



Foto: Merete Schøyen, NIVA

**MILJØUNDERSØKELSER OG
RISIKOVURDERING AV
BUNNSEDIMENTER I
HORTEN INDRE HAVN I 2011**

 **Forsvarsbygg**

FBSE-2011/21

NIVA

Norsk institutt for vannforskning



Skifte Eiendom
Postboks 405 Sentrum
0103 Oslo
Norge
Tlf: 815 70 400

DOKUMENTINFORMASJON

Publ./Rapportnr:	Prosjektnr:	Doculivnr:
FBSE-2011/21	5170130	200901425

Tittel:
Miljøundersøkelser og risikovurdering av bunnsedimenter i Horten Indre Havn i 2011

Forfatter(e):
Sigurd Øxnevad, Torgeir Bakke, Bjørnar Beylich, Merete Schøyen, Ian Allan

Oppdragsgiver/kontaktperson(er):	Oppdragsgivers prosjektnr/ref.nr:
Pål Skovli Henriksen, Eli Smette	5170130

Stikkord (norsk):
Risikovurdering, forurensede sedimenter, Horten Indre Havn

Key word (English):
Risk assessment, contaminated sediments, Horten Inner Harbour

Sammendrag:
Miljøundersøkelser og risikovurdering av bunnsedimentene ble gjennomført av NIVA i 2011. Risikovurderingen viser at alle delområdene har sedimenter med miljøgifter i konsentrasjoner som overskrider grenseverdiene for økologiske effekter på organismer i sediment. I de ytre områdene er imidlertid overskridelsene lave. Beregning av årlig transport av miljøgifter fra sedimentene viser at det lekker mest kvikksølv ut fra sedimentet i området mellom Løvøya og Mellomøya, hvor det ble funnet ekstrem høy konsentrasjon av kvikksølv på én stasjon. Det skjer størst utlekking av TBT fra sedimentene utenfor Horten Industripark og i det dypere midtområdet. Det er spesielt høy transport av bly ut fra sedimentene i området utenfor Bromsjordet. Kobber og sink lekker mest ut fra sedimentene i området utenfor Bromsjorden og fra det dypere midtområdet. Beregningene viser at det lekker mest PAH ut fra sedimentene i området utenfor Karljohansvern. Det er generelt liten transport av PCB ut fra sedimentene, men størst transport av PCB fra området utenfor Horten Industripark og det dypere midtområdet. Spredning av metaller skyldes for en stor del oppvirling fra propeller. Spredning av TBT og de lettere PAH-forbindelsene skyldes primært biodiffusjon. Spredning av PCB skjer primært via næringskjeden, men for noen kongenerer foregår dette like mye gjennom oppvirling. Sedimentene i alle delområdene utgjør risiko for skade på human helse, og først og fremst gjennom konsum av lokal sjømat. Det er overskridelser for vedtatte grenseverdier for eksponering av PCB-7, enkelte PAH-forbindelser og for noen steder bly og kvikksølv. Resultatene av miljøgiftkonsentrasjoner og samlet toksisitet, viser at se-

dimentene i alle delområdene utgjør en uakseptabel risiko for effekter på både sedimentlevende organismer og på organismer i vannsøylen. Resultatene fra de passive prøvetakerne er brukt til å beregne reelle konsentrasjoner av miljøgifter i vannmassene. Disse viser at det er overskridelser av grenseverdien for TBT i vannmassene. Siden man ikke med sikkerhet kan si at den TBT som fanges opp i de passive prøvetakerne kommer fra sedimentene (det kan være andre kilder), er det usikkert om utlekkingen fra sedimentene utgjør risiko for toksiske effekter i vannmassene.

Dato:

Oslo, 13. oktober 2011

Godkjent av:



navn/tittel Tord Faye-Schjøll Seksjonssjef Forsvarsbygg Skifte Eiendom

Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

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

NIVA Midt-Norge

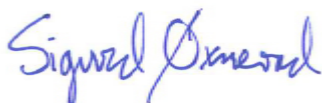
Pirsenteret, Havnegata 9
Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

Tittel Miljøundersøkelser og risikovurdering av bunnsedimenter i Horten Indre Havn i 2011	Løpenr. (for bestilling) 6213-2011	Dato 1.9.2011
	Prosjektnr. Undernr. O-11249	Sider 97
Forfatter(e) Sigurd Øxnevad Torgeir Bakke Bjørnar Beylich Merete Schøyen Ian Allan	Fagområde Miljøgifter i marint miljø	Distribusjon Fri
	Geografisk område Vestfold	Trykket CopyCat

Oppdragsgiver(e) Forsvarsbygg v/ Skifte Eiendom	Oppdragsreferanse Pål Skovli Henriksen Eli Smette
--	---

Sammendrag Miljøundersøkelser og risikovurdering av bunnsedimentene ble gjennomført av NIVA i 2011. Risikovurderingen viser at alle delområdene har sedimenter med miljøgifter i konsentrasjoner som overskrider grenseverdiene for økologiske effekter på organismer i sediment. I de ytre områdene er imidlertid overskridelsene lave. Beregning av årlig transport av miljøgifter fra sedimentene viser at det lekker mest kvikksølv ut fra sedimentet i området mellom Løvøya og Mellomøya, hvor det ble funnet ekstrem høy konsentrasjon av kvikksølv på én stasjon. Det skjer størst utlekking av TBT fra sedimentene utenfor Horten Industripark og i det dypere midtområdet. Det er spesielt høy transport av bly ut fra sedimentene i området utenfor Bromsjordet. Kobber og sink lekker mest ut fra sedimentene i området utenfor Bromsjordet og fra det dypere midtområdet. Beregningene viser at det lekker mest PAH ut fra sedimentene i området utenfor Karljohansvern. Det er generelt liten transport av PCB ut fra sedimentene, men størst transport av PCB fra området utenfor Horten Industripark og det dypere midtområdet. Spredning av metaller skyldes for en stor del oppvirvling fra propeller. Spredning av TBT og de lettere PAH-forbindelsene skyldes primært biodiffusjon. Spredning av PCB skjer primært via næringskjeden, men for noen kongenerer foregår dette like mye gjennom oppvirvling. Sedimentene i alle delområdene utgjør risiko for skade på human helse, og først og fremst gjennom konsum av lokal sjømat. Det er overskridelser for vedtatte grenseverdier for eksponering av PCB-7, enkelte PAH-forbindelser og for noen steder bly og kvikksølv. Resultatene av miljøgiftkonsentrasjoner og samlet toksisitet, viser at sedimentene i alle delområdene utgjør en uakseptabel risiko for effekter på både sedimentlevende organismer og på organismer i vannsøylen. Resultatene fra de passive prøvetakerne er brukt til å beregne reelle konsentrasjoner av miljøgifter i vannmassene. Disse viser at det er overskridelser av grenseverdien for TBT i vannmassene. Siden man ikke med sikkerhet kan si at den TBT som fanges opp i de passive prøvetakerne kommer fra sedimentene (det kan være andre kilder), er det usikkert om utlekkingen fra sedimentene utgjør risiko for toksiske effekter i vannmassene.

Fire norske emneord 1. Kartlegging 2. Risikovurdering 3. Sedimenter 4. Horten Indre Havn	Fire engelske emneord 1. Mapping 2. Risk assessment 3. Sediments 4. Horten Inner Harbour
--	--



Sigurd Øxnevad
Prosjektleder



Torgeir Bakke
Forskningsleder



Bjørn Faafeng
Seniorrådgiver

Førord

Forsvarsbygg ved Skifte Eiendom, Fylkesmannen i Vestfold, Horten kommune, Horten Industripark og Horten Havnevesen har tatt initiativ til opprydding og rensing av sjøbunnen i Horten Indre Havn. NIVA har i den forbindelse fått et oppdrag for Forsvarsbygg ved Skifte Eiendom for å kartlegge forurensningssituasjonen i Horten Indre Havn og vurdere miljørisiko fra bunnsedimentene på basis av kartleggingen. Feltarbeidet ble gjennomført av Sigurd Øxnevad, Bjørnar Beylich og Merete Schøyen i mai og juni 2011. Horten Kommune v/driftsleder Trond Næss stilte kommunens område på Bromsjordet til rådighet for nedfrysing av prøver og lagring av båt. Alle kjemiske analyser og toksisitetstester ble utført av ALS Laboratory Group. Ian Allan har vurdert resultatene av passive prøvetakere. Risikovurderingen og utforming av hovedrapporten er utført av Sigurd Øxnevad og Torgeir Bakke. Rapporten er kvalitetssikret av Morten Schaanning. Kontaktperson hos Forsvarsbygg har vært Eli Smette.

Oslo, 15.9.2011

Sigurd Øxnevad

INNHold

1. INNLEDNING	10
2. OMRÅDEBESKRIVELSE.....	10
2.1. FYSISK KARAKTERISERING.....	10
2.1.1. GEOGRAFISK BELIGGENHET	10
2.1.2. DYP, STRØMMØNSTER, BUNNTYPER	11
2.2. AREALBRUK, VERNESTATUS, MILJØMÅL	11
2.3. MILJØTILSTAND	12
2.3.1. FORURENSNINGSKILDER	18
2.3.2. BUNNSEDIMENTER.....	18
2.3.3. VANNMASSER	20
2.3.4. SJØMAT, KOSTHOLDSRÅD	20
3. RISIKOVURDERING AV BUNNSEDIMENTENE.....	21
3.1. DELOMRÅDER FOR RISIKOVURDERING	21
3.2. METODIKK.....	23
3.3. RISIKOVURDERING FOR DELOMRÅDE T1 – UTENFOR BROMSJORDET	24
3.3.1. DELOMRÅDEBESKRIVELSE	24
3.3.2. TRINN 1	24
3.3.3. TRINN 2	26
3.3.4. KONKLUSJON - RISIKOVURDERING DELOMRÅDE T1.....	33
3.4. RISIKOVURDERING FOR DELOMRÅDE T2 – UTENFOR HORTEN INDUSTRIPARK	34
3.4.1. DELOMRÅDEBESKRIVELSE	34
3.4.2. TRINN 1	34
3.4.3. TRINN 2	36
3.4.4. KONKLUSJON - RISIKOVURDERING DELOMRÅDE T2.....	43
3.5. RISIKOVURDERING FOR DELOMRÅDE T3 – UTENFOR KARLJOHANSVERN.....	44
3.5.1. DELOMRÅDEBESKRIVELSE	44
3.5.2. TRINN 1	44
3.5.3. TRINN 2	46
3.5.4. KONKLUSJON - RISIKOVURDERING DELOMRÅDE T3.....	53
3.6. RISIKOVURDERING FOR DELOMRÅDE T4 - MIDTOMRÅDET	54
3.6.1. DELOMRÅDEBESKRIVELSE	54
3.6.2. TRINN 1	54
3.6.3. TRINN 2	56
3.6.4. KONKLUSJON - RISIKOVURDERING DELOMRÅDE T4.....	64

3.7.	RISIKOVURDERING FOR DELOMRÅDE T6 – VIKA MELLOM LØVØYA OG MELLOMØYA.....	65
3.7.1.	DELOMRÅDEBESKRIVELSE	65
3.7.2.	TRINN 1	65
3.7.3.	TRINN 2	67
3.7.4.	KONKLUSJON - RISIKOVURDERING DELOMRÅDE T6.....	72
3.8.	RISIKOVURDERING FOR DELOMRÅDE T7 – OMRÅDET MELLOM ØSTØYA OG MELLOMØYA...	73
3.8.1.	DELOMRÅDEBESKRIVELSE	73
3.8.2.	TRINN 1	73
3.8.3.	TRINN 2	75
3.8.4.	KONKLUSJON - RISIKOVURDERING DELOMRÅDE T7.....	83
3.9.	RISIKOVURDERING FOR DELOMRÅDE T8 – OMRÅDET MELLOM VEALØS OG ØSTAØYA	84
3.9.1.	OMRÅDEBESKRIVELSE	84
3.9.2.	TRINN 1	84
3.9.3.	TRINN 2	86
3.9.4.	KONKLUSJON - RISIKOVURDERING DELOMRÅDE T8.....	93
3.10.	MINDRE FORURENSEDE OMRÅDER	94
4.	OPPSUMMERING	95
5.	REFERANSER	97



Sammendrag

NIVA har gjennomført miljøundersøkelser og risikovurdering av bunnsedimenter i Horten Indre Havn i 2011. Risikovurderingen viser at alle delområdene har sedimenter med miljøgifter i konsentrasjoner som overskrider grenseverdiene for økologiske effekter på organismer i sediment. I de ytre områdene er imidlertid overskridelsene lave.

Beregning av årlig transport av miljøgifter fra sedimentene viser at det lekker mest kvikksølv ut fra sedimentet i området mellom Løvøya og Mellomøya, hvor det ble funnet ekstremt høy konsentrasjon av kvikksølv på en stasjon. Det skjer størst utlekking av TBT fra sedimentene utenfor Horten Industripark og i det dypere midtområdet i Horten Indre Havn. Det er spesielt høy transport av bly fra sedimentene i området utenfor Bromsjordet. Kobber og sink lekker mest fra sedimentene i området utenfor Bromsjordet og fra det dypere midtområdet i havna. Beregningene viser at det lekker mest PAH fra sedimentene i området utenfor Karljohansvern. Det er generelt liten transport av PCB fra sedimentene, men størst transport av PCB fra området utenfor Horten Industripark og det dypere midtområdet.

Spredning av metaller skyldes for en stor del oppvirvling fra propeller. Spredning av TBT og de lettere PAH-forbindelsene skyldes primært biodiffusjon. Spredning av PCB er som nevnt liten, og skjer primært via næringskjeden, men for noen kongenerer foregår dette like mye gjennom oppvirvling.

Sedimentene i alle delområdene utgjør risiko for skade på human helse, og først og fremst gjennom konsum av lokal sjømat. Det er overskridelser for vedtatte grenseverdier for eksponering av PCB-7, enkelte PAH-forbindelser og for noen steder bly og kvikksølv. Resultatene av miljøgiftkonsentrasjoner og samlet toksisitet, viser at sedimentene i alle delområdene utgjør en uakseptabel risiko for effekter på både sedimentlevende organismer og på organismer i vannsøylen. Resultatene fra de passive prøvetakerne er brukt til å beregne reelle konsentrasjoner av miljøgifter i vannmassene. Disse viser at det er overskridelser av grenseverdien for TBT i vannmassene. Siden man ikke med sikkerhet kan si at den TBT som fanges opp i de passive prøvetakerne kun kommer fra sedimentene (det kan være andre kilder), er det pr i dag usikkert om utlekkingen av TBT fra sedimentene utgjør noen reell risiko for toksiske effekter i vannmassene.

Summary

NIVA has carried out a mapping of contaminants in Horten Inner Harbour in 2011, and conducted a risk assessment of the sea bed sediments. The risk assessments show that all the investigated areas have sediments with concentrations of contaminants that have ecological effects on organisms in sediment.

Calculations of annual transport of contaminants from the sediments show that the sediments in the area between Løvøya and Mellomøya have the highest flux of mercury from the sediment to the water. The highest fluxes of TBT from sediment to water were found in the area outside Horten Industripark and the deeper mid area of Horten inner harbour. Copper and zinc seems to be leaking with highest rate from the sediments outside Bromsjordet and the deeper mid area. The highest flux of PAHs is found in the bay outside Karljohansvern. The transport of PCBs out of the sediments is in general low, but higher in the area outside Horten Industripark and the deeper mid area of the harbour.

Propellers cause most of the spreading of metals from the sediments. TBT and small PAHs are mainly spread by biodiffusion. PCBs are mainly spread by the food chain, but some PCBs are also spread by currents from propellers.

The sediments from all investigated areas make a risk to human health, mainly through consumption of local seafood. Concentrations exceeding limits for PCB-7, PAHs, lead and mercury were found. Concentrations of contaminants in sediments and results from toxicity tests show that the sediments in all the areas make an unacceptable risk to organisms in the sediments and in the overlying water. Results from passive samplers were used to calculate real concentrations of contaminants in the water. This indicates elevated concentrations of TBT in the water. We can not say for sure that the TBT absorbed by the passive samplers is coming from the sediments. There may be other sources. We can therefore not ascertain that leaking of TBT from the sediments make a risk of toxic effects in the water.

1. INNLEDNING

Sedimentene i Horten Indre Havn er forurenset av metaller, polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH), polyklorerte bifenyl (PCB) og tributyltinn (TBT). Forsvarsbygg ved Skifte Eiendom, Fylkesmannen i Vestfold, Horten kommune, Horten Industripark og Horten Havnevesen har tatt initiativ til opprydding og rensing av sjøbunnen i Horten Indre Havn. Som grunnlag for en tiltaksvurdering har NIVA gjennomført en kartlegging av forurensningstilstand i bunnsedimenter og vannmasser, og på basis av denne informasjonen en analyse av hvilken miljørisiko sedimentene representerer i dag. Risikovurderingen er gjennomført i tråd med Klima- og forurensningsdirektoratets veileder for risikovurdering av forurenset sediment (Bakke m.fl. 2011 (TA-2802/2011)).

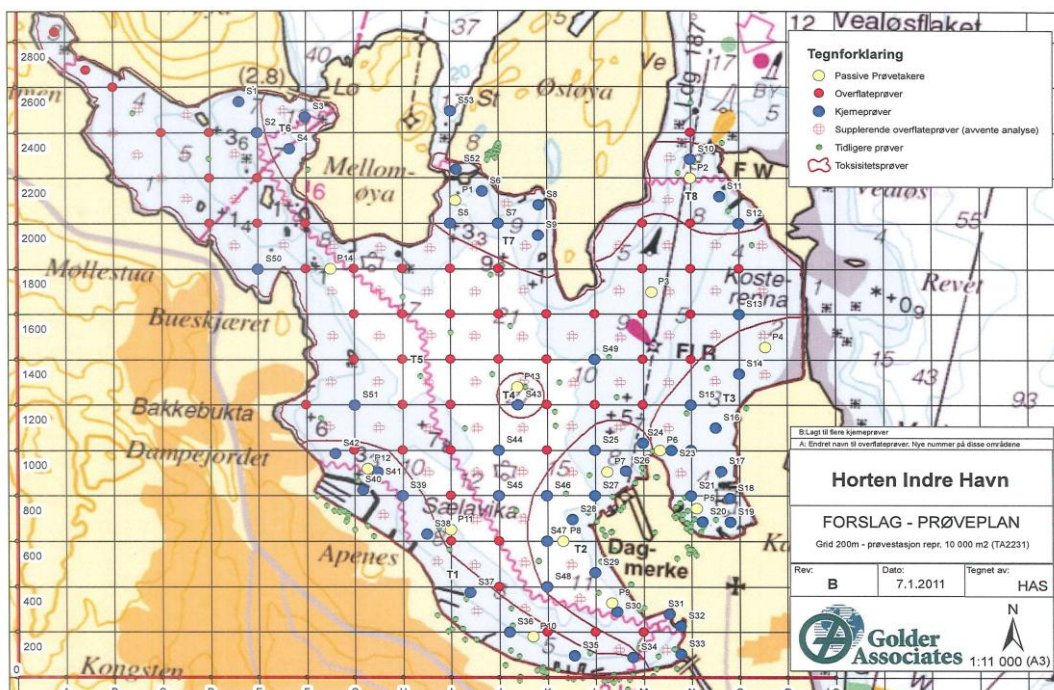
Resultatene fra miljøundersøkelsene er tidligere gitt i en fullstendig datarapport (Øxnevad m.fl. 2011, FBSE-2011/20). Denne hovedrapporten oppsummerer kort konklusjonene fra miljøundersøkelsen og presenterer risikovurderingen.

2. OMRÅDEBESKRIVELSE

2.1. FYSISK KARAKTERISERING

2.1.1. GEOGRAFISK BELIGGENHET

Horten indre havn ligger nord for Horten by. Havna er relativt innelukket og avgrenset fra ytre Oslofjord, mot nord av Løvøya, Mellomøya, Østøya og Vealøs; mot øst av Møringahalvøya. Kart over området med prøvetakingsstasjoner for sedimenter og passive prøvetakere er gitt i Figur 1.



Figur 1. Kart over Horten Indre Havn med angivelse av stasjoner for sedimentprøvetaking og plassering av passive prøvetakere. Områdene avgrenset med tynn rød strek markerer områdene der det er gjennomført risikovurdering av sedimentene. Område T4 er utvidet til å gjelde hele arealet som er dypere enn 10 meter. Kartet er utarbeidet av Golder Associates for Forsvarsbygg.

2.1.2. DYP, STRØMMØNSTER, BUNNTYPER

Horten Indre Havn er et grunt område. Største dyp er på 27 meter, men størstedelen av arealet er grunnere enn 10 meter. Den største vannutskiftingen skjer i skipsleia mellom Vealøs og Østøya hvor det er 8-13 meter dypt. Det er også vannstrøm i sundene mellom Østøya og Mellomøya, Løvøya og Mellomøya, og gjennom Hortenskanalen. I den dypere delen mellom Vealøs og Østøya består bunnen av grov sand, stein, og partier med tang. Bunnen i Horten Indre Havn består mest av siltig leire. I det dypere området (dypere enn 10 meter) består sedimentet av et 20-30 cm tykt mykt, svart, H₂S-luktende sediment, med leire under. Store arealer av bunnen på de grunneste områdene er dekket av ålegress. Dette gjelder særlig området sør for Løvøya og mot Solviken båthavn, og i området utenfor Karljohansvern ut mot Vealøs.

2.2. AREALBRUK, VERNESTATUS, MILJØMÅL

Arealbruk er som typisk for norske havneområder, en kombinasjon av offentlig havnetrafikk og småbåttrafikk. Det er flere småbåthavner i Horten Indre Havn, og det er stor aktivitet med småbåter der i sommerhalvåret. Horten Indre Havn er målhavn for Færderseilasen, og Horten Roklubb benytter også Horten Indre Havn som øvingsområde.

Horten Industripark as ligger sentralt i Horten Indre Havn, og består av bransjer innen industri, teknologi, marine, skipsreparasjon, håndverk, ingeniørtjenester og kunst og kultur. Det har foregått skipsbygging på dette området siden 1818. Karljohansvern, opprinnelig Horten Værft, ble etablert i 1818, få år etter unionsinngåelsen med Sverige. Fram til 1900 var skipsbygging en integrerende del av orlogsstasjonens virkeområde. Ved århundreskiftet (1900) var den tekniske utviklingen kommet så langt at et skille mellom den sjømillitære og den tekniske virksomhet måtte tvinge seg frem. Dette førte til at verftsvirksomhet, ble opprettet som egen institusjon under Forsvarsdepartementet. Verftets karakter som militær bedrift ble beholdt helt frem til 2 verdenskrig. Horten Indre Havn preges også av Forsvarets båttrafikk. Karljohansvern er mye brukt som rekreasjonsområde, men Forsvarets områder på Mellomøya, Østøya og Vealøs er stengt for allmenn ferdsel.

I forbindelse med utviklingen av Indre Havn, planlegges det en større båthavn, boligbygging og nye rekreasjonsområder. Strandsonen vest for Roklubben skal tilrettelegges med kyststi og opparbeides slik at strandsonen blir et attraktivt rekreasjonsområde for allmennheten og en ny sjøfront mot byen

Det er ingen områder som har eller planlegges å få vernestatus.

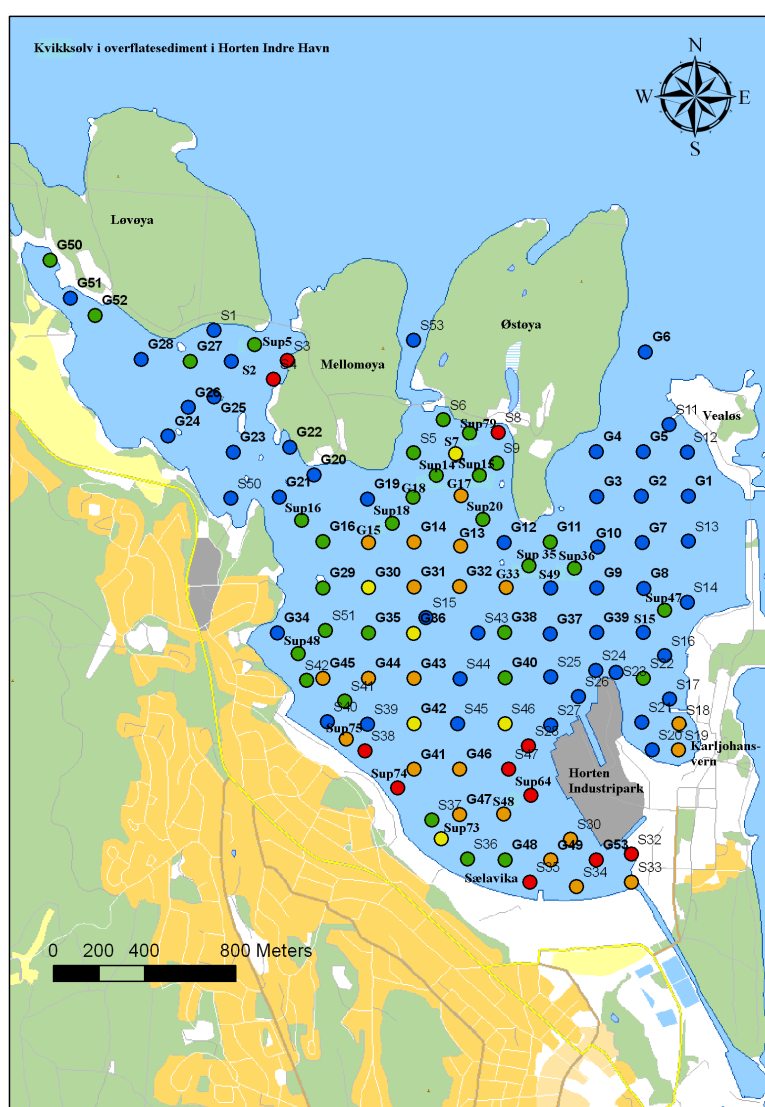
Horten kommune v/Klima og miljøutvalget har anbefalt følgende miljømål for Horten Indre Havn:

Langsiktige mål: Forurenset sjøbunn skal ikke hindre rekreasjon og friluftsliv, havnedrift og båttrafikk eller fritidsfiske. Forurenset sjøbunn og aktiviteter i området skal ikke føre til negativ påvirkning av økosystemet.

Delmål og ambisjonsnivå: Det skal være trygt å spise fiskekjøtt fra lokale fiskearter. Miljøgifter skal ikke medføre skader på dyre- og planteliv i området. Miljøgiftene skal ut av sirkulasjon (fjernes, overdekkes, sedimentasjon). Dette gjelder forurenset grunn både i sjø og på land.

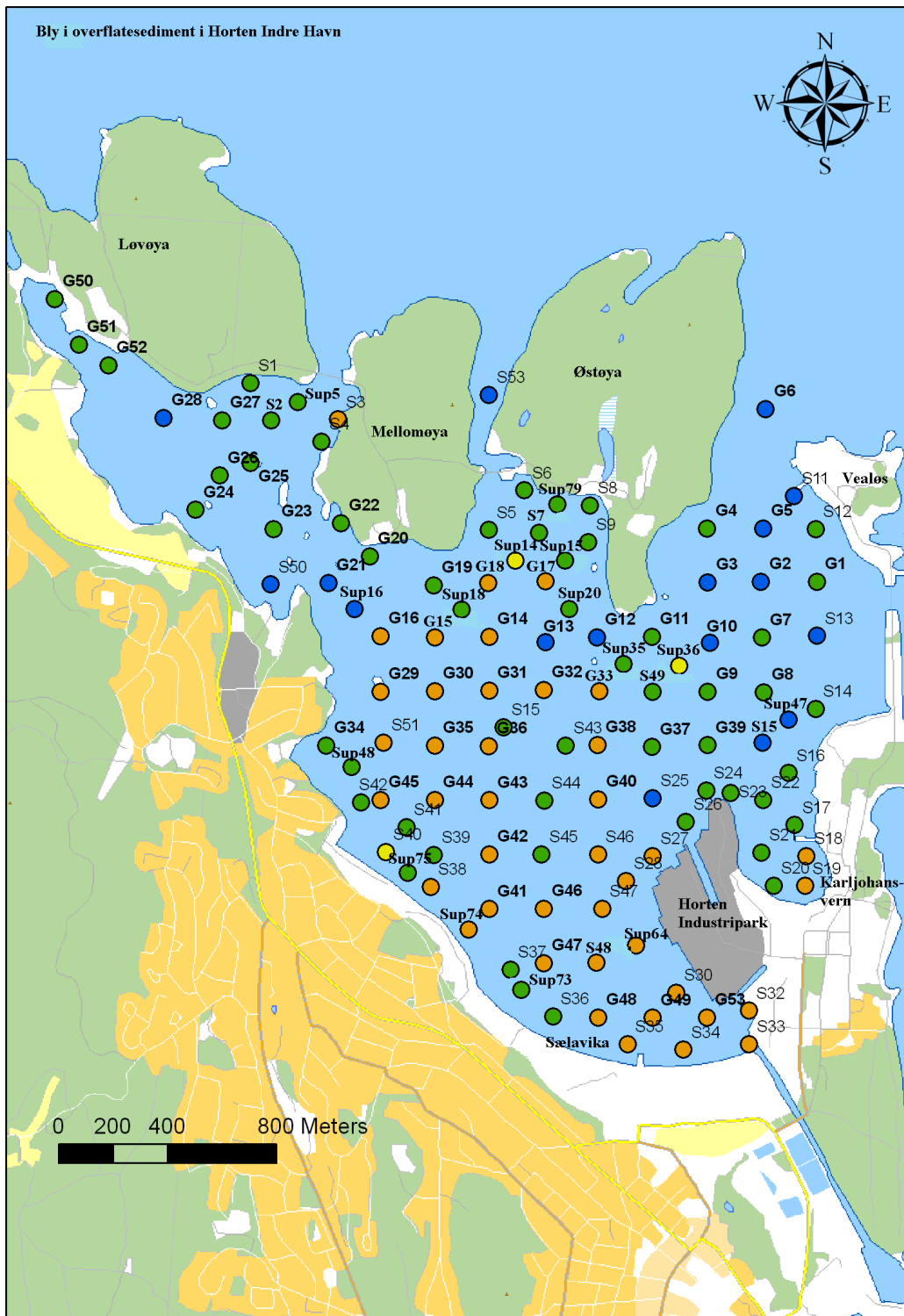
2.3. MILJØTILSTAND

Kartfigurer over Horten Indre Havn med tilstandsklasser for kvikksølv, bly, kobber, PCB-7, PAH og TBT er vist i figur 2 til 7. Sedimentene i hele undersøkelsesområdet ble funnet å være forurenset av TBT (Figur 7). De fleste stasjonene hadde sediment med tilstand *dårlig* eller *svært dårlig* med hensyn på TBT. Det midtre området, Sælavika, området utenfor Horten Industripark og Karljohansvern var i tillegg forurenset av kvikksølv, bly, kobber, PCB og PAH. Området sør for Løvøya og området ved Vealøs var lite forurenset av disse stoffene. Sedimentet var i tilstandsklasse *svært dårlig* med hensyn på kvikksølv på 11 stasjoner, og *dårlig* på 20 andre stasjoner. Et stort område som dekker det midtre området og Sælavika hadde sediment som var i tilstandsklasse *dårlig* med hensyn på bly. Det samme området var i klasse *dårlig* med hensyn på kobber og hadde i tillegg noen stasjoner i klasse *svært dårlig*. Området fra Sælavika til Karljohansvern var forurenset av PAH, og sedimentet der var i klasse *moderat* til *svært dårlig* med hensyn på PAH. Et stort område var i tilstandsklasse *moderat* med hensyn på PCB-7, og sediment fra området innerst i Sælavika og ved Horten Industripark var i tilstandsklasse *dårlig*.



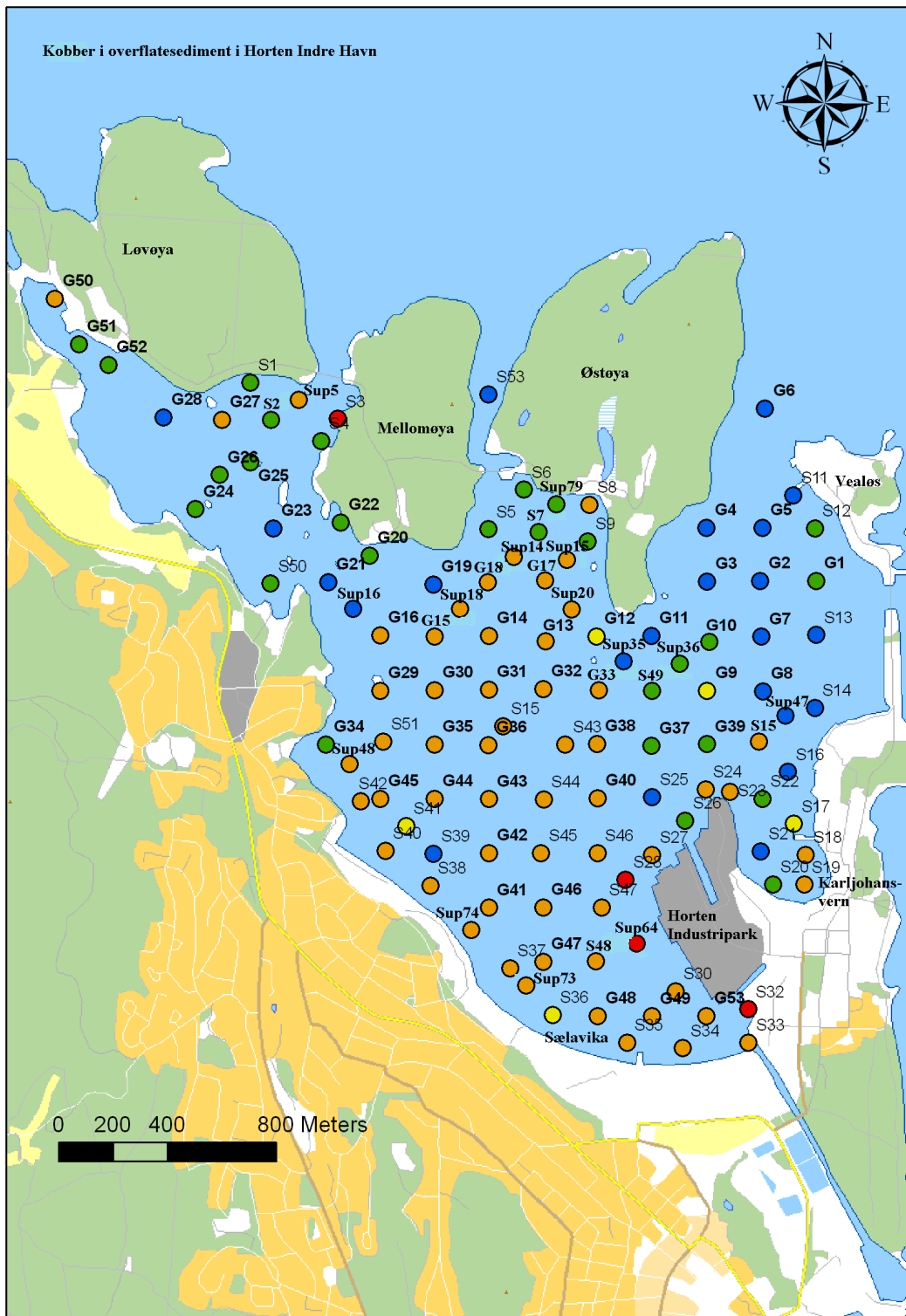
Figur 2. Kart over Horten Indre Havn med tilstandsklasser for kvikksølv i overflatesedimentet. Figuren er gitt fargekoder i henhold til Klif's klassifiseringssystem (Bakke m.fl. 2007).

