

# Miljøundersøkelser - Union fabrikker i Skien

## Risikovurdering trinn 2



**Hovedkontor**

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

**Sørlandsavdelingen**

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

**Østlandsavdelingen**

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

**Vestlandsavdelingen**

Postboks 2026  
5817 Bergen  
Telefon (47) 2218 51 00  
Telefax (47) 55 23 24 95

**NIVA Midt-Norge**

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

Tittel Miljøundersøkelser – Union fabrikk Skien. Risikovurdering Trinn 2.	Løpenr. (for bestilling) 5600-2008	Dato 23.05.2008
	Prosjektnr. Undernr. O-28186	Sider Pris 32
Forfatter(e) Jarle Håvardstun Merete Schøyen Torgeir Bakke	Fagområde Miljøgifter	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Telemark	Trykket CopyCat

Oppdragsgiver(e) Norske Skogindustrier ASA	Oppdragsreferanse Georg Carlberg
---	-------------------------------------

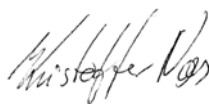
**Sammendrag**

Trinn 2 i SFTs reviderte risikoveileder viser at miljøgiftene i bunnsedimentene i Skienselva utenfor Union representerer en uakseptabel risiko både mht spredning ut fra sedimentet, skade på human helse og økologisk skade. Kun en av miljøgiftene i bunnsedimentene i Skienselva utenfor Union representerer risiko for skade på human helse ved transport til fisk og skaldyr til konsum. Dette er den potensielt kreftfremkallende PAH-forbindelsen benzo(a)pyren. Vurderingen viser også at flere av miljøgiftene i sedimentet (kobber, nikkel, sink, TBT, flere PAH-forbindelser og dioksiner) utgjør en risiko for skade på sedimentlevende organismer, mens forurensningen i sedimentet ikke medfører risiko for skade på organismer i vannmassene over.

Fire norske emneord 1. Miljøgifter 2. Risikovurdering 3. Trinn 2 4. Skienselva, Telemark	Fire engelske emneord 1. Contaminants 2. Risk assessment 3. Step 2 4. Skienriver, Telemark
--	--



Jarle Håvardstun  
Prosjektleder



Kristoffer Næs  
Forskningsleder



Jarle Nygard  
Fag- og markedsdirektør

# **Miljøundersøkelser – Union fabrikk Skien**

## Risikovurdering Trinn 2

## **Forord**

Risikovurdering ihht SFTs veileder Trinn 2 er gjennomført av NIVA på sedimenter fra nærområdet til Union i Skienselva. Oppdragsgiver har vært Norske Skogindustrier ASA. Sedimentundersøkelser og gjennomføring av risikovurdering Trinn 1 ble foretatt av Norges Geotekniske Institutt (NGI) i 2007. Jarle Håvardstun har vært prosjektleder og Torsten Källqvist/ Torgeir Bakke har hatt kontakt mot oppdragsgiver. Rapporten er skrevet av Jarle Håvardstun og Merete Schøyen. Torgeir Bakke har vært kvalitetssikrer. Kontaktperson hos Norske Skogindustrier ASA har vært Georg Carlberg.

Grimstad, 23. mai 2008.

*Jarle Håvardstun*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Bakgrunn og målsetning</b>	<b>7</b>
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Risikovurdering Trinn 1 og oppfølging i Trinn 2	7
<b>2. Metoder og gjennomføring</b>	<b>8</b>
2.1 Undersøkellesområdet	8
2.2 Prinsipp for gjennomføring av Trinn 2	9
2.3 Lokal informasjon	9
<b>3. Resultater og diskusjon</b>	<b>13</b>
3.1 Identifisering av delområder med høye miljøgiftkonsentrasjoner	13
3.2 Trinn 1 etter revidert veileder	13
3.3 Trinn 2A, risiko for spredning	15
3.4 Trinn 2B, risiko for skade på human helse	22
3.5 Trinn 2C, risiko for økologisk skade	25
3.5.1 Risiko for sedimentlevende organismer	25
3.5.2 Risiko for øvrige lokale akvatiske organismer	28
3.6 Samlet risikovurdering Trinn 2	30
<b>4. Konklusjoner og anbefalinger</b>	<b>31</b>
<b>5. Referanser</b>	<b>32</b>

---

## Sammendrag

Denne rapporten er utarbeidet av NIVA etter forespørsel fra Norske Skogindustrier ASA.

