høy risiko for skade p.g.a for høye verdier av 6 PAH-forbindelser.

Beregningene viser videre at sedimentene utgjør en risiko for skade på organismer i vannmassene p.g.a. utlekkingen av TBT. Siden den beregnede tømmeperioden for TBT fra sedimentene er meget lav (0,6 år), kan det imidlertid være at transporten til vannmassene er overestimert og at samlet risiko for organismer her er lavere enn beregnet. Overskridelsen av  $PNEC$  for TBT i vannmassene er imidlertid så stor (1628 %) at risikoen for skade likevel ansees å være uakseptabel.

Sedimentene i Barbubukt kan altså ikke friskmeldes etter Trinn 2 på bakgrunn av at beregnet spredning, human eksponering og økologisk effekt overskrider henholdsvis referanseverdier og grenseverdier.

## 5. Anbefalinger

En målsetning med denne rapporten er å gi anbefalinger om tiltak for å hindre spredning av forurensninger ved en eventuell utbygging av arealene i Barbubukt som berører fyllingskanten, eller sedimentene i sjøbunnen utenfor fyllingskanten. Forurensningene påvist i selve fyllingskanten var knyttet til mindre sedimentvolum i lommer mellom større steinblokker og grovere masser. Det vil derfor ikke være stor fare for spredning av forurensning ved arbeider i selve skråningen. Den gjennomførte Trinn 1 risikovurderingen av disse sedimentene viste også at nivåene av forurensningene var lavere enn i sedimentet utenfor fyllingskanten. En spredning til nærliggende områder vil derfor ikke medføre økt belastning til disse arealene. Det kan likevel vurderes å benytte ett siltskjørt på utsiden av fyllingskanten ved arbeider. Dette vil sikre at oppvirvlede sedimenter ikke spres videre ut av området.

Resultatene fra Trinn 1 og Trinn 2 risikovurderingene for sedimentene i delområdet sedimentflaten utenfor fyllingskanten i Barbubukt viser at det er uakseptabel risiko for spredning av både metaller og organiske miljøgifter fra dette arealet. For å hindre oppvirvling av sedimenter ved for eksempel utfylling, peling eller graving i disse sedimentene, må en gjøre tiltak for å hindre spredning.

Det er flere tiltak som kan være aktuelle:

- Dersom det skal gjennomføres peling i sedimentområdet bør man som minimum dekke til sedimentene der pelene skal settes og ut til 2-5 m fra disse.
- Ved videre utfylling i Barbubukt anbefales at eksisterende bunn først tildekkes med fiberduk pålagt et sandlag for å hindre oppvirvling under selve utfyllingen. Dette kan gjøres etter mønster av kaiutbyggingen ved Arendal Smelteverk i Eydehavn. Hvor langt ut det er behov for tildekking er avhengig av hvilken skråning utfyllingen skal ha og hvor skånsomt man kan legge ut utfyllingsmassene.
- Benytte siltskjørt utenfor eventuelle arbeider for å forhindre spredning av forurensede sedimenter til omkringliggende arealer.

For å få varige resultater av eventuell tildekking er det viktig å ha kontroll over kilder og eventuelle tilførsler av miljøgifter fra land.

## 6. Referanser

Bakke, T., Breedveld, G., Källqvist, T., Oen, A., Eek, E., Ruus, A., Kibsgaard, A., Helland, A. & Hylland, K. 2007. Veileder for risikovurdering av forurenset sediment. SFT-rapport TA-2230/2007. 65 s.

Bakke, T., Breedveld, G., Källqvist, T., Oen, A., Eek, E., Ruus, A., Kibsgaard, A., Helland, A. & Hylland, K. 2007. Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. SFT-rapport TA 2229/2007. 12 s.

Breedveld, G., Bakke, T., Eek, E., Helland, A., Källqvist, T., Oen, A. 2005. Veileder for risikovurdering av forurenset sediment. SFT-rapport TA-2085/2005 rev.1,2005. 45 s.

Helland, A., Nilsson, H. C., Bakke, T. 2007. Kittilsbukta, Arendal. Miljøgifter i sedimenter, vurdering av risiko og tiltak. O-27143. LNR. 5472-2007. 27 s.

Håvardstun, J. & Næs, K. 2008. Undersøkelser for revurdering av kostholdsrestriksjoner i Arendals fjordbasseng 2007. Kartlegging av miljøgifter i blåskjell, krabbe og og torskelever. O-27355. LNR. 5639-2008. 29 s.