●	I. Bakgrunn	●	II. God	●	III. Moderat	●	IV. Dårlig	●	V. Svært dårlig
---	-------------	---	---------	---	--------------	---	------------	---	-----------------



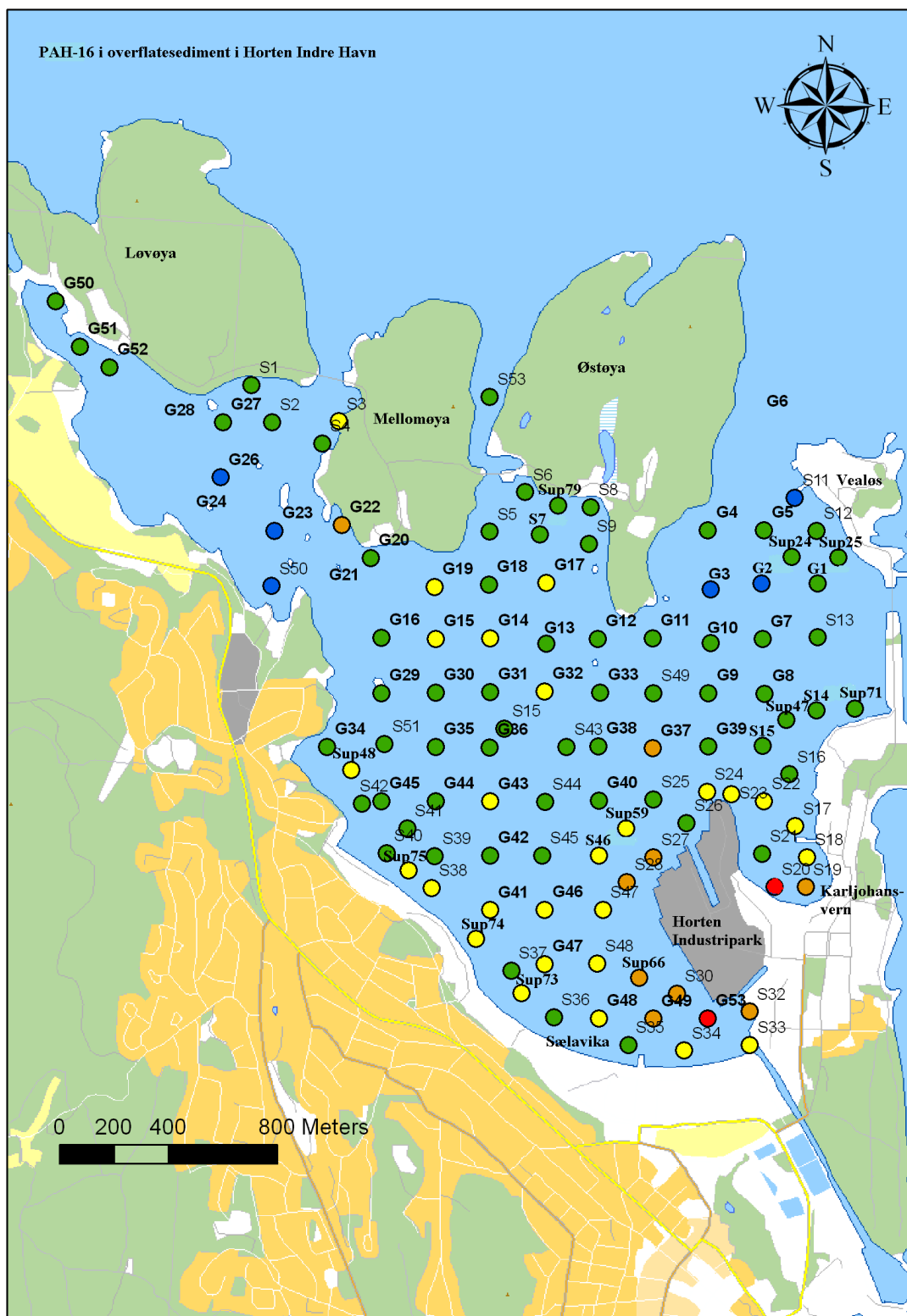
Figur 3. Oversiktskart over Horten Indre Havn med tilstandsklasser for bly i overflatesedimentet. Figuren er gitt fargekoder i henhold til Klifs klassifiseringssystem (Bakke m.fl. 2007).

●	I. Bakgrunn	●	II. God	●	III. Moderat	●	IV. Dårlig	●	V. Svært dårlig
---	-------------	---	---------	---	--------------	---	------------	---	-----------------








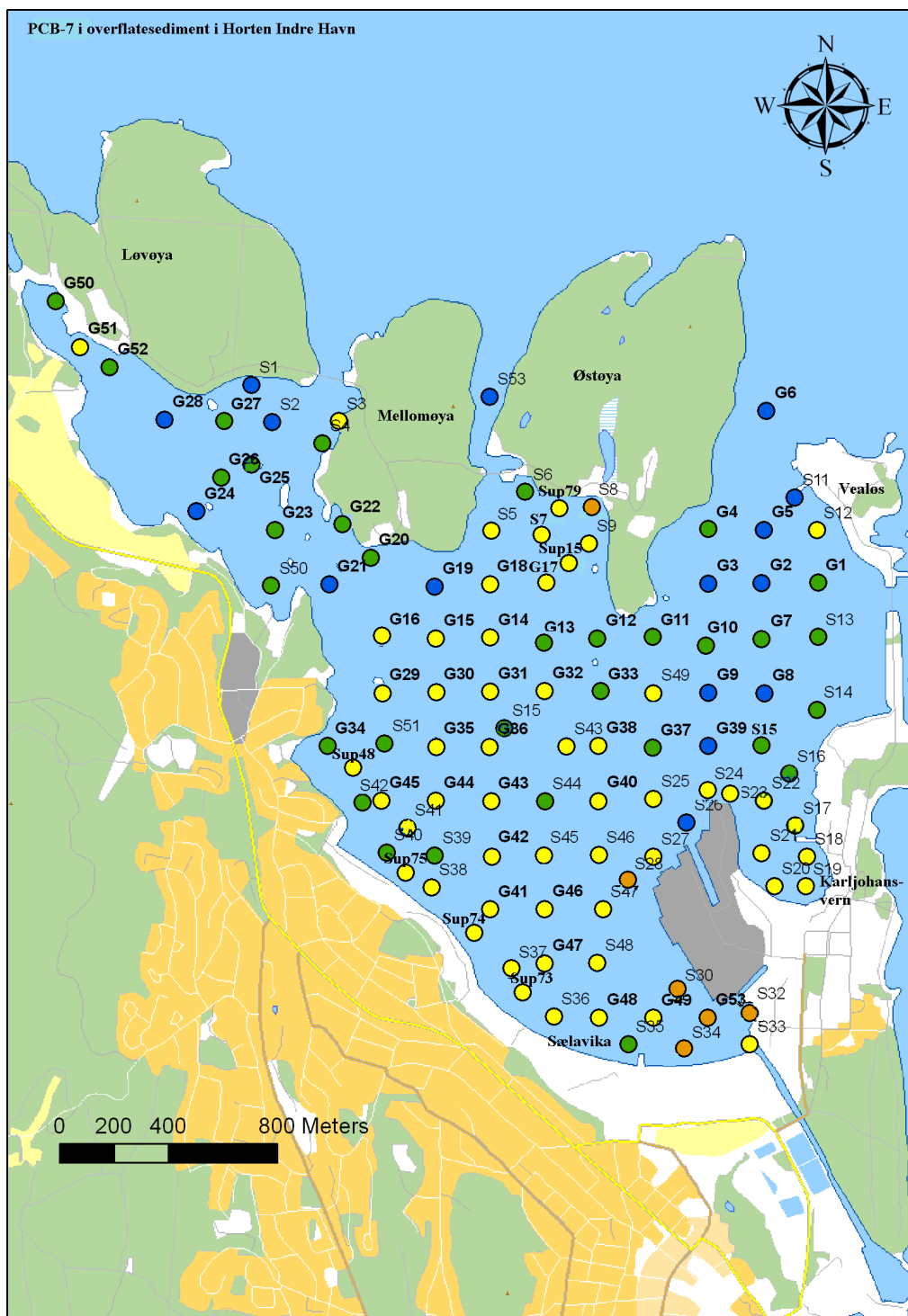
Figur 4. Oversiktskart over Horten Indre Havn med tilstandsklasser for kobber i overflatesedimentet. Figuren er gitt fargekoder i henhold til Klifs klassifiseringssystem (Bakke m.fl. 2007).

●	I. Bakgrunn	●	II. God	●	III. Moderat	●	IV. Dårlig	●	V. Svært dårlig
---	-------------	---	---------	---	--------------	---	------------	---	-----------------








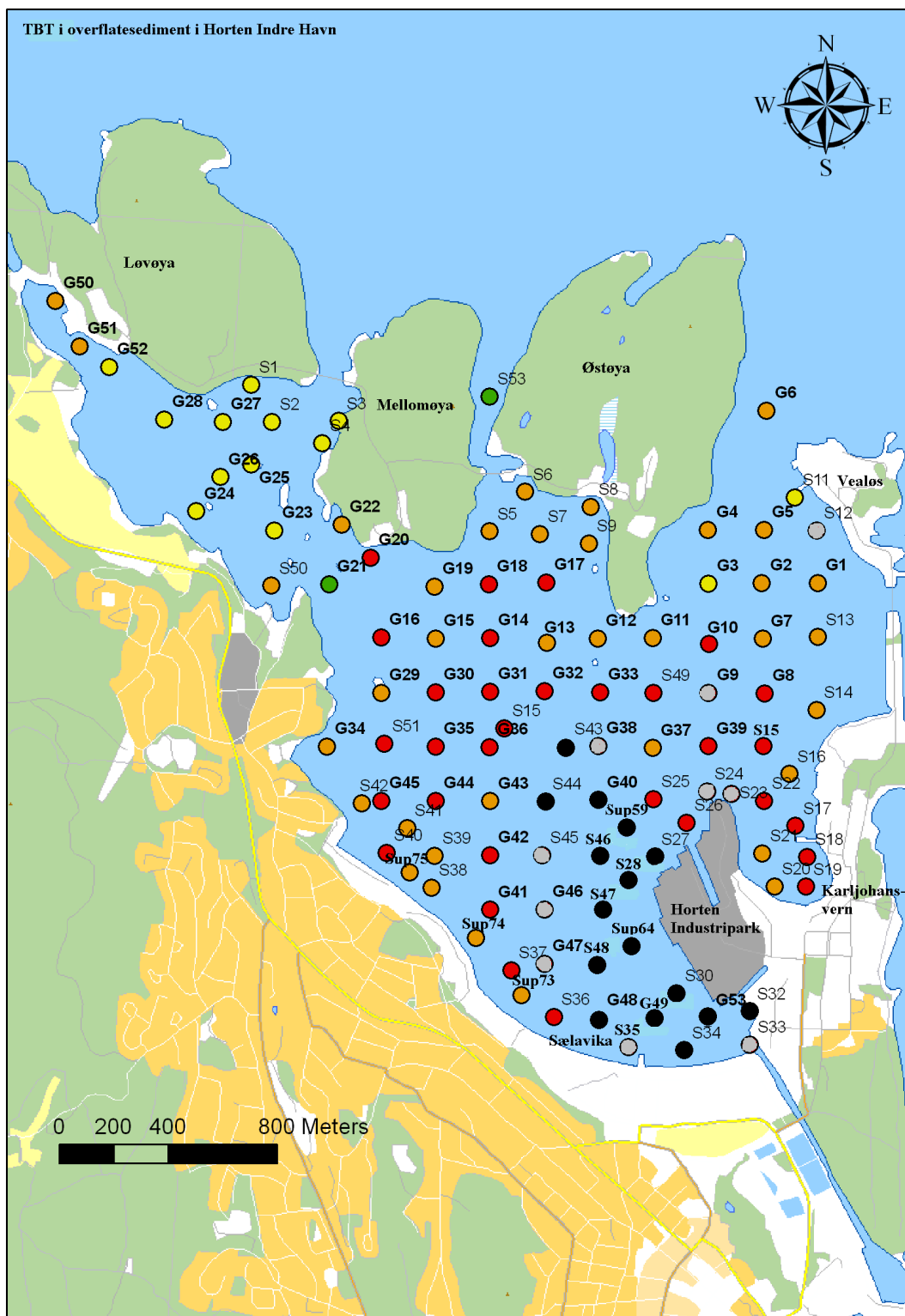
Figur 5. Oversiktskart over Horten Indre Havn med tilstandsklasser for PAH i overflatesedimentet. Figuren er gitt fargekoder i henhold til Klifs klassifiseringssystem (Bakke m.fl. 2007).

	I. Bakgrunn		II. God		III. Moderat		IV. Dårlig		V. Svært dårlig
---	-------------	---	---------	---	--------------	---	------------	---	-----------------



Figur 6. Oversiktskart over Horten Indre Havn med tilstandsklasser for PCB-7 i overflatesedimentet. Figuren er gitt fargekoder i henhold til Klifs klassifiseringssystem (Bakke m.fl. 2007).

	I. Bakgrunn		II. God		III. Moderat		IV. Dårlig		V. Svært dårlig
---	-------------	---	---------	---	--------------	---	------------	---	-----------------



Figur 7. Oversiktskart over Horten Indre Havn med tilstandsklasser for TBT i overflatesedimentet. Figuren er gitt fargekoder i henhold til Klifs klassifiseringssystem (Bakke m.fl. 2007).

●	I. Bakgrunn	●	II. God	●	III. Moderat	●	IV. Dårlig	●	V. Svært dårlig
---	-------------	---	---------	---	--------------	---	------------	---	-----------------

I tillegg er stasjoner med ekstra høye konsentrasjoner gitt spesiell markering. Stasjoner med konsentrasjon av TBT høyere enn 5 ganger over grenseverdien for klasse V er markert med ●, og stasjoner med konsentrasjon høyere enn 10 ganger over grenseverdien for klasse V er markert med ●.

2.3.1. FORURENSNINGSKILDER

Forsvarsbygg har tidligere gjennomført tiltak ved opprensning av Hortenskanalen og tildekking av avfallsfyllingen på Møringa (<http://www.skifte.no/Templates/Pages/ArticlePageTemplate.aspx?id=2053>). Forsvarets aktivitet på Karljohansvern har på grunn av skipsreparasjoner- og vedlikehold bidratt til forurensning av sjøbunnen i Horten Indre Havn. Industrivirksomhet, småbåthavnene og kommunale fyllinger er også kilder til forurensning av Horten Indre Havn

2.3.2. BUNNSEDIMENTER

Generelt har bunnsedimentene i de grunne områdene et tynt, siltig brunt topplag. Under dette er det siltig mykt sediment ned til 5-20 cm hvor det går over til leire. I det dypere området er sedimentet nesten svart, veldig mykt og med tydelig H₂S-lukt. Der går det over til leire ved ca 20-30 cm. Nedenfor er det vist noen bilder av sedimentet fra enkelte av stasjonene. (bilde A til F).

Det ble utført tre typer toksisitetstester på sedimenter fra 8 delområder fra Horten Indre Havn. Ufortynnet porevann ekstrahert fra sedimentene ga mindre enn 50 % veksthemming av algen *Skeletonema costatum*. Testen for veksthemming av *Skeletonema costatum* for et organisk ekstrakt av sedimentet viste imidlertid at alle sedimentprøvene ga mer enn 50 % veksthemming av algene, men at det var stor variasjon i toksisitet mellom de 8 områdene. DR-CALUX-testen indikerte at sedimentene fra området utenfor Horten Industripark og det dypere midtområdet inneholdt mer enn 50 ng TEQ/kg dioksiner eller dioksinlignende PCBer.

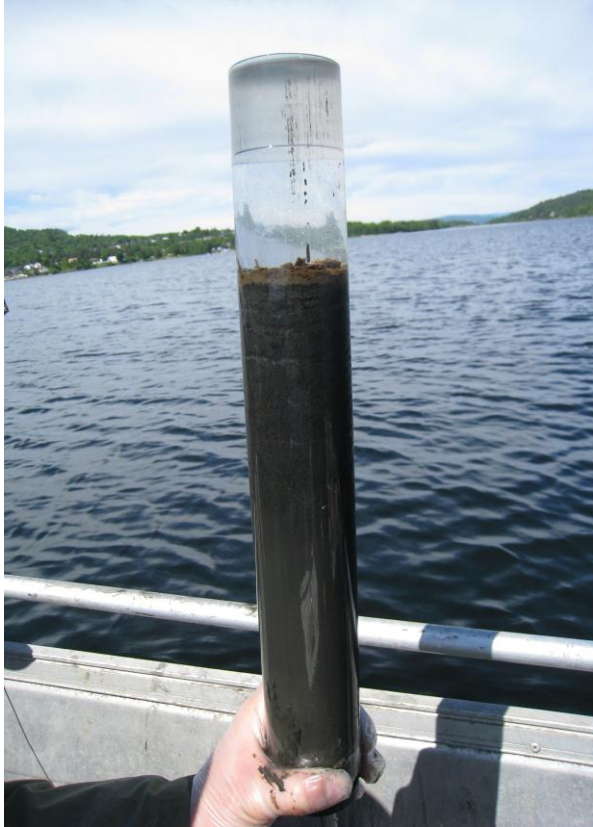
A



B



Bilde A og B. Bilder av sediment tatt på stasjon G40. Foto: Merete Schøyen og Sigurd Øxnevad, NIVA.

C**D****E****F**

Bilde C, D, E, og F. Bilder av sedimentkjerner tatt ved stasjon S46 (C), S5(D), S47 (E), S44 (F). Foto: Merete Schøyen, NIVA.

2.3.3. VANNMASSER

Måling med passive prøvetakere (SPMD og DGT) viste at vannmassene i Horten Indre Havn er forurenset av TBT, PAH og metaller. Stasjonene utenfor Horten Industripark hadde de klart høyeste konsentrasjonene av TBT og PAH i vannet. SPMDene viste lave, eller ikke detekterbare konsentrasjoner av PCB.

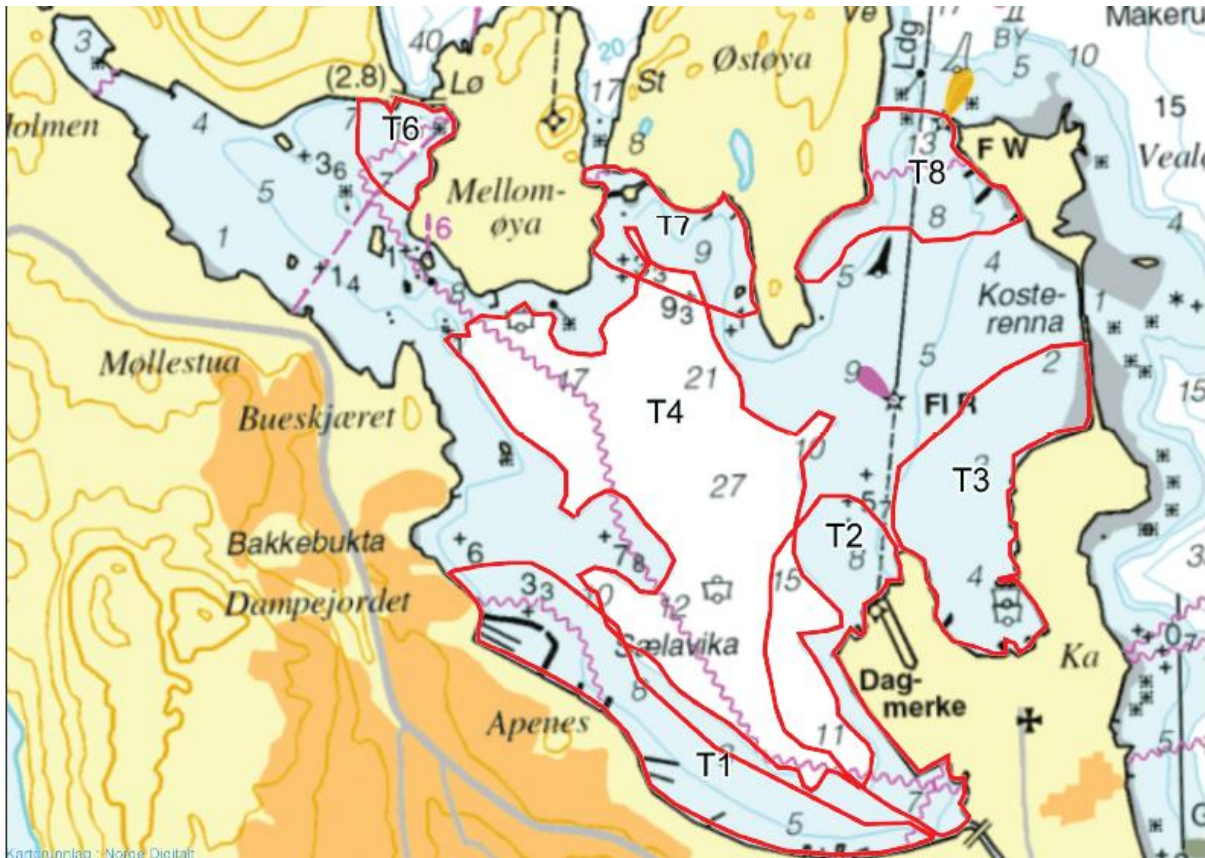
2.3.4. SJØMAT, KOSTHOLDSRÅD

Mattilsynet fraråder å spise lever av fisk fanget nord for strekningen Horten – Jeløya (Økland 2005). En undersøkelse av miljøgifter i sjømat fra Ytre Oslofjord viste at innholdet av PCB i torskelever fra Horten og Holmestrand var så høyt at konsum ble frarådet. Leveren av torsk fanget i Horten Indre Havn i 2001/2002 var sterkt forurenset av PCB-7 (Næs m.fl. 2002).

3. RISIKOVURDERING AV BUNNSEDIMENTENE

3.1. DELOMRÅDER FOR RISIKOVURDERING

Det er ønske fra Forsvarsbygg at risikovurderingen av sedimentene gjennomføres separat for 8 delområder av havna (Figur 8). Disse er kort beskrevet nedenfor.



Figur 8. Angivelse av delområder for risikovurdering. Områdene T1, T2, T3, T4, T6, T7 og T8 er avgrenset med røde streker.

Delområde T1 (utenfor Bromsjordet)

T1 strekker seg fra øst for Bakkebukta, og vest langs Bromsjordet mot Hortenskanalen. Her ligger det en stor småbåthavn, og det er stor ferdsel med småbåter i dette området. Arealet er målt opp til å være 300 750 m². Dybden er i gjennomsnitt ca 5 meter. Sedimentet i dette området består av brunt og grått mykt siltig sediment ned til ca 10 cm, med leire dypere enn 10 cm.

Området er forurenset av tungmetaller og organiske miljøgifter, se detaljer i Figur 2 til 7.

Delområde T2 (utenfor Horten Industripark)

T2 ligger langs Horten Industripark, hvor det ligger flere industribedrifter. Arealet er på 332 300 m². Dybden er i gjennomsnitt ca 10 meter. Langs kaiområdet hvor det er trafikk med store båter er sediment hardere enn i resten av området. Sedimentene er forurenset av TBT, tungmetaller, PCB og PAH (se detaljer i Figur 2 til 7).

Det er trafikk av store og små båter innenfor dette området, og det anslås at de er 35 skipsanløp i året med store skip, ca 30 anløp med skip med lengde 50-100 meter og ca 5 anløp av skip med lengder over 100 meter.

Delområde T3 (utenfor Karljohansvern)

T3 strekker seg fra ytterst ved Horten Industripark og vestover mot Kosterenna (se Figur 8). Arealet er 285 970 m², og har et gjennomsnittsdyp på ca 3 meter. Bunnsedimentet er grått og siltig i overflaten, og går over i leire fra 5-10 cm dyp. Store deler av bunnarealet er dekket av ålegress. Sedimentet er forurenset av TBT, tungmetaller, PCB og PAH (se detaljer i Figur 2 til 7). Karljohansvern ligger innenfor dette området, og det er en småbåthavn med båtslipp innerst i vika. Det er stor aktivitet med småbåter i dette området, og området er mye brukt til rekreasjon.

Delområde T4 (midtområdet)

T4 dekker det midtre området i Horten Indre Havn som er dypere enn 10 meter. Arealet som er brukt i risikovurderingen er målt til å være 919 650 m², og har et gjennomsnittsdyp på ca 15 meter. Bunnsedimentet her er meget mykt, mørke grått til svart i farge, og hadde på mange stasjoner en tydelig H₂S-lukt. Sedimentet er forurenset av tungmetaller, TBT, PAH og PCB (se detaljer i Figur 2 til 7).

Delområde T6 (vika mellom Løvøya og Mellomøya)

T6 er 68 350 m² stort, og ligger i vika mellom Løvøya og Mellomøya. Gjennomsnittdybden er ca 10 meter. Bunnsedimentet består av siltig sand og grus i overflaten og leire under ca 10-15 cm. To stasjoner i dette området var meget sterkt forurenset av kvikksølv, kobber og bly. Under 10 cm var sedimentet ikke forurenset. Området blir trafikkert med småbåter, og det er en også en badeplass der.

Delområde T7 (området mellom Østøya og Mellomøya)

T7 er 154 290 m² stort, og ligger i vika mellom Østøya og Mellomøya. Gjennomsnittlig dybde er ca 7 meter. Området har en stasjon med sedimenter som er sterkt forurenset av tungmetaller og PCB. De andre stasjonene der er mindre forurenset av disse stoffene. Sedimentene i området er i tilstandsklasse dårlig for TBT. Også dette området blir trafikkert av småbåter, men det er ikke lov å gå i land på Mellomøya og Østøya.

Delområde T8 (området mellom Vealøs og Østøya)

Området T8 dekker et areal på 171 410 m² mellom Vealøs og Østøya. Området blir trafikkert av små og store båter som skal inn og ut av Horten Indre Havn. På den dype delen av området består bunnen av områder med stor stein og tang. Ved Vealøs består bunnsedimentet av grå siltig leire, og der er det også mye ålegress på bunnen.

3.2. METODIKK

Vurderingen er gjennomført separat for hvert av delområdene på basis av analyseresultatene for vann, sedimenter og toksisitet gitt i datarapporten (FBSE-2011/20), skipstrafikkmonster (hyppighet, båttyper, traséer), beregnede arealer påvirket av skipstrafikk.

Klifs veileder for risikovurdering legger opp til en vurdering i tre trinn med økende kompleksitet og tilknytning til lokale forhold.

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. Grenseverdier er utarbeidet for 45 enkeltstoffer og stoffgrupper. Verdiene samsvarer med grense mellom Klasse II og III i Klifs reviderte system for miljøkvalitetsklassifisering av marine sedimenter (TA 2229/2007). Dersom grenseverdiene overskrides gjennomføres Trinn 2.

Trinn 2 er mer omfattende 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. Trinn 2 omfatter tre sider av risikobildet:

- **Risiko for spredning** vurderes ut fra beregnet miljøgifttransport fra sediment til vannmassene via biodiffusjon¹, oppvirling som følge av skipstrafikk og opptak i organismer og spredning gjennom næringskjeden.
- **Risiko for human helse** vurderes ut fra aktuelle transportveier til mennesker etter hvordan et sedimentområde brukes: havnevirksomhet, rekreasjon, fangst av sjømat, osv. Den viktigste eksponeringsveien er via konsum av fisk og skalldyr, men inntak av og kontakt med sediment og vann er også tatt med.
- **Risiko for effekter på økosystemet** vurderes ut fra beregnede konsentrasjoner av miljøgifter som organismer i vann og sediment eksponeres for sammenliknet med relevante grenseverdier for effekter. Resultatene av toksisitetstestene fra Trinn 1 og helsedimenttesten i Trinn 2 legges også til grunn.

I vurderingen av samlet risiko i Trinn 2 er det rom for å prioritere mellom disse tre sidene av risikobildet på basis av hvilke typer arealbruk som er aktuelle. For Horten havn er de tre betraktningene ansett som likeverdige.

Det er utarbeidet et EXCEL regneark for beregningene som kreves i Trinn 2, og som også gjør sammenlikningene med de fastsatte grenseverdier for akseptabel risiko. Dette er anvendt på hvert av delområdene.

Trinn 3. Hvis Trinn 2 viser at risikoen fra sedimentene er uakseptabel kan man velge å gjøre en tiltaksvurdering direkte, eller å øke sikkerheten av resultatene i Trinn 2 ved å gjennomføre et Trinn 3 som i stor grad går ut på å kontrollere/erstatte de foreslåtte sjablongverdiene i Trinn 2 med stedsspesifikke verdier. Deretter gjentas beregningene i Trinn 2. Friheten til skreddersøm av Trinn 3 er stor.

Risikovurderingen for Horten Indre Havn er begrenset til Trinn 1 og 2, men har også anvendt data for miljøgifter i vannmassene i havna beregnet fra målingene med passive prøvetakere. Dette er en typisk Trinn 3 aktivitet.

¹ Fysisk diffusjon stimulert av bunnfauna-aktivitet (bioturbasjon)

3.3. RISIKOVURDERING FOR DELOMRÅDE T1 – UTENFOR BROMSJORDET

3.3.1. DELOMRÅDEBESKRIVELSE

T1 strekker seg fra øst for Bakkebukta vestover langs Bromsjordet mot Hortenskanalen. Sedimentet består av brunt og grått mykt siltig materiale ned til ca 10 cm, med leire dypere enn 10 cm. Området er forurenset av tungmetaller og organiske miljøgifter, se detaljer i Figur 2 til 7.

3.3.2. TRINN 1

Resultatene fra kjemisk karakterisering og toksisitet viser at gjennomsnittskonsentrasjonen både av metaller (bly, kadmium, kobber og kvikksølv), flere av PAH-forbindelsene, PCB og TBT overskrider grenseverdiene for økologiske effekter på organismer i sedimentet (Tabell 1). Overskridelsen er klart størst for en av PAH-forbindelsene og TBT (faktor over 10), men også høy for PCB (faktor ca 5). Av de tre påkrevde toksisitetstestene var det kun toksisiteten av organisk ekstrakt av sedimentet overfor mikroalgen *Skeletonema costatum* som overskred grenseverdien i Trinn 1 (Tabell 2). For flere av miljøgiftene (kadmium, naftalen, PCB-kongenerene, TBT) var det stor forskjell i konsentrasjon mellom stasjonene i delområdet, men det var intet i mønsteret som tydet på at noen av stasjonene pekte seg ut som spesielt forurenset av alle disse stoffene (ingen klar ”hotspot”).

Overskridelsen medførte at risikovurderingen Trinn 2 ble gjennomført for delområde T1.

Tabell 1. Målte sedimentkonsentrasjoner i delområde T1 (maksimums- og gjennomsnittskonsentrasjon, og overskridelse i forhold til grenseverdiene i Trinn 1).

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon overskrider Trinn 1 grenseverdi med faktor:	
	Antall prøver	C _{sed, max} (mg/kg)	C _{sed, middel} (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	23	24	11	52		
Bly	23	393	125	83	4.73	1.50
Kadmium	23	38.4	3.400	2.6	14.77	1.31
Kobber	23	198	78	51	3.88	1.54
Krom totalt (III + VI)	23	71	32	560		
Kvikksølv	23	4.3	0.821	0.63	6.83	1.30
Nikkel	23	37	24	46		
Sink	23	755	209	360	2.10	
Naftalen	23	0.19	0.028	0.29		
Acenaftylene	23	0.011	0.006	0.033		
Acenaften	23	0.092	0.026	0.16		
Fluoren	23	0.071	0.025	0.26		
Fenantren	23	0.423	0.160	0.50		
Antracene	23	0.13	0.045	0.031	4.19	1.45
Fluoranten	23	0.76	0.296	0.17	4.47	1.74
Pyren	23	1.47	0.370	0.28	5.25	1.32
Benzo(a)antracene	23	0.46	0.153	0.06	7.67	2.54
Krysen	23	0.621	0.206	0.28	2.22	
Benzo(b)fluoranten	23	0.781	0.240	0.24	3.25	1.00
Benzo(k)fluoranten	23	0.579	0.165	0.21	2.76	
Benzo(a)pyren	23	0.573	0.197	0.42	1.36	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	23	0.62	0.173	0.047	13.19	3.67
Dibenzo(a,h)antracene	23	0.15	0.047	0.59		
Benzo(ghi)perylene	23	0.707	0.230	0.021	33.67	10.94
PCB 28	23	0.0309	0.003			
PCB 52	23	0.109	0.009			
PCB 101	23	0.158	0.014			
PCB 118	23	0.108	0.010			
PCB 138	23	0.243	0.021			
PCB 153	23	0.208	0.018			
PCB 180	23	0.117	0.010			
Sum PCB7	23	0.97	0.084	0.017	57.29	4.91
Tributyltinn (TBT-ion)	23	2.73	0.370	0.035	78.00	10.58

Tabell 2. Målt sedimenttoksisitet i delområde T1 og overskridelse av grenseverdier i Trinn 1.

Parameter	Målt økotoks		Grenseverdi for økotoksisitet	Målt økotoksisitet overskrider grenseverdi med:	
	Maks	Middel		Maks	Middel
Porevann, Skeletonema (TU)	0.99	0.99	1.0		
Organisk ekstrakt, Skeletonema (TU som l/g)	4.54	4.54	0.5	9.08	9.08
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	26	26	TEQ < 50 ng/kg		

3.3.3. TRINN 2

Anvendte lokale parameterverdier

For flere av parameterverdiene som inngår i beregningene i Trinn 2 ble sjablongverdiene i veilederen erstattet av stedsspesifikke verdier for delområde T1 (Tabell 3).

Tabell 3. Stedsspesifikke parameterverdier brukt i risikoberegningene under Trinn 2 for delområde T1.

Parameter	Sjablongverdi	Anvendt verdi
Totalt organisk karbon (TOC) %	1	2
Totalt sedimentareal m ²	ingen standard	300750
Vannvolum m ³	ingen standard	1503750
Oppholdstid av vannet år	ingen standard	0.02
Antall skipsanløp per år	ingen standard	7300
Trasélengde for skipsanløp m	120	270
Oppvirvlet sediment per anløp kg	ingen standard	338
Bunnareal påvirket av oppvirvling m ²	ingen standard	300750
Fraksjon leire i sedimentet	ingen standard	0.05

Risiko for spredning av miljøgifter

Estimert miljøgiftspredning totalt og via de tre transportveiene (biodiffusjon, resuspensjon fra propeller og transport i næringskjeden) er gitt i Tabell 4 og Tabell 6. Tabellene viser både miljøgiftflukser (mg/m² og år) og årlig transport (mg/år) for hvert stoff. Spredningen skal i følge veilederen beregnes separat for det totale delområdet, og områdene som påvirkes/ikke påvirkes av skipstrafikken. I dette tilfellet påvirkes hele delområdet slik at spredningen bare er vist for dette.

Det finnes ikke omforente akseptkriterier for spredning av miljøgifter, bare for konsekvenser av spredningen i form av risiko for human helse og økosystemet. I risikoveilederen sammenliknes spredningen med tilsvarende spredning fra et sediment som akkurat tilfredsstillende Trinn 1. Resultatene (Tabell 4) viser at de samme stoffene som overskrider grenseverdiene i Trinn 1 også overskrider spredningen fra et slikt sediment.

Tabell 4. Delområde T1. Beregnet miljøgiftspredning (mg/m² og år) fra sedimentene samlet via biodiffusjon (F_{diff}), propeloppvirvling (F_{skip}) og gjennom næringskjeden (F_{org}), spredning utenom propeloppvirvling, og faktor for overskridelse av total spredning i forhold til et sediment som tilfredsstillende Trinn 1.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling (F _{diff} + F _{org})		Beregnet total spredning (F _{diff} + F _{org} + F _{skip})		Spredning (F _{tot}) dersom C _{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 (mg/m ² /år)	F _{tot} overskrider tillatt spredning med:	
	Maks (mg/m ² /år)	Middel (mg/m ² /år)	F _{tot, maks} (mg/m ² /år)	F _{tot, middel} (mg/m ² /år)		Maks	Middel
Arsen	24.23	11.29	44.49	20.73	96.35		
Bly	19.56	6.20	341.92	108.34	71.89	4.76	1.51
Kadmium	1.57	0.14	33.07	2.93	2.24	14.77	1.31
Kobber	43.86	17.37	207.40	82.14	53.17	3.90	1.54
Krom totalt (III + VI)	2.61	1.16	60.87	27.02	479.99		
Kvikksølv	0.29	0.05	3.81	0.73	0.56	6.83	1.31
Nikkel	25.60	16.44	56.76	36.45	70.41		
Sink	69.05	19.14	689.24	191.02	322.73	2.14	
Naftalen	47.42	6.96	48.78	7.15	145.99		
Acenaftylen	1.36	0.76	1.40	0.79	7.61		
Acenaften	4.95	1.41	5.15	1.46	15.47		
Fluoren	2.32	0.83	2.44	0.87	14.79		
Fenantren	6.68	2.52	7.17	2.71	12.68		
Antracen	1.64	0.57	1.79	0.62	0.64	2.79	
Fluoranten	4.06	1.58	4.72	1.84	0.95	4.96	1.93
Pyren	14.28	3.60	15.69	3.95	3.14	5.00	1.26
Benzo(a)antracen	1.39	0.46	1.77	0.59	0.16	10.82	3.59
Krysen	4.10	1.36	4.63	1.53	1.22	3.80	1.26
Benzo(b)fluoranten	3.79	1.17	4.44	1.37	0.76	5.84	1.80
Benzo(k)fluoranten	2.88	0.82	3.36	0.96	0.68	4.96	1.42
Benzo(a)pyren	2.72	0.94	3.19	1.10	1.31	2.44	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1.04	0.29	1.55	0.43	0.08	20.33	5.66
Dibenzo(a,h)antracen	0.30	0.09	0.43	0.13	1.05		
Benzo(ghi)perylene	2.72	0.88	3.30	1.07	0.06	59.12	19.21
PCB 28	1.33	0.11	1.36	0.11			
PCB 52	8.54	0.70	8.65	0.71			
PCB 101	1.82	0.16	1.96	0.17			
PCB 118	0.12	0.01	0.21	0.02			
PCB 138	1.85	0.16	2.05	0.17			
PCB 153	0.16	0.01	0.33	0.03			
PCB 180	0.47	0.04	0.56	0.05			
Sum PCB7	14.30	1.19	15.13	1.26			
Tributyltinn (TBT-ion)	481.00	65.22	503.57	68.28	12.05	41.79	5.67

Som kontroll på om beregnet spredning er sannsynlig har vi regnet ut den tiden det vil ta å tømme lageret av miljøgifter i de øvre 10 cm av sedimentet med denne spredningen (Tabell 5). Lave tømmetider tilsier at Trinn 2 overestimerer spredningen for en rekke av miljøgiftene. Dette synes å være tilfelle for de fleste lette PAH- og PCB-forbindelsene og TBT som alle har en tømmetid på under 5 år.