En risikovurdering av miljøgiftinnholdet i sedimentene i Skienselva øst for Union fabrikker ble gjennomført av NGI i 2007 etter Trinn 1 i SFTs risikoveileder av 2005 (SFT TA-2085/2005). Vurderingen viste at grenseverdiene for akseptabel risiko ble overskredet, spesielt grensen for toksisitet av dioksiner. I følge risikoverktøyet skal man da gjennomføre Trinn 2 i risikovurderingen.

En risikovurdering etter Trinn 2 i SFTs reviderte risikoveileder av 2008 (SFT TA-2230/2007) viser at miljøgiftene i bunnsedimentene i Skienselva utenfor Union representerer en uakseptabel risiko både mht spredning ut fra sedimentet, skade på human helse og økologisk skade. Dette gjelder i første omgang konsentrasjonene av TBT og enkelte PAH-forbindelser, spesielt pyren og benzo(a)pyren. Trinn 2 dekker ikke risiko fra dioksiner som i Trinn 1 viste overskridelse av akseptgrenser for ubetydelig risiko.

Disse konklusjonene alene tilsier at man bør gjennomføre en tiltaksplanlegging for sedimentene. Før slik planlegging settes i gang bør man imidlertid avklare i hvilken grad det foregår en transport av forurensede partikler innover med kompensasjonsstrømmen siden man ikke har kildekontroll. Videre bør det avklares om det undersøkte området utgjør et avgrenset risikoområde eller bare er innerste del av et større forurenset område utover i elva.

Før tiltaksplanlegging kan man velge å gjennomføre Trinn 3 i risikovurderingen for å gjøre konklusjonene fra Trinn 2 enda mer pålitelige gjennom sterkere lokal forankring. En slik Trinn 3 vurdering bør fokusere på den reelle risikoen fra TBT og dioksiner. Trinn 3 vil ikke nødvendigvis erstatte en tiltaksplanlegging, men gjøre konklusjonene sikrere om hvorvidt tiltak er nødvendig.

## Summary

Title: Environmental study – Union Factory Skien. Risk assessment Step 2.

Year: 2008

Author: Jarle Håvardstun, Merete Schøyen and Torgeir Bakke

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-5335-1

This report is based on an investigation of contaminated sediments in the river Skienselva written by the Norwegian Geotechnical Institute (NGI). They conducted a risk assessment for contaminated sediments after the Norwegian Pollution Control Authority (SFT) criteria for Step 1 evaluation. Due to the conclusions NIVA has conducted a risk assessment in accordance with SFTs criteria for Step 2 evaluation.

The conclusions of this report are that the sediments have an unacceptable status for some PAHs, TBT and dioxins. It is therefore recommended to make a remedial plan of action for the sediments. Due to a possible transport of water from downstream polluted areas driven by a compensation stream from the tide water, it will be necessary to clarify if this is a source of contaminated particles before the plan is made. It is also possible to make an assessment after SFTs criteria for a Step 3 evaluation for contaminated sediments, before an eventually remedial plan for the sediments are worked out. This will strengthen an eventually conclusion if there is a need for taking any action regarding the sediments.