Nilsson, H. & Næs, K. 2005. Sedimentundersøkelser i forbindelse med tiltaksplan for forurensete sedimenter i Arendal: Fase 2. O-25012. LNR. 5118-2005. 41 s.

NS-EN ISO 5667-19: 2004. Water quality – Sampling – Part 19: Guidance on sampling in marine sediments.

## Vedlegg A. Rådata kjemianalyser

	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7	St. 8	St. 9
Tørrstoff %	50	40	34,7	38,2	36	68,2	40,8	28,2	48,3
Kornfordeling <63µm %t.v	23	36	40	63	63	10	15	25	18
Karbon organisk µgC/mg Tørrstoff	28,8	50,4	57,6	45,3	49,2	18	35,1	66,8	32,4
Arsen mg/kg	7,2	9,3	11	11	14	2	5	6	4
Bly mg/kg	75,9	92,4	92,6	109	146	23	45,8	70,2	62,6
Kadmium mg/kg	0,6	0,72	0,83	0,4	0,4	0,2	0,5	0,84	0,5
Kobber mg/kg	113	87,2	96,5	85,7	82,5	41,3	63,2	87,9	70,9
Krom totalt (III + VI) mg/kg	27,2	31,5	34,5	35,2	42,4	20,3	18	25,7	20,6
Kvikksølv mg/kg	0,27	0,56	0,67	0,7	0,76	0,11	0,15	0,41	0,31
Nikkel mg/kg	16,1	20,8	22,4	21,5	22,1	10	13	16,1	15,9
Sink mg/kg	292	286	296	233	250	120	217	393	233
Naftalen mg/kg	0,032	0,038	0,053	0,077	0,091	0,021	0,051	0,071	0,092
Acenaftalen mg/kg	0,035	0,066	0,13	0,14	0,19	0,01	0,018	0,021	0,077
Acenaften mg/kg	0,037	0,03	0,033	0,064	0,056	0,01	0,026	0,017	0,1
Fluoren mg/kg	0,049	0,04	0,055	0,1	0,091	0,01	0,031	0,026	0,14
Fenantren mg/kg	0,58	0,48	0,55	1,4	0,93	0,15	0,32	0,2	0,92
Antracen mg/kg	0,24	0,19	0,3	0,37	0,41	0,021	0,075	0,067	0,25
Fluoranten mg/kg	1,2	1,3	1,7	3	2,6	0,25	0,65	0,42	1,3
Pyren mg/kg	0,98	1,1	1,5	2,5	2,2	0,2	0,52	0,35	1
Benzo(a)antracen mg/kg	0,5	0,63	0,83	1,2	1,3	0,084	0,24	0,18	0,52
Krysen mg/kg	0,48	0,55	0,71	1,1	1,1	0,098	0,26	0,2	0,52
Benzo(b)fluoranten mg/kg	0,5	0,69	0,83	1,2	1,3	0,12	0,25	0,21	0,51
Benzo(k)fluoranten mg/kg	0,26	0,33	0,46	0,64	0,72	0,056	0,12	0,11	0,25
Benzo(a)pyren mg/kg	0,5	0,67	0,95	1,3	1,4	0,099	0,21	0,19	0,48
Indeno(1,2,3-cd)pyren mg/kg	0,41	0,69	0,87	1,3	1,5	0,1	0,18	0,16	0,42
Dibenzo(a,h)antracen mg/kg	0,12	0,19	0,22	0,33	0,36	0,029	0,054	0,046	0,12
Benzo(ghi)perylene mg/kg	0,4	0,67	0,82	1,2	1,4	0,11	0,17	0,14	0,35
PCB 28 mg/kg	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002
PCB 52 mg/kg	0,0015	0,00098	0,0013	0,0012	0,0014	0,00046	0,0008	0,0012	0,0019
PCB 101 mg/kg	0,0025	0,0016	0,0017	0,002	0,0025	0,00071	0,0014	0,0015	0,0026
PCB 118 mg/kg	0,0039	0,0029	0,003	0,0039	0,0047	0,00071	0,0025	0,0023	0,0036
PCB 138 mg/kg	0,0051	0,0037	0,004	0,0049	0,0057	0,0021	0,0031	0,0029	0,0048
PCB 153 mg/kg	0,0052	0,004	0,0045	0,0047	0,0056	0,0022	0,0035	0,0034	0,0051
PCB 180 mg/kg	0,0024	0,0017	0,003	0,0024	0,0023	0,0015	0,002	0,0023	0,0027
Tributyltinn (TBT-ion) mg/kg	0,16	0,033	0,038	0,059	0,055	0,012	0,0038	0,008	0,076

## NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

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



Norsk institutt for vannforskning

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