Det er også gjort beregning av samlet årlig transport av hvert av stoffene fra område T1 (Tabell 6). Høyeste transporten er for tungmetallene, spesielt sink (57 kg/år), bly (33 kg/år) og kobber (25 kg/år); lavest for PAH- og PCB-forbindelsene (under 1 kg/år med unntak av naftalen og pyren). Spredningen av TBT fra sedimentet er også høy: 20 kg/år.

I Figur 9 er relativ betydning av de tre spredningsveiene vist. For metallene skyldes 45 - 95 % av spredningen oppvirvling fra skipspropeller. Spredningen av de lettere PAH-forbindelsene skyldes primært biodiffusjon. Med økende molekylstørrelse betyr transport gjennom næringskjeden og til dels oppvirvling mer. Spredningen av PCB skjer primært via næringskjeden, men for noen kongenerer like mye gjennom oppvirvling. Spredningen av TBT skjer i hovedsak gjennom biodiffusjon.

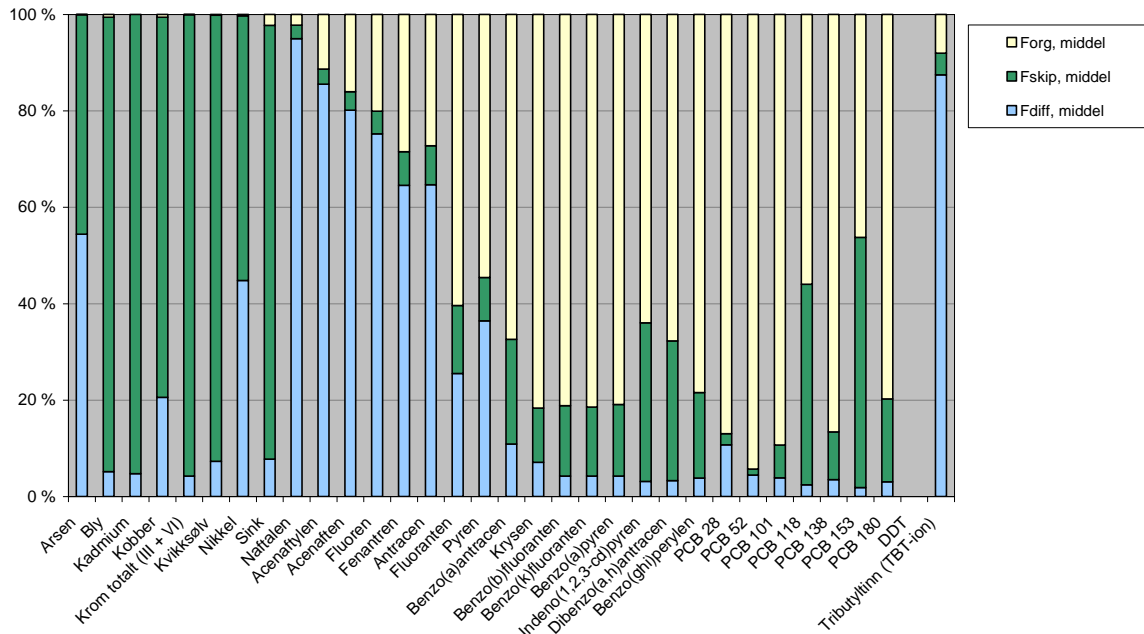
Tabell 5. Delområde T1. Anslått tid for å tømme de øvre 10 cm av sedimentet for et stoff med de beregnede spredningshastighetene gitt i Tabell 4. Tømmetider på <5 år er merket rødt.

Stoff	Tid (år) for å tømme lageret i øvre 10 cm av sedimentet	Stoff	Tid (år) for å tømme lageret i øvre 10 cm av sedimentet
Arsen	24,5	Benzo(a)antracen	11,8
Bly	52,3	Krysen	6,1
Kadmium	52,8	Benzo(b)fluoranten	8,0
Kobber	43,4	Benzo(k)fluoranten	7,8
Krom totalt (III + VI)	53,1	Benzo(a)pyren	8,2
Kvikksølv	51,3	Indeno(1,2,3-	18,2
Nikkel	29,7	Dibenzo(a,h)antracen	16,0
Sink	49,8	Benzo(ghi)perylene	9,7
Naftalen	0,2	PCB 28	1,0
Acenaftylen	0,4	PCB 52	0,6
Acenaften	0,8	PCB 101	3,7
Fluoren	1,3	PCB 118	23,0
Fenantren	2,7	PCB 138	5,4
Antracen	3,3	PCB 153	28,8
Fluoranten	7,3	PCB 180	9,5
Pyren	4,3	Tributyltinn (TBT-	0,2

Tabell 6. Total årlig transport (kg/år) av miljøgifter fra sedimentene i delområde T1 ut fra midlere sedimentkonsentrasjoner.

Stoff	Utot, [kg/år]	Stoff	Utot, [kg/år]
Arsen	6,23	Krysen	0,46
Bly	32,58	Benzo(b)fluoranten	0,41
Kadmium	0,88	Benzo(k)fluoranten	0,29
Kobber	24,70	Benzo(a)pyren	0,33
Krom totalt (III + VI)	8,13	Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,13
Kvikksølv	0,22	Dibenzo(a,h)antracen	0,04
Nikkel	10,96	Benzo(ghi)perylene	0,32
Sink	57,45	PCB 28	0,03
Naftalen	2,15	PCB 52	0,21
Acenaftylen	0,24	PCB 101	0,05
Acenaften	0,44	PCB 118	0,01
Fluoren	0,26	PCB 138	0,05
Fenantren	0,82	PCB 153	0,01
Antracen	0,19	PCB 180	0,01
Fluoranten	0,55	Sum PCB-7	0,38
Pyren	1,19	Tributyltinn (TBT-ion)	20,54
Benzo(a)antracen	0,18		

Fordeling av spredningsmekanismer delområde T1



Figur 9. Prosentvis fordeling av miljøgiftspredning på de tre spredningsveiene diffusjon (F_{diff} - blå), propelloppvirvling (F_{skip} - grønn) og gjennom næringskjeden (F_{org} - gul) i delområde T1.

Risiko for effekter på human helse

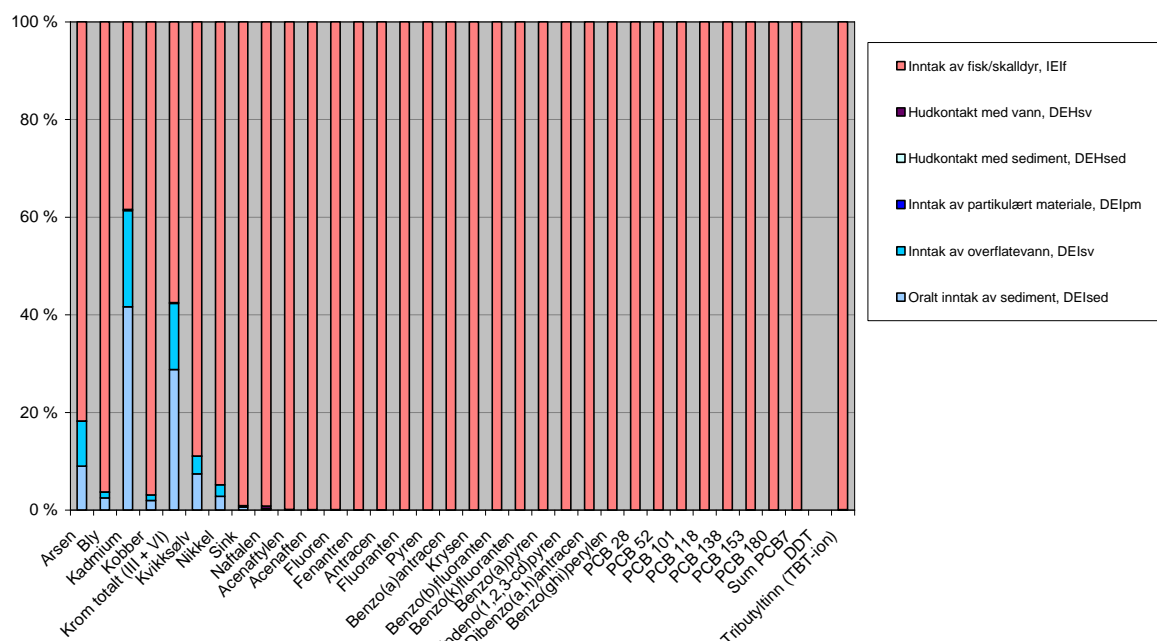
Ut fra anbefalte miljømål er det aktuelt å bedømme risikoen for skade på human helse både gjennom konsum av sjømat (fritidsfiske) som kan ha mottatt miljøgifter fra sedimentene og gjennom kontakt med miljøgifter i vann og suspendert sediment (bading). Tabell 7 viser beregnet samlet livstidseksponering til miljøgifter fra sedimentene, og hvorvidt denne overskrider vedtatte/anbefalte grenseverdier for slik eksponering. Det legges vekt på hvorvidt gjennomsnittsnivåene i sedimentet gir overskridelse. Overskridelsen er høyest for sum PCB-7 og for PAH-forbindelsen benzo(a)pyren (kreftfremkallende), men er også relativt stor for TBT. Av metallene viser bare bly overskridelse. Sedimentene i delområde T1 utgjør derfor en risiko for skade på human helse.

Fordelingen mellom de ulike eksponeringsveiene (Figur 10) viser at den viktigste eksponeringen til organiske miljøgifter og TBT skjer gjennom konsum av lokal sjømat. Eksponeringen til bly, eneste metall som overskrider akseptabel livstidsdose skjer også gjennom konsum av sjømat. Så totalt sett er risikoen bare knyttet til spising av lokal sjømat.

Tabell 7. Delområde T1. Beregnet total livstidseksposering (mg/kg kroppsvekt og dag) for de ulike miljøgiftene og faktor for overskridelse i forhold til grenseverdier for human risiko.

Stoff	Beregnet total livstidsdose		Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose overskrider MTR 10 % med:	
	DOSE _{maks} (mg/kg/d)	DOSE _{middel} (mg/kg/d)		Maks	Middel
Arsen	0.00012	0.00006	0.00010	1.23	
Bly	0.00666	0.00211	0.00036	18.50	5.86
Kadmium	0.00006	0.00001	0.00005	1.14	
Kobber	0.00421	0.00167	0.00500		
Krom totalt (III + VI)	0.00014	0.00006	0.00050		
Kvikksølv	0.00003	0.00000	0.00001	2.59	
Nikkel	0.00056	0.00036	0.00500		
Sink	0.05158	0.01430	0.03000	1.72	
Naftalen	0.00362	0.00053	0.00400		
Acenaftylene	0.00052	0.00029			
Acenaften	0.00270	0.00077			
Fluoren	0.00160	0.00057			
Fenantren	0.00669	0.00253	0.00400	1.67	
Antracen	0.00159	0.00055	0.00400		
Fluoranten	0.00933	0.00363	0.00500	1.87	
Pyren	0.02802	0.00706			
Benzo(a)antracen	0.00390	0.00130	0.00050	7.81	2.59
Krysen	0.01235	0.00409	0.00500	2.47	
Benzo(b)fluoranten	0.01179	0.00363			
Benzo(k)fluoranten	0.00894	0.00255	0.00050	17.88	5.11
Benzo(a)pyren	0.00845	0.00291	0.00000	3674.34	1266
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0.00324	0.00090	0.00050	6.49	1.81
Dibenzo(a,h)antracen	0.00094	0.00030			
Benzo(ghi)perylene	0.00848	0.00275	0.00300	2.83	
PCB 28	0.00388	0.00032			
PCB 52	0.02669	0.00220			
PCB 101	0.00572	0.00049			
PCB 118	0.00039	0.00004			
PCB 138	0.0058	0.0005			
PCB 153	0.0005	0.0000			
PCB 180	0.0015	0.0001			
Sum PCB7	0.0445	0.0037	0.0000	22228.05	1855
Tributyltinn (TBT-ion)	0.1329	0.0180	0.0003	531.51	72.07

Fordeling av eksponeringsmekanismer for mennesker



Figur 10. Prosentvis fordeling av miljøgiftspredning på ulike spredningsveier fra sediment et i delområde T1 til mennesker.

Risiko for økologiske effekter

Resultatene fra Trinn 1, både miljøgiftkonsentrasjoner og samlet toksisitet, viser at sedimentene i delområde T1 utgjør en uakseptabel risiko for effekter på sedimentlevende organismer. Dette støttes av de beregnede porevannskonsentrasjonene som viser stor overskridelse av omforente grenseverdier (PNEC – predicted no effect concentrations) for toksisitet i vann (Tabell 8) for TBT (faktor 80 000). Også kobber og to av PAH-forbindelsene har klar overskridelse av respektive PNEC-verdier. Øvrige overskridelser er små.

Konsentrasjon av miljøgifter i vannmassene i delområde T1 som følge av den beregnede spredningen fra sedimentene er vist i Tabell 9. Beregnet TBT-konsentrasjon på basis av gjennomsnittskonsentrasjonene i sedimentene overskrider grenseverdiene for toksisitet i vann (PNEC) med en faktor 1150. Ut fra dette utgjør sedimentenes TBT-innhold en risiko for toksiske effekter på organismer også i vannsøylen.

Resultatene fra de passive prøvetakerne i delområde T1 er brukt til å beregne de reelle konsentrasjonene av miljøgifter i vannmassene. Disse beregningene kan betraktes som betydelig mer pålitelige enn de som gjøres ut fra beregnet spredning fra sedimentet i Trinn 2, og dekker de fleste av stoffene. Tabell 9 viser at når de målte vannkonsentrasjonene legges til grunn er det fortsatt bare TBT som overskrider PNEC, men nå med en faktor på 79. Siden man ikke med sikkerhet kan si at den TBT som fanges opp i de passive prøvetakerne kommer fra sedimentene (det kan være andre kilder), er det usikkert om utlekkingen fra sedimentene utgjør en risiko for toksiske effekter i vannmassene.

Tabell 8. Delområde T1. Beregnede porevannskonsentrasjoner av miljøgifter (mg/l), samt faktor for overskridelse av grenseverdier (PNEC µg/l) for toksiske effekter i sjøvann.

Stoff	Beregnet porevannskonsentrasjon		Målt porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (µg/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:	
	C _{pv, maks} (mg/l)	C _{pv, middel} (mg/l)	C _{pv, maks} (mg/l)	C _{pv, middel} (mg/l)		Maks	Middel
Arsen	3.63E-03	1.69E-03	ikke målt	ikke målt	4.8		
Bly	2.54E-03	8.04E-04	ikke målt	ikke målt	2.2	1.2	
Kadmium	2.95E-04	2.62E-05	ikke målt	ikke målt	0.24	1.2	
Kobber	8.11E-03	3.21E-03	ikke målt	ikke målt	0.64	13	5
Krom totalt (III + VI)	5.92E-04	2.63E-04	ikke målt	ikke målt	3.4		
Kvikksølv	4.30E-05	8.21E-06	ikke målt	ikke målt	0.048		
Nikkel	5.23E-03	3.36E-03	ikke målt	ikke målt	2.2	2.4	1.5
Sink	1.03E-02	2.87E-03	ikke målt	ikke målt	2.9	3.6	
Naftalen	7.31E-03	1.07E-03	ikke målt	ikke målt	2.4	3.0	
Acenaftylen	2.12E-04	1.19E-04	ikke målt	ikke målt	1.3		
Acenaften	7.42E-04	2.11E-04	ikke målt	ikke målt	3.8		
Fluoren	3.48E-04	1.24E-04	ikke målt	ikke målt	2.5		
Fenantren	9.24E-04	3.49E-04	ikke målt	ikke målt	1.3		
Antracen	2.30E-04	7.99E-05	ikke målt	ikke målt	0.11	2.1	
Fluoranten	2.63E-04	1.02E-04	ikke målt	ikke målt	0.12	2.2	
Pyren	1.25E-03	3.14E-04	ikke målt	ikke målt	0.023	54	14
Benzo(a)antracen	4.59E-05	1.52E-05	ikke målt	ikke målt	0.012	3.8	1.3
Krysen	7.80E-05	2.58E-05	ikke målt	ikke målt	0.07	1.1	
Benzo(b)fluoranten	4.80E-05	1.48E-05	ikke målt	ikke målt	0.03	1.6	
Benzo(k)fluoranten	3.64E-05	1.04E-05	ikke målt	ikke målt	0.027	1.3	
Benzo(a)pyren	3.44E-05	1.19E-05	ikke målt	ikke målt	0.05		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1.32E-05	3.68E-06	ikke målt	ikke målt	0.002	6.6	1.8
Dibenzo(a,h)antracen	3.85E-06	1.20E-06	ikke målt	ikke målt	0.03		
Benzo(ghi)perylene	3.45E-05	1.12E-05	ikke målt	ikke målt	0.002	17	6
PCB 28	3.80E-05	3.16E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 52	1.09E-04	8.97E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 101	2.33E-05	2.01E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 118	1.59E-06	1.46E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 138	2.37E-05	2.00E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 153	2.03E-06	1.76E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 180	5.99E-06	5.02E-07	ikke målt	ikke målt			
Sum PCB7	2.03E-04	1.70E-05	ikke målt	ikke målt			
Tributyltinn (TBT-ion)	1.24E-01	1.68E-02	ikke målt	ikke målt	0.0002	590909	80126

Tabell 9. Beregnede (fra spredningsestimaterne – µg/l) og målte (passive prøvetakere – mg/l) konsentrasjoner av miljøgifter i vannmassene i delområde T1, samt faktor for overskridelse av grenseverdier (PNEC µg/l) for toksiske effekter i sjøvann.

Stoff	Beregnet sjøvannskonsentrasjon		Målt sjøvannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (µg/l)	Beregnet sjøvannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:		Målt sjøvannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:	
	C _{sv, maks} (µg/l)	C _{sv, middel} (µg/l)	C _{sv, maks} (mg/l)	C _{sv, middel} (mg/l)		Maks	Middel	Maks	Middel
Arsen	1.71E-01	7.97E-02	ikke målt	ikke målt	4.8				
Bly	1.31E+00	4.14E-01	1.66E-05	1.06E-05	2.2				
Kadmium	1.27E-01	1.13E-02	1.19E-05	1.11E-05	0.24				
Kobber	7.93E-01	3.14E-01	2.03E-04	1.70E-04	0.64	1.239			
Krom totalt (III + VI)	2.34E-01	1.04E-01	2.58E-04	1.97E-04	3.4				
Kvikksølv	1.46E-02	2.80E-03	ikke målt	ikke målt	0.048				
Nikkel	2.18E-01	1.40E-01	3.20E-04	2.80E-04	2.2				
Sink	2.59E+00	7.18E-01	1.24E-03	1.06E-03	2.9				
Naftalen	1.83E-01	2.69E-02	2.00E-05	1.36E-05	2.4				
Acenaftalen	4.77E-03	2.68E-03	2.70E-07	2.70E-07	1.3				
Acenaften	1.66E-02	4.72E-03	4.30E-07	4.25E-07	3.8				
Fluoren	7.50E-03	2.67E-03	3.90E-07	3.85E-07	2.5				
Fenantren	1.97E-02	7.45E-03	1.00E-06	9.05E-07	1.3				
Antracen	5.00E-03	1.73E-03	1.20E-07	1.15E-07	0.11				
Fluoranten	7.19E-03	2.80E-03	2.80E-07	2.75E-07	0.12				
Pyren	2.74E-02	6.90E-03	2.10E-07	1.95E-07	0.023	1.191			
Benzo(a)antracen	2.22E-03	7.37E-04	1.40E-08	1.35E-08	0.012				
Krysen	3.27E-03	1.08E-03	3.70E-08	3.50E-08	0.07				
Benzo(b)fluoranten	3.21E-03	9.90E-04	2.10E-08	1.90E-08	0.03				
Benzo(k)fluoranten	2.40E-03	6.84E-04	1.80E-08	1.32E-08	0.027				
Benzo(a)pyren	2.35E-03	8.08E-04	1.60E-08	1.23E-08	0.05				
Indeno(1,2,3-cd)pyren	2.15E-03	5.98E-04	1.40E-08	1.12E-08	0.002	1.074			
Dibenzo(a,h)antracen	5.29E-04	1.65E-04	8.70E-09	5.35E-09	0.03				
Benzo(ghi)perylene	2.74E-03	8.90E-04	2.10E-08	1.85E-08	0.002	1.369			
PCB 28	6.85E-04	5.70E-05	4.40E-09	4.15E-09					
PCB 52	1.89E-03	1.56E-04	6.10E-09	5.65E-09					
PCB 101	8.05E-04	6.96E-05	5.30E-09	4.55E-09					
PCB 118	3.61E-04	3.31E-05	2.00E-09	2.00E-09					
PCB 138	1.06E-03	8.93E-05	3.00E-09	2.35E-09					
PCB 153	6.80E-04	5.92E-05	3.40E-09	3.00E-09					
PCB 180	4.38E-04	3.68E-05	4.00E-09	2.50E-09					
Sum PCB7	5.92E-03	5.01E-04	2.82E-08	2.42E-08					
Tributyltinn (TBT-ion)	1.78E+00	2.41E-01	2.67E-05	1.66E-05	0.0002	8480	1150	127	79

3.3.4. KONKLUSJON - RISIKOVURDERING DELOMRÅDE T1

Samlet kan det konkluderes at delområde T1 alene utgjør en risiko for økologiske effekter i sedimentet på grunn av nivåene av bly, kadmium, kobber og kvikksølv, flere av PAH-forbindelsene, PCB og TBT. Om sedimentene utgjør en risiko for effekter også i vannmassene er mer usikkert, men dette skyldes i så fall sannsynligvis bare TBT-utlekking. Tungmetallene viser den høyeste årlige transporten ut fra sedimentene og over 65 % av dette skyldes oppvirvling på grunn av propeller. Sedimentenes innhold av enkelte tyngre PAH-forbindelser (spesielt benzo(a)pyren), PCB og TBT utgjør en risiko for skade på human helse, primært ved transport gjennom næringskjeden til lokal sjømat.

3.4. RISIKOVURDERING FOR DELOMRÅDE T2 – UTENFOR HORTEN INDUSTRIPARK

3.4.1. DELOMRÅDEBESKRIVELSE

T2 ligger langs Horten Industripark, hvor det ligger flere industribedrifter. Langs kaiområdet hvor det er trafikk med store båter er sedimentene hardere enn i resten av området. Sedimentene er sterkt forurenset av TBT, tungmetaller, PCB og PAH (se detaljer i Figur 2 til 7). Det er trafikk av store og små båter innenfor dette området, og det anslås at de er 35 skipsanløp i året med store skip, ca 30 anløp med skip med lengde 50-100 meter og ca 5 anløp av skip med lengder over 100 meter.

3.4.2. TRINN 1

Resultatene fra kjemisk karakterisering og toksisitet viser at gjennomsnittskonsentrasjonen både av metaller (bly, kobber og kvikksølv), de fleste PAH-forbindelsene, sum PCB-7 og TBT overskrider grenseverdiene for økologiske effekter på organismer i sedimentet (Tabell 10). Overskridelsen er klart størst for TBT og en av PAH-forbindelsene (faktor hhv 37 og 27), men også høy for flere andre PAH-forbindelser. Av de tre påkrevde toksisitetstestene var toksisiteten av organisk ekstrakt av sedimentet overfor mikroalgen *Skeletonema costatum* og DR CALUX testen på dioksinliknende stoffer over grenseverdien i Trinn 1 (Tabell 11).

For flere av miljøgiftene var det stor forskjell i konsentrasjon mellom stasjonene i delområdet (se Øxnevad m.fl. 2011), men det var intet i mønsteret som tydet på at noen av stasjonene pekte seg ut som spesielt forurenset av alle disse stoffene (ingen klar "hotspot").

Overskridelsen medførte at risikovurderingen Trinn 2 ble gjennomført for delområde T2.

Tabell 10. Målte sedimentkonsentrasjoner i delområde T2 (maksimums- og gjennomsnittskonsentrasjon), og overskridelse i forhold til grenseverdiene i Trinn 1.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon overskrider trinn 1 grenseverdi med:	
	Antall prøver	C _{sed, max} (mg/kg)	C _{sed, middel} (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	24	19.4	12.00	52		
Bly	24	382	196.27	83	4.6	2.4
Kadmium	24	0.94	0.32	2.6		
Kobber	24	320	142.45	51	6.3	2.8
Krom totalt (III + VI)	24	49.4	30.34	560		
Kvikksølv	24	5.71	1.47	0.63	9.1	2.3
Nikkel	24	53.4	29.73	46	1.2	
Sink	24	624	288.23	360	1.7	
Naftalen	24	0.313	0.07	0.29	1.1	
Acenaftylene	24	0.05	0.01	0.033	1.5	
Acenaften	24	0.364	0.10	0.16	2.3	
Fluoren	24	0.421	0.11	0.26	1.6	
Fenantren	24	2.43	0.51	0.50	4.9	1.0
Antracene	24	0.917	0.17	0.031	29.6	5.6
Fluoranten	24	2.99	0.78	0.17	17.6	4.6
Pyren	24	32.9	2.38	0.28	117.5	8.5
Benzo(a)antracene	24	1.94	0.40	0.06	32.3	6.7
Krysen	24	3.28	0.59	0.28	11.7	2.1
Benzo(b)fluoranten	24	4.14	0.68	0.24	17.3	2.8
Benzo(k)fluoranten	24	1.74	0.42	0.21	8.3	2.0
Benzo(a)pyren	24	3.42	0.62	0.42	8.1	1.5
Indeno(1,2,3-cd)pyren	24	2.98	0.45	0.047	63.4	9.6
Dibenzo(a,h)antracene	24	0.499	0.10	0.59		
Benzo(ghi)perylene	24	3.54	0.56	0.021	168.6	26.7
PCB 28	23	0.0301	0.005			
PCB 52	23	0.0756	0.018			
PCB 101	23	0.0422	0.009			
PCB 118	23	0.0423	0.010			
PCB 138	23	0.0543	0.007			
PCB 153	23	0.0434	0.006			
PCB 180	23	0.0227	0.003			
Sum PCB7	23	0.31	0.06	0.017	18.3	3.4
Tributyltinn (TBT-ion)	25	3.8	1.29	0.035	108.6	36.9

Tabell 11. Målt sedimenttoksisitet i delområde T2 og overskridelse av grenseverdier i Trinn 1.

Parameter	Målt økotox		Grenseverdi for økotoksisitet	Målt økotoksitet overskrider grenseverdi med:	
	Maks	Middel		Maks	Middel
Porevann, Skeletonema (TU)	0.99	0.99	1.0		
Organisk ekstrakt, Skeletonema (TU som l/g)	4.54	4.54	0.5	9.1	9.1
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	130	130	TEQ < 50 ng/kg	2.6	2.6
Helsedimenttest, Arenicola marina (% dødelighet)	ikke målt	ikke målt	20 %		

3.4.3. TRINN 2

Anvendte lokale parameterverdier

For flere av parameterverdiene som inngår i beregningene i Trinn 2 ble sjablongverdiene veilederen erstattet av stedsspesifikke verdier for delområde T2 (Tabell 12).

Tabell 12. Stedsspesifikke parameterverdier brukt i risikoberegningene under Trinn 2 for delområde T2.

Parameter	Siablongverdi	Anvendt verdi
Totalt organisk karbon (TOC) %	1	2
Totalt sedimentareal m ²	ingen standard	332300
Vannvolum m ³	ingen standard	3323000
Oppholdstid av vannet år	ingen standard	0,02
Antall skipsanløp per år	ingen standard	35
Trasélengde for skipsanløp m	120	750
Oppvirvlet sediment per anløp kg	ingen standard	6250
Bunnareal påvirket av oppvirvling m ²	ingen standard	332300
Fraksjon leire i sedimentet	ingen standard	0,06

Risiko for spredning av miljøgifter

Estimert miljøgiftspredning totalt og via de tre transportveiene (biodiffusjon, resuspensjon fra propeller og transport i næringskjeden) er gitt i Tabell 13 og Tabell 15. Tabellene viser både miljøgiftflukser (mg/m² og år) og årlig transport (mg/år) for hvert stoff. Spredningen skal i følge veilederen beregnes separat for det totale delområdet, og områdene som påvirkes/ikke påvirkes av skipstrafikken. I dette tilfellet påvirkes hele delområdet slik at spredningen bare er vist for dette.

Det finnes ikke omforente akseptkriterier for spredning av miljøgifter, bare for konsekvenser av spredningen i form av risiko for human helse og økosystemet. I risikoveilederen sammenliknes spredningen med tilsvarende spredning fra et sediment som akkurat tilfredsstiller Trinn 1. Resultatene viser at de samme stoffene som overskrider grenseverdiene i Trinn 1 også overskrider spredningen fra et slikt sediment (Tabell 13).

Tabell 13. Delområde T2. Beregnet miljøgiftspredning (mg/m² og år) fra sedimentene samlet via biodiffusjon (F_{diff}), propelloppvirvling (F_{skip}) og gjennom næringskjeden (F_{org}), spredning utenom propelloppvirvling, og faktor for overskridelse av total spredning i forhold til et sediment som tilfredsstiller Trinn 1.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling (F _{diff} + F _{org})		Beregnet total spredning (F _{diff} + F _{org} + F _{skip})		Spredning (F _{tot}) dersom C _{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 (mg/m ² /år)	F _{tot} overskrider tillatt spredning med:	
	Maks (mg/m ² /år)	Middel (mg/m ² /år)	F _{tot, maks} (mg/m ² /år)	F _{tot, middel} (mg/m ² /år)		Maks	Middel
Arsen	19.59	12.12	21.16	13.09	56.67		
Bly	19.01	9.77	49.22	25.29	10.37	4.7	2.4
Kadmium	0.04	0.01	0.11	0.04	0.31		
Kobber	70.89	31.56	96.34	42.89	15.10	6.4	2.8
Krom totalt (III + VI)	1.82	1.12	5.72	3.52	64.77		
Kvikksølv	0.38	0.10	0.83	0.21	0.09	9.1	2.3
Nikkel	36.94	20.57	41.26	22.97	35.39	1.2	
Sink	57.07	26.36	106.48	49.18	55.51	1.9	
Naftalen	78.13	17.62	78.31	17.66	142.41		
Acenaftalen	6.17	1.83	6.18	1.84	7.40		
Acenaften	19.58	5.50	19.65	5.52	14.97	1.3	
Fluoren	13.78	3.55	13.84	3.57	14.21		
Fenantren	38.35	8.06	38.61	8.12	11.98	3.2	
Antracen	11.59	2.20	11.68	2.22	0.60	19.4	3.7
Fluoranten	15.95	4.14	16.20	4.21	0.81	20.0	5.2
Pyren	319.62	23.15	322.58	23.37	2.86	112.9	8.2
Benzo(a)antracen	5.85	1.21	6.00	1.24	0.12	51.1	10.6
Krysen	21.68	3.91	21.95	3.96	1.00	21.9	4.0
Benzo(b)fluoranten	20.10	3.29	20.43	3.34	0.58	35.3	5.8
Benzo(k)fluoranten	8.64	2.10	8.78	2.13	0.52	17.0	4.1
Benzo(a)pyren	16.23	2.96	16.50	3.01	0.99	16.7	3.0
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5.00	0.75	5.24	0.79	0.04	127.2	19.2
Dibenzo(a,h)antracen	1.01	0.21	1.05	0.21	0.61	1.7	
Benzo(ghi)perylene	13.61	2.16	13.89	2.20	0.04	347.2	55.0
PCB 28	1.30	0.21	1.30	0.21			
PCB 52	5.93	1.45	5.93	1.45			
PCB 101	0.49	0.11	0.49	0.11			
PCB 118	0.05	0.01	0.05	0.01			
PCB 138	0.41	0.05	0.42	0.05			
PCB 153	0.03	0.00	0.04	0.00			
PCB 180	0.09	0.01	0.09	0.01			
Sum PCB7	8.30	1.85	8.32	1.85			
Tributyltinn (TBT-ion)	669.5	227.3	672.10	228.17	11.55	58.2	19.8

Som kontroll på om beregnet spredning er sannsynlig har vi regnet ut den tiden det vil ta å tømme lageret av miljøgifter i de øvre 10 cm av sedimentet med denne spredningen (Tabell 14). Lave tømmetider tilsier at Trinn 2 overestimerer spredningen for en rekke av miljøgiftene. Dette synes å være tilfelle for de fleste lette PAH- og PCB-forbindelsene samt TBT som alle har en tømmetid på under 5 år.

Det er også gjort beregning av samlet årlig transport av hvert av stoffene fra område T2 (Tabell 15). Høyeste transporten er for TBT med 76 kg/år, sink (16 kg/år), og kobber (14 kg/år); lavere for PAH- forbindelsene (1-8 kg/år) og lavest for PCB-forbindelsene (under 1 kg/år).

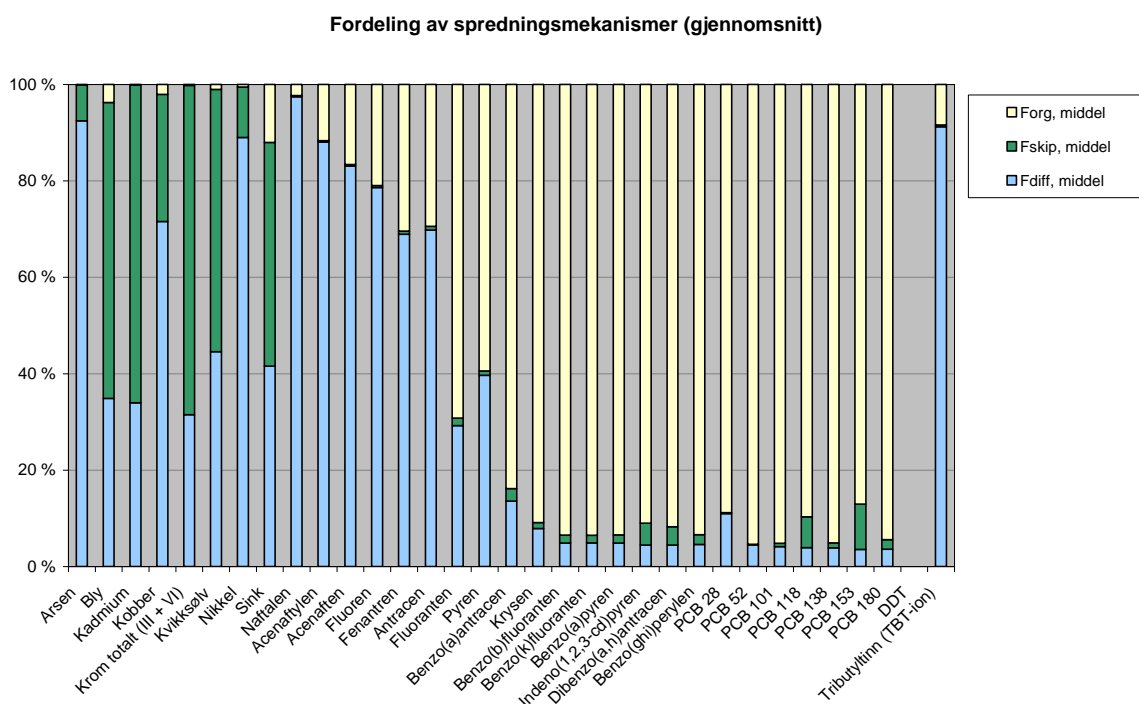
I Figur 11 er relativ betydning av de tre spredningsveiene vist. Oppvirvling fra skipspropeller har relativt stor betydning for spredning av metaller, men lite betydning for de andre stoffene. Spredningen av de lettere PAH-forbindelsene skyldes primært biodiffusjon. For de tunge PAH-forbindelsene og for PCB skjer spredningen så godt som bare gjennom næringskjeden. Spredningen av TBT skjer i nesten bare gjennom biodiffusjon.

Tabell 14. Delområde T2. Anslått tid for å tømme de øvre 10 cm av sedimentet for et stoff med de beregnede spredningshastighetene gitt i Tabell 13. Tømmetider på <5 år er merket rødt.

Stoff	Tid (år) for å tømme lageret i øvre 10 cm av sedimentet	Stoff	Tid (år) for å tømme lageret i øvre 10 cm av sedimentet
Arsen	41,7	Benzo(a)antracen	14,7
Bly	353,1	Krysen	6,8
Kadmium	379,4	Benzo(b)fluoranten	9,2
Kobber	151,1	Benzo(k)fluoranten	9,0
Krom totalt (III + VI)	392,7	Benzo(a)pyren	9,4
Kvikksølv	312,9	Indeno(1,2,3-cd)pyren	25,9
Nikkel	58,9	Dibenzo(a,h)antracen	21,7
Sink	266,7	Benzo(ghi)perylene	11,6
Naftalen	0,2	PCB 28	1,1
Acenaftylen	0,4	PCB 52	0,6
Acenaften	0,8	PCB 101	3,9
Fluoren	1,4	PCB 118	36,9
Fenantren	2,9	PCB 138	5,9
Antracen	3,6	PCB 153	54,2
Fluoranten	8,4	PCB 180	11,2
Pyren	4,6	Tributyltinn (TBT-ion)	0,3

Tabell 15. Delområde T2. Total årlig transport (kg/år) av miljøgifter fra sedimentene i delområde T2.