# 1. Bakgrunn og målsetning

## 1.1 Bakgrunn

Norges Geotekniske Institutt (NGI) gjennomførte i 2007 en sedimentundersøkelse utenfor Unions fabrikkområde på Klosterøya i Skien. Undersøkelsen omfattet 12 stasjoner i Hjellevann og Bryggevann og de analyser og toksisitetstester av sedimentprøvene som kreves for gjennomføring av Trinn 1 etter SFTs veileder for risikovurdering av forurensede sjøsedimenter (SFT TA-2085/2005). NGI gjennomførte også Trinn 1 av risikovurderingen i følge veilederen (NGI 2007). Undersøkelsen viste forhøyet innhold av kvikksølv, mineralolje, toluen, enkelte PAH-forbindelser og butyltinn. Videre ble grenseverdien i Trinn 1 for den påkrevde DR-CALUX-testen overskredet i samtlige 7 sedimenter som ble testet. Dette er en test som skal påvise negative effekter av stoffer med dioksinliknende virkning. Påfølgende kjemisk analyse utført av NILU på to av de testede sedimentene viste lavere nivå av dioksiner enn DR-CALUX-testen, men fortsatt over grenseverdien for negative effekter.

NIVA har i brev datert 07.09.07 vurdert mulige kilder og betydningen av funnene av dioksiner/furaner i elvesedimentet ved Union/Klosterøy. NIVA konkluderte med at sannsynlig hovedkilde var spredning av dioksinforurensede partikler med kompensasjonsstrømmen oppover i Skienselva fra det mer forurensede sedimentområdet ved utløpet til Frierfjorden. Det kan for øvrig nevnes at modellberegninger (Saloranta et al. 2006) har konkludert med at en tildekking av de forurensede sedimentene i nedre delen av Skienselva for å stoppe utlekking av dioksiner, ikke vil ha noen signifikant effekt på den fremtidige utviklingen av konsentrasjonsnivåene i krabbe og torsk i Frierfjorden eller lengre ut i fjordsystemet.

På bakgrunn av sedimentundersøkelsene og risikovurderingen beskrevet ovenfor har SFT gitt Norske Skogindustrier pålegg om å gjennomføre Trinn 2 i risikovurderingen, og bedriften kontaktet NIVA for gjennomføringen. Denne rapporten beskriver resultatene av Trinn 2-vurderingen. Vurderingen ble gjennomført etter de reviderte retningslinjene for risikovurdering av forurenset sediment (SFT TA-2230/2007). Det bør påpekes at retningslinjene gjelder marine sedimenter, men de bør også være anvendbare på den gjeldende lokaliteten både fordi prinsippet for risikovurdering vil være det samme i ferskvannlokaliteter, og fordi de gjeldende grenseverdiene for effekter som i stor grad er utledet fra tester på ferskvannssystemer, også bør være gyldige for ferskvanns- /brakkvannsorganismer.

## 1.2 Risikovurdering Trinn 1 og oppfølging i Trinn 2

I NGIs risikovurdering Trinn 1 ble det som sagt påvist noe forhøyet innhold av enkelte miljøgifter i sedimentprøvene og en overskridelse av grenseverdiene for DR-CALUX-testen. Undersøkelsen klargjorde ikke om det fantes delområder med ubetydelig risiko som evt. kunne "friskmeldes" for videre risikovurdering. Trinn 2 omfatter også en vurdering av om eventuelle delområder kan friskmeldes for tiltaksplanlegging.

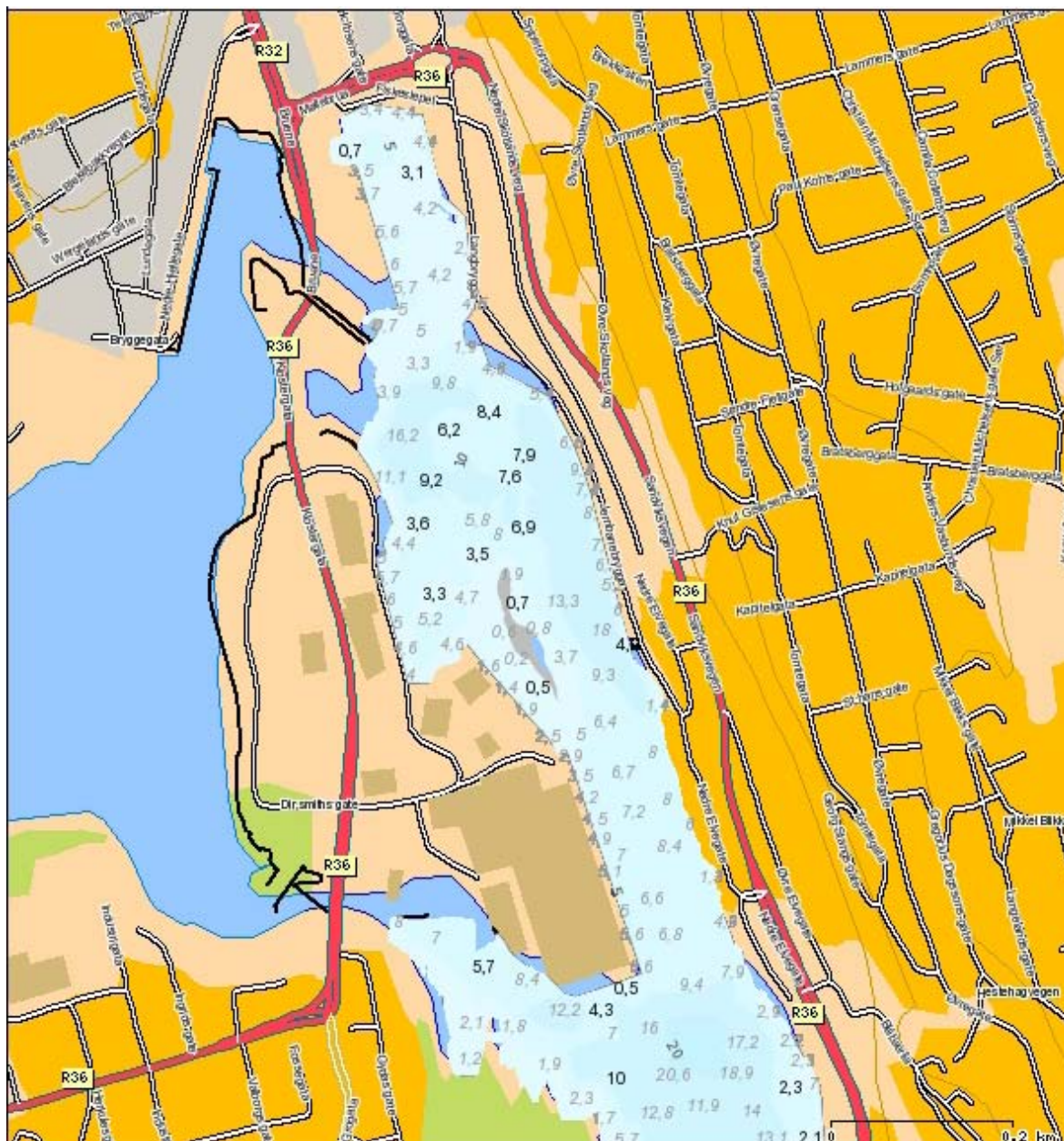
Trinn 2 har som mål å bedømme om risikoen for miljø- og helsemessig skade fra et sediment er akseptabel eller ikke ut fra beregninger av spredning av miljøgifter fra sedimentet til andre deler av økosystemet. Til å gjennomføre disse beregningene er det laget et regneark hvor det fylles inn verdier for lokale forhold, og en kan benytte ferdige sjablongverdier for parametre som ikke er målt eller tallfestet. Trinn 2 krever også at det gjennomføres en toksisitetstest på selve sedimentet ved bruk av en av to marine arter. Testen er ikke anvendbar på elvesedimenter og Trinn 2-vurderingen er derfor gjort på basis av de kjemiske analysene. Det er ikke antatt å være behov for ytterligere prøvetaking eller kjemiske analyser ut over det som ble gjort for Trinn 1, for gjennomføring av Trinn 2.