Stoff	Utot, [kg/år]	Stoff	Utot, [kg/år]
Arsen	4,35	Krysen	1,32
Bly	8,40	Benzo(b)fluoranten	1,11
Kadmium	0,01	Benzo(k)fluoranten	0,71
Kobber	14,25	Benzo(a)pyren	1,00
Krom totalt (III + VI)	1,17	Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,26
Kvikksølv	0,07	Dibenzo(a,h)antracen	0,07
Nikkel	7,63	Benzo(ghi)perylene	0,73
Sink	16,34	PCB 28	0,07
Naftalen	5,87	PCB 52	0,48
Acenaftylen	0,61	PCB 101	0,04
Acenaften	1,83	PCB 118	0,00
Fluoren	1,19	PCB 138	0,02
Fenantren	2,70	PCB 153	0,002
Antracen	0,74	PCB 180	0,004
Fluoranten	1,40	Sum PCB-7	0,62
Pyren	7,76	Tributyltinn (TBT-ion)	75,82
Benzo(a)antracen	0,41		



Figur 11. Prosentvis fordeling av miljøgiftspredning på de tre spredningsveiene diffusjon (F_{diff} - blå), propelloppvirvling (F_{skip} - grønn) og gjennom næringskjeden (Forg - gul) i delområde T2.

Risiko for effekter på human helse

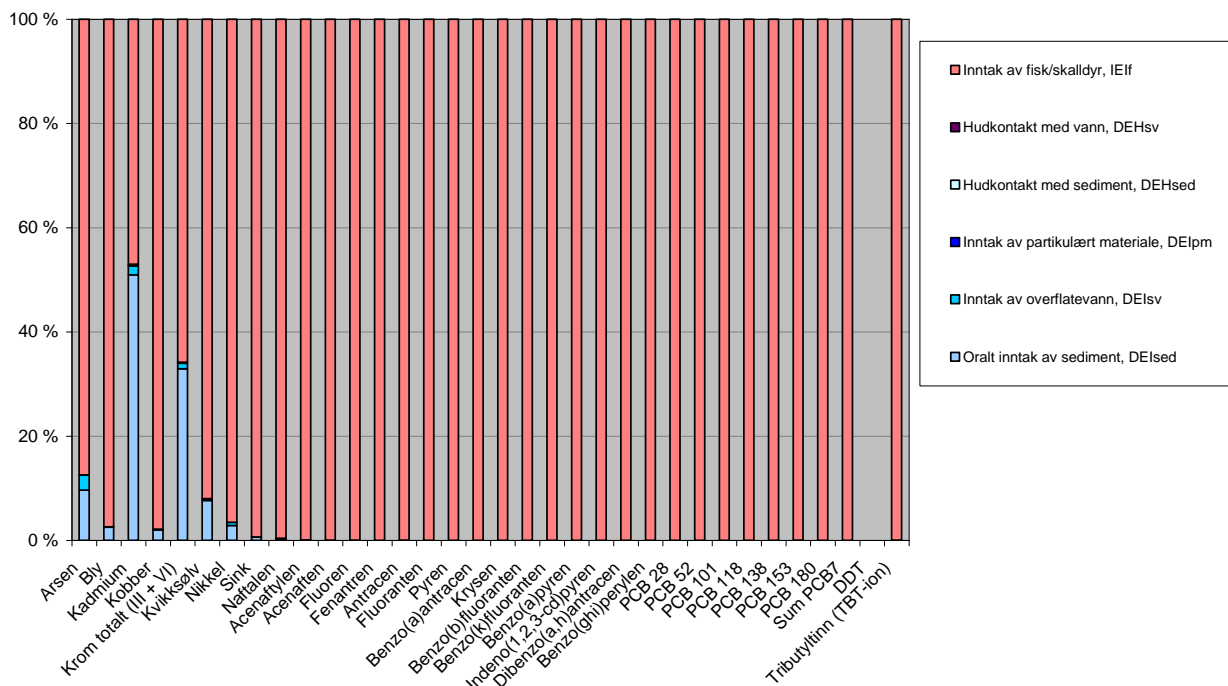
Ut fra anbefalte miljømål er det aktuelt å bedømme risikoen for skade på human helse både gjennom konsum av sjømat (fritidsfiske) som kan ha mottatt miljøgifter fra sedimentene og gjennom kontakt med miljøgifter i vann og suspendert sediment (bading). Tabell 16 viser beregnet samlet livstidseksposering til miljøgifter fra sedimentene, og hvorvidt denne overskrider vedtatte/anbefalte grenseverdier for slik eksponering. Det legges vekt på hvorvidt gjennomsnittsnivåene i sedimentet gir overskridelse. Overskridelsen er høyest for sum PCB-7 og PAH-forbindelsen benzo(a)pyren (kreftfremkallende), men er også relativt stor for TBT. Sedimentene i delområde T2 utgjør derfor en risiko for skade på human helse.

Fordelingen mellom de ulike eksponeringsveiene (Figur 12) viser at den viktigste eksponeringen til de fleste stoffene skjer gjennom konsum av lokal sjømat. Eksponeringen til metaller skjer i noen grad også gjennom inntak av sedimenter, men her er beregnet livstidseksposering for alle metallene unntatt arsen lavere enn grenseverdien.

Tabell 16. Delområde T2. Beregnet total livstidseksposering (mg/kg kroppsvekt og dag) for de ulike miljøgiftene og faktor for overskridelse i forhold til grenseverdier for human risiko.

Stoff	Beregnet total livstidsdose		Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose overskrider MTR 10 % med:	
	DOSE _{maks} (mg/kg/d)	DOSE _{middel} (mg/kg/d)		Maks	Middel
Arsen	9.16E-05	5.67E-05	1.00E-04		
Bly	6.38E-03	3.28E-03	3.60E-04	17.7	9.1
Kadmium	1.17E-06	3.94E-07	5.00E-05		
Kobber	6.72E-03	2.99E-03	5.00E-03	1.3	
Krom totalt (III + VI)	8.32E-05	5.11E-05	5.00E-04		
Kvikksølv	3.30E-05	8.46E-06	1.00E-05	3.3	
Nikkel	7.92E-04	4.41E-04	5.00E-03		
Sink	4.25E-02	1.96E-02	3.00E-02	1.4	
Naftalen	5.93E-03	1.34E-03	4.00E-03	1.5	
Acenaftalen	2.37E-03	7.04E-04			
Acenaften	1.07E-02	3.00E-03			
Fluoren	9.50E-03	2.45E-03			
Fenantren	3.84E-02	8.08E-03	4.00E-03	9.6	2.0
Antracen	1.12E-02	2.14E-03	4.00E-03	2.8	
Fluoranten	3.67E-02	9.53E-03	5.00E-03	7.3	1.9
Pyren	6.27E-01	4.54E-02			
Benzo(a)antracen	1.65E-02	3.41E-03	5.00E-04	32.9	6.8
Krysen	6.53E-02	1.18E-02	5.00E-03	13.1	2.4
Benzo(b)fluoranten	6.25E-02	1.02E-02			
Benzo(k)fluoranten	2.69E-02	6.51E-03	5.00E-04	53.7	13.0
Benzo(a)pyren	5.04E-02	9.20E-03	2.30E-06	21930	4000
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1.56E-02	2.35E-03	5.00E-04	31.2	4.7
Dibenzo(a,h)antracen	3.14E-03	6.40E-04			
Benzo(ghi)perylene	4.24E-02	6.73E-03	3.00E-03	14.1	2.2
PCB 28	3.78E-03	6.18E-04			
PCB 52	1.85E-02	4.53E-03			
PCB 101	1.53E-03	3.36E-04			
PCB 118	1.53E-04	3.52E-05			
PCB 138	1.30E-03	1.60E-04			
PCB 153	1.04E-04	1.32E-05			
PCB 180	2.85E-04	3.96E-05			
Sum PCB7	2.57E-02	5.73E-03	2.00E-06	12829	2863
Tributyltinn (TBT-ion)	1.85E-01	6.28E-02	2.50E-04	739	251

Fordeling av eksponeringsmekanismer for mennesker



Figur 12. Prosentvis fordeling av miljøgiftspredning på ulike spredningsveier fra sedimentet i delområde T2 til mennesker.

Risiko for økologiske effekter

Resultatene fra Trinn 1, både miljøgiftkonsentrasjoner og samlet toksisitet, viser at sedimentene i delområde T2 utgjør en uakseptabel risiko for effekter på sedimentlevende organismer. Dette støttes av de beregnede porevannskonsentrasjonene som viser overskridelse av omforente grenseverdier (PNEC) for toksisitet i vann for flere av stoffene (Tabell 17); for TBT med en faktor på 28 000.

Konsentrasjon av miljøgifter i vannmassene i delområde T2 som følge av den beregnede spredningen fra sedimentene er vist i Tabell 18. Bare TBT overskrider PNEC (med en faktor ca 1900). Ut fra dette utgjør sedimentene en risiko for toksiske effekter på organismer i vannsøylen grunnet TBT.

Resultatene fra de passive prøvetakerne i delområde T2 er brukt til å beregne de reelle konsentrasjonene av miljøgifter i vannmassene. Disse beregningene kan betraktes som betydelig mer pålitelige enn de som gjøres ut fra beregnet spredning fra sedimentet i Trinn 2, og dekker de fleste av stoffene. Tabell 18 viser at når de målte vannkonsentrasjonene legges til grunn er det fortsatt bare TBT som overskrider PNEC, og med en faktor på 500. Siden man ikke med sikkerhet kan si at den TBT som fanges opp i de passive prøvetakerne kommer fra sedimentene (det kan være andre kilder), er det usikkert om utlekkingen fra sedimentene utgjør en risiko for toksiske effekter i vannmassene.

Tabell 17. Delområde T2. Beregnede porevannskonsentrasjoner av miljøgifter (mg/l), samt faktor for overskridelse av grenseverdier (PNEC µg/l) for toksiske effekter i sjøvann.

Stoff	Beregnet porevannskonsentrasjon		Målt porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (ug/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:	
	C _{pv, maks} (mg/l)	C _{pv, middel} (mg/l)	C _{pv, maks} (mg/l)	C _{pv, middel} (mg/l)		Maks	Middel
Arsen	2.94E-03	1.82E-03	ikke målt	ikke målt	4.8		
Bly	2.47E-03	1.27E-03	ikke målt	ikke målt	2.2	1.1	
Kadmium	7.23E-06	2.44E-06	ikke målt	ikke målt	0.24		
Kobber	1.31E-02	5.84E-03	ikke målt	ikke målt	0.64	20.5	9.1
Krom totalt (III + VI)	4.12E-04	2.53E-04	ikke målt	ikke målt	3.4		
Kvikksølv	5.71E-05	1.47E-05	ikke målt	ikke målt	0.048	1.2	
Nikkel	7.54E-03	4.20E-03	ikke målt	ikke målt	2.2	3.4	1.9
Sink	8.55E-03	3.95E-03	ikke målt	ikke målt	2.9	2.9	1.4
Naftalen	1.20E-02	2.71E-03	ikke målt	ikke målt	2.4	5.0	1.1
Acenaftylen	9.62E-04	2.86E-04	ikke målt	ikke målt	1.3		
Acenaften	2.94E-03	8.25E-04	ikke målt	ikke målt	3.8		
Fuoren	2.06E-03	5.32E-04	ikke målt	ikke målt	2.5		
Fenantren	5.31E-03	1.12E-03	ikke målt	ikke målt	1.3	4.1	
Antracen	1.63E-03	3.09E-04	ikke målt	ikke målt	0.11	14.8	2.8
Fluoranten	1.03E-03	2.69E-04	ikke målt	ikke målt	0.12	8.6	2.2
Pyren	2.79E-02	2.02E-03	ikke målt	ikke målt	0.023	1214.3	88.0
Benzo(a)antracen	1.94E-04	4.01E-05	ikke målt	ikke målt	0.012	16.1	3.3
Krysen	4.12E-04	7.44E-05	ikke målt	ikke målt	0.07	5.9	1.1
Benzo(b)fluoranten	2.55E-04	4.17E-05	ikke målt	ikke målt	0.03	8.5	1.4
Benzo(k)fluoranten	1.10E-04	2.66E-05	ikke målt	ikke målt	0.027	4.1	1.0
Benzo(a)pyren	2.06E-04	3.75E-05	ikke målt	ikke målt	0.05	4.1	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	6.36E-05	9.58E-06	ikke målt	ikke målt	0.002	31.8	4.8
Dibenzo(a,h)antracen	1.28E-05	2.61E-06	ikke målt	ikke målt	0.03		
Benzo(ghi)perylene	1.73E-04	2.74E-05	ikke målt	ikke målt	0.002	86.5	13.7
PCB 28	3.70E-05	6.04E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 52	7.54E-05	1.84E-05	ikke målt	ikke målt			
PCB 101	6.23E-06	1.37E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 118	6.24E-07	1.44E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 138	5.29E-06	6.52E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 153	4.23E-07	5.39E-08	ikke målt	ikke målt			
PCB 180	1.16E-06	1.62E-07	ikke målt	ikke målt			
Sum PCB7	1.26E-04	2.69E-05	ikke målt	ikke målt			
Tributyltinn (TBT-ion)	1.73E-01	5.86E-02	ikke målt	ikke målt	0.0002	822511	279240

Tabell 18. Beregnede (fra spredningsestimaterne) og målte (passive prøvetakere) konsentrasjoner (mg/l) av miljøgifter i vannmassene i delområde T2, samt faktor for overskridelse av grenseverdier (PNEC µg/l) for toksiske effekter i sjø vann.

Stoff	Beregnet sjøvannskonsentrasjon		Målt sjøvannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (µg/l)	Beregnet sjøvannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:		Målt sjøvannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:	
	C _{sv, maks} (mg/l)	C _{sv, middel} (mg/l)	C _{sv, maks} (mg/l)	C _{sv, middel} (mg/l)		Maks	Middel	Maks	Middel
Arsen	4.07E-02	2.51E-02	ikke målt	ikke målt	4.8				
Bly	9.11E-02	4.68E-02	1.73E-05	1.53E-05	2.2				
Kadmium	2.17E-04	7.30E-05	1.48E-05	1.43E-05	0.24				
Kobber	1.81E-01	8.08E-02	3.81E-04	2.79E-04	0.64				
Krom totalt (III + VI)	1.10E-02	6.75E-03	3.29E-04	1.85E-04	3.4				
Kvikksølv	1.58E-03	4.05E-04	ikke målt	ikke målt	0.048				
Nikkel	7.89E-02	4.39E-02	2.51E-04	2.30E-04	2.2				
Sink	1.80E-01	8.32E-02	2.52E-03	1.80E-03	2.9				
Naftalen	1.47E-01	3.32E-02	7.20E-06	7.20E-06	2.4				
Acenaftalen	1.05E-02	3.12E-03	2.70E-07	2.55E-07	1.3				
Acenaften	3.15E-02	8.85E-03	8.20E-07	8.10E-07	3.8				
Fluoren	2.10E-02	5.42E-03	7.40E-07	7.25E-07	2.5				
Fenantren	5.17E-02	1.09E-02	1.50E-06	1.25E-06	1.3				
Antracen	1.59E-02	3.02E-03	2.00E-07	1.95E-07	0.11				
Fluoranten	9.59E-03	2.49E-03	1.20E-06	1.08E-06	0.12				
Pyren	2.52E-01	1.82E-02	1.40E-06	1.10E-06	0.023	10.9			
Benzo(a)antracen	1.86E-03	3.87E-04	5.40E-08	4.75E-08	0.012				
Krysen	3.84E-03	6.93E-04	1.20E-07	1.20E-07	0.07				
Benzo(b)fluoranten	2.55E-03	4.18E-04	9.40E-08	7.45E-08	0.03				
Benzo(k)fluoranten	1.09E-03	2.65E-04	3.80E-08	3.30E-08	0.027				
Benzo(a)pyren	2.07E-03	3.78E-04	3.80E-08	3.00E-08	0.05				
Indeno(1,2,3-cd)pyren	9.03E-04	1.36E-04	3.10E-08	2.85E-08	0.002				
Dibenzo(a,h)antracen	1.66E-04	3.39E-05	1.90E-08	1.21E-08	0.03				
Benzo(ghi)perylene	1.76E-03	2.80E-04	7.60E-08	5.65E-08	0.002				
PCB 28	2.80E-04	4.57E-05	2.60E-08	1.80E-08					
PCB 52	5.26E-04	1.29E-04	2.60E-08	2.25E-08					
PCB 101	4.56E-05	1.00E-05	1.70E-08	1.35E-08					
PCB 118	1.04E-05	2.38E-06	7.70E-09	7.45E-09					
PCB 138	3.93E-05	4.85E-06	9.70E-09	8.30E-09					
PCB 153	9.08E-06	1.16E-06	1.40E-08	1.11E-08					
PCB 180	9.84E-06	1.37E-06	9.60E-09	7.15E-09					
Sum PCB7	9.20E-04	1.94E-04	1.10E-07	8.80E-08					
Tributyltinn (TBT-ion)	1.18E+00	4.02E-01	1.34E-04	1.05E-04	0.0002	5637	1914	636.5	498.6

3.4.4. KONKLUSJON - RISIKOVURDERING DELOMRÅDE T2

Samlet kan det konkluderes at delområde T2 alene utgjør en risiko for økologiske effekter i sedimentet på grunn av nivåene av bly, kadmium, kobber og kvikksølv, flere av PAH-forbindelsene, PCB og TBT. Om sedimentene utgjør en risiko for effekter også i vannmassene er mer usikkert, men dette skyldes i så fall sannsynligvis bare TBT-utlekking. TBT viser også den høyeste årlige transporten ut fra sedimentene og over 90 % av dette skyldes biodiffusjon. Oppvirvling fra skipspropeller bidrar til mye av transporten av metaller (7 – 68 % avhengig av hvilket metall). Sedimentenes innhold av PAH (spesielt benzo(a)pyren), PCB og TBT utgjør en risiko for skade på human helse, så godt som bare fra transport gjennom næringskjeden til lokal sjømat.

3.5. RISIKOVURDERING FOR DELOMRÅDE T3 – UTENFOR KARLJOHANSVERN

3.5.1. DELOMRÅDEBESKRIVELSE

T3 strekker seg fra ytterst ved Horten Industripark og vestover mot Kosterenna (se figur 3). Bunnsedimentet er grått og siltig i overflaten, og går over i leire fra 5-10 cm dyp. Store deler av bunnarealet er dekket av ålegress. Sedimentet er forurenset av TBT, tungmetaller, PCB og PAH (se detaljer i Figur 2 til 7). Karljohansvern ligger innenfor dette området, og det er en småbåthavn med båtslipp innerst i vika. Det er stor aktivitet med småbåter i dette området, og området er mye brukt til rekreasjon.

3.5.2. TRINN 1

Resultatene fra kjemisk karakterisering og toksisitet viser at gjennomsnittskonsentrasjonen av metaller kobber, alle PAH-forbindelsene unntatt naftalen og TBT overskrider grenseverdiene for økologiske effekter på organismer i sedimentet (Tabell 19). Overskridelsen er klart størst for PAH-forbindelsene antracen og benzo(a)antracen. Av de tre påkrevde toksisitetstestene var toksisiteten av organisk ekstrakt av sedimentet overfor mikroalgen *Skeletonema costatum* over grenseverdien i Trinn 1 (Tabell 20).

For flere av miljøgiftene spesielt PAH-forbindelsene var det stor forskjell i konsentrasjon mellom stasjonene i delområdet (se Øxnevad m.fl. 2011), men det var intet i mønsteret som tydet på at noen av stasjonene pekte seg ut som spesielt forurenset av alle stoffene (ingen klar ”hotspot”).

Overskridelsen medførte at risikovurderingen Trinn 2 ble gjennomført for delområde T3.

Tabell 19. Målte sedimentkonsentrasjoner i delområde T3 (maksimums- og gjennomsnittskonsentrasjon), og overskridelse i forhold til grenseverdiene i Trinn 1.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon overskrider trinn 1 grenseverdi med:	
	Antall prøver	C _{sed, max} (mg/kg)	C _{sed, middel} (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	20	148	25.0025	52	2.8	
Bly	20	184	44.5735	83	2.2	
Kadmium	20	0.69	0.139	2.6		
Kobber	20	104	52.975	51	2.0	1.0
Krom totalt (III + VI)	20	35.4	22.359	560		
Kvikksølv	20	1.58	0.301	0.63	2.5	
Nikkel	20	27	18.625	46		
Sink	20	180	96.77	360		
Naftalen	20	2.32	0.1642	0.29	8.0	
Acenaftilen	20	12.6	0.80265	0.033	381.8	24.3
Acenaften	20	16.5	0.89865	0.16	103.1	5.6
Fluoren	20	32.5	1.71685	0.26	125.0	6.6
Fenantren	20	19.7	1.41025	0.50	39.4	2.8
Antracen	20	140	7.912785	0.031	4516.1	255.3
Fluoranten	20	88.8	6.31335	0.17	522.4	37.1
Pyren	20	54.6	4.0481	0.28	195.0	14.5
Benzo(a)antracen	20	110	6.90665	0.06	1833.3	115.1
Krysen	20	95	6.6599	0.28	339.3	23.8
Benzo(b)fluoranten	20	43.3	3.14095	0.24	180.4	13.1
Benzo(k)fluoranten	20	61.8	4.16845	0.21	294.3	19.8
Benzo(a)pyren	20	42.7	3.5023	0.42	101.7	8.3
Indeno(1,2,3-cd)pyren	20	12.4	1.15475	0.047	263.8	24.6
Dibenzo(a,h)antracen	20	7.96	0.60815	0.59	13.5	1.03
Benzo(ghi)perylene	20	18.3	1.3999	0.021	871.4	66.7
PCB 28	20	0.00713	0.001119			
PCB 52	20	0.0107	0.0028955			
PCB 101	20	0.00935	0.00257			
PCB 118	20	0.0146	0.004009			
PCB 138	20	0.00967	0.002616			
PCB 153	20	0.00984	0.0022345			
PCB 180	19	0.00428	0.001137895			
Sum PCB7	20	6.56E-02	1.66E-02	0.017	3.9	0.98
Tributyltinn (TBT-ion)	20	0.565	0.166475	0.035	16.1	4.8

Tabell 20. Målt sedimenttoksisitet i delområde T3 og overskridelse av grenseverdier i Trinn 1.

Parameter	Målt økotoks		Grenseverdi for økotoksisitet	Målt økotoksisitet overskrider grenseverdi med:	
	Maks	Middel		Maks	Middel
Porevann, Skeletonema (TU)	0.99	0.99	1.0		
Organisk ekstrakt, Skeletonema (TU som l/g)	4.54	4.54	0.5	9.1	9.1
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	26	26	TEQ < 50 ng/kg		
Helsedimenttest, Arenicola marina (% dødelighet)	ikke målt	ikke målt	20 %		

3.5.3. TRINN 2

Anvendte lokale parameterverdier

For flere av parameterverdiene som inngår i beregningene i Trinn 2 ble sjablongverdiene veilederen erstattet av stedsspesifikke verdier for delområde T3 (Tabell 21).

Tabell 21. Stedsspesifikke parameterverdier brukt i risikoberegningene under Trinn 2 for delområde T3.

Parameter	Sjablongverdi	Anvendt verdi
Totalt organisk karbon (TOC) %	1	3
Totalt sedimentareal m ²	ingen standard	285970
Vannvolum m ³	ingen standard	857910
Oppholdstid av vannet år	ingen standard	0,02
Antall skipsanløp per år	ingen standard	3650
Trasélengde for skipsanløp m	120	700
Oppvirvlet sediment per anløp kg	ingen standard	875
Bunnareal påvirket av oppvirvling m ²	ingen standard	285970
Fraksjon leire i sedimentet	ingen standard	0,03

Risiko for spredning av miljøgifter

Estimert miljøgiftspredning totalt og via de tre transportveiene (biodiffusjon, resuspensjon fra propeller og transport i næringskjeden) er gitt i Tabell 22 og Tabell 24. Tabellene viser både miljøgiftflukser (mg/m² og år) og årlig transport (mg/år) for hvert stoff. Spredningen skal i følge veilederen beregnes separat for det totale delområdet, og områdene som påvirkes/ikke påvirkes av skipstrafikken. I dette tilfellet påvirkes hele delområdet slik at spredningen bare er vist for dette.

Det finnes ikke omforente akseptkriterier for spredning av miljøgifter, bare for konsekvenser av spredningen i form av risiko for human helse og økosystemet. I risikoveilederen sammenliknes spredningen med tilsvarende spredning fra et sediment som akkurat tilfredsstillende Trinn 1. Resultatene viser at de samme stoffene som overskrider grenseverdiene i Trinn 1 også overskrider spredningen fra et slikt sediment (Tabell 22).

Tabell 22. Delområde T3. Beregnet miljøgiftspredning (mg/m² og år) fra sedimentene samlet via biodiffusjon (F_{diff}), propelloppvirvling (F_{skip}) og gjennom næringskjeden (F_{org}), spredning utenom propelloppvirvling, og faktor for overskridelse av total spredning i forhold til et sediment som tilfredsstillende Trinn 1.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling (F _{diff} + F _{org})		Beregnet total spredning (F _{diff} + F _{org} + F _{skip})		Spredning (F _{tot}) dersom C _{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 (mg/m ² /år)	F _{tot} overskrider tillatt spredning med:	
	Maks (mg/m ² /år)	Middel (mg/m ² /år)	F _{tot, maks} (mg/m ² /år)	F _{tot, middel} (mg/m ² /år)		Maks	Middel
Arsen	149.44	25.25	253.62	42.85	89.06	2.8	
Bly	9.16	2.22	132.72	32.15	59.55	2.2	
Kadmium	0.03	0.01	0.49	0.10	1.85		
Kobber	23.04	11.74	93.68	47.72	45.69	2.1	1.04
Krom totalt (III + VI)	1.30	0.82	25.09	15.85	396.77		
Kvikksølv	0.10	0.02	1.17	0.22	0.46	2.5	
Nikkel	18.68	12.88	37.62	25.95	63.94		
Sink	16.46	8.85	137.63	73.99	269.34		
Naftalen	386.05	27.32	400.89	28.37	147.27	2.7	
Acenaftalen	1036.11	66.00	1080.63	68.84	7.68	140.6	9.0
Acenaften	591.77	32.23	622.64	33.91	15.60	39.9	2.2
Fluoren	709.39	37.47	754.90	39.88	14.90	50.7	2.7
Fenantren	207.28	14.84	226.89	16.24	12.74	17.8	1.3
Antracen	1179.57	66.67	1310.35	74.06	0.64	2037.8	115.2
Fluoranten	315.88	22.46	379.96	27.01	0.93	406.8	28.9
Pyren	353.62	26.22	397.11	29.44	3.12	127.1	9.4
Benzo(a)antracen	221.01	13.88	296.35	18.61	0.16	1906.1	119.7
Krysen	418.63	29.35	484.07	33.94	1.18	410.1	28.8
Benzo(b)fluoranten	140.14	10.17	169.55	12.30	0.73	233.5	16.9
Benzo(k)fluoranten	204.67	13.81	246.66	16.64	0.65	381.4	25.7
Benzo(a)pyren	135.06	11.08	164.05	13.46	1.25	131.4	10.8
Indeno(1,2,3-cd)pyren	13.87	1.29	22.22	2.07	0.07	320.3	29.8
Dibenzo(a,h)antracen	10.70	0.82	16.07	1.23	0.97	16.6	1.3
Benzo(ghi)perylene	46.90	3.59	59.29	4.54	0.05	1121.9	85.8
PCB 28	0.21	0.03	0.21	0.03			
PCB 52	0.56	0.15	0.57	0.15			
PCB 101	0.07	0.02	0.08	0.02			
PCB 118	0.01	0.00	0.02	0.01			
PCB 138	0.05	0.01	0.06	0.02			
PCB 153	0.00	0.00	0.01	0.00			
PCB 180	0.01	0.00	0.01	0.00			
Sum PCB7	0.91	0.22	0.96	0.24			
Tributyltinn (TBT-ion)	66.36	19.55	70.57	20.79	12.24	5.8	1.7

Som kontroll på om beregnet spredning er sannsynlig har vi regnet ut den tiden det vil ta å tømme lageret av miljøgifter i de øvre 10 cm av sedimentet med denne spredningen (Tabell 23). Lave tømmetider tilsier at Trinn 2 overestimerer spredningen for en rekke av miljøgiftene. Dette synes å være tilfelle for de fleste lette PAH-forbindelsene og PCB-28 og 52, samt TBT som alle har en tømmetid på under 5 år.

Det er også gjort beregning av samlet årlig transport av hvert av stoffene fra område T3 (Tabell 24). Høyeste transporten er for sink og antracen med 21 kg/år, lavere for PAH-forbindelsene og TBT (0,3 - 20 kg/år) og lavest for PCB-forbindelsene (under 0,1 kg/år).

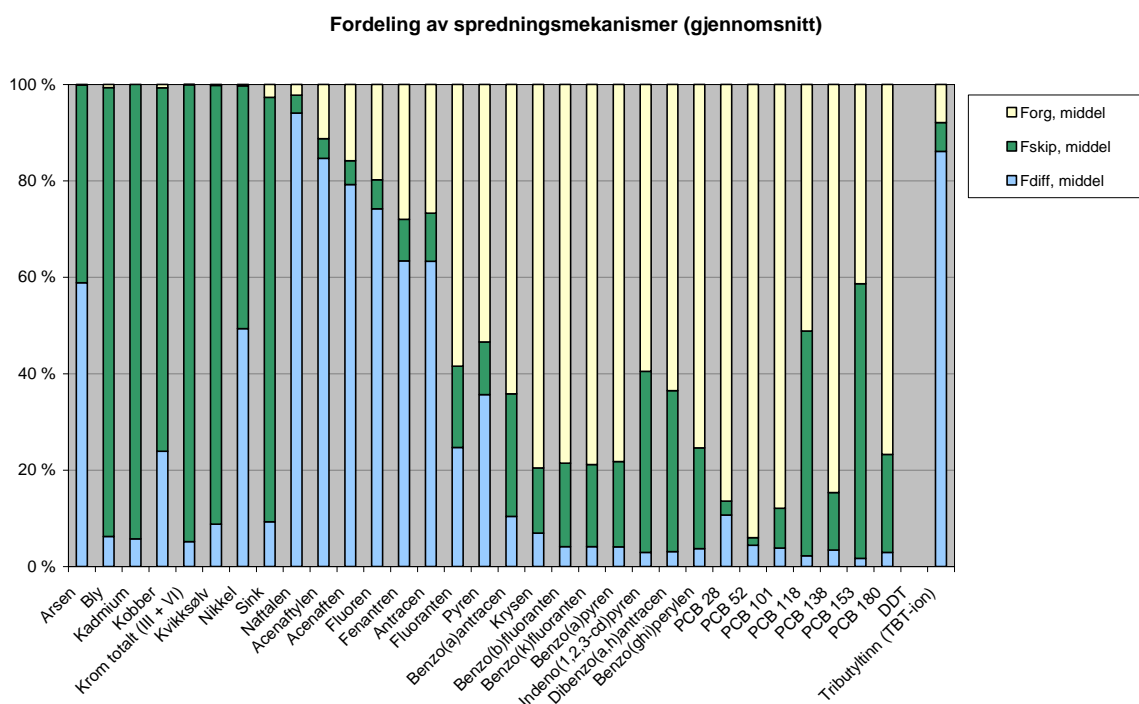
I Figur 13 er relativ betydning av de tre spredningsveiene vist. Oppvirvling fra skipspropeller er dominerende transportveg for spredning av metaller, og bidrar med 3 – 57 % av spredningen for de andre stoffene. Spredningen av de lettere PAH-forbindelsene skyldes primært biodiffusjon. For de tunge PAH-forbindelsene og for PCB skjer mesteparten av spredningen gjennom næringskjeden. Over 85 % av spredningen av TBT skjer ved biodiffusjon.

Tabell 23. Delområde T3. Anslått tid for å tømme de øvre 10 cm av sedimentet for et stoff med de beregnede spredningshastighetene gitt i Tabell 22. Tømmetider på <5 år er merket rødt.

Stoff	Tid (år) for å tømme lageret i øvre 10 cm av sedimentet	Stoff	Tid (år) for å tømme lageret i øvre 10 cm av sedimentet
Arsen	26,6	Benzo(a)antracen	16,9
Bly	63,1	Krysen	8,9
Kadmium	63,8	Benzo(b)fluoranten	11,6
Kobber	50,5	Benzo(k)fluoranten	11,4
Krom totalt (III + VI)	64,2	Benzo(a)pyren	11,8
Kvikksølv	61,6	Indeno(1,2,3-cd)pyren	25,4
Nikkel	32,7	Dibenzo(a,h)antracen	22,5
Sink	59,5	Benzo(ghi)perylene	14,0
Naftalen	0,3	PCB 28	1,5
Acenaftylen	0,5	PCB 52	0,9
Acenaften	1,2	PCB 101	5,4
Fluoren	2,0	PCB 118	31,5
Fenantren	4,0	PCB 138	7,9
Antracen	4,9	PCB 153	38,6
Fluoranten	10,6	PCB 180	13,7
Pyren	6,3	Tributyltinn (TBT-ion)	0,4

Tabell 24. Delområde T3. Total årlig transport (kg/år) av miljøgifter fra sedimentene i delområde T3.

Stoff	Utot, [kg/år]	Stoff	Utot, [kg/år]
Arsen	12,25	Krysen	9,70
Bly	9,19	Benzo(b)fluoranten	3,52
Kadmium	0,03	Benzo(k)fluoranten	4,76
Kobber	13,65	Benzo(a)pyren	3,85
Krom totalt (III + VI)	4,53	Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,59
Kvikksølv	0,06	Dibenzo(a,h)antracen	0,35
Nikkel	7,42	Benzo(ghi)perylene	1,30
Sink	21,16	PCB 28	0,01
Naftalen	8,11	PCB 52	0,04
Acenaftylen	19,69	PCB 101	0,01
Acenaften	9,70	PCB 118	0,00
Fluoren	11,40	PCB 138	0,00
Fenantren	4,64	PCB 153	0,00
Antracen	21,18	PCB 180	0,00
Fluoranten	7,73	Sum PCB-7	0,07
Pyren	8,42	Tributyltinn (TBT-ion)	5,95
Benzo(a)antracen	5,32		



Figur 13. Prosentvis fordeling av miljøgiftspredning på de tre spredningsveiene diffusjon (F_{diff} - blå), propelloppvirvling (F_{skip} - grønn) og gjennom næringskjeden (F_{org} - gul) i delområde T3.

Risiko for effekter på human helse

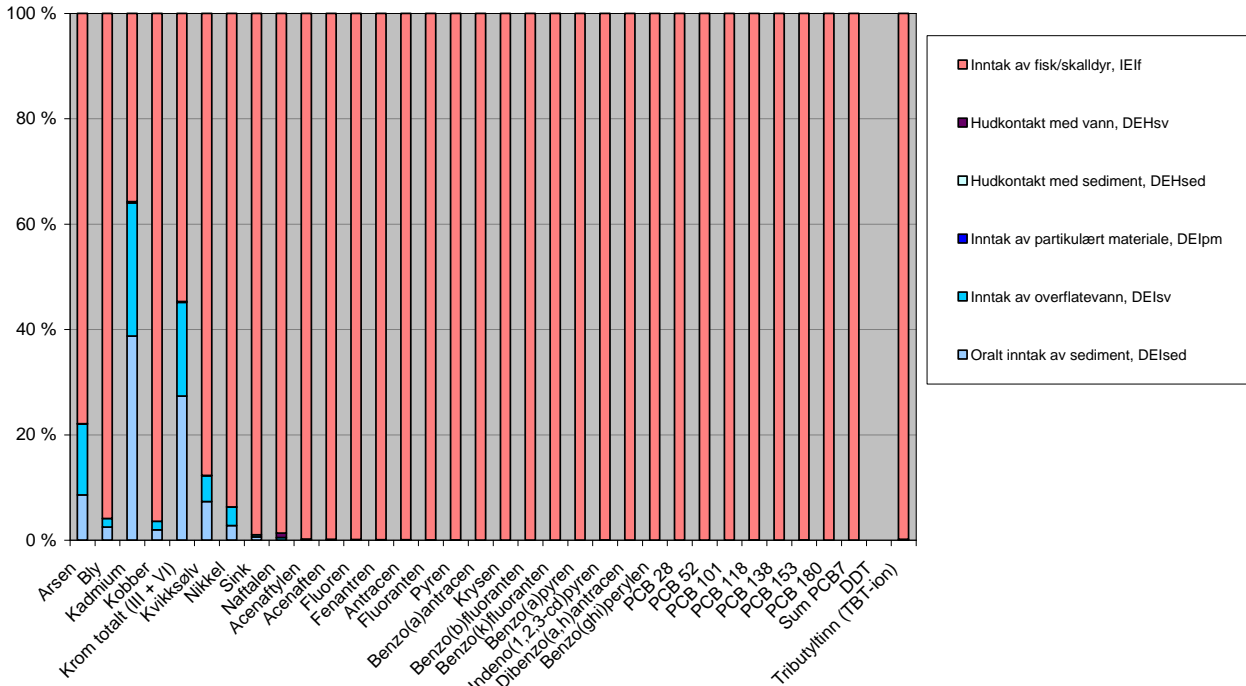
Ut fra anbefalte miljømål er det aktuelt å bedømme risikoen for skade på human helse både gjennom konsum av sjømat (fritidsfiske) som kan ha mottatt miljøgifter fra sedimentene og gjennom kontakt med miljøgifter i vann og suspendert sediment (bading). Tabell 25 viser beregnet samlet livstidseksponering til miljøgifter fra sedimentene, og hvorvidt denne overskrider vedtatte/anbefalte grenseverdier for slik eksponering. Det legges vekt på hvorvidt gjennomsnittsnivåene i sedimentet gir overskridelse. Overskridelsen er klart høyest for PAH-forbindelsen benzo(a)pyren (kreftfremkallende) og relativt høy også for sum PCB-7. Sedimentene i delområde T3 utgjør derfor en risiko for skade på human helse.

Fordelingen mellom de ulike eksponeringsveiene (Figur 14) viser at den viktigste eksponeringen til de fleste stoffene skjer gjennom konsum av lokal sjømat. Eksponeringen til metaller skjer i noen grad også gjennom inntak av sjøvann og sedimenter, men for bly som er eneste metall over grenseverdien for livstidseksponering er også eksponering gjennom sjømat dominerende.

Tabell 25. Delområde T3. Beregnet total livstidseksposering (mg/kg kroppsvekt og dag) for de ulike miljøgiftene og faktor for overskridelse i forhold til grenseverdier for human risiko.

Stoff	Beregnet total livstidsdose		Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose overskrider MTR 10 % med:	
	DOSE _{maks} (mg/kg/d)	DOSE _{middel} (mg/kg/d)		Maks	Middel
Arsen	8.00E-04	1.35E-04	1.00E-04	8.0	1.4
Bly	3.14E-03	7.60E-04	3.60E-04	8.7	2.1
Kadmium	1.09E-06	2.19E-07	5.00E-05		
Kobber	2.22E-03	1.13E-03	5.00E-03		
Krom totalt (III + VI)	7.14E-05	4.51E-05	5.00E-04		
Kvikksølv	9.67E-06	1.84E-06	1.00E-05	1.0	
Nikkel	4.16E-04	2.87E-04	5.00E-03		
Sink	1.23E-02	6.62E-03	3.00E-02		
Naftalen	2.97E-02	2.10E-03	4.00E-03	7.4	
Acenaftylen	3.98E-01	2.54E-02			
Acenaften	3.23E-01	1.76E-02			
Fluoren	4.89E-01	2.59E-02			
Fenantren	2.08E-01	1.49E-02	4.00E-03	52.0	3.7
Antracen	1.15E+00	6.47E-02	4.00E-03	286	16.2
Fluoranten	7.27E-01	5.17E-02	5.00E-03	145.3	10.3
Pyren	6.94E-01	5.14E-02			
Benzo(a)antracen	6.22E-01	3.91E-02	5.00E-04	1244.9	78.2
Krysen	1.26E+00	8.83E-02	5.00E-03	252.0	17.7
Benzo(b)fluoranten	4.36E-01	3.16E-02			
Benzo(k)fluoranten	6.36E-01	4.29E-02	5.00E-04	1273	86
Benzo(a)pyren	4.20E-01	3.44E-02	2.30E-06	182552	14973
Indeno(1,2,3-cd)pyren	4.33E-02	4.03E-03	5.00E-04	86.5	8.1
Dibenzo(a,h)antracen	3.34E-02	2.55E-03			
Benzo(ghi)perylen	1.46E-01	1.12E-02	3.00E-03	48.8	3.7
PCB 28	5.97E-04	9.37E-05			
PCB 52	1.75E-03	4.73E-04			
PCB 101	2.26E-04	6.20E-05			
PCB 118	3.53E-05	9.68E-06			
PCB 138	1.54E-04	4.17E-05			
PCB 153	1.57E-05	3.57E-06			
PCB 180	3.58E-05	9.52E-06			
Sum PCB7	2.81E-03	6.93E-04	2.00E-06	1405	346
Tributyltinn (TBT-ion)	1.83E-02	5.41E-03	2.50E-04	73.4	21.6

Fordeling av eksponeringsmekanismer for mennesker



Figur 14. Prosentvis fordeling av miljøgiftspredning på ulike spredningsveier fra sediment et i delområde T3 til mennesker.

Risiko for økologiske effekter

Resultatene fra Trinn 1, både miljøgiftkonsentrasjoner og samlet toksisitet, viser at sedimentene i delområde T3 utgjør en uakseptabel risiko for effekter på sedimentlevende organismer. Dette støttes av de beregnede porevannskonsentrasjonene som viser overskridelse av omforente grenseverdier (PNEC) for toksisitet i vann for flere av stoffene (Tabell 26); høyest for TBT med en faktor på 24 000.

Konsentrasjon av miljøgifter i vannmassene i delområde T3 som følge av den beregnede spredningen fra sedimentene er vist i Tabell 27. TBT overskrider PNEC med en faktor ca 600. Flere av PAH-forbindelsene viser også beskjedne overskridelser. Ut fra dette utgjør sedimentene en risiko for toksiske effekter på organismer i vannsøylen.

Resultatene fra de passive prøvetakerne i delområde T3 er brukt til å beregne de reelle konsentrasjonene av miljøgifter i vannmassene. Disse beregningene kan betraktes som betydelig mer pålitelige enn de som gjøres ut fra beregnet spredning fra sedimentet i Trinn 2, og dekker de fleste av stoffene. Tabell 27 viser at når de målte vannkonsentrasjonene legges til grunn er det fortsatt bare TBT som overskrider PNEC, og med en faktor på 240. Siden man ikke med sikkerhet kan si at den TBT som fanges opp i de passive prøvetakerne kommer fra sedimentene (det kan være andre kilder), er det usikkert om utlekkingen fra sedimentene utgjør en risiko for toksiske effekter i vannmassene.

Tabell 26. Delområde T3. Beregnede porevannskonsentrasjoner av miljøgifter (mg/l), samt faktor for overskridelse av grenseverdier (PNEC µg/l) for toksiske effekter i sjøvann.

Stoff	Beregnet porevannskonsentrasjon		Målt porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (ug/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:	
	C _{pv, maks} (mg/l)	C _{pv, middel} (mg/l)	C _{pv, maks} (mg/l)	C _{pv, middel} (mg/l)		Maks	Middel
Arsen	2.24E-02	3.78E-03	ikke målt	ikke målt	4.8	4.7	
Bly	1.19E-03	2.88E-04	ikke målt	ikke målt	2.2		
Kadmium	5.31E-06	1.07E-06	ikke målt	ikke målt	0.24		
Kobber	4.26E-03	2.17E-03	ikke målt	ikke målt	0.64	6.7	3.4
Krom totalt (III + VI)	2.95E-04	1.86E-04	ikke målt	ikke målt	3.4		
Kvikksølv	1.58E-05	3.01E-06	ikke målt	ikke målt	0.048		
Nikkel	3.81E-03	2.63E-03	ikke målt	ikke målt	2.2	1.7	1.2
Sink	2.47E-03	1.33E-03	ikke målt	ikke målt	2.9		
Naftalen	5.95E-02	4.21E-03	ikke målt	ikke målt	2.4	24.8	1.8
Acenaftilen	1.62E-01	1.03E-02	ikke målt	ikke målt	1.3	124.3	7.9
Acenaften	8.87E-02	4.83E-03	ikke målt	ikke målt	3.8	23.3	1.3
Fluoren	1.06E-01	5.61E-03	ikke målt	ikke målt	2.5	42.5	2.2
Fenantren	2.87E-02	2.05E-03	ikke målt	ikke målt	1.3	22.1	1.6
Antracen	1.65E-01	9.35E-03	ikke målt	ikke målt	0.11	1504.4	85.0
Fluoranten	2.05E-02	1.46E-03	ikke målt	ikke målt	0.12	170.7	12.1
Pyren	3.09E-02	2.29E-03	ikke målt	ikke målt	0.023	1343.5	99.6
Benzo(a)antracen	7.32E-03	4.59E-04	ikke målt	ikke målt	0.012	609.6	38.3
Krysen	7.95E-03	5.58E-04	ikke målt	ikke målt	0.07	113.6	8.0
Benzo(b)fluoranten	1.78E-03	1.29E-04	ikke målt	ikke målt	0.03	59.2	4.3
Benzo(k)fluoranten	2.59E-03	1.75E-04	ikke målt	ikke målt	0.027	96.1	6.5
Benzo(a)pyren	1.71E-03	1.40E-04	ikke målt	ikke målt	0.05	34.2	2.8
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1.76E-04	1.64E-05	ikke målt	ikke målt	0.002	88.2	8.2
Dibenzo(a,h)antracen	1.36E-04	1.04E-05	ikke målt	ikke målt	0.03	4.5	
Benzo(ghi)perylene	5.96E-04	4.56E-05	ikke målt	ikke målt	0.002	298.1	22.8
PCB 28	5.84E-06	9.16E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 52	7.12E-06	1.93E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 101	9.20E-07	2.53E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 118	1.44E-07	3.94E-08	ikke målt	ikke målt			
PCB 138	6.28E-07	1.70E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 153	6.40E-08	1.45E-08	ikke målt	ikke målt			
PCB 180	1.46E-07	3.88E-08	ikke målt	ikke målt			
Sum PCB7	1.49E-05	3.36E-06	ikke målt	ikke målt			
DDT	1.71E-02	5.04E-03	ikke målt	ikke målt	0.0002	81530	24022

Tabell 27. Beregnede (fra spredningsestimatene) og målte (passive prøvetakere) konsentrasjoner (mg/l) av miljøgifter i vannmassene i delområde T3, samt faktor for overskridelse av grenseverdier (PNEC µg/l) for toksiske effekter i sjøvann.

Stoff	Beregnet sjøvannskonsentrasjon		Målt sjøvannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (µg/l)	Beregnet sjøvannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:		Målt sjøvannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:	
	C _{sv, maks} (µg/l)	C _{sv, middel} (µg/l)	C _{sv, maks} (mg/l)	C _{sv, middel} (mg/l)		Maks	Middel	Maks	Middel
Arsen	1.62E+00	2.74E-01	ikke målt	ikke målt	4.8				
Bly	8.45E-01	2.05E-01	4.46E-05	3.41E-05	2.2				
Kadmium	3.15E-03	6.35E-04	1.20E-05	1.15E-05	0.24				
Kobber	5.96E-01	3.04E-01	4.77E-04	3.60E-04	0.64				
Krom totalt (III + VI)	1.61E-01	1.02E-01	1.61E-04	1.13E-04	3.4				
Kvikksølv	7.47E-03	1.42E-03	ikke målt	ikke målt	0.048				
Nikkel	2.40E-01	1.66E-01	2.71E-04	2.56E-04	2.2				
Sink	8.59E-01	4.62E-01	1.75E-03	1.55E-03	2.9				
Naftalen	2.51E+00	1.78E-01	1.10E-05	8.47E-06	2.4	1.0			
Acenaftalen	6.15E+00	3.92E-01	2.70E-07	2.70E-07	1.3	4.7			
Acenaften	3.36E+00	1.83E-01	3.70E-07	3.37E-07	3.8				
Fluoren	3.88E+00	2.05E-01	7.50E-07	5.77E-07	2.5	1.6			
Fenantren	1.05E+00	7.50E-02	1.40E-06	1.05E-06	1.3				
Antracen	6.16E+00	3.48E-01	1.70E-07	1.30E-07	0.11	56.0	3.2		
Fluoranten	1.01E+00	7.20E-02	7.40E-07	4.97E-07	0.12	8.4			
Pyren	1.19E+00	8.79E-02	4.10E-07	3.07E-07	0.023	51.6	3.8		
Benzo(a)antracen	6.80E-01	4.27E-02	2.20E-08	1.70E-08	0.012	56.7	3.6		
Krysen	6.34E-01	4.44E-02	6.20E-08	4.87E-08	0.07	9.1			
Benzo(b)fluoranten	2.33E-01	1.69E-02	3.40E-08	2.60E-08	0.03	7.8			
Benzo(k)fluoranten	3.34E-01	2.25E-02	1.90E-08	1.59E-08	0.027	12.4			
Benzo(a)pyren	2.29E-01	1.88E-02	1.80E-08	1.35E-08	0.05	4.6			
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5.77E-02	5.37E-03	2.80E-08	1.97E-08	0.002	28.8	2.7		
Dibenzo(a,h)antracen	3.76E-02	2.87E-03	2.80E-08	1.64E-08	0.03	1.3			
Benzo(ghi)perylen	9.35E-02	7.15E-03	5.10E-08	3.23E-08	0.002	46.8	3.6		
PCB 28	1.83E-04	2.88E-05	3.80E-09	3.17E-09					
PCB 52	2.17E-04	5.88E-05	5.70E-09	5.07E-09					
PCB 101	6.07E-05	1.67E-05	2.40E-09	1.97E-09					
PCB 118	6.59E-05	1.81E-05	2.30E-09	2.27E-09					
PCB 138	5.47E-05	1.48E-05	3.70E-09	2.73E-09					
PCB 153	4.36E-05	9.90E-06	4.70E-09	4.27E-09					
PCB 180	2.13E-05	5.65E-06	3.20E-09	2.93E-09					
Sum PCB7	6.47E-04	1.53E-04	2.58E-08	2.24E-08					
Tributyltinn (TBT-ion)	4.16E-01	1.23E-01	8.24E-05	5.01E-05	0.0002	1983	584	392	238

3.5.4. KONKLUSJON - RISIKOVURDERING DELOMRÅDE T3

Samlet kan det konkluderes at delområde T3 alene utgjør en risiko for økologiske effekter i sedimentet på grunn av nivåene av kobber, alle PAH-forbindelsene unntatt naftalen og TBT. Om sedimentene utgjør en risiko for effekter også i vannmassene er mer usikkert, men dette skyldes i så fall sannsynligvis bare TBT-utlekkning. Sink og antracen viser den høyeste årlige transporten ut fra sedimentene. For sink skyldes ca 90 % av dette propelloppvirling, for antracen skyldes vel 60 % biodiffusjon. Sedimentenes innhold av benzo(a)pyren, PCB og TBT utgjør en risiko for skade på human helse, så godt som bare fra transport gjennom næringskjeden til lokal sjømat.

3.6. RISIKOVURDERING FOR DELOMRÅDE T4 - MIDTOMRÅDET

3.6.1. DELOMRÅDEBESKRIVELSE

T4 dekker det midtre området i Horten Indre Havn som er dypere enn 10 meter. Bunnsedimentet her er meget mykt, mørke grått til svart i farge, og hadde på mange stasjoner en tydelig H₂S-lukt. Sedimentet er forurenset av tungmetaller, TBT, PAH og PCB (se detaljer i Figur 2 til 7).

3.6.2. TRINN 1

Resultatene fra kjemisk karakterisering og toksisitet viser at gjennomsnittskonsentrasjonen av TBT og PAH-forbindelsen benzo(ghi)perylene hadde størst overskridelse grenseverdien for økologiske effekter på organismer i sedimentet (Tabell 28). Bly, kobber og kvikksølv, noen av de andre PAH-forbindelsene og sum PCB-7 viste små overskridelser. Av de tre påkrevde toksisitetstestene viste testen av organisk ekstrakt av sedimentet på mikroalgen *Skeletonema costatum* og DR CALUX-testen på dioksinliknende stoffer såvidt over grenseverdien (Tabell 29).

For flere av miljøgiftene spesielt PCB-forbindelsene var det stor forskjell i konsentrasjon mellom stasjonene i delområdet (se Øxnevad m.fl. 2011), men det var intet i mønsteret som tydet på at noen av stasjonene pekte seg ut som spesielt forurenset av alle stoffene (ingen klar ”hotspot”).

Overskridelsen medførte at risikovurderingen Trinn 2 ble gjennomført for delområde T4.

Tabell 28. Målte sedimentkonsentrasjoner i delområde T4 (maksimums- og gjennomsnittskonsentrasjon), og overskridelse i forhold til grenseverdiene i Trinn 1.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon overskrider trinn 1 grenseverdi med:	
	Antall prøver	C _{sed, max} (mg/kg)	C _{sed, middel} (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	29	22.8	15.69241379	52		
Bly	29	320	154.4827586	83	3.9	1.9
Kadmium	29	0.97	0.55862069	2.6		
Kobber	29	203	104.9965517	51	4.0	2.1
Krom totalt (III + VI)	29	49.4	39.1	560		
Kvikksølv	29	2.32	0.823103448	0.63	3.7	1.3
Nikkel	29	53.4	33.46206897	46	1.2	
Sink	29	526	257.6586207	360	1.5	
Naftalen	29	0.13	0.035827586	0.29		
Acenaftylen	29	0.013	0.00562069	0.033		
Acenaften	29	0.125	0.031965517	0.16		
Fluoren	29	0.119	0.024724138	0.26		
Fenantren	29	0.446	0.123551724	0.50		
Antracen	29	0.21	0.045931034	0.031	6.8	1.5
Fluoranten	29	0.608	0.214272414	0.17	3.6	1.3
Pyren	29	1.2	0.410034483	0.28	4.3	1.5
Benzo(a)antracen	29	0.279	0.113103448	0.06	4.7	1.9
Krysen	29	0.415	0.173586207	0.28	1.5	
Benzo(b)fluoranten	29	0.541	0.226655172	0.24	2.3	
Benzo(k)fluoranten	29	0.386	0.138965517	0.21	1.8	
Benzo(a)pyren	29	0.449	0.201931034	0.42	1.1	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	29	0.454	0.161758621	0.047	9.7	3.4
Dibenzo(a,h)antracen	29	0.148	0.039448276	0.59		
Benzo(ghi)perylen	29	0.908	0.219724138	0.021	43.2	10.5
PCB 28	29	0.00939	0.002909138			
PCB 52	29	0.0388	0.009472759			
PCB 101	29	0.104	0.007208966			
PCB 118	29	0.025	0.003756207			
PCB 138	29	0.0188	0.002250345			
PCB 153	29	0.0138	0.002056897			
PCB 180	29	0.00681	0.001078966			
Sum PCB7	29	2.17E-01	2.87E-02	0.017	12.7	1.7
Tributyltinn (TBT-ion)	29	2.57	0.699386207	0.035	73.4	20.0

Tabell 29. Målt sedimenttoksisitet i delområde T4 og overskridelse av grenseverdier i Trinn 1.

Parameter	Målt økotox		Grenseverdi for økotoksitet	Målt økotoksitet overskrider grenseverdi med:	
	Maks	Middel		Maks	Middel
Porevann, Skeletonema (TU)	0.99	0.99	1.0		
Organisk ekstrakt, Skeletonema (TU som l/g)	0.714	0.714	0.5	1.4	1.4
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	61	61	TEQ < 50 ng/kg	1.2	1.2
Helsedimenttest, Arenicola marina (% dødelighet)	ikke målt	ikke målt	20 %		

3.6.3. TRINN 2

Anvendte lokale parameterverdier

For flere av parameterverdiene som inngår i beregningene i Trinn 2 ble sjablongverdiene i veilederen erstattet av stedsspesifikke verdier for delområde T4 (Tabell 30).

Tabell 30. Stedsspesifikke parameterverdier brukt i risikoberegningene under Trinn 2 for delområde T4.

Parameter	Sjablongverdi	Anvendt verdi
Totalt organisk karbon (TOC) %	1	3
Totalt sedimentareal m ²	ingen standard	919650
Vannvolum m ³	ingen standard	13794750
Oppholdstid av vannet år	ingen standard	0,02
Antall skipsanløp per år	ingen standard	35
Trasélengde for skipsanløp m	120	1000
Oppvirvlet sediment per anløp kg	ingen standard	8333
Bunnareal påvirket av oppvirvling m ²	ingen standard	782250
Fraksjon leire i sedimentet	ingen standard	0,08

Risiko for spredning av miljøgifter

Estimert miljøgiftspredning totalt og via de tre transportveiene (biodiffusjon, resuspensjon fra propeller og transport i næringskjeden) er gitt i Tabell 31 og Tabell 33. Tabellene viser både miljøgiftflukser (mg/m² og år) og årlig transport (mg/år) for hvert stoff. Spredningen skal i følge veilederen beregnes separat for det totale delområdet, og områdene som påvirkes/ikke påvirkes av skipstrafikken. Resultatene av dette er vist i Tabell 33.

Det finnes ikke omforente akseptkriterier for spredning av miljøgifter, bare for konsekvenser av spredningen i form av risiko for human helse og økosystemet. I risikoveilederen sammenliknes spredningen med tilsvarende spredning fra et sediment som akkurat tilfredsstillende Trinn 1. Resultatene viser at de samme stoffene som overskrider grenseverdiene i Trinn 1 også overskrider spredningen fra et slikt sediment (Tabell 31).

Tabell 31. Delområde T4. Beregnet miljøgiftspredning (mg/m² og år) fra sedimentene i hele delområdet via biodiffusjon (F_{diff}), propelloppvirvling (F_{skip}) og gjennom næringskjeden (F_{org}), spredning eksklusive propelloppvirvling, og faktor for overskridelse av total spredning i forhold til et sediment som tilfredsstillert Trinn 1.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling + F _{org} (F _{diff})		Beregnet total spredning (F _{diff} + F _{org} + F _{skip})		Spredning (F _{tot}) dersom C _{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 (mg/m ² /år)	F _{tot} overskrider tillatt spredning med:	
	Maks (mg/m ² /år)	Middel (mg/m ² /år)	F _{tot, maks} (mg/m ² /år)	F _{tot, middel} (mg/m ² /år)		Maks	Middel
Arsen	23.02	15.85	24.41	16.80	55.62		
Bly	15.93	7.69	35.03	16.91	8.76	4.0	1.9
Kadmium	0.04	0.02	0.10	0.06	0.26		
Kobber	44.97	23.26	57.14	29.56	14.11	4.1	2.1
Krom totalt (III + VI)	1.82	1.44	4.77	3.77	53.92		
Kvikksølv	0.15	0.05	0.29	0.10	0.08	3.7	1.3
Nikkel	36.94	23.15	40.18	25.18	34.46	1.2	
Sink	48.11	23.57	79.54	38.96	48.52	1.6	
Naftalen	21.63	5.96	21.66	5.97	142.28		
Acenaftylen	1.07	0.46	1.07	0.46	7.39		
Acenaften	4.48	1.15	4.50	1.15	14.95		
Fluoren	2.60	0.54	2.61	0.54	14.19		
Fenantren	4.69	1.30	4.72	1.31	11.96		
Antracen	1.77	0.39	1.78	0.39	0.60	3.0	
Fluoranten	2.16	0.76	2.20	0.78	0.80	2.7	
Pyren	7.77	2.66	7.85	2.68	2.85	2.8	
Benzo(a)antracen	0.56	0.23	0.58	0.23	0.12	5.0	2.0
Krysen	1.83	0.76	1.85	0.78	0.99	1.9	
Benzo(b)fluoranten	1.75	0.73	1.78	0.75	0.57	3.1	1.3
Benzo(k)fluoranten	1.28	0.46	1.30	0.47	0.51	2.5	
Benzo(a)pyren	1.42	0.64	1.45	0.65	0.98	1.5	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0.51	0.18	0.54	0.19	0.04	13.3	4.7
Dibenzo(a,h)antracen	0.20	0.05	0.21	0.06	0.60		
Benzo(ghi)perylene	2.33	0.56	2.38	0.58	0.04	60.1	14.6
PCB 28	0.27	0.08	0.27	0.08			
PCB 52	2.03	0.49	2.03	0.50			
PCB 101	0.80	0.06	0.81	0.06			
PCB 118	0.02	0.00	0.02	0.00			
PCB 138	0.10	0.01	0.10	0.01			
PCB 153	0.01	0.00	0.01	0.00			
PCB 180	0.02	0.00	0.02	0.00			
Sum PCB7	3.24	0.65	3.25	0.65			
Tributyltinn (TBT-ion)	301.87	82.15	302.61	82.35	1.15E+01	26.3	7.1

Som kontroll på om beregnet spredning er sannsynlig har vi regnet ut den tiden det vil ta å tømme lageret av miljøgifter i de øvre 10 cm av sedimentet med denne spredningen (Tabell 32). Lave tømmetider tilsier at Trinn 2 overestimerer spredningen for en rekke av miljøgiftene. Dette synes å være tilfelle for de fleste lette PAH-forbindelsene og PCB-28 og 52, samt TBT som alle har en tømmetid på under 5 år.

Det er også gjort beregning av samlet årlig transport av hvert av stoffene fra område T4 (Tabell 33). Beregningene er delt inn i samlet transport og transport fra hhv skipspåvirket og ikke-påvirket areal. Høyeste totaltransporten er for TBT med 76 kg/år, og for sink og kobber med hhv 31 og 23 kg/år. Årlig transport av organiske miljøgifter fra området er liten. Hele 85 % av arealet i T4 er påvirket av skipspropeller og for de fleste miljøgiftene er transportbidraget fra dette området også ca 85 % av totaltransporten, dvs. at skipstrafikken har lite å si for transporten av disse stoffene. For noen av metallene er bidraget fra skipspåvirket område større (90-94 %), noe som reflekterer at metallene mobiliseres i større grad av propellerosjon (Figur 15).

I Figur 15 er relativ betydning av de tre spredningsveiene vist. Biodiffusjon og oppvirvling fra skipspropeller betyr omtrent like mye for spredning av metaller, men forårsaker liten spredning av de andre stoffene. Betydningen av spredning i næringskjeden øker gradvis med økende molekylstørrelse blant PAH-forbindelsene.

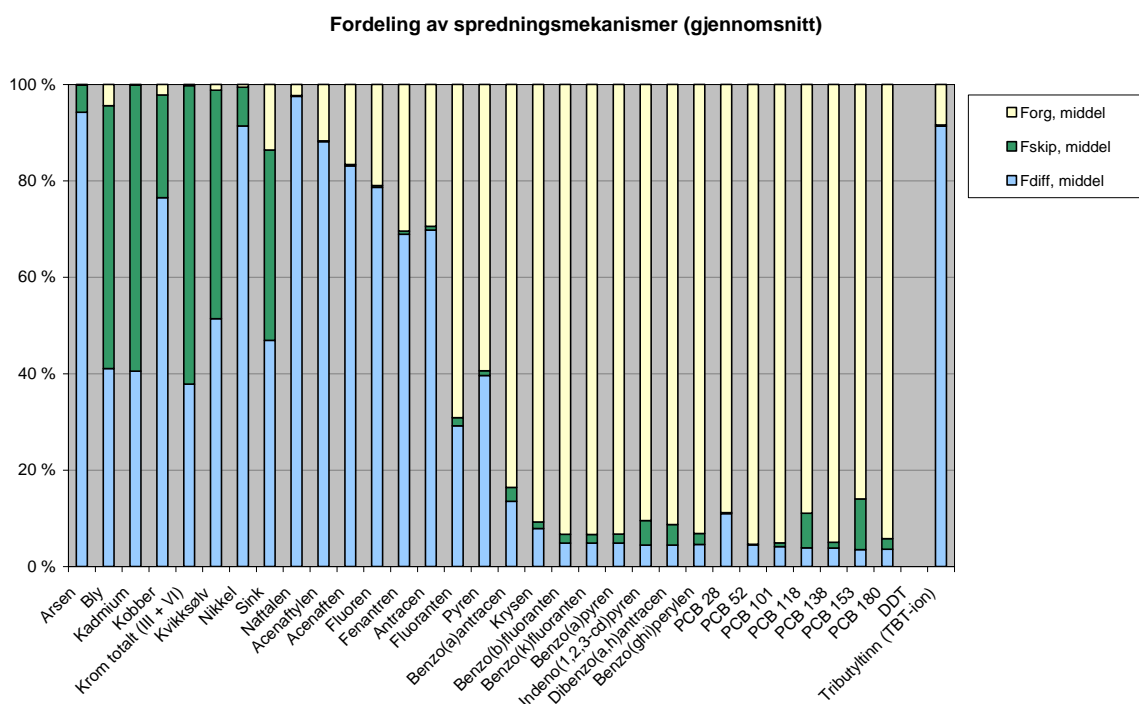
Næringskjedetransport er dominerende for PCB-spredningen. Over 90 % av spredningen av TBT skjer ved biodiffusjon.

Tabell 32. Delområde T4. Anslått tid for å tømme de øvre 10 cm av sedimentet for et stoff med de beregnede spredningshastighetene gitt i Tabell 31. Tømmetider på <5 år er merket rødt.

Stoff	Tid (år) for å tømme lageret i øvre 10 cm av sedimentet	Stoff	Tid (år) for å tømme lageret i øvre 10 cm av sedimentet
Arsen	42,5	Benzo(a)antracen	22,0
Bly	415,6	Krysen	10,2
Kadmium	452,5	Benzo(b)fluoranten	13,8
Kobber	161,6	Benzo(k)fluoranten	13,5
Krom totalt (III + VI)	471,6	Benzo(a)pyren	14,1
Kvikksølv	361,0	Indeno(1,2,3-cd)pyren	38,6
Nikkel	60,5	Dibenzo(a,h)antracen	32,4
Sink	300,9	Benzo(ghi)perylene	17,3
Naftalen	0,3	PCB 28	1,6
Acenaftylene	0,6	PCB 52	0,9
Acenaften	1,3	PCB 101	5,9
Fluoren	2,1	PCB 118	54,8
Fenantren	4,3	PCB 138	8,9
Antracen	5,4	PCB 153	80,3
Fluoranten	12,6	PCB 180	16,8
Pyren	7,0	Tributyltinn (TBT-ion)	0,4

Tabell 33. Delområde T4. Total årlig transport (kg/år) av miljøgifter fra sedimentene fra hele delområdet (Utot), det arealet av området som påvirkes av skipstrafikken (Uskip) og det arealet som ikke påvirkes av skipstrafikken (Utot-Uskip). Tabellen viser også i % hvor stort bidrag til totaltransporten som kommer fra skipspåvirket område.

Stoff	Utot, [kg/år]	Uskip, [kg/år]	Utot-Uskip, [kg/år]	% bidrag fra Uskip
Arsen	15,32	13,14	2,18	86 %
Bly	14,29	13,23	1,06	93 %
Kadmium	0,05	0,04	0,00	93 %
Kobber	26,32	23,12	3,20	88 %
Krom totalt (III + VI)	3,15	2,95	0,20	94 %
Kvikksølv	0,09	0,08	0,01	92 %
Nikkel	22,88	19,70	3,18	86 %
Sink	33,72	30,48	3,24	90 %
Naftalen	5,49	4,67	0,82	85 %
Acenaftylen	0,43	0,36	0,06	85 %
Acenaften	1,06	0,90	0,16	85 %
Fluoren	0,50	0,42	0,07	85 %
Fenantren	1,20	1,02	0,18	85 %
Antracen	0,36	0,31	0,05	85 %
Fluoranten	0,71	0,61	0,10	85 %
Pyren	2,46	2,10	0,36	85 %
Benzo(a)antracen	0,21	0,18	0,03	85 %
Krysen	0,71	0,61	0,11	85 %
Benzo(b)fluoranten	0,69	0,58	0,10	85 %
Benzo(k)fluoranten	0,43	0,37	0,06	85 %
Benzo(a)pyren	0,60	0,51	0,09	85 %
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,17	0,15	0,02	86 %
Dibenzo(a,h)antracen	0,05	0,04	0,01	86 %
Benzo(ghi)perylen	0,53	0,45	0,08	85 %
PCB 28	0,08	0,07	0,01	85 %
PCB 52	0,46	0,39	0,07	85 %
PCB 101	0,05	0,04	0,01	85 %
PCB 118	0,00	0,00	0,00	86 %
PCB 138	0,01	0,01	0,00	85 %
PCB 153	0,00	0,00	0,00	86 %
PCB 180	0,00	0,00	0,00	85 %
Sum PCB-7	0,60	0,51	0,09	85 %
Tributyltinn (TBT-ion)	75,71	64,42	11,29	85 %



Figur 15. Prosentvis fordeling av miljøgiftspredning på de tre spredningsveiene diffusjon (F_{diff} - blå), propelloppvirvling (F_{skip} - grønn) og gjennom næringskjeden (F_{org} - gul) i delområde T4.

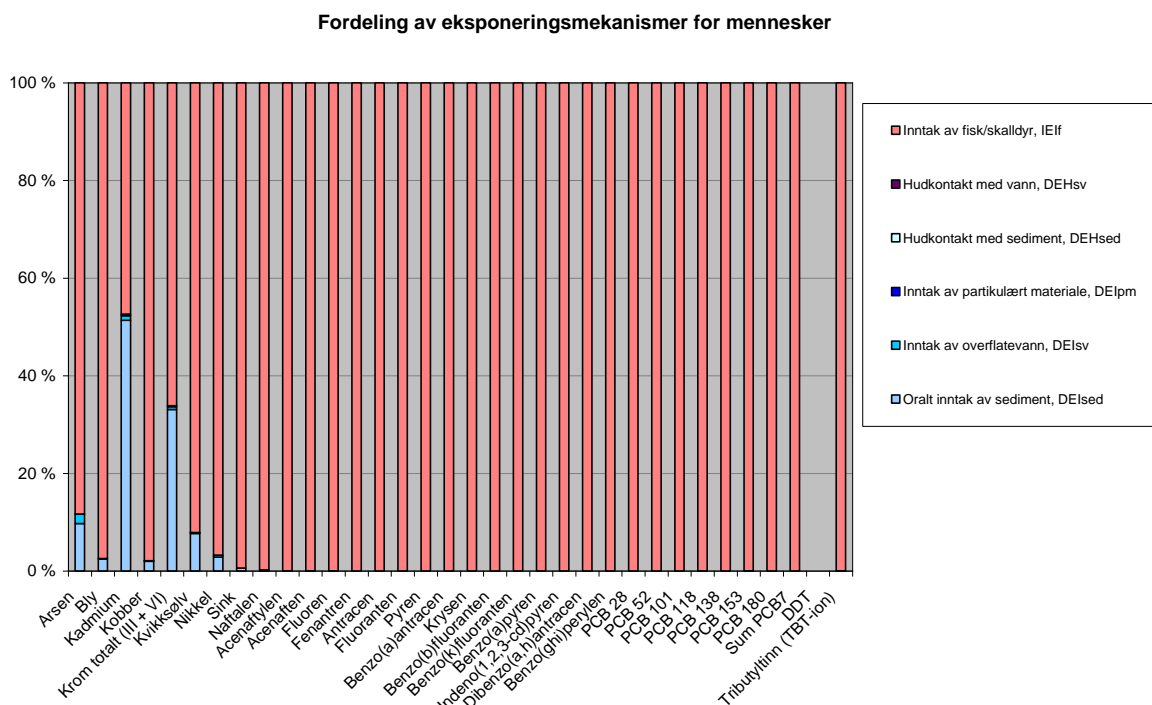
Risiko for effekter på human helse

Ut fra anbefalte miljømål er det aktuelt å bedømme risikoen for skade på human helse både gjennom konsum av sjømat (fritidsfiske) som kan ha mottatt miljøgifter fra sedimentene og gjennom kontakt med miljøgifter i vann og suspendert sediment (bading). Tabell 34 viser beregnet samlet livstidseksposering til miljøgifter fra sedimentene, og hvorvidt denne overskrider vedtatte/anbefalte grenseverdier for slik eksponering. Det legges vekt på hvorvidt gjennomsnittsnivåene i sedimentet gir overskridelse. Overskridelsen er klart høyest for sum PCB-7 og relativt høy også for PAH-forbindelsen benzo(a)pyren (kreftfremkallende) og for TBT. Sedimentene i delområde T4 utgjør derfor en risiko for skade på human helse.

Fordelingen mellom de ulike eksponeringsveiene (Figur 16) viser at den viktigste eksponeringen til de fleste stoffene skjer gjennom konsum av lokal sjømat. Eksponeringen til metaller skjer i større eller mindre grad også gjennom inntak av sedimenter, men for bly som er eneste metall over grenseverdien for livstidseksposering er også eksponering gjennom sjømat dominerende.

Tabell 34. Delområde T4. Beregnet total livstidseksposering (mg/kg kroppsvekt og dag) for de ulike miljøgiftene og faktor for overskridelse i forhold til grenseverdier for human risiko.

Stoff	Beregnet total livstidsdose		Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose overskrider MTR 10 % med:	
	DOSE _{maks} (mg/kg/d)	DOSE _{middel} (mg/kg/d)		Maks	Middel
Arsen	1.06E-04	7.32E-05	1.00E-04	1.1	
Bly	5.34E-03	2.58E-03	3.60E-04	14.8	7.2
Kadmium	1.20E-06	6.91E-07	5.00E-05		
Kobber	4.26E-03	2.20E-03	5.00E-03		
Krom totalt (III + VI)	8.28E-05	6.55E-05	5.00E-04		
Kvikksølv	1.34E-05	4.75E-06	1.00E-05	1.3	
Nikkel	7.89E-04	4.95E-04	5.00E-03		
Sink	3.58E-02	1.75E-02	3.00E-02	1.2	
Naftalen	1.64E-03	4.51E-04	4.00E-03		
Acenaftylen	4.10E-04	1.77E-04			
Acenaften	2.44E-03	6.25E-04			
Fluoren	1.79E-03	3.72E-04			
Fenantren	4.70E-03	1.30E-03	4.00E-03	1.2	
Antracen	1.72E-03	3.75E-04	4.00E-03		
Fluoranten	4.97E-03	1.75E-03	5.00E-03	1.0	
Pyren	1.52E-02	5.21E-03			
Benzo(a)antracen	1.58E-03	6.40E-04	5.00E-04	3.2	1.3
Krysen	5.50E-03	2.30E-03	5.00E-03	1.1	
Benzo(b)fluoranten	5.44E-03	2.28E-03			
Benzo(k)fluoranten	3.97E-03	1.43E-03	5.00E-04	7.9	2.9
Benzo(a)pyren	4.41E-03	1.99E-03	2.30E-06	1919	863
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1.58E-03	5.64E-04	5.00E-04	3.2	1.1
Dibenzo(a,h)antracen	6.21E-04	1.65E-04			
Benzo(ghi)perylen	7.26E-03	1.76E-03	3.00E-03	2.4	0.6
PCB 28	7.86E-04	2.44E-04			
PCB 52	6.33E-03	1.55E-03			
PCB 101	2.51E-03	1.74E-04			
PCB 118	6.04E-05	9.07E-06			
PCB 138	3.00E-04	3.59E-05			
PCB 153	2.20E-05	3.28E-06			
PCB 180	5.70E-05	9.03E-06			
Sum PCB7	1.01E-02	2.02E-03	2.00E-06	5034	1010
Tributyltinn (TBT-ion)	8.33E-02	2.27E-02	2.50E-04	333	91



Figur 16. Prosentvis fordeling av miljøgiftspredning på ulike spredningsveier fra sediment et i delområde T4 til mennesker.