## 2. Metoder og gjennomføring

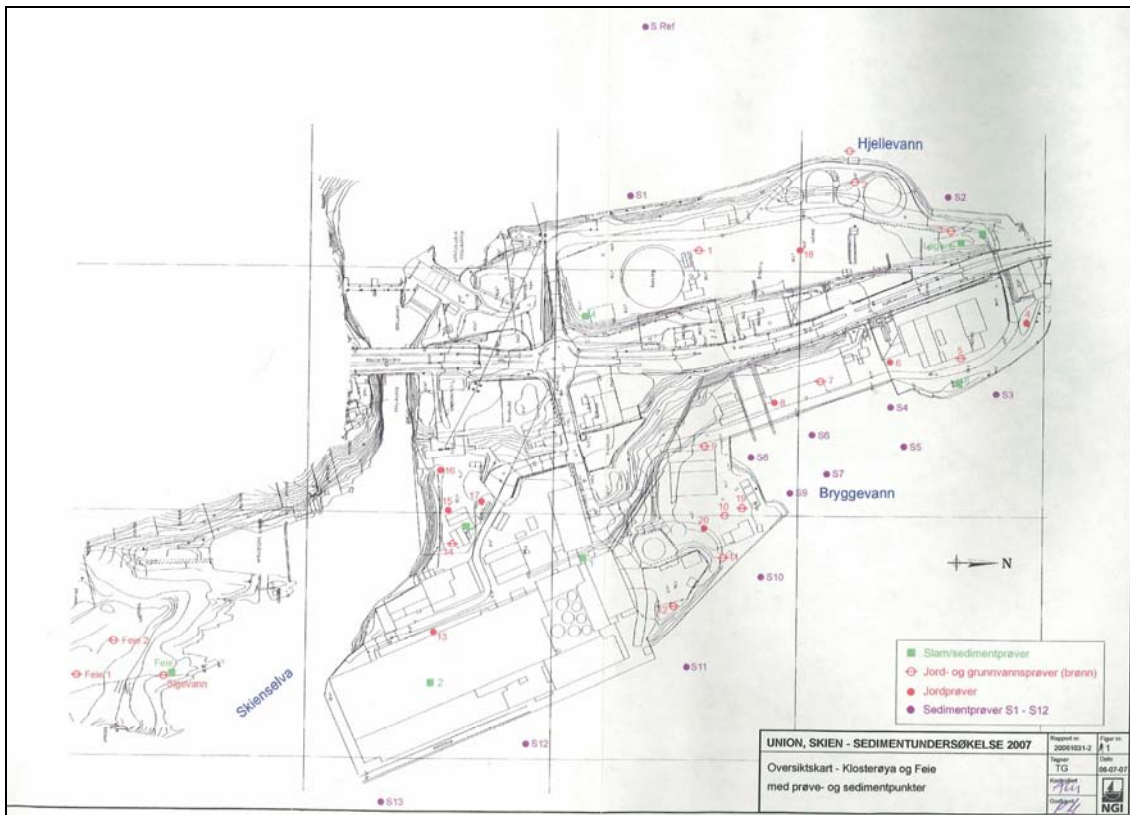
### 2.1 Undersøkellesområdet

Unions fabrikkområde på Klosterøya i Skien er eid av Norske Skogsindustrier ASA og det har vært drevet ulike typer treforedlingsvirksomhet fra 1873 til 2006. Klosterøya ligger ved Skienselva som er ca 10 km lang på strekningen fra Skien til Frierfjorden. Typisk bredde er ca 200 m og bunndypet er vanligvis 8 – 10 m dypt. Det er flere relativt små og dype bassenger, ved Tilja og Borgestad er bunndypet 26 m og ved Porsgrunn er det 32 m. I hovedsak er det området utenfor Union i bassenget øst for Klosterøya som er vurdert av NGI. Kart over området med vanddyp er vist i **Figur 1**.



**Figur 1.** Dybdekart som viser det undersøkte området. (Kilde: [www.kystverket.no](http://www.kystverket.no))

Kart med NGIs prøvetakingspunkter er gitt i **Figur 2**.