Risiko for økologiske effekter

Resultatene fra Trinn 1, både miljøgiftkonsentrasjoner og samlet toksisitet, viser at sedimentene i delområde T4 utgjør en uakseptabel risiko for effekter på sedimentlevende organismer. Dette støttes av de beregnede porevannskonsentrasjonene som viser overskridelse av omforente grenseverdier (PNEC) for toksisitet i vann for flere av stoffene (Tabell 35); absolutt høyest for TBT med en faktor på 101 000.

Konsentrasjon av miljøgifter i vannmassene i delområde T4 som følge av den beregnede spredningen fra sedimentene er vist i Tabell 36. TBT er eneste som overskrider PNEC, og med en faktor 460. Ut fra dette utgjør TBT i sedimentene en risiko for toksiske effekter på organismer i vannsøylen.

Resultatene fra de passive prøvetakerne i delområde T4 er brukt til å beregne de reelle konsentrasjonene av miljøgifter i vannmassene. Disse beregningene kan betraktes som betydelig mer pålitelige enn de som gjøres ut fra beregnet spredning fra sedimentet i Trinn 2, og dekker de fleste av stoffene. Tabell 36 viser at når de målte vannkonsentrasjonene legges til grunn er det fortsatt bare TBT som overskrider PNEC, men nå med en faktor på 48. Siden man ikke med sikkerhet kan si at den TBT som fanges opp i de passive prøvetakerne kommer fra sedimentene (det kan være andre kilder), er det usikkert om utlekkingen fra sedimentene i det hele tatt utgjør en risiko for toksiske effekter i vannmassene.

Tabell 35. Delområde T4. Beregnede porevannskonsentrasjoner av miljøgifter (mg/l), samt faktor for overskridelse av grenseverdier (PNEC µg/l) for toksiske effekter i sjøvann.

Stoff	Beregnet porevannskonsentrasjon		Målt porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (ug/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:	
	C _{pv, maks} (mg/l)	C _{pv, middel} (mg/l)	C _{pv, maks} (mg/l)	C _{pv, middel} (mg/l)		Maks	Middel
Arsen	3.45E-03	2.38E-03	ikke målt	ikke målt	4.8		
Bly	2.07E-03	9.97E-04	ikke målt	ikke målt	2.2		
Kadmium	7.46E-06	4.30E-06	ikke målt	ikke målt	0.24		
Kobber	8.32E-03	4.30E-03	ikke målt	ikke målt	0.64	13.0	6.7
Krom totalt (III + VI)	4.12E-04	3.26E-04	ikke målt	ikke målt	3.4		
Kvikksølv	2.32E-05	8.23E-06	ikke målt	ikke målt	0.048		
Nikkel	7.54E-03	4.73E-03	ikke målt	ikke målt	2.2	3.4	2.1
Sink	7.21E-03	3.53E-03	ikke målt	ikke målt	2.9	2.5	1.2
Naftalen	3.33E-03	9.19E-04	ikke målt	ikke målt	2.4	1.4	
Acenaftylen	1.67E-04	7.21E-05	ikke målt	ikke målt	1.3		
Acenaften	6.72E-04	1.72E-04	ikke målt	ikke målt	3.8		
Fuoren	3.89E-04	8.08E-05	ikke målt	ikke målt	2.5		
Fenantren	6.49E-04	1.80E-04	ikke målt	ikke målt	1.3		
Antracen	2.48E-04	5.43E-05	ikke målt	ikke målt	0.11	2.3	
Fluoranten	1.40E-04	4.94E-05	ikke målt	ikke målt	0.12	1.2	
Pyren	6.79E-04	2.32E-04	ikke målt	ikke målt	0.023	29.5	10.1
Benzo(a)antracen	1.86E-05	7.52E-06	ikke målt	ikke målt	0.012	1.5	
Krysen	3.47E-05	1.45E-05	ikke målt	ikke målt	0.07		
Benzo(b)fluoranten	2.22E-05	9.30E-06	ikke målt	ikke målt	0.03		
Benzo(k)fluoranten	1.62E-05	5.83E-06	ikke målt	ikke målt	0.027		
Benzo(a)pyren	1.80E-05	8.09E-06	ikke målt	ikke målt	0.05		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	6.46E-06	2.30E-06	ikke målt	ikke målt	0.002	3.2	1.2
Dibenzo(a,h)antracen	2.53E-06	6.74E-07	ikke målt	ikke målt	0.03		
Benzo(ghi)perylene	2.96E-05	7.16E-06	ikke målt	ikke målt	0.002	14.8	3.6
PCB 28	7.69E-06	2.38E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 52	2.58E-05	6.30E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 101	1.02E-05	7.09E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 118	2.46E-07	3.70E-08	ikke målt	ikke målt			
PCB 138	1.22E-06	1.46E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 153	8.97E-08	1.34E-08	ikke målt	ikke målt			
PCB 180	2.32E-07	3.68E-08	ikke målt	ikke målt			
Sum PCB7	4.55E-05	9.63E-06	ikke målt	ikke målt			
Tributyltinn (TBT-ion)	7.79E-02	2.12E-02	ikke målt	ikke målt	0.0002	370851	100922

Tabell 36. Beregnede (fra spredningsestimatene) og målte (passive prøvetakere) konsentrasjoner (mg/l) av miljøgifter i vannmassene i delområde T4, samt faktor for overskridelse av grenseverdier (PNEC µg/l) for toksiske effekter i sjøvann.

Stoff	Beregnet sjøvannskonsentrasjon		Målt sjøvannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (µg/l)	Beregnet sjøvannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:		Målt sjøvannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:	
	C _{sv, maks} (µg/l)	C _{sv, middel} (µg/l)	C _{sv, maks} (mg/l)	C _{sv, middel} (mg/l)		Maks	Middel	Maks	Middel
Arsen	3.13E-02	2.15E-02	ikke målt	ikke målt	4.8				
Bly	4.29E-02	2.07E-02	9.00E-07	9.00E-07	2.2				
Kadmium	1.25E-04	7.19E-05	4.48E-06	4.48E-06	0.24				
Kobber	7.17E-02	3.71E-02	2.85E-05	2.85E-05	0.64				
Krom totalt (III + VI)	6.09E-03	4.82E-03	5.68E-04	5.68E-04	3.4				
Kvikksølv	3.70E-04	1.31E-04	ikke målt	ikke målt	0.048				
Nikkel	5.12E-02	3.21E-02	1.05E-04	1.05E-04	2.2				
Sink	8.81E-02	4.32E-02	7.57E-04	7.57E-04	2.9				
Naftalen	2.71E-02	7.48E-03	2.00E-05	2.00E-05	2.4				
Acenaftalen	1.21E-03	5.24E-04	2.70E-07	2.70E-07	1.3				
Acenaften	4.81E-03	1.23E-03	5.40E-07	5.40E-07	3.8				
Fluoren	2.64E-03	5.49E-04	4.70E-07	4.70E-07	2.5				
Fenantren	4.21E-03	1.17E-03	7.60E-07	7.60E-07	1.3				
Antracen	1.61E-03	3.53E-04	2.40E-07	2.40E-07	0.11				
Fluoranten	8.71E-04	3.07E-04	6.80E-07	6.80E-07	0.12				
Pyren	4.09E-03	1.40E-03	8.30E-07	8.30E-07	0.023				
Benzo(a)antracen	1.22E-04	4.93E-05	2.70E-08	2.70E-08	0.012				
Krysen	2.19E-04	9.18E-05	7.30E-08	7.30E-08	0.07				
Benzo(b)fluoranten	1.53E-04	6.41E-05	2.60E-08	2.60E-08	0.03				
Benzo(k)fluoranten	1.11E-04	4.00E-05	1.00E-08	1.00E-08	0.027				
Benzo(a)pyren	1.25E-04	5.62E-05	9.10E-09	9.10E-09	0.05				
Indeno(1,2,3-cd)pyren	6.52E-05	2.32E-05	1.10E-08	1.10E-08	0.002				
Dibenzo(a,h)antracen	2.32E-05	6.18E-06	3.40E-09	3.40E-09	0.03				
Benzo(ghi)perylen	2.09E-04	5.06E-05	2.30E-08	2.30E-08	0.002				
PCB 28	3.88E-05	1.20E-05	1.70E-08	1.70E-08					
PCB 52	1.20E-04	2.93E-05	2.10E-08	2.10E-08					
PCB 101	5.08E-05	3.52E-06	9.60E-09	9.60E-09					
PCB 118	2.94E-06	4.42E-07	4.90E-09	4.90E-09					
PCB 138	6.21E-06	7.44E-07	4.40E-09	4.40E-09					
PCB 153	1.41E-06	2.10E-07	8.40E-09	8.40E-09					
PCB 180	1.37E-06	2.17E-07	4.90E-09	4.90E-09					
Sum PCB7	2.22E-04	4.65E-05	7.02E-08	7.02E-08					
Tributyltinn (TBT-ion)	3.55E-01	9.67E-02	1.01E-05	1.01E-05	0.0002	1692	460	48	48

3.6.4. KONKLUSJON - RISIKOVURDERING DELOMRÅDE T4

Samlet kan det konkluderes at delområde T4 alene utgjør en risiko for økologiske effekter i sedimentet først og fremst på grunn av TBT og en av de tyngre PAH-forbindelsene. Om sedimentene utgjør en risiko for effekter også i vannmassene er mer usikkert, men dette skyldes i så fall sannsynligvis bare TBT-utlekking. TBT viser den høyeste årlige transporten ut fra sedimentene etterfulgt av sink og kobber, deretter andre metaller. Transporten fra delarealet som påvirkes av skipspropeller samsvarer for de organiske miljøgiftene med størrelsen på dette arealet, mens metalltransporten er relativt sett høyere enn i delarealet som ikke er skipspåvirket. Sedimentenes innhold av PCB og benzo(a)pyren, utgjør størst risiko for skade på human helse, TBT noe mindre. Eksponeringen er så godt som bare fra transport gjennom næringskjeden til lokal sjømat.

3.7. RISIKOVURDERING FOR DELOMRÅDE T6 – VIKA MELLOM LØVØYA OG MELLOMØYA

3.7.1. DELOMRÅDEBESKRIVELSE

T6 er 68 350 m² stort, og ligger i vika mellom Løvøya og Mellomøya. Gjennomsnittdybden er ca 10 meter. Bunn sedimentet består av siltig sand og grus i overflaten og leire under ca 10-15 cm. To stasjoner i dette området var meget sterkt forurensset av kvikksølv, kobber og bly. Under 10 cm var sedimentet her rent. Området blir trafikkert med småbåter, og det er en også en bade plass der.

3.7.2. TRINN 1

Resultatene fra kjemisk karakterisering og toksisitet viser at gjennomsnittskonsentrasjonen av først og fremst kvikksølv overskrider grenseverdiene for økologiske effekter på organismer i sedimentet (Tabell 37). Enkelte andre stoffer viste også svak overskridelse, men TBT var ikke blant disse. Av de tre påkrevde toksisitetstestene var toksisiteten av organisk ekstrakt av sedimentet overfor mikroalgen *Skeletonema costatum* ca 3 ganger høyere enn grenseverdien i Trinn 1 (Tabell 38).

Det var jevnt over liten forskjell i konsentrasjon mellom stasjonene i delområdet (se Øxnevad m.fl. 2011), og intet som tydet på at noen av stasjonene pekte seg ut som spesielt forurensset i forhold til de andre.

Overskridelsen spesielt for kvikksølv medførte at risikovurderingen Trinn 2 ble gjennomført for delområde T6.

Tabell 37. Målte sedimentkonsentrasjoner i delområde T6 (maksimums- og gjennomsnittskonsentrasjon), og overskridelse i forhold til grenseverdiene i Trinn 1.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon overskrider trinn 1 grenseverdi med:	
	Antall prøver	C _{sed, max} (mg/kg)	C _{sed, middel} (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	4	18	13.625	52		
Bly	4	257	124.425	83	3.1	1.5
Kadmium	4	0.87	0.47	2.6		
Kobber	4	610	284.775	51	12.0	5.6
Krom totalt (III + VI)	4	46.9	39.1	560		
Kvikksølv	4	841	336.8675	0.63	1334.9	534.7
Nikkel	4	46.4	35.875	46		
Sink	4	812	395.25	360	2.3	1.1
Naftalen	2	0.012	0.0065	0.29		
Acenaftylen	2	0.01	0.0055	0.033		
Acenaften	2	0.016	0.0105	0.16		
Fluoren	2	0.013	0.0125	0.26		
Fenantren	4	0.166	0.10225	0.50		
Antracen	4	0.06	0.0305	0.031	1.9	
Fluoranten	4	0.52	0.32275	0.17	3.1	1.9
Pyren	4	0.491	0.27475	0.28	1.8	
Benzo(a)antracen	4	0.23	0.11425	0.06	3.8	1.9
Krysen	4	0.325	0.1785	0.28	1.2	
Benzo(b)fluoranten	4	0.329	0.2005	0.24	1.4	
Benzo(k)fluoranten	4	0.165	0.09275	0.21		
Benzo(a)pyren	4	0.303	0.14725	0.42		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	4	0.458	0.2485	0.047	9.7	5.3
Dibenzo(a,h)antracen	4	0.041	0.02775	0.59		
Benzo(ghi)perylene	4	0.176	0.1245	0.021	8.4	5.9
PCB 28	1	0.00035	0.00035			
PCB 52	4	0.00268	0.001685			
PCB 101	4	0.00613	0.0032875			
PCB 118	4	0.00424	0.00249			
PCB 138	4	0.00996	0.0050875			
PCB 153	4	0.00956	0.00475			
PCB 180	3	0.00391	0.002443333			
Sum PCB7	1	3.68E-02	2.01E-02	0.017	2.2	1.2

Tabell 38. Målt sedimenttoksisitet i delområde T6 og overskridelse av grenseverdier i Trinn 1.

Parameter	Målt økotox		Grenseverdi for økotoxitet	Målt økotoxitet overskrider grenseverdi med:	
	Maks	Middel		Maks	Middel
Porevann, Skeletonema (TU)	0.99	0.99	1.0		
Organisk ekstrakt, Skeletonema (TU som l/g)	1.42	1.42	0.5	2.8	2.8
Organisk ekstrakt, DRC _{lux} /EROD (TEQ i ng/kg)	30	30	TEQ < 50 ng/kg		
Helsedimenttest, Arenicola marina (% dødelighet)	ikke målt	ikke målt	20 %		

3.7.3. TRINN 2

Anvendte lokale parameterverdier

For flere av parameterverdiene som inngår i beregningene i Trinn 2 ble sjablongverdiene i veilederen erstattet av stedsspesifikke verdier for delområde T6 (Tabell 39).

Tabell 39. Stedsspesifikke parameterverdier brukt i risikoberegningene under Trinn 2 for delområde T6.

Parameter	Sjablongverdi	Anvendt verdi
Totalt organisk karbon (TOC) %	1	3
Totalt sedimentareal m ²	ingen standard	68350
Vannvolum m ³	ingen standard	683500
Oppholdstid av vannet år	ingen standard	0,02
Antall skipsanløp per år	ingen standard	730
Trasélengde for skipsanløp m	120	280
Oppvirvlet sediment per anløp kg	ingen standard	350
Bunnareal påvirket av oppvirvling m ²	ingen standard	68350
Fraksjon leire i sedimentet	ingen standard	0,05

Risiko for spredning av miljøgifter

Estimert miljøgiftspredning totalt og via de tre transportveiene (biodiffusjon, resuspensjon fra propeller og transport i næringskjeden) er gitt i Tabell 40 og Tabell 42. Tabellene viser både miljøgiftflukser (mg/m² og år) og årlig transport (mg/år) for hvert stoff. Spredningen skal i følge veilederen beregnes separat for det totale delområdet, og områdene som påvirkes/ikke påvirkes av skipstrafikken. I dette tilfellet påvirkes hele delområdet slik at spredningen bare er vist for dette.

Det finnes ikke omforente akseptkriterier for spredning av miljøgifter, bare for konsekvenser av spredningen i form av risiko for human helse og økosystemet. I risikoveilederen sammenliknes spredningen med tilsvarende spredning fra et sediment som akkurat tilfredsstiller Trinn 1. Resultatene viser at de samme stoffene som overskrider grenseverdiene i Trinn 1 også overskrider spredningen fra et slikt sediment (Tabell 40).

Tabell 40. Delområde T6. Beregnet miljøgiftspredning (mg/m² og år) fra sedimentene samlet via biodiffusjon (F_{diff}), propelloppvirvling (F_{skip}) og gjennom næringskjeden (F_{org}), spredning utenom propelloppvirvling, og faktor for overskridelse av total spredning i forhold til et sediment som tilfredsstiller Trinn 1.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling (F _{diff} + F _{org})		Beregnet total spredning (F _{diff} + F _{org} + F _{skip})		Spredning (F _{tot}) dersom C _{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 (mg/m ² /år)	F _{tot} overskrider tillatt spredning med:	
	Maks (mg/m ² /år)	Middel (mg/m ² /år)	F _{tot, maks} (mg/m ² /år)	F _{tot, middel} (mg/m ² /år)		Maks	Middel
Arsen	18.18	13.76	25.11	19.01	72.49		
Bly	12.79	6.19	108.98	52.76	34.88	3.1	1.5
Kadmium	0.04	0.02	0.36	0.20	1.08		
Kobber	135.14	63.09	365.03	170.41	30.27	12.1	5.6
Krom totalt (III + VI)	1.72	1.44	19.29	16.08	230.16		
Kvikksølv	55.76	22.33	370.76	148.51	0.28	1338.6	536.2
Nikkel	32.10	24.82	49.93	38.61	49.35	1.0	
Sink	74.26	36.15	378.63	184.30	161.95	2.3	1.1
Naftalen	2.00	1.08	2.02	1.10	143.87		
Acenaftylen	0.82	0.45	0.84	0.46	7.48		
Acenaften	0.57	0.38	0.59	0.38	15.17		
Fluoren	0.28	0.27	0.29	0.28	14.44		
Fenantren	1.75	1.08	1.83	1.13	12.27		
Antracen	0.51	0.26	0.53	0.27	0.62		
Fluoranten	1.85	1.15	2.05	1.27	0.87	2.4	1.5
Pyren	3.18	1.78	3.38	1.89	2.97	1.1	
Benzo(a)antracen	0.46	0.23	0.55	0.27	0.14	4.0	2.0
Krysen	1.43	0.79	1.56	0.85	1.09	1.4	0.8
Benzo(b)fluoranten	1.06	0.65	1.19	0.72	0.65	1.8	1.1
Benzo(k)fluoranten	0.55	0.31	0.61	0.34	0.58	1.0	
Benzo(a)pyren	0.96	0.47	1.07	0.52	1.12		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0.51	0.28	0.68	0.37	0.06	12.4	6.7
Dibenzo(a,h)antracen	0.06	0.04	0.07	0.05	0.79		
Benzo(ghi)perylene	0.45	0.32	0.52	0.37	0.05	11.2	7.9
PCB 28	0.01	0.01	0.01	0.01			
PCB 52	0.14	0.09	0.14	0.09			
PCB 101	0.05	0.03	0.05	0.03			
PCB 118	0.00	0.00	0.00	0.00			
PCB 138	0.05	0.03	0.05	0.03			
PCB 153	0.00	0.00	0.01	0.00			
PCB 180	0.01	0.01	0.01	0.01			
Sum PCB7	0.27	0.16	0.28	0.17			
Tributyltinn (TBT-ion)	2.33	1.21	2.38	1.23	1.18E+01		

Som kontroll på om beregnet spredning er sannsynlig har vi regnet ut den tiden det vil ta å tømme lageret av miljøgifter i de øvre 10 cm av sedimentet med denne spredningen (Tabell 41). Lave tømmetider tilsier at Trinn 2 overestimerer spredningen for en rekke av miljøgiftene. Dette synes å være tilfelle for de fleste lette PAH-forbindelsene og PCB-28 og 52, samt TBT som alle har en tømmetid på under 5 år.

Det er også gjort beregning av samlet årlig transport av hvert av stoffene fra område T6 (Tabell 42). Høyeste transporten er for kobber, kvikksølv og sink alle med vel 10 kg/år. Transporten av de organiske miljøgiftene og TBT er ubetydelig. Oppvirvling fra propeller er dominerende spredningsvei for de tre nevnte metallene og utgjør hhv 63 %, 85 % og 80 % av total transport fra sedimentet.

Tabell 41. Delområde T6. Anslått tid for å tømme de øvre 10 cm av sedimentet for et stoff med de beregnede spredningshastighetene gitt i Tabell 40. Tømmetider på <5 år er merket rødt.

Stoff	Tid (år) for å tømme lageret i øvre 10 cm av sedimentet	Stoff	Tid (år) for å tømme lageret i øvre 10 cm av sedimentet
Arsen	32,6	Benzo(a)antracen	19,1
Bly	107,3	Krysen	9,5
Kadmium	109,6	Benzo(b)fluoranten	12,6
Kobber	76,0	Benzo(k)fluoranten	12,3
Krom totalt (III + VI)	110,7	Benzo(a)pyren	12,9
Kvikksølv	103,2	Indeno(1,2,3-cd)pyren	30,5
Nikkel	42,3	Dibenzo(a,h)antracen	26,5
Sink	97,6	Benzo(ghi)perylene	15,5
Naftalen	0,3	PCB 28	1,6
Acenaftylen	0,5	PCB 52	0,9
Acenaften	1,2	PCB 101	5,6
Fluoren	2,0	PCB 118	39,8
Fenantren	4,1	PCB 138	8,3
Antracen	5,1	PCB 153	51,6
Fluoranten	11,5	PCB 180	15,0
Pyren	6,6	Tributyltinn (TBT-ion)	0,4

Tabell 42. Delområde T6. Total årlig transport (kg/år) av miljøgifter fra sedimentene i delområde T6.

Stoff	Utot, [kg/år]	Stoff	Utot, [kg/år]
Arsen	1,30	Krysen	0,06
Bly	3,61	Benzo(b)fluoranten	0,05
Kadmium	0,01	Benzo(k)fluoranten	0,02
Kobber	11,65	Benzo(a)pyren	0,04
Krom totalt (III + VI)	1,10	Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,03
Kvikksølv	10,15	Dibenzo(a,h)antracen	0,00
Nikkel	2,64	Benzo(ghi)perylene	0,03
Sink	12,60	PCB 28	0,00
Naftalen	0,07	PCB 52	0,01
Acenaftylen	0,03	PCB 101	0,00
Acenaften	0,03	PCB 118	0,00
Fluoren	0,02	PCB 138	0,00
Fenantren	0,08	PCB 153	0,00
Antracen	0,02	PCB 180	0,00
Fluoranten	0,09	Sum PCB-7	0,01
Pyren	0,13	Tributyltinn (TBT-ion)	0,08
Benzo(a)antracen	0,02		

Risiko for effekter på human helse

Ut fra anbefalte miljømål er det aktuelt å bedømme risikoen for skade på human helse både gjennom konsum av sjømat (fritidsfiske) som kan ha mottatt miljøgifter fra sedimentene og gjennom kontakt med miljøgifter i vann og suspendert sediment (bading).

Tabell 43 viser beregnet samlet livstidseksponering til miljøgifter fra sedimentene, og hvorvidt denne overskrider vedtatte/anbefalte grenseverdier for slik eksponering. Det legges vekt på hvorvidt gjennomsnittsnivåene i sedimentet gir overskridelse. Kvikksølv, PAH-forbindelsen benzo(a)pyren (kreftfremkallende) og sum PCB-7 viser høye overskridelser og sedimentene i delområde T6 utgjør derfor en risiko for skade på human helse. For benzo(a)pyren og sum PCB-7 var eksponeringsveien kun gjennom konsum av lokal sjømat, for kvikksølv er eksponeringen jevnt fordelt mellom inntak av sjømat og inntak av sediment, for eksempel under bading.

Tabell 43. Delområde T6. Beregnet total livstidseksponering (mg/kg kroppsvekt og dag) for de ulike miljøgiftene og faktor for overskridelse i forhold til grenseverdier for human risiko.

Stoff	Beregnet total livstidsdose		Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose overskrider MTR 10 % med:	
	DOSE _{maks} (mg/kg/d)	DOSE _{middel} (mg/kg/d)		Maks	Middel
Arsen	8.58E-05	6.50E-05	1.00E-04		
Bly	4.30E-03	2.08E-03	3.60E-04	12.0	5.8
Kadmium	1.12E-06	6.05E-07	5.00E-05		
Kobber	1.28E-02	5.99E-03	5.00E-03	2.6	1.2
Krom totalt (III + VI)	8.10E-05	6.75E-05	5.00E-04		
Kvikksølv	4.89E-03	1.96E-03	1.00E-05	489.5	196.1
Nikkel	6.90E-04	5.33E-04	5.00E-03		
Sink	5.53E-02	2.69E-02	3.00E-02	1.8	
Naftalen	1.51E-04	8.20E-05	4.00E-03		
Acenaftylen	3.15E-04	1.73E-04			
Acenaften	3.13E-04	2.05E-04			
Fluoren	1.96E-04	1.88E-04			
Fenantren	1.75E-03	1.08E-03	4.00E-03		
Antracen	4.90E-04	2.49E-04	4.00E-03		
Fluoranten	4.25E-03	2.64E-03	5.00E-03		
Pyren	6.24E-03	3.49E-03			
Benzo(a)antracen	1.30E-03	6.46E-04	5.00E-04	2.6	1.3
Krysen	4.31E-03	2.37E-03	5.00E-03		
Benzo(b)fluoranten	3.31E-03	2.02E-03			
Benzo(k)fluoranten	1.70E-03	9.55E-04	5.00E-04	3.4	1.9
Benzo(a)pyren	2.98E-03	1.45E-03	2.30E-06	1295.3	629.5
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1.60E-03	8.67E-04	5.00E-04	3.2	1.7
Dibenzo(a,h)antracen	1.72E-04	1.16E-04			
Benzo(ghi)perylene	1.41E-03	9.95E-04	3.00E-03		
PCB 28	2.93E-05	2.93E-05			
PCB 52	4.37E-04	2.75E-04			
PCB 101	1.48E-04	7.93E-05			
PCB 118	1.02E-05	6.01E-06			
PCB 138	1.59E-04	8.11E-05			
PCB 153	1.53E-05	7.58E-06			
PCB 180	3.27E-05	2.04E-05			
Sum PCB7	8.32E-04	4.99E-04	2.00E-06	415.8	249.4
Tributyltinn (TBT-ion)	6.42E-04	3.33E-04	2.50E-04	2.6	1.3

Risiko for økologiske effekter

Resultatene fra Trinn 1, både miljøgiftkonsentrasjoner og samlet toksisitet, viser at sedimentene i delområde T6 utgjør en uakseptabel risiko for effekter på sedimentlevende organismer. Dette støttes av de beregnede porevannskonsentrasjonene som viser overskridelse av omforente grenseverdier (PNEC) for toksisitet i vann for flere av stoffene (Tabell 44); høyest for TBT med en faktor på 1500, deretter kvikksølv med faktor 70.

Tabell 44. Delområde T6. Beregnede porevannskonsentrasjoner av miljøgifter (mg/l), samt faktor for overskridelse av grenseverdier (PNEC µg/l) for toksiske effekter i sjøvann.

Stoff	Beregnet porevannskonsentrasjon		Målt porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (µg/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:	
	C _{pv, maks} (mg/l)	C _{pv, middel} (mg/l)	C _{pv, maks} (mg/l)	C _{pv, middel} (mg/l)		Maks	Middel
Arsen	2.72E-03	2.06E-03	ikke målt	ikke målt	4.8		
Bly	1.66E-03	8.03E-04	ikke målt	ikke målt	2.2		
Kadmium	6.69E-06	3.62E-06	ikke målt	ikke målt	0.24		
Kobber	2.50E-02	1.17E-02	ikke målt	ikke målt	0.64	39.0	18.2
Krom totalt (III + VI)	3.91E-04	3.26E-04	ikke målt	ikke målt	3.4		
Kvikksølv	8.41E-03	3.37E-03	ikke målt	ikke målt	0.048	175.2	70.2
Nikkel	6.55E-03	5.07E-03	ikke målt	ikke målt	2.2	3.0	2.3
Sink	1.11E-02	5.41E-03	ikke målt	ikke målt	2.9	3.8	1.9
Naftalen	3.08E-04	1.67E-04	ikke målt	ikke målt	2.4		
Acenaftilen	1.28E-04	7.05E-05	ikke målt	ikke målt	1.3		
Acenaften	8.60E-05	5.65E-05	ikke målt	ikke målt	3.8		
Fluoren	4.25E-05	4.08E-05	ikke målt	ikke målt	2.5		
Fenantren	2.42E-04	1.49E-04	ikke målt	ikke målt	1.3		
Antracen	7.09E-05	3.61E-05	ikke målt	ikke målt	0.11		
Fluoranten	1.20E-04	7.45E-05	ikke målt	ikke målt	0.12	1.0	
Pyren	2.78E-04	1.55E-04	ikke målt	ikke målt	0.023	12.1	6.8
Benzo(a)antracen	1.53E-05	7.60E-06	ikke målt	ikke målt	0.012	1.3	
Krysen	2.72E-05	1.49E-05	ikke målt	ikke målt	0.07		
Benzo(b)fluoranten	1.35E-05	8.22E-06	ikke målt	ikke målt	0.03		
Benzo(k)fluoranten	6.92E-06	3.89E-06	ikke målt	ikke målt	0.027		
Benzo(a)pyren	1.21E-05	5.90E-06	ikke målt	ikke målt	0.05		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	6.51E-06	3.53E-06	ikke målt	ikke målt	0.002	3.3	1.8
Dibenzo(a,h)antracen	7.01E-07	4.74E-07	ikke målt	ikke målt	0.03		
Benzo(ghi)perylen	5.73E-06	4.06E-06	ikke målt	ikke målt	0.002	2.9	2.0
PCB 28	2.87E-07	2.87E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 52	1.78E-06	1.12E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 101	6.03E-07	3.23E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 118	4.17E-08	2.45E-08	ikke målt	ikke målt			
PCB 138	6.47E-07	3.31E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 153	6.21E-08	3.09E-08	ikke målt	ikke målt			
PCB 180	1.33E-07	8.33E-08	ikke målt	ikke målt			
Sum PCB7	3.56E-06	2.20E-06	ikke målt	ikke målt			
Tributyltinn (TBT-ion)	6.00E-04	3.11E-04	ikke målt	ikke målt	0.0002	2857	1483

Direkte målinger av miljøgifter i vannmassene med passive prøvetakere ble ikke gjort i delområde T6. Beregnede konsentrasjoner på basis av spredningen fra sedimentene viser at TBT overskrider PNEC med en faktor ca 10 og kvikksølv med en faktor 6 (Tabell 45). Dette betyr at sedimentene utgjør en risiko for toksiske effekter på organismer i vannsøylen.

Tabell 45. Beregnede konsentrasjoner ($\mu\text{g/l}$) av miljøgifter i vannmassene i delområde T6, samt faktor for overskridelse av grenseverdier (PNEC $\mu\text{g/l}$) for toksiske effekter i sjøvann.

Stoff	Beregnet sjøvanns-konsentrasjon		Målt sjøvanns-konsentrasjon		Grense-verdi for økologisk risiko, PNEC _w ($\mu\text{g/l}$)	Beregnet sjøvannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:	
	C _{sv, maks} ($\mu\text{g/l}$)	C _{sv, middel} ($\mu\text{g/l}$)	C _{sv, maks} (mg/l)	C _{sv, middel} (mg/l)		Maks	Middel
Arsen	4.82E-02	3.65E-02	ikke målt	ikke målt	4.8		
Bly	2.07E-01	1.00E-01	ikke målt	ikke målt	2.2		
Kadmium	6.95E-04	3.75E-04	ikke målt	ikke målt	0.24		
Kobber	6.95E-01	3.24E-01	ikke målt	ikke målt	0.64	1.1	
Krom totalt (III + VI)	3.71E-02	3.09E-02	ikke målt	ikke målt	3.4		
Kvikksølv	7.11E-01	2.85E-01	ikke målt	ikke målt	0.048	14.8	5.9
Nikkel	9.56E-02	7.40E-02	ikke målt	ikke målt	2.2		
Sink	6.96E-01	3.39E-01	ikke målt	ikke målt	2.9		
Naftalen	3.80E-03	2.06E-03	ikke målt	ikke målt	2.4		
Acenaftylen	1.42E-03	7.82E-04	ikke målt	ikke målt	1.3		
Acenaften	9.44E-04	6.19E-04	ikke målt	ikke målt	3.8		
Fluoren	4.46E-04	4.29E-04	ikke målt	ikke målt	2.5		
Fenantren	2.48E-03	1.53E-03	ikke målt	ikke målt	1.3		
Antracen	7.37E-04	3.75E-04	ikke målt	ikke målt	0.11		
Fluoranten	1.45E-03	8.98E-04	ikke målt	ikke målt	0.12		
Pyren	2.84E-03	1.59E-03	ikke målt	ikke målt	0.023		
Benzo(a)antracen	2.91E-04	1.45E-04	ikke målt	ikke målt	0.012		
Krysen	4.58E-04	2.51E-04	ikke målt	ikke målt	0.07		
Benzo(b)fluoranten	3.40E-04	2.07E-04	ikke målt	ikke målt	0.03		
Benzo(k)fluoranten	1.72E-04	9.66E-05	ikke målt	ikke målt	0.027		
Benzo(a)pyren	3.11E-04	1.51E-04	ikke målt	ikke målt	0.05		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	3.76E-04	2.04E-04	ikke målt	ikke målt	0.002		
Dibenzo(a,h)antracen	3.45E-05	2.33E-05	ikke målt	ikke målt	0.03		
Benzo(ghi)perylen	1.68E-04	1.19E-04	ikke målt	ikke målt	0.002		
PCB 28	2.42E-06	2.42E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 52	1.43E-05	8.99E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 101	8.28E-06	4.44E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 118	3.32E-06	1.95E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 138	1.10E-05	5.64E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 153	7.24E-06	3.60E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 180	3.56E-06	2.23E-06	ikke målt	ikke målt			
Sum PCB7	5.02E-05	2.93E-05	ikke målt	ikke målt			
Tributyltinn (TBT-ion)	4.20E-03	2.18E-03	ikke målt	ikke målt	0.0002	20.0	10.4

3.7.4. KONKLUSJON - RISIKOVURDERING DELOMRÅDE T6

Samlet kan det konkluderes at delområde T6 alene utgjør en risiko for økologiske effekter i sedimentet først og fremst på grunn av høyt innhold av kvikksølv. Både kvikksølv og TBT indikerer videre at sedimentene utgjør en risiko for økologiske effekter i vannmassene i delområdet. Årlig utlekking fra sedimentene var størst for kobber, kvikksølv og sink og ubetydelig for de øvrige stoffene. Viktigste spredningsvei for metallene (63 – 85 %) var via propelloppvirvling. Sedimentenes innhold av kvikksølv, benzo(a)pyren og TBT utgjør en risiko for skade på human helse. Eksponeringen for de to siste er bare gjennom næringskjeden til lokal sjømat. For kvikksølv er risikoen jevnt fordelt mellom inntak av sjømat og eventuelt inntak av sediment.

3.8. RISIKOVURDERING FOR DELOMRÅDE T7 – OMRÅDET MELLOM ØSTØYA OG MELLOMØYA

3.8.1. DELOMRÅDEBESKRIVELSE

T7 ligger i vika mellom Østøya og Mellomøya. Området blir trafikkert av småbåter, men det er ikke lov å gå i land på Mellomøya og Østøya. En stasjon har sedimenter som er sterkt forurenset av tungmetaller og PCB. De andre stasjonene der er mindre forurenset av disse stoffene. Sedimentene er i tilstandsklasse *dårlig* for TBT.

3.8.2. TRINN 1

Resultatene fra kjemisk karakterisering og toksisitet viser at gjennomsnittskonsentrasjonen av metaller kobber, alle PAH-forbindelsene unntatt naftalen og TBT overskrider grenseverdiene for økologiske effekter på organismer i sedimentet (Tabell 46). Overskridelsene var moderate med høyeste faktor ca 6 (benzo(ghi)perylen). Av de tre påkrevde toksisitetstestene var toksisiteten av organisk ekstrakt av sedimentet overfor mikroalgen *Skeletonema costatum* over grenseverdien i Trinn 1 (Tabell 47). Overskridelsen var også her moderat.

For PCB-forbindelsene var det stor forskjell i konsentrasjon mellom stasjon S8 (helt ved land) og de øvrige (se Øxnevad m.fl. 2011). Ved en eventuell tiltaksvurdering bør man se på om denne stasjonen utgjør en "hotspot" som et tiltak kan begrense seg til).