**Figur 2.** Kart med prøvetakingspunkt inntegnet fra NGI rapport.

## 2.2 Prinsipp for gjennomføring av Trinn 2

Trinn 2 i risikovurderingen er en stedsspesifikk risikovurdering hvor lokale forhold som antall skipsanløp, problemområdets areal, arealbruk og sedimentenes sammensetning av totalt organisk karbon (TOC) og leire blir tatt hensyn til. Det beregnes ett tall for total spredning som følge av oppvirvling fra skip, biodiffusjon og transport via organismer. Total human helserisiko kan beregnes på grunnlag av eksponering via sjømat og via kontakt med sedimenter og vann. Risiko for økosystemet vurderes på bakgrunn av supplerende undersøkelser av sedimentets toksisitet overfor sedimentlevende organismer og bioakkumulering av miljøgifter til organismer via direkte kontakt med sediment.

Spredning av tungmetaller, metallorganiske forbindelser (TBT) og de organiske miljøgiftene PAH og PCB som følge av diffusjon, oppvirvling og transport via organismer er beregnet ved hjelp av regneark tilpasset den reviderte risikoveilederen (TA-2230/2007). Dioksiner er kun med i den del av Trinn 2 som omhandler human helse.

## 2.3 Lokal informasjon

Beregningene i Trinn 2 baserer seg på en rekke konstanter og faktorer der man enten kan benytte standardverdier foreslått i selve veilederen eller stedsspesifikke verdier der slike finnes. I **Tabell 1** er gitt de stedsspesifikke verdier som er lagt til grunn for beregningene utført i risikoveilederens regneark.

**Tabell 1.** Stedsspesifikk informasjon for området for undersøkelsen.

Areal i bassenget grunnere enn 10 m dyp	100 000 m <sup>2</sup>
Gjennomsnittsdyp i området grunnere enn 10 m	4,969 m
Middelvannføring	289,1 m <sup>3</sup> /s
TOC (tatt utgangspunkt i S-ref og S-12 som er lite påvirket av flis)	5 %
Fraksjon suspendert sediment	5 %
Antall skipsanløp	2150 (ifølge Norske Skog)

Arealet utenfor Union, som defineres som problemområdet, er bassenget på østsiden av Klosterøya kalt Bryggevann (**Figur 1**). Området avgrenses ved Klosterøyas nordlige og sørlige ende og har et areal på ca 115 000 m<sup>2</sup>. Vanndypet varierer ned til 18 m dyp og vi avgrenser området til å gjelde der dypet er 10 m eller grunnere. Dette begrunnes både med at sedimentprøvene er representative for dyp grunnere enn 10 m (**Figur 2**), og at oppvirvling fra lokal båttrafikk neppe foregår dypere (det er oppvirvling fra båttrafikk som primært er arealavhengig i vurderingen). Ca 15 000 m<sup>2</sup> er dypere enn 10 m, så arealet som benyttes i utregningene er 100 000 m<sup>2</sup>.

Det er beregnet et gjennomsnittsdyp på 4,96 m (avrundet 5 m) i det aktuelle området ut i fra gjennomsnittet av 71 dybdepunkter etter kart fra Kystverket. Bassengvolumet for problemområdet er ut fra dette 496 900 m<sup>3</sup>.

Middelvannføringen i Skienselva er 289,1 m<sup>3</sup>/s beregnet ut i fra døgndata i perioden 2004 til 2006 ved stasjon 59-Total Nordsjø-NVE-16.153 (Skarbøvik et al. 2007). NVE-stasjonen gir vannføringen i Skienselva ved utløpet av Nordsjø like før elva renner gjennom Skien by. I denne perioden varierte vannføringen i intervallet 96,0 m<sup>3</sup>/s til 990,6 m<sup>3</sup>/s. Vannutskiftingen i bassenget tar da ca 28 minutter beregnet ut fra middelvannføringen. Ruben Kaasa (Norske Skog) opplyser at kraftstasjonene innerst i bukta ved kaiene har en vanngjennomstrømning på ca 60 m<sup>3</sup>/s hele året. Under vår- og høstflom åpnes damluka og da er gjennomstrømningen 100-150 m<sup>3</sup>/s tre uker vår og høst. Ved å bruke en vannføring på 60 m<sup>3</sup>/s i regnearket gav dette som forventet en lengre oppholdstid på vannet. Dette ga imidlertid ingen forandringer på tolkningen av resultatene og vi bruker derfor våre opprinnelige vannføringstall som er ett gjennomsnitt for hele året inkludert flommer.