Overskridelsen medførte at risikovurderingen Trinn 2 ble gjennomført for delområde T7.

Tabell 46. Målte sedimentkonsentrasjoner i delområde T7 (maksimums- og gjennomsnittskonsentrasjon), og overskridelse i forhold til grenseverdiene i Trinn 1.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon overskrider trinn 1 grenseverdi med:	
	Antall prøver	C _{sed, max} (mg/kg)	C _{sed, middel} (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	9	15.5	12.11888889	52		
Bly	9	96.9	69.68888889	83	1.2	
Kadmium	9	0.38	0.176666667	2.6		
Kobber	9	84	52.4	51	1.6	1.0
Krom totalt (III + VI)	9	33.7	27.25555556	560		
Kvikksølv	9	2.29	0.89	0.63	3.6	1.4
Nikkel	9	28.7	21.9	46		
Sink	9	206	119.6	360		
Naftalen	9	0.016	0.007111111	0.29		
Acenaftylen	9	0.005	0.005	0.033		
Acenaften	9	0.024	0.010555556	0.16		
Fluoren	9	0.024	0.010333333	0.26		
Fenantren	9	0.24	0.100111111	0.50		
Antracen	9	0.082	0.033	0.031	2.6	1.1
Fluoranten	9	0.411	0.219777778	0.17	2.4	1.3
Pyren	9	0.393	0.197333333	0.28	1.4	
Benzo(a)antracen	9	0.163	0.096444444	0.06	2.7	1.6
Krysen	9	0.247	0.136555556	0.28		
Benzo(b)fluoranten	9	0.287	0.165111111	0.24	1.2	
Benzo(k)fluoranten	9	0.124	0.077444444	0.21		
Benzo(a)pyren	9	0.224	0.126777778	0.42		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	9	0.335	0.180555556	0.047	7.1	3.8
Dibenzo(a,h)antracen	9	0.05	0.030888889	0.59		
Benzo(ghi)perylene	9	0.192	0.124777778	0.021	9.1	5.9
PCB 28	5	0.0181	0.0064			
PCB 52	9	0.0593	0.010737778			
PCB 101	9	0.0493	0.010435556			
PCB 118	9	0.0398	0.008047778			
PCB 138	9	0.0362	0.010192222			
PCB 153	9	0.0327	0.008493333			
PCB 180	9	0.0133	0.00346			
Sum PCB7	5	2.49E-01	5.78E-02	0.017	14.6	3.4
Tributyltinn (TBT-ion)	8	0.0688	0.0424375	0.035	2.0	1.2

Tabell 47. Målt sedimenttoksisitet i delområde T7 og overskridelse av grenseverdier i Trinn 1.

Parameter	Målt økotoks		Grenseverdi for økotoksisitet	Målt økotoksisitet overskrider grenseverdi med:	
	Maks	Middel		Maks	Middel
Porevann, Skeletonema (TU)	0.99	0.99	1.0		
Organisk ekstrakt, Skeletonema (TU som l/g)	1.66	1.66	0.5	3.3	3.3
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	12	12	TEQ < 50 ng/kg		
Helsedimenttest, Arenicola marina (% dødelighet)	ikke målt	ikke målt	20 %		

3.8.3. TRINN 2

Anvendte lokale parameterverdier

For flere av parameterverdiene som inngår i beregningene i Trinn 2 ble sjablongverdiene i veilederen erstattet av stedsspesifikke verdier for delområde T7 (Tabell 48).

Tabell 48. Stedsspesifikke parameterverdier brukt i risikoberegningene under Trinn 2 for delområde T7.

Parameter	Sjablongverdi	Anvendt verdi
Totalt organisk karbon (TOC) %	1	2
Totalt sedimentareal m ²	ingen standard	154290
Vannvolum m ³	ingen standard	1080030
Oppholdstid av vannet år	ingen standard	0,02
Antall skipsanløp per år	ingen standard	1825
Trasélengde for skipsanløp m	120	370
Oppvirvlet sediment per anløp kg	ingen standard	463
Bunnareal påvirket av oppvirvling m ²	ingen standard	154290
Fraksjon leire i sedimentet	ingen standard	0,05

Risiko for spredning av miljøgifter

Estimert miljøgiftspredning totalt og via de tre transportveiene (biodiffusjon, resuspensjon fra propeller og transport i næringskjeden) er gitt i Tabell 49 og Tabell 51. Tabellene viser både miljøgiftflukser (mg/m² og år) og årlig transport (mg/år) for hvert stoff. Spredningen skal i følge veilederen beregnes separat for det totale delområdet, og områdene som påvirkes/ikke påvirkes av skipstrafikken. I dette tilfellet påvirkes hele delområdet slik at spredningen bare er vist for dette.

Det finnes ikke omforente akseptkriterier for spredning av miljøgifter, bare for konsekvenser av spredningen i form av risiko for human helse og økosystemet. I risikoveilederen sammenliknes spredningen med tilsvarende spredning fra et sediment som akkurat tilfredsstiller Trinn 1. Resultatene viser at spredningsoverskridelsene er lave, og at de samme stoffene som overskrider grenseverdiene i Trinn 1 også overskrider spredningen fra et slikt sediment (Tabell 49), med unntak av antracen og TBT der spredningen ikke overskrider referansespredningen.

Tabell 49. Delområde T7. Beregnet miljøgiftspredning (mg/m² og år) fra sedimentene samlet via biodiffusjon (F_{diff}), propelloppvirvling (F_{skip}) og gjennom næringskjeden (F_{org}), spredning utenom propelloppvirvling, og faktor for overskridelse av total spredning i forhold til et sediment som tilfredsstillende Trinn 1.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling (F _{diff} + F _{org})		Beregnet total spredning (F _{diff} + F _{org} + F _{skip})		Spredning (F _{tot}) dersom C _{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 (mg/m ² /år)	F _{tot} overskrider tillatt spredning med:	
	Maks (mg/m ² /år)	Middel (mg/m ² /år)	F _{tot, maks} (mg/m ² /år)	F _{tot, middel} (mg/m ² /år)		Maks	Middel
Arsen	15,65111315	12,23703879	2,44E+01	1,91E+01	8,18E+01		
Bly	4,822696521	3,468404148	5,79E+01	4,16E+01	4,93E+01	1,2	
Kadmium	0,015519531	0,007215221	2,24E-01	1,04E-01	1,53E+00		
Kobber	18,60910637	11,60853778	6,49E+01	4,05E+01	3,92E+01	1,7	1,0
Krom totalt (III + VI)	1,238825143	1,001924852	1,97E+01	1,59E+01	3,27E+02		
Kvikksølv	0,151823043	0,059005462	1,41E+00	5,47E-01	3,86E-01	3,6	1,4
Nikkel	19,85458556	15,1503632	3,60E+01	2,75E+01	5,75E+01		
Sink	18,84052951	10,93848218	1,32E+02	7,65E+01	2,24E+02		
Naftalen	3,99361344	1,774939307	4,07E+00	1,81E+00	1,45E+02		
Acenafylen	0,616729362	0,616729362	6,30E-01	6,30E-01	7,53E+00		
Acenaften	1,291141394	0,567863113	1,33E+00	5,83E-01	1,53E+01		
Fluoren	0,785790946	0,338326657	8,12E-01	3,50E-01	1,46E+01		
Fenantren	3,787861645	1,580029325	3,98E+00	1,66E+00	1,24E+01		
Antracen	1,036340809	0,417063984	1,10E+00	4,42E-01	6,27E-01	1,8	
Fluoranten	2,193027692	1,172697695	2,43E+00	1,30E+00	9,00E-01	2,7	1,4
Pyren	3,817924834	1,917058101	4,07E+00	2,04E+00	3,04E+00	1,3	
Benzo(a)antracen	0,491244409	0,290661313	5,82E-01	3,44E-01	1,47E-01	4,0	2,3
Krysen	1,632676336	0,902635725	1,77E+00	9,79E-01	1,14E+00	1,6	
Benzo(b)fluoranten	1,393287369	0,801558277	1,55E+00	8,93E-01	6,93E-01	2,2	1,3
Benzo(k)fluoranten	0,615998452	0,384723048	6,85E-01	4,28E-01	6,18E-01	1,1	
Benzo(a)pyren	1,06273214	0,601476871	1,19E+00	6,72E-01	1,19E+00	1,0	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,562151468	0,302983793	7,46E-01	4,02E-01	6,34E-02	11,8	6,3
Dibenzo(a,h)antracen	0,100846582	0,062300777	1,28E-01	7,93E-02	8,90E-01	0,1	
Benzo(ghi)perylen	0,738076637	0,479664389	8,44E-01	5,49E-01	5,00E-02	16,9	11,0
PCB 28	0,780989263	0,2761509	7,93E-01	2,81E-01			
PCB 52	4,647797361	0,84160228	4,69E+00	8,49E-01			
PCB 101	0,569409208	0,120529441	5,97E-01	1,26E-01			
PCB 118	0,045963106	0,009293992	6,78E-02	1,37E-02			
PCB 138	0,275403377	0,077540675	2,96E-01	8,32E-02			
PCB 153	0,024879538	0,006462086	4,28E-02	1,11E-02			
PCB 180	0,052977915	0,013782224	6,03E-02	1,57E-02			
Sum PCB7	6,40E+00	1,35E+00	6,54E+00	1,38E+00			
Tributyltinn (TBT-ion)	12,121866	7,477059421	1,25E+01	7,71E+00	1,19E+01	1,1	

Som kontroll på om beregnet spredning er sannsynlig har vi regnet ut den tiden det vil ta å tømme lageret av miljøgifter i de øvre 10 cm av sedimentet med denne spredningen (Tabell 50). Lave tømmetider tilsier at Trinn 2 overestimerer spredningen for en rekke av miljøgiftene. Dette synes å være tilfelle for de fleste lette PAH-forbindelsene og PCB-28, 52 og 101, samt TBT som alle har en tømmetid på under 5 år.

Det er også gjort beregning av samlet årlig transport av hvert av stoffene fra område T7 (Tabell 51). Høyeste transporten er for sink og antracen med 12 kg/år, etterfulgt av de andre metallene unntatt kadmium og kvikksølv.

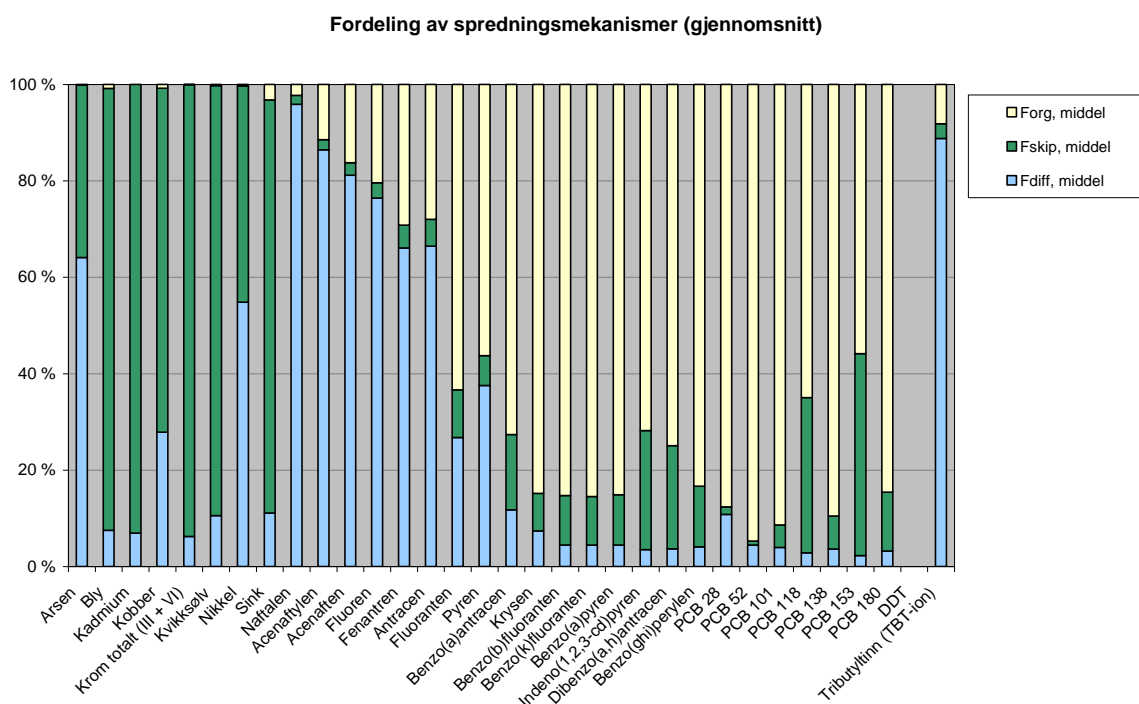
I Figur 17 er relativ betydning av de tre spredningsveiene vist. Oppvirvling fra skipspropeller er klart dominerende transportveg for spredning av metaller. Man bør imidlertid huske at bare spredningen av krom overskred spredningen fra et Trinn 1 sediment. Oppvirvling bidrar med 3 – 40 % av spredningen for de andre stoffene, mest for PCB. Spredningen av de lettere PAH-forbindelsene skyldes primært biodiffusjon. For de tunge PAH-forbindelsene og for PCB skjer mesteparten av spredningen gjennom næringskjeden. Ca 90 % av spredningen av TBT skjer ved biodiffusjon.

Tabell 50. Delområde T7. Anslått tid for å tømme de øvre 10 cm av sedimentet for et stoff med de beregnede spredningshastighetene gitt i Tabell 49. Tømmetider på <5 år er merket rødt.

Stoff	Tid (år) for å tømme lageret i øvre 10 cm av sedimentet	Stoff	Tid (år) for å tømme lageret i øvre 10 cm av sedimentet
Arsen	28,9	Benzo(a)antracen	12,7
Bly	76,1	Krysen	6,3
Kadmium	77,3	Benzo(b)fluoranten	8,4
Kobber	58,9	Benzo(k)fluoranten	8,2
Krom totalt (III + VI)	77,8	Benzo(a)pyren	8,6
Kvikksølv	74,0	Indeno(1,2,3-cd)pyren	20,4
Nikkel	36,3	Dibenzo(a,h)antracen	17,7
Sink	71,1	Benzo(ghi)perylene	10,3
Naftalen	0,2	PCB 28	1,0
Acenaftylen	0,4	PCB 52	0,6
Acenaften	0,8	PCB 101	3,8
Fluoren	1,3	PCB 118	26,7
Fenantren	2,7	PCB 138	5,6
Antracen	3,4	PCB 153	34,8
Fluoranten	7,7	PCB 180	10,0
Pyren	4,4	Tributyltinn (TBT-ion)	0,3

Tabell 51. Delområde T7. Total årlig transport (kg/år) av miljøgifter fra sedimentene i delområde T7.

Stoff	Utot, [kg/år]	Stoff	Utot, [kg/år]
Arsen	2,94	Krysen	0,15
Bly	6,42	Benzo(b)fluoranten	0,14
Kadmium	0,02	Benzo(k)fluoranten	0,07
Kobber	6,25	Benzo(a)pyren	0,10
Krom totalt (III + VI)	2,46	Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,06
Kvikksølv	0,08	Dibenzo(a,h)antracen	0,01
Nikkel	4,24	Benzo(ghi)perylene	0,08
Sink	11,81	PCB 28	0,04
Naftalen	0,28	PCB 52	0,13
Acenaftylen	0,10	PCB 101	0,02
Acenaften	0,09	PCB 118	0,00
Fluoren	0,05	PCB 138	0,01
Fenantren	0,26	PCB 153	0,00
Antracen	0,07	PCB 180	0,00
Fluoranten	0,20	Sum PCB-7	0,21
Pyren	0,32	Tributyltinn (TBT-ion)	1,19
Benzo(a)antracen	0,05		



Figur 17. Prosentvis fordeling av miljøgiftspredning på de tre spredningsveiene diffusjon (F_{diff} - blå), propelloppvirvling (F_{skip} - grønn) og gjennom næringskjeden (F_{org} - gul) i delområde T7.

Risiko for effekter på human helse

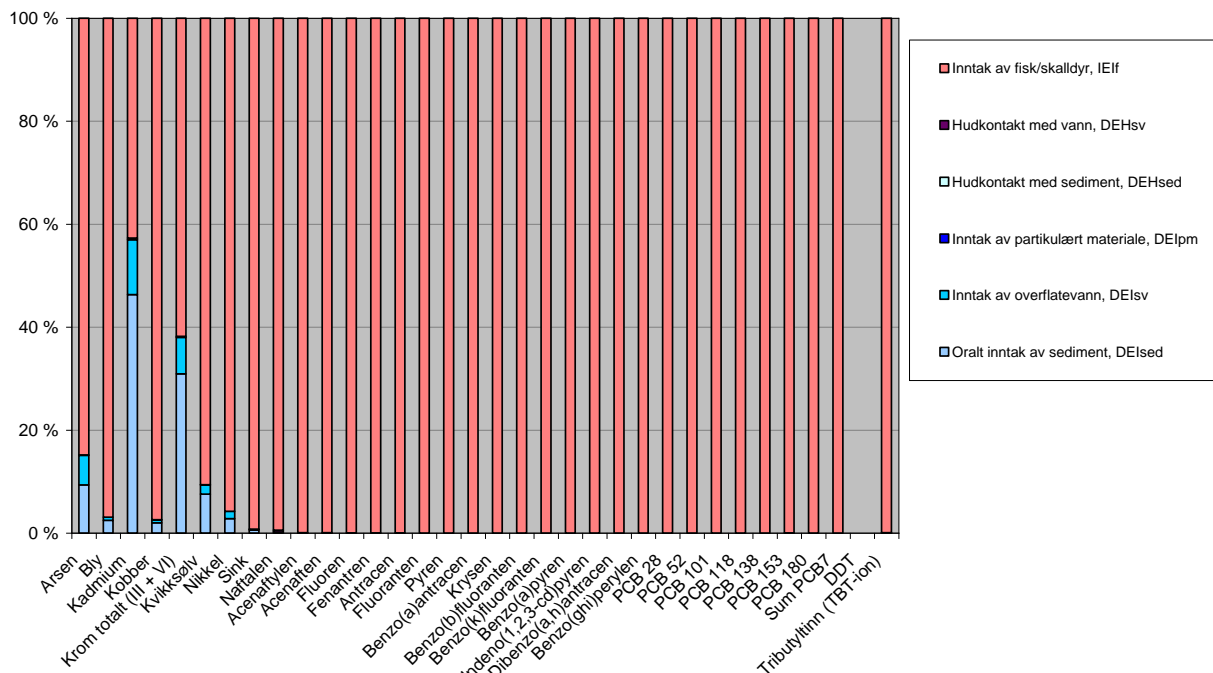
Ut fra anbefalte miljømål er det aktuelt å bedømme risikoen for skade på human helse både gjennom konsum av sjømat (fritidsfiske) som kan ha mottatt miljøgifter fra sedimentene og gjennom kontakt med miljøgifter i vann og suspendert sediment (bading). Tabell 52 viser beregnet samlet livstidseksponering til miljøgifter fra sedimentene, og hvorvidt denne overskrider vedtatte/anbefalte grenseverdier for slik eksponering. Det legges vekt på hvorvidt gjennomsnittsnivåene i sedimentet gir overskridelse. Overskridelsen er høyest for sum PCB-7, men også betydelig for PAH-forbindelsen benzo(a)pyren (kreftfremkallende). Sedimentene i delområde T7 utgjør derfor en risiko for skade på human helse.

Fordelingen mellom de ulike eksponeringsveiene (Figur 18) viser at den viktigste eksponeringen til de fleste stoffene skjer gjennom konsum av lokal sjømat. Eksponeringen til metaller skjer i noen grad også gjennom inntak av sjøvann og sedimenter, men for bly som er eneste metall over grenseverdien for livstidseksponering er også eksponering gjennom sjømat dominerende.

Tabell 52. Delområde T7. Beregnet total livstidseksposering (mg/kg kroppsvekt og dag) for de ulike miljøgiftene og faktor for overskridelse i forhold til grenseverdier for human risiko.

Stoff	Beregnet total livstidsdose		Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose overskrider MTR 10 % med:	
	DOSE _{maks} (mg/kg/d)	DOSE _{middel} (mg/kg/d)		Maks	Middel
Arsen	7,59E-05	5,93E-05	1,00E-04		
Bly	1,63E-03	1,17E-03	3,60E-04	4,5	3,3
Kadmium	5,13E-07	2,39E-07	5,00E-05		
Kobber	1,77E-03	1,11E-03	5,00E-03		
Krom totalt (III + VI)	6,03E-05	4,88E-05	5,00E-04		
Kvikksølv	1,35E-05	5,24E-06	1,00E-05	1,3	
Nikkel	4,30E-04	3,28E-04	5,00E-03		
Sink	1,40E-02	8,16E-03	3,00E-02		
Naftalen	3,04E-04	1,35E-04	4,00E-03		
Acenaftalen	2,37E-04	2,37E-04			
Acenaften	7,04E-04	3,10E-04			
Fluoren	5,42E-04	2,33E-04			
Fenantren	3,80E-03	1,58E-03	4,00E-03		
Antracen	1,01E-03	4,05E-04	4,00E-03		
Fluoranten	5,04E-03	2,70E-03	5,00E-03	1,0	
Pyren	7,49E-03	3,76E-03			
Benzo(a)antracen	1,38E-03	8,18E-04	5,00E-04	2,8	1,6
Krysen	4,91E-03	2,72E-03	5,00E-03		
Benzo(b)fluoranten	4,33E-03	2,49E-03			
Benzo(k)fluoranten	1,91E-03	1,20E-03	5,00E-04	3,8	2,4
Benzo(a)pyren	3,30E-03	1,87E-03	2,30E-06	1436	813
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,75E-03	9,45E-04	5,00E-04	3,5	1,9
Dibenzo(a,h)antracen	3,15E-04	1,94E-04			
Benzo(ghi)perylene	2,30E-03	1,50E-03	3,00E-03		
PCB 28	2,27E-03	8,04E-04			
PCB 52	1,45E-02	2,63E-03			
PCB 101	1,78E-03	3,78E-04			
PCB 118	1,44E-04	2,91E-05			
PCB 138	8,66E-04	2,44E-04			
PCB 153	7,82E-05	2,03E-05			
PCB 180	1,67E-04	4,34E-05			
Sum PCB7	1,98E-02	4,15E-03	2,00E-06	9916	2074
Tributyltinn (TBT-ion)	3,35E-03	2,06E-03	2,50E-04	13,4	8,3

Fordeling av eksponeringsmekanismer for menneske



Figur 18. Prosentvis fordeling av miljøgiftspredning på ulike spredningsveier fra sediment et i delområde T7 til mennesker.

Risiko for økologiske effekter

Resultatene fra Trinn 1, både miljøgiftkonsentrasjoner og samlet toksisitet, viser at sedimentene i delområde T7 utgjør en uakseptabel risiko for effekter på sedimentlevende organismer. Dette støttes av de beregnede porevannskonsentrasjonene som viser overskridelse av omforente grenseverdier (PNEC) for toksisitet i vann for flere av stoffene (Tabell 53); klart høyest for TBT med en faktor på ca 9000.

Konsentrasjon av miljøgifter i vannmassene i delområde T7 som følge av den beregnede spredningen fra sedimentene er vist i Tabell 54. Det er bare TBT som overskrider PNEC og med en faktor ca 90. Ut fra dette utgjør TBT i sedimentene en risiko for toksiske effekter på organismer i vannsøylen.

Resultatene fra de passive prøvetakerne i delområde T7 er brukt til å beregne de reelle konsentrasjonene av miljøgifter i vannmassene. Disse beregningene kan betraktes som betydelig mer pålitelige enn de som gjøres ut fra beregnet spredning fra sedimentet i Trinn 2, og dekker de fleste av stoffene. Tabell 54 viser at når de målte vannkonsentrasjonene legges til grunn er det fortsatt bare TBT som overskrider PNEC, og med en faktor på 53. Siden man ikke med sikkerhet kan si at den TBT som fanges opp i de passive prøvetakerne kommer fra sedimentene (det kan være andre kilder), er det usikkert om utlekkingen fra sedimentene utgjør en risiko for toksiske effekter i vannmassene.

Tabell 53. Delområde T7. Beregnede porevannskonsentrasjoner av miljøgifter (mg/l), samt faktor for overskridelse av grenseverdier (PNEC µg/l) for toksiske effekter i sjøvann.

Stoff	Beregnet porevannskonsentrasjon		Målt porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (ug/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:	
	C _{pv, maks} (mg/l)	C _{pv, middel} (mg/l)	C _{pv, maks} (mg/l)	C _{pv, middel} (mg/l)		Maks	Middel
Arsen	2,35E-03	1,83E-03	ikke målt	ikke målt	4,8		
Bly	6,26E-04	4,50E-04	ikke målt	ikke målt	2,2		
Kadmium	2,92E-06	1,36E-06	ikke målt	ikke målt	0,24		
Kobber	3,44E-03	2,15E-03	ikke målt	ikke målt	0,64	5,4	3,4
Krom totalt (III + VI)	2,81E-04	2,27E-04	ikke målt	ikke målt	3,4		
Kvikksølv	2,29E-05	8,90E-06	ikke målt	ikke målt	0,048		
Nikkel	4,05E-03	3,09E-03	ikke målt	ikke målt	2,2	1,8	1,4
Sink	2,82E-03	1,64E-03	ikke målt	ikke målt	2,9	1,0	
Naftalen	6,15E-04	2,74E-04	ikke målt	ikke målt	2,4		
Acenaftalen	9,62E-05	9,62E-05	ikke målt	ikke målt	1,3		
Acenaften	1,94E-04	8,51E-05	ikke målt	ikke målt	3,8		
Fluoren	1,18E-04	5,07E-05	ikke målt	ikke målt	2,5		
Fenantren	5,24E-04	2,19E-04	ikke målt	ikke målt	1,3		
Antracen	1,45E-04	5,85E-05	ikke målt	ikke målt	0,11	1,3	
Fluoranten	1,42E-04	7,60E-05	ikke målt	ikke målt	0,12	1,2	
Pyren	3,34E-04	1,68E-04	ikke målt	ikke målt	0,023	14,5	7,3
Benzo(a)antracen	1,63E-05	9,62E-06	ikke målt	ikke målt	0,012	1,4	
Krysen	3,10E-05	1,72E-05	ikke målt	ikke målt	0,07		
Benzo(b)fluoranten	1,77E-05	1,02E-05	ikke målt	ikke målt	0,03		
Benzo(k)fluoranten	7,81E-06	4,88E-06	ikke målt	ikke målt	0,027		
Benzo(a)pyren	1,35E-05	7,62E-06	ikke målt	ikke målt	0,05		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	7,15E-06	3,85E-06	ikke målt	ikke målt	0,002	3,6	1,9
Dibenzo(a,h)antracen	1,28E-06	7,92E-07	ikke målt	ikke målt	0,03		
Benzo(ghi)perylene	9,38E-06	6,10E-06	ikke målt	ikke målt	0,002	4,7	3,0
PCB 28	2,22E-05	7,86E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 52	5,92E-05	1,07E-05	ikke målt	ikke målt			
PCB 101	7,28E-06	1,54E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 118	5,87E-07	1,19E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 138	3,53E-06	9,94E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 153	3,19E-07	8,28E-08	ikke målt	ikke målt			
PCB 180	6,81E-07	1,77E-07	ikke målt	ikke målt			
Sum PCB7	9,38E-05	2,15E-05	ikke målt	ikke målt			
Tributyltinn (TBT-ion)	3,13E-03	1,93E-03	ikke målt	ikke målt	0,0002	14892	9186

Tabell 54. Beregnede (fra spredningsestimatene) og målte (passive prøvetakere) konsentrasjoner (mg/l) av miljøgifter i vannmassene i delområde T7, samt faktor for overskridelse av grenseverdier (PNEC µg/l) for toksiske effekter i sjøvann.

Stoff	Beregnet sjøvannskonsentrasjon		Målt sjøvannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (ug/l)	Beregnet sjøvannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:		Målt sjøvannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:	
	C _{sv, maks} (µg/l)	C _{sv, middel} (µg/l)	C _{sv, maks} (mg/l)	C _{sv, middel} (mg/l)		Maks	Middel	Maks	Middel
Arsen	6,69E-02	5,23E-02	ikke målt	ikke målt	4,8			mangler data	mangler data
Bly	1,58E-01	1,13E-01	ikke målt	ikke målt	2,2			mangler data	mangler data
Kadmium	6,15E-04	2,86E-04	ikke målt	ikke målt	0,24			mangler data	mangler data
Kobber	1,77E-01	1,10E-01	ikke målt	ikke målt	0,64			mangler data	mangler data
Krom totalt (III + VI)	5,41E-02	4,38E-02	ikke målt	ikke målt	3,4			mangler data	mangler data
Kvikksølv	3,86E-03	1,50E-03	ikke målt	ikke målt	0,048			mangler data	mangler data
Nikkel	9,86E-02	7,52E-02	ikke målt	ikke målt	2,2			mangler data	mangler data
Sink	3,51E-01	2,04E-01	ikke målt	ikke målt	2,9			mangler data	mangler data
Naftalen	1,09E-02	4,86E-03	7,20E-06	7,20E-06	2,4				
Acenaftalen	1,53E-03	1,53E-03	3,60E-07	3,60E-07	1,3				
Acenaften	3,05E-03	1,34E-03	4,30E-07	4,30E-07	3,8				
Fluoren	1,78E-03	7,64E-04	3,90E-07	3,90E-07	2,5				
Fenantren	7,74E-03	3,23E-03	7,70E-07	7,70E-07	1,3				
Antracen	2,17E-03	8,73E-04	1,20E-07	1,20E-07	0,11				
Fluoranten	2,45E-03	1,31E-03	3,30E-07	3,30E-07	0,12				
Pyren	4,89E-03	2,45E-03	2,50E-07	2,50E-07	0,023				
Benzo(a)antracen	4,38E-04	2,59E-04	6,50E-08	6,50E-08	0,012				
Krysen	7,39E-04	4,08E-04	6,90E-08	6,90E-08	0,07				
Benzo(b)fluoranten	6,27E-04	3,61E-04	3,00E-08	3,00E-08	0,03				
Benzo(k)fluoranten	2,73E-04	1,70E-04	2,60E-08	2,60E-08	0,027				
Benzo(a)pyren	4,86E-04	2,75E-04	2,40E-08	2,40E-08	0,05				
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5,78E-04	3,11E-04	4,50E-08	4,50E-08	0,002				
Dibenzo(a,h)antracen	8,84E-05	5,46E-05	2,70E-08	2,70E-08	0,03				
Benzo(ghi)perylene	3,86E-04	2,51E-04	3,10E-08	3,10E-08	0,002				
PCB 28	2,70E-04	9,53E-05	5,70E-09	5,70E-09					
PCB 52	6,82E-04	1,23E-04	1,10E-08	1,10E-08					
PCB 101	1,41E-04	2,99E-05	1,20E-08	1,20E-08					
PCB 118	6,53E-05	1,32E-05	3,70E-09	3,70E-09					
PCB 138	8,49E-05	2,39E-05	6,40E-09	6,40E-09					
PCB 153	5,19E-05	1,35E-05	7,40E-09	7,40E-09					
PCB 180	2,55E-05	6,64E-06	9,80E-09	9,80E-09					
Sum PCB7	1,32E-03	3,06E-04	5,60E-08	5,60E-08					
Tributyltinn (TBT-ion)	3,15E-02	1,95E-02	1,11E-05	1,11E-05	0,0002	150,2	92,6	53,0	53,0

3.8.4. KONKLUSJON - RISIKOVURDERING DELOMRÅDE T7

Samlet kan det konkluderes at delområde T7 alene utgjør en risiko for økologiske effekter i sedimentet. Men overskridelsene av grenseverdiene i Trinn 1 er små. Om sedimentene utgjør en risiko for effekter også i vannmassene er mer usikkert, men dette skyldes i så fall bare TBT-utlekkning. Sink viser den høyeste årlige transporten ut fra sedimentene på ca 12 kg/år, og ca 85 % av denne skyldes propelloppvirvling. Sedimentenes innhold av først og fremst PCB og benzo(a)pyren utgjør en risiko for skade på human helse og ene og alene fra transport gjennom næringskjeden til lokal sjømat.

3.9. RISIKOVURDERING FOR DELOMRÅDE T8 – OMRÅDET MELLOM VEALØS OG ØSTAØYA

3.9.1. OMRÅDEBESKRIVELSE

Området T8 dekker et areal på 171 410 m² mellom Vealøs og Østøya. Området blir trafikkert av små og store båter som skal inn og ut av Horten Indre Havn. På den dype delen av området består bunnen av områder med stor stein og tang. Ved Vealøs består bunnsedimentet av grå siltig leire, og der er det også mye ålegress på bunnen.

3.9.2. TRINN 1

Resultatene fra kjemisk karakterisering og toksisitet viser at gjennomsnittskonsentrasjonen av tre PAH-forbindelser og TBT overskrider grenseverdiene for økologiske effekter på organismer i sedimentet (Tabell 55). Overskridelsene var små med høyeste faktor ca 3 (benzo(ghi)perylene) Av de tre påkrevde toksisitetstestene var toksisiteten av organisk ekstrakt av sedimentet overfor mikroalgen *Skeletonema costatum* over grenseverdien i Trinn 1 (Tabell 56). Overskridelsen var her svært liten.

Overskridelsen medførte at risikovurderingen Trinn 2 ble gjennomført for delområde T8.

Tabell 55. Målte sedimentkonsentrasjoner i delområde T8 (maksimums- og gjennomsnittskonsentrasjon), og overskridelse i forhold til grenseverdiene i Trinn 1.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon overskrider trinn 1 grenseverdi med:	
	Antall prøver	C _{sed, max} (mg/kg)	C _{sed, middel} (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	5	6.22	4.876	52		
Bly	5	51	30.12	83		
Kadmium	5	0.05	0.05	2.6		
Kobber	5	41.7	23.226	51		
Krom totalt (III + VI)	5	17.9	14.74	560		
Kvikksølv	5	0.1	0.1	0.63		
Nikkel	5	17.4	13.62	46		
Sink	5	65.7	48.22	360		
Naftalen	5	0.015	0.0084	0.29		
Acenaftylen	5	0.005	0.005	0.033		
Acenaften	5	0.025	0.0126	0.16		
Fluoren	5	0.027	0.0108	0.26		
Fenantren	5	0.196	0.0726	0.50		
Antracen	5	0.052	0.0176	0.031	1.7	
Fluoranten	5	0.348	0.12372	0.17	2.0	
Pyren	5	0.323	0.1248	0.28	1.2	
Benzo(a)antracen	5	0.168	0.0662	0.06	2.8	1.1
Krysen	5	0.237	0.0902	0.28		
Benzo(b)fluoranten	5	0.217	0.0822	0.24		
Benzo(k)fluoranten	5	0.15	0.0602	0.21		
Benzo(a)pyren	5	0.225	0.0908	0.42		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5	0.14	0.0548	0.047	3.0	1.2
Dibenzo(a,h)antracen	5	0.028	0.0134	0.59		
Benzo(ghi)perylene	5	0.165	0.0656	0.021	7.9	3.1
PCB 28	5	0.00326	0.001336			
PCB 52	5	0.00799	0.002932			
PCB 101	5	0.00355	0.00142			
PCB 118	5	0.00439	0.001746			
PCB 138	5	0.00167	0.000794			
PCB 153	5	0.00146	0.0007			
PCB 180	5	0.00095	0.000544			
Sum PCB7	5	2.33E-02	9.47E-03	0.017	1.4	
Tributyltinn (TBT-ion)	5	0.101	0.04824	0.035	2.9	1.4

Tabell 56. Målt sedimenttoksisitet i delområde T8 og overskridelse av grenseverdier i Trinn 1.

Parameter	Målt økotox		Grenseverdi for økotoxitet	Målt økotoxitet overskrider grenseverdi med:	
	Maks	Middel		Maks	Middel
Porevann, Skeletonema (TU)	0.99	0.99	1.0		
Organisk ekstrakt, Skeletonema (TU som I/g)	0.526	0.526	0.5	1.05	1.05
Organisk ekstrakt, DRCalux/EROD (TEQ i ng/kg)	24	24	TEQ < 50 ng/kg		
Helsedimenttest, Arenicola marina (% dødelighet)	ikke målt	ikke målt	20 %		

3.9.3. TRINN 2

Anvendte lokale parameterverdier

For flere av parameterverdiene som inngår i beregningene i Trinn 2 ble sjablongverdiene i veilederen erstattet av stedsspesifikke verdier for delområde T8 (Tabell 57).

Tabell 57. Stedsspesifikke parameterverdier brukt i risikoberegningene under Trinn 2 for delområde T8.

Parameter	Sjablongverdi	Anvendt verdi
Totalt organisk karbon (TOC) %	1	1
Totalt sedimentareal m ²	ingen standard	171410
Vannvolum m ³	ingen standard	1199870
Oppholdstid av vannet år	ingen standard	0,02
Antall skipsanløp per år	ingen standard	35
Trasélengde for skipsanløp m	120	330
Oppvirvlet sediment per anløp kg	ingen standard	100
Bunnareal påvirket av oppvirvling m ²	ingen standard	171410
Fraksjon leire i sedimentet	ingen standard	0,03

Risiko for spredning av miljøgifter

Estimert miljøgiftspredning totalt og via de tre transportveiene (biodiffusjon, resuspensjon fra propeller og transport i næringskjeden) er gitt i Tabell 58 og Tabell 59. Tabellene viser både miljøgiftflukser (mg/m² og år) og årlig transport (mg/år) for hvert stoff. Spredningen skal i følge veilederen beregnes separat for det totale delområdet, og områdene som påvirkes/ikke påvirkes av skipstrafikken. I dette tilfellet påvirkes hele delområdet slik at spredningen bare er vist for dette.

Det finnes ikke omforente akseptkriterier for spredning av miljøgifter, bare for konsekvenser av spredningen i form av risiko for human helse og økosystemet. I risikoveilederen sammenliknes spredningen med tilsvarende spredning fra et sediment som akkurat tilfredsstillen Trinn 1. Resultatene viser at spredningsoverskridelsene er lave, men at de er noen flere stoff som overskrider spredningen fra et slikt sediment enn som overskrider grenseverdiene for Trinn 1.

Tabell 58. Delområde T8. Beregnet miljøgiftspredning (mg/m^2 og år) fra sedimentene samlet via biodiffusjon (F_{diff}), propelloppvirvling (F_{skip}) og gjennom næringskjeden (F_{org}), spredning utenom propelloppvirvling, og faktor for overskridelse av total spredning i forhold til et sediment som tilfredsstillende Trinn 1.

Stoff	Beregnet spredning ikke påvirket av skipsoppvirvling ($F_{\text{diff}} + F_{\text{org}}$)		Beregnet total spredning ($F_{\text{diff}} + F_{\text{org}} + F_{\text{skip}}$)		Spredning (F_{tot}) dersom C_{sed} er lik grenseverdi for trinn 1 ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{år}$)	F_{tot} overskrider tillatt spredning med:	
	Maks ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{år}$)	Middel ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{år}$)	$F_{\text{tot, maks}}$ ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{år}$)	$F_{\text{tot, middel}}$ ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{år}$)		Maks	Middel
Arsen	6.280640246	4.923537273	6.30E+00	4.94E+00	5.26E+01		
Bly	2.538261327	1.499067278	2.71E+00	1.60E+00	4.09E+00		
Kadmium	0.002042044	0.002042044	2.21E-03	2.21E-03	1.15E-01		
Kobber	9.238092092	5.145417912	9.38E+00	5.22E+00	1.12E+01		
Krom totalt (III + VI)	0.658010981	0.541848149	7.18E-01	5.92E-01	2.24E+01		
Kvikksølv	0.006629827	0.006629827	6.97E-03	6.97E-03	4.31E-02		
Nikkel	12.03727487	9.422280675	1.21E+01	9.47E+00	3.18E+01		
Sink	6.008848488	4.410147246	6.23E+00	4.57E+00	2.82E+01		
Naftalen	7.4880252	4.193294112	7.49E+00	4.19E+00	1.42E+02		
Acenafilylen	1.233458723	1.233458723	1.23E+00	1.23E+00	7.38E+00		
Acenafthen	2.689877903	1.355698463	2.69E+00	1.36E+00	1.49E+01		
Fluoren	1.768029628	0.707211851	1.77E+00	7.07E-01	1.42E+01		
Fenantren	6.186840688	2.291656295	6.19E+00	2.29E+00	1.19E+01		
Antracen	1.314383466	0.44486825	1.31E+00	4.45E-01	5.98E-01	2.2	
Fluoranten	3.713740324	1.320298715	3.72E+00	1.32E+00	7.95E-01	4.7	1.7
Pyren	6.275774663	2.424819436	6.28E+00	2.43E+00	2.83E+00	2.2	
Benzo(a)antracen	1.012626511	0.399023066	1.01E+00	3.99E-01	1.13E-01	9.0	3.5
Krysen	3.133152159	1.192448628	3.13E+00	1.19E+00	9.78E-01	3.2	1.2
Benzo(b)fluoranten	2.106922363	0.798106075	2.11E+00	7.98E-01	5.59E-01	3.8	1.4
Benzo(k)fluoranten	1.490318836	0.598114626	1.49E+00	5.98E-01	5.01E-01	3.0	1.2
Benzo(a)pyren	2.13495296	0.861572128	2.14E+00	8.62E-01	9.57E-01	2.2	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0.469857944	0.183915824	4.70E-01	1.84E-01	3.76E-02	12.5	4.9
Dibenzo(a,h)antracen	0.112948172	0.054053768	1.13E-01	5.41E-02	5.66E-01		
Benzo(ghi)perylene	1.26856922	0.504352369	1.27E+00	5.05E-01	3.84E-02	33.1	13.1
PCB 28	0.281328729	0.115293001	2.81E-01	1.15E-01			
PCB 52	1.252475579	0.459606808	1.25E+00	4.60E-01			
PCB 101	0.082004166	0.032801666	8.20E-02	3.28E-02			
PCB 118	0.0101396	0.004032743	1.02E-02	4.04E-03			
PCB 138	0.025410146	0.012081231	2.54E-02	1.21E-02			
PCB 153	0.002221659	0.001065179	2.23E-03	1.07E-03			
PCB 180	0.007568274	0.004333832	7.57E-03	4.34E-03			
Sum PCB7	1.66E+00	6.29E-01	1.66E+00	6.29E-01			
Tributyltinn (TBT-ion)	35.59036237	16.99880278	3.56E+01	1.70E+01	1.15E+01	3.1	1.5

Som kontroll på om beregnet spredning er sannsynlig har vi regnet ut den tiden det vil ta å tømme lageret av miljøgifter i de øvre 10 cm av sedimentet med denne spredningen (Tabell 59). Lave tømmetider tilsier at Trinn 2 overestimerer spredningen for en rekke av miljøgiftene. Dette synes å være tilfelle for de fleste lette PAH-forbindelsene og PCB-28, 52, 101 og 138, samt TBT som alle har en tømmetid på under 5 år.

Det er også gjort beregning av samlet årlig transport av hvert av stoffene fra område T8 (Tabell 60). Høyeste transporten er for TBT med 2,91 kg/år.

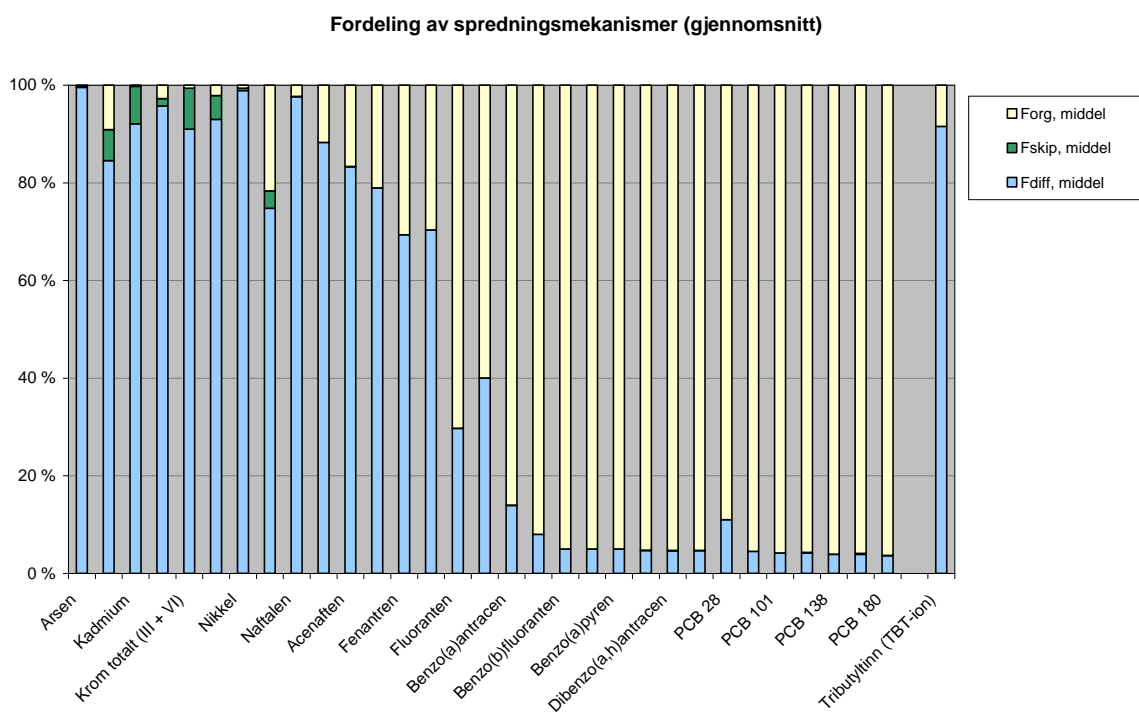
I Figur 19 er relativ betydning av de tre spredningsveiene vist. Oppvirvling fra skipspropeller har veldig liten betydning som transportveg for spredning. Oppvirvling bidrar med 2,7 – 8,4 % av spredningen for metallene, og enda mindre for de organiske forbindelsene. Spredningen av de lettere PAH-forbindelsene, metallene og TBT skyldes primært biodiffusjon. For de tunge PAH-forbindelsene og for PCB skjer mesteparten av spredningen gjennom næringskjeden. Ca 90 % av spredningen av TBT skjer ved biodiffusjon.

Tabell 59. Delområde T8. Anslått tid for å tømme de øvre 10 cm av sedimentet for et stoff med de beregnede spredningshastighetene gitt i Tabell 58. Tømmetider på <5 år er merket rødt.

Stoff	Tid (år) for å tømme lageret i øvre 10 cm av sedimentet	Stoff	Tid (år) for å tømme lageret i øvre 10 cm av sedimentet
Arsen	44,9	Benzo(a)antracen	7,5
Bly	856,1	Krysen	3,4
Kadmium	1029,0	Benzo(b)fluoranten	4,7
Kobber	202,3	Benzo(k)fluoranten	4,6
Krom totalt (III + VI)	1133,6	Benzo(a)pyren	4,8
Kvikksølv	653,0	Indeno(1,2,3-cd)pyren	13,5
Nikkel	65,4	Dibenzo(a,h)antracen	11,3
Sink	479,7	Benzo(ghi)perylene	5,9
Naftalen	0,1	PCB 28	0,5
Acenaftylen	0,2	PCB 52	0,3
Acenaften	0,4	PCB 101	2,0
Fluoren	0,7	PCB 118	19,7
Fenantren	1,4	PCB 138	3,0
Antracen	1,8	PCB 153	29,8
Fluoranten	4,3	PCB 180	5,7
Pyren	2,3	Tributyltinn (TBT-ion)	0,1

Tabell 60. Delområde T8. Total årlig transport (kg/år) av miljøgifter fra sedimentene i delområde T8.

Stoff	Utot, [kg/år]	Stoff	Utot, [kg/år]
Arsen	0,85	Krysen	0,20
Bly	0,27	Benzo(b)fluoranten	0,14
Kadmium	0,00	Benzo(k)fluoranten	0,10
Kobber	0,90	Benzo(a)pyren	0,15
Krom totalt (III + VI)	0,10	Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,03
Kvikksølv	0,00	Dibenzo(a,h)antracen	0,01
Nikkel	1,62	Benzo(ghi)perylene	0,09
Sink	0,78	PCB 28	0,02
Naftalen	0,72	PCB 52	0,08
Acenaftylen	0,21	PCB 101	0,01
Acenaften	0,23	PCB 118	0,00
Fluoren	0,12	PCB 138	0,00
Fenantren	0,39	PCB 153	0,00
Antracen	0,08	PCB 180	0,00
Fluoranten	0,23	Sum PCB-7	0,11
Pyren	0,42	Tributyltinn (TBT-ion)	2,91
Benzo(a)antracen	0,07		



Figur 19. Prosentvis fordeling av miljøgiftspredning på de tre spredningsveiene diffusjon (F_{diff} - blå), propelloppvirlving (F_{skip} - grønn) og gjennom næringskjeden (F_{org} - gul) i delområde T8.

Risiko for effekter på human helse

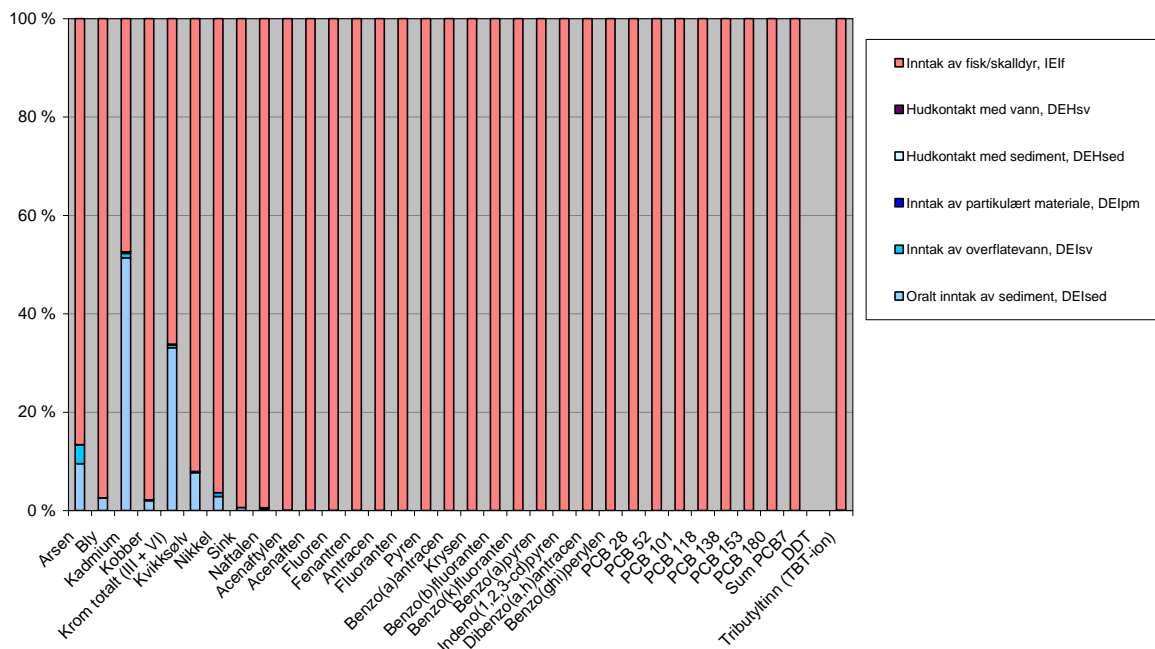
Ut fra anbefalte miljømål er det aktuelt å bedømme risikoen for skade på human helse både gjennom konsum av sjømat (fritidsfiske) som kan ha mottatt miljøgifter fra sedimentene og gjennom kontakt med miljøgifter i vann og suspendert sediment (bading). Tabell 61 viser beregnet samlet livstidseksponering til miljøgifter fra sedimentene, og hvorvidt denne overskrider vedtatte/anbefalte grenseverdier for slik eksponering. Det legges vekt på hvorvidt gjennomsnittsnivåene i sedimentet gir overskridelse. Overskridelsen er høyest for PAH-forbindelsen benzo(a)pyren (kreftfremkallende), men også betydelig for sum PCB-7. Sedimentene i delområde T8 utgjør derfor en risiko for skade på human helse.

Fordelingen mellom de ulike eksponeringsveiene (Figur 20) viser at den viktigste eksponeringen til de fleste stoffene skjer gjennom konsum av lokal sjømat. Eksponeringen til metaller skjer i noen grad også gjennom inntak av sjøvann og sedimenter, men for bly som er eneste metall over grenseverdien for livstidseksponering er også eksponering gjennom sjømat dominerende.

Tabell 61. Delområde T8. Beregnet total livstidseksposering (mg/kg kroppsvekt og dag) for de ulike miljøgiftene og faktor for overskridelse i forhold til grenseverdier for human risiko.

Stoff	Beregnet total livstidsdose		Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose overskrider MTR 10 % med:	
	DOSE _{maks} (mg/kg/d)	DOSE _{middel} (mg/kg/d)		Maks	Middel
Arsen	2.97E-05	2.33E-05	1.00E-04		
Bly	8.52E-04	5.03E-04	3.60E-04	2.4	1.4
Kadmium	6.18E-08	6.18E-08	5.00E-05		
Kobber	8.75E-04	4.88E-04	5.00E-03		
Krom totalt (III + VI)	3.00E-05	2.47E-05	5.00E-04		
Kvikksølv	5.77E-07	5.77E-07	1.00E-05		
Nikkel	2.59E-04	2.02E-04	5.00E-03		
Sink	4.47E-03	3.28E-03	3.00E-02		
Naftalen	5.69E-04	3.19E-04	4.00E-03		
Acenaftalen	4.73E-04	4.73E-04			
Acenaften	1.47E-03	7.39E-04			
Fluoren	1.22E-03	4.88E-04			
Fenantren	6.20E-03	2.30E-03	4.00E-03	1.5	
Antracen	1.28E-03	4.32E-04	4.00E-03		
Fluoranten	8.54E-03	3.04E-03	5.00E-03	1.7	
Pyren	1.23E-02	4.76E-03			
Benzo(a)antracen	2.85E-03	1.12E-03	5.00E-04	5.7	2.2
Krysen	9.43E-03	3.59E-03	5.00E-03	1.9	
Benzo(b)fluoranten	6.55E-03	2.48E-03			
Benzo(k)fluoranten	4.63E-03	1.86E-03	5.00E-04	9.3	3.7
Benzo(a)pyren	6.64E-03	2.68E-03	2.30E-06	2885	1164
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1.47E-03	5.74E-04	5.00E-04	2.9	1.1
Dibenzo(a,h)antracen	3.52E-04	1.69E-04			
Benzo(ghi)perylene	3.96E-03	1.57E-03	3.00E-03	1.3	
PCB 28	8.19E-04	3.36E-04			
PCB 52	3.91E-03	1.44E-03			
PCB 101	2.57E-04	1.03E-04			
PCB 118	3.18E-05	1.26E-05			
PCB 138	7.99E-05	3.80E-05			
PCB 153	6.98E-06	3.35E-06			
PCB 180	2.38E-05	1.37E-05			
Sum PCB7	5.13E-03	1.94E-03	2.00E-06	2565	971
Tributyltinn (TBT-ion)	9.83E-03	4.69E-03	2.50E-04	39.3	18.8

Fordeling av eksponeringsmekanismer for menneske



Figur 20. Prosentvis fordeling av miljøgiftspredning på ulike spredningsveier fra sedimentet i delområde T8 til mennesker.

Risiko for økologiske effekter

Resultatene fra Trinn 1, både miljøgiftkonsentrasjoner og samlet toksisitet, viser at sedimentene i delområde T8 utgjør en uakseptabel risiko for effekter på sedimentlevende organismer. Dette støttes av de beregnede porevannskonsentrasjonene som viser overskridelse av omforente grenseverdier (PNEC) for toksisitet i vann for flere av stoffene (Tabell 62); klart høyest for TBT med en faktor på ca 20000.

Konsentrasjon av miljøgifter i vannmassene i delområde T8 som følge av den beregnede spredningen fra sedimentene er vist i Tabell 63. Det er bare TBT som overskrider PNEC, og med en faktor ca 204. Ut fra dette utgjør TBT i sedimentene en risiko for toksiske effekter på organismer i vannsøylen.

Resultatene fra de passive prøvetakerne i delområde T8 er brukt til å beregne de reelle konsentrasjonene av miljøgifter i vannmassene. Disse beregningene kan betraktes som betydelig mer pålitelige enn de som gjøres ut fra beregnet spredning fra sedimentet i Trinn 2, og dekker de fleste av stoffene. Tabell 63 viser at når de målte vannkonsentrasjonene legges til grunn er det fortsatt bare TBT som overskrider PNEC, og med en faktor på 117. Siden man ikke med sikkerhet kan si at den TBT som fanges opp i de passive prøvetakerne kommer fra sedimentene (det kan være andre kilder), er det usikkert om utlekkingen fra sedimentene utgjør en risiko for toksiske effekter i vannmassene.

Tabell 62. Delområde T8. Beregnede porevannskonsentrasjoner av miljøgifter (mg/l), samt faktor for overskridelse av grenseverdier (PNEC µg/l) for toksiske effekter i sjøvann.

Stoff	Beregnet porevannskonsentrasjon		Målt porevannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (µg/l)	Målt eller beregnet porevannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:	
	C _{pv, maks} (mg/l)	C _{pv, middel} (mg/l)	C _{pv, maks} (mg/l)	C _{pv, middel} (mg/l)		Maks	Middel
Arsen	9.41E-04	7.38E-04	ikke målt	ikke målt	4.8		
Bly	3.29E-04	1.94E-04	ikke målt	ikke målt	2.2		
Kadmium	3.85E-07	3.85E-07	ikke målt	ikke målt	0.24		
Kobber	1.71E-03	9.52E-04	ikke målt	ikke målt	0.64	2.7	1.5
Krom totalt (III + VI)	1.49E-04	1.23E-04	ikke målt	ikke målt	3.4		
Kvikksølv	1.00E-06	1.00E-06	ikke målt	ikke målt	0.048		
Nikkel	2.46E-03	1.92E-03	ikke målt	ikke målt	2.2	1.1	
Sink	9.00E-04	6.61E-04	ikke målt	ikke målt	2.9		
Naftalen	1.15E-03	6.46E-04	ikke målt	ikke målt	2.4		
Acenafitylen	1.92E-04	1.92E-04	ikke målt	ikke målt	1.3		
Acenaften	4.03E-04	2.03E-04	ikke målt	ikke målt	3.8		
Fluoren	2.65E-04	1.06E-04	ikke målt	ikke målt	2.5		
Fenantren	8.56E-04	3.17E-04	ikke målt	ikke målt	1.3		
Antracen	1.84E-04	6.24E-05	ikke målt	ikke målt	0.11	1.7	
Fluoranten	2.41E-04	8.56E-05	ikke målt	ikke målt	0.12	2.0	
Pyren	5.48E-04	2.12E-04	ikke målt	ikke målt	0.023	23.8	9.2
Benzo(a)antracen	3.35E-05	1.32E-05	ikke målt	ikke målt	0.012	2.8	1.1
Krysen	5.95E-05	2.27E-05	ikke målt	ikke målt	0.07		
Benzo(b)fluoranten	2.67E-05	1.01E-05	ikke målt	ikke målt	0.03		
Benzo(k)fluoranten	1.89E-05	7.58E-06	ikke målt	ikke målt	0.027		
Benzo(a)pyren	2.71E-05	1.09E-05	ikke målt	ikke målt	0.05		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	5.97E-06	2.34E-06	ikke målt	ikke målt	0.002	3.0	1.2
Dibenzo(a,h)antracen	1.44E-06	6.87E-07	ikke målt	ikke målt	0.03		
Benzo(ghi)perylene	1.61E-05	6.41E-06	ikke målt	ikke målt	0.002	8.1	3.2
PCB 28	8.01E-06	3.28E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 52	1.59E-05	5.85E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 101	1.05E-06	4.19E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 118	1.30E-07	5.15E-08	ikke målt	ikke målt			
PCB 138	3.26E-07	1.55E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 153	2.85E-08	1.36E-08	ikke målt	ikke målt			
PCB 180	9.72E-08	5.57E-08	ikke målt	ikke målt			
Sum PCB7	2.56E-05	9.83E-06	ikke målt	ikke målt			
Tributyltinn (TBT-ion)	9.18E-03	4.39E-03	ikke målt	ikke målt	0.0002	43723	20883

Tabell 63. Beregnede (fra spredningsestimatene) og målte (passive prøvetakere) konsentrasjoner (mg/l) av miljøgifter i vannmassene i delområde T8, samt faktor for overskridelse av grenseverdier (PNEC µg/l) for toksiske effekter i sjøvann.

Stoff	Beregnet sjøvannskonsentrasjon		Målt sjøvannskonsentrasjon		Grenseverdi for økologisk risiko, PNEC _w (µg/l)	Beregnet sjøvannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:		Målt sjøvannskonsentrasjon overskrider PNEC _w med:	
	C _{sv, maks} (µg/l)	C _{sv, middel} (µg/l)	C _{sv, maks} (mg/l)	C _{sv, middel} (mg/l)		Maks	Middel	Maks	Middel
Arsen	1.73E-02	1.36E-02	ikke målt	ikke målt	4.8				
Bly	6.77E-03	4.00E-03	3.20E-05	3.20E-05	2.2				
Kadmium	6.06E-06	6.06E-06	1.25E-05	1.25E-05	0.24				
Kobber	2.51E-02	1.40E-02	2.65E-04	2.65E-04	0.64				
Krom totalt (III + VI)	1.96E-03	1.62E-03	7.34E-05	7.34E-05	3.4				
Kvikksølv	1.87E-05	1.87E-05	ikke målt	ikke målt	0.048				
Nikkel	3.30E-02	2.59E-02	2.83E-04	2.83E-04	2.2				
Sink	1.34E-02	9.84E-03	1.25E-03	1.25E-03	2.9				
Naftalen	2.01E-02	1.13E-02	7.20E-06	7.20E-06	2.4				
Acenafitylen	2.99E-03	2.99E-03	2.70E-07	2.70E-07	1.3				
Acenaften	6.16E-03	3.10E-03	2.70E-07	2.70E-07	3.8				
Fluoren	3.84E-03	1.53E-03	5.00E-07	5.00E-07	2.5				
Fenantren	1.18E-02	4.37E-03	1.10E-06	1.10E-06	1.3				
Antracen	2.54E-03	8.60E-04	1.10E-07	1.10E-07	0.11				
Fluoranten	3.03E-03	1.08E-03	7.80E-07	7.80E-07	0.12				
Pyren	6.90E-03	2.67E-03	4.10E-07	4.10E-07	0.023				
Benzo(a)antracen	3.89E-04	1.53E-04	3.80E-08	3.80E-08	0.012				
Krysen	6.90E-04	2.63E-04	1.30E-07	1.30E-07	0.07				
Benzo(b)fluoranten	2.89E-04	1.10E-04	6.00E-08	6.00E-08	0.03				
Benzo(k)fluoranten	2.05E-04	8.21E-05	1.90E-08	1.90E-08	0.027				
Benzo(a)pyren	2.93E-04	1.18E-04	2.20E-08	2.20E-08	0.05				
Indeno(1,2,3-cd)pyren	6.16E-05	2.41E-05	4.50E-08	4.50E-08	0.002				
Dibenzo(a,h)antracen	1.47E-05	7.02E-06	1.70E-08	1.70E-08	0.03				
Benzo(ghi)perylene	1.64E-04	6.53E-05	5.70E-08	5.70E-08	0.002				
PCB 28	8.50E-05	3.48E-05	2.10E-09	2.10E-09					
PCB 52	1.55E-04	5.69E-05	6.90E-09	6.90E-09					
PCB 101	9.43E-06	3.77E-06	9.00E-09	9.00E-09					
PCB 118	1.20E-06	4.78E-07	3.20E-09	3.20E-09					
PCB 138	2.74E-06	1.30E-06	5.60E-09	5.60E-09					
PCB 153	2.51E-07	1.21E-07	5.60E-09	5.60E-09					
PCB 180	7.70E-07	4.41E-07	5.70E-09	5.70E-09					
Sum PCB7	2.54E-04	9.78E-05	3.81E-08	3.81E-08					
Tributyltinn (TBT-ion)	8.96E-02	4.28E-02	2.45E-05	2.45E-05	0.0002	426	204	117	117

3.9.4. KONKLUSJON - RISIKOVURDERING DELOMRÅDE T8

Samlet kan det konkluderes at delområde T8 alene utgjør en risiko for økologiske effekter i sedimentet. Men overskridelsene av grenseverdiene i Trinn 1 er små. Om sedimentene utgjør en risiko for effekter også i vannmassene er mer usikkert, men dette skyldes i så fall bare TBT-utlekking. TBT viser den høyeste årlige transporten ut fra sedimentene på ca 2,9 kg/år og ca 90 % av dette skyldes biodiffusjon. Sedimentenes innhold av først og fremst PCB og benzo(a)pyren utgjør en risiko for skade på human helse og ene og alene fra transport gjennom næringskjeden til lokal sjømat.

3.10. MINDRE FORURENSEDE OMRÅDER

Sedimentene på stasjoner i området sør for Løvøya og i området sør for Vealøs var lite forurenset.

Resultatene for kjemisk karakterisering av sedimentstasjoner fra disse områdene viser at gjennomsnittskonsentrasjonen av forbindelsene ikke overskrider (unntatt med faktor på 0,1 for Benzo(ghi)perylene) grenseverdiene for økologiske effekter på organismer i sedimentet (Tabell 64).

Tabell 64. Målte sedimentkonsentrasjoner i sediment fra stasjoner fra området sør for Løvøya og området mellom delområde T8 og T3 (maksimums- og gjennomsnittskonsentrasjon), og overskridelse i forhold til grenseverdiene i Trinn 1.

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon overskrider trinn 1 grenseverdi med:	
	Antall prøver	C _{sed, max} (mg/kg)	C _{sed, middel} (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	12	14	8,98791667	52		
Bly	12	61,7	38,3416667	83		
Kadmium	12	0,41	0,14583333	2,6		
Kobber	12	55,6	31,5416667	51	0,1	
Krom totalt (III + VI)	12	41,5	23,6841667	560		
Kvikksølv	12	0,33	0,11916667	0,63		
Nikkel	12	33,4	20,1333333	46		
Sink	12	160	82,2583333	360		
Naftalen	12	0,021	0,01008333	0,29		
Acenaftylene	12	0,01	0,00583333	0,033		
Acenaften	12	0,018	0,0075	0,16		
Fluoren	12	0,089	0,02075	0,26		
Fenantren	12	0,23	0,03766667	0,50		
Antracen	12	0,044	0,01241667	0,031	0,4	
Fluoranten	12	0,313	0,08516667	0,17	0,8	
Pyren	12	0,284	0,06683333	0,28	0,0	
Benzo(a)antracen	12	0,139	0,04608333	0,06	1,3	
Krysen	12	0,177	0,05175	0,28		
Benzo(b)fluoranten	12	0,155	0,04575	0,24		
Benzo(k)fluoranten	12	0,127	0,04166667	0,21		
Benzo(a)pyren	12	0,177	0,03958333	0,42		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	12	0,088	0,02850833	0,047	0,9	
Dibenzo(a,h)antracen	12	0,05	0,0135	0,59		
Benzo(ghi)perylene	12	0,1	0,02391667	0,021	3,8	0,1
PCB 28	12	0,00035	0,00035			
PCB 52	12	0,00072	0,00041083			
PCB 101	12	0,001	0,0004425			
PCB 118	12	0,00128	0,00053033			
PCB 138	12	0,00092	0,00042833			
PCB 153	12	0,00035	0,00035			
PCB 180	12	0,00035	0,00035			
Sum PCB7	12	4,97E-03	2,86E-03	0,017		
DDT	0	mangler	mangler	0,02		
Tributyltinn (TBT-ion)	12	0,0587	0,02395833	0,035	0,7	

4. OPPSUMMERING

Risikovurderingen viser at alle delområdene har sedimenter med miljøgifter i konsentrasjoner som overskrider grenseverdiene for økologiske effekter på organismer i sediment. I de ytre områdene (T7 og T8) var imidlertid overskridelsene lave.

Beregning av årlig transport av miljøgifter fra sedimentene viser det lekker mest kvikksølv ut fra sedimentet i område T6 (Tabell 65), hvor det ble funnet ekstrem høy konsentrasjon av kvikksølv på en stasjon. Det skjer størst utlekking av TBT fra sedimentene utenfor Horten Industripark og det dypere midtområdet. Det er spesielt høy transport av bly ut fra sedimentene i område T1. Kobber og sink lekker mest ut fra sedimentene i område T1 og område T4. Beregningene viser at det lekker mest PAH ut fra sedimentene i område T3. Det er generelt liten transport av PCB ut fra sedimentene, men med størst transport av PCB fra områdene T2 og T4.

Tabell 65. Total årlig transport (kg/år) av miljøgifter fra sedimentene.

Stoff	T1	T2	T3	T4	T4	T6	T7	T8	Sum pr stoff
	Utot, [kg/år]	Utot, [kg/år]	Utot, [kg/år]	Utot, [kg/år]	Uskip, [kg/år]	Utot, [kg/år]	Utot, [kg/år]	Utot, [kg/år]	Utot, [kg/år]
Arsen	6.2	4.3	12.3	15.3	13.1	1.3	2.9	0.8	56.4
Bly	32.6	8.4	9.2	14.3	13.2	3.6	6.4	0.3	88.0
Kadmium	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
Kobber	24.7	14.3	13.6	26.3	23.1	11.6	6.3	0.9	120.8
Krom totalt (III + VI)	8.1	1.2	4.5	3.1	3.0	1.1	2.5	0.1	23.6
Kvikksølv	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	10.2	0.1	0.0	10.8
Nikkel	11.0	7.6	7.4	22.9	19.7	2.6	4.2	1.6	77.1
Sink	57.5	16.3	21.2	33.7	30.5	12.6	11.8	0.8	184.3
Naftalen	2.2	5.9	8.1	5.5	4.7	0.1	0.3	0.7	27.4
Acenaftylen	0.2	0.6	19.7	0.4	0.4	0.0	0.1	0.2	21.7
Acenaften	0.4	1.8	9.7	1.1	0.9	0.0	0.1	0.2	14.3
Fluoren	0.3	1.2	11.4	0.5	0.4	0.0	0.1	0.1	14.0
Fenantren	0.8	2.7	4.6	1.2	1.0	0.1	0.3	0.4	11.1
Antracen	0.2	0.7	21.2	0.4	0.3	0.0	0.1	0.1	22.9
Fluoranten	0.6	1.4	7.7	0.7	0.6	0.1	0.2	0.2	11.5
Pyren	1.2	7.8	8.4	2.5	2.1	0.1	0.3	0.4	22.8
Benzo(a)antracen	0.2	0.4	5.3	0.2	0.2	0.0	0.1	0.1	6.4
Krysen	0.5	1.3	9.7	0.7	0.6	0.1	0.2	0.2	13.2
Benzo(b)fluoranten	0.4	1.1	3.5	0.7	0.6	0.0	0.1	0.1	6.6
Benzo(k)fluoranten	0.3	0.7	4.8	0.4	0.4	0.0	0.1	0.1	6.7
Benzo(a)pyren	0.3	1.0	3.8	0.6	0.5	0.0	0.1	0.1	6.6
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0.1	0.3	0.6	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	1.4
Dibenzo(a,h)antracen	0.0	0.1	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
Benzo(ghi)perylene	0.3	0.7	1.3	0.5	0.5	0.0	0.1	0.1	3.5
PCB 28	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3
PCB 52	0.2	0.5	0.0	0.5	0.4	0.0	0.1	0.1	1.8
PCB 101	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
PCB 118	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PCB 138	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
PCB 153	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PCB 180	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sum PCB-7	0.4	0.6	0.1	0.6	0.5	0.0	0.2	0.1	2.5
Tributyltinn (TBT-ion)	20.5	75.8	5.9	75.7	64.4	0.1	1.2	2.9	246.6

Spredning av metaller skyldes for en stor del oppvirvling fra propeller. Spredning av TBT og de lettere PAH-forbindelsene skyldes primært biodiffusjon. Spredning av PCB skjer primært via næringskjeden, men for noen kongenerer like mye gjennom oppvirvling.

Sedimentene i alle delområdene utgjør risiko for skade på human helse, og først og fremst gjennom konsum av lokal sjømat. Det er overskridelser for vedtatte grenseverdier for eksponering av PCB-7, enkelte PAH-forbindelser og noen steder bly og kvikksølv.

Resultatene av miljøgiftkonsentrasjoner og samlet toksisitet, viser at sedimentene i alle delområdene utgjør en uakseptabel risiko for effekter på både sedimentlevende organismer og på organismer i vannsøylen. Resultatene fra de passive prøvetakerne er brukt til å beregne reelle konsentrasjoner av miljøgifter i vannmassene. Disse viser at det er overskridelser av grenseverdien for TBT i vannmassene. Siden man ikke med sikkerhet kan si at den TBT som fanges opp i de passive prøvetakerne kommer fra sedimentene (det kan være andre kilder), er det usikkert om utlekkingen fra sedimentene utgjør risiko for toksiske effekter i vannmassene.

5. REFERANSER

- Bakke, T., Breedveld, G., Källqvist, T., Oen, A., Eek, E., Ruus, A., Kibsgaard, A., Helland, A., Hylland, K. 2007. Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystvann. Revidering av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sediment, TA-2229/2007.
- Bakke, T., Breedveld, G., Källqvist, T., Oen, A., Eek, E., Ruus, A., Kibsgaard, A., Helland, A., Hylland, K. 2011. Veileder for risikovurdering av forurenset sediment., TA-2802/2011
- Næs, K., Knutzen, J., Håvardstun, J., Oug, E., Moy, F., Lie, M.C., Knutsen, J.A., Wiborg, M.L. 2002. Miljøgiftundersøkelse i havner i Telemark, Vestfold, Akershus og Østfold 1999. PAH, PCB, tungmetaller og TBT i sedimenter og organismer. Statlig program for forurensningsovervåking. Overvåkingsrapport 849/02. TA 1885/2002. NIVA-rapport 4568-2002.
- Økland, T.E., 2005. Kostholdsråd i norske havner og fjorder. En gjennomgang av kostholdsråd i norske havner og fjorder fra 1960-tallet til i dag. Bergfald og Co as. 269 s.
- Øxnevad, S., Schøyen, M., Beylich, B. 2011. Prøvetaking og kartlegging av miljøgifter i sjøsedimenter i Horten Indre Havn. FBSE-2011/20, NIVA rapport 6208-2011.

Forsvarsbygg FO/ NIVA