Fordelingskoeffisientene i risikoverktøyet er basert på et innhold av totalt organisk karbon (TOC) på 1 % i sedimentene, men bør justeres ved store lokale avvik siden bindingen av miljøgiftene til sedimentet avhenger av TOC. TOC-innholdet varierte svært mye mellom de enkelte sedimentprøvene og var enkelte steder over 30 % på grunn av flis og planterester. Dette er ikke organisk materiale som binder miljøgiftene og vi har av denne grunn valgt å ikke bruke TOC-verdiene som representerer mye flis, kvister og organisk materiale fra land i beregning av gjennomsnittlig TOC. Verdien er ment for å fokusere på oppvirvling av det egentlige sedimentet, derfor bruker vi i dette tilfellet S-ref og S-12 som er stasjonene lengst ute og som er mest likt det egentlige sedimentet. TOC-verdien er derfor satt til 5 %.

Vi antar videre at sedimenttypen er mer lik sand enn slam slik det oppgis ved NGIs prøvetaking. Beskrivelsene av sedimentene er gjort der de faktiske prøvene ble tatt, og ikke der det var bomskudd pga grovere materiale og som dermed ikke representerte området i sin helhet. Vi velger altså å bruke parameteren for sand som er midt mellom silt/ leire og grus/ stein.

I beregningene av oppvirvling fra propeller har vi videre valgt å benytte havnekategorien småbåthavn i risikoveilederen pga trafikkmønster og bruker dermed 15 kg per anløp i regnearket. Vi legger til grunn at antall skipsløp er 2150 i året på bakgrunn av opplysninger fra bedriften (ved Ruben Kaasa) om 400 lektere, 700 småbåter som passerer slusene og antas å gå fram og tilbake og da utgjør 1400 båtanløp, og i tillegg ca 350 lokale småbåtanløp (verdier fra 2007).

For prøver hvor innholdet av forurensning var lavere enn deteksjonsgrensen for analysemetoden, er konsentrasjoner tilsvarende halvparten av deteksjonsgrensen benyttet i regnearket. For sum PCB og lindan var nivået under deteksjonsgrensen i alle prøvene. Bruken av halve deteksjonsgrensen medførte teknisk sett overskridelser av grenseverdiene i Trinn 1 (se **Tabell 3**), men dette blir upålitelig siden vi ikke vet hva de reelle nivåene er i noen av prøvene, bare at de er lave. PCB og lindan ligger fortsatt inne i kalkulasjonene i Trinn 2, men siden alle prøvene lå under deteksjonsgrensen, som for disse stoffene er akseptabelt lav, mener vi at det er god grunn til å se bort PCB og lindan i den videre risikovurderingen.

**Tabell 2** viser de sedimentkonsentrasjonene som ble funnet av NGI (2007) og som er lagt til grunn for risikovurderingen Trinn 2.

**Tabell 2.** Konsentrasjon av metaller, PAH-forbindelser, PCB og TBT. Indeks for ”hotspot” er vist i kolonne nr 2 (hentet fra regnearket).

	Ant. prøver	Indeks hotspot	S-4 mg/kg	S-5 mg/kg	S-6 mg/kg	S-7 mg/kg	S-8 mg/kg	S-9 mg/kg	S-10 mg/kg	S-11 mg/kg	S-12 mg/kg
Arsen	9	1,8	2,2	1,20	0,94	2,30	1,3	1,5	4	2,3	2,9
Bly	9	3,7	19	44	21,00	30	23	17	49	40	70
Kadmium	9	2,2	0,58	0,67	0,54	0,83	0,66	1,3	0,64	0,83	0,57
Kobber	9	2,1	33	25	20	40	26	65	29	47	69
Krom totalt (III + VI)	9	1,0	27	20	11	22	13	16	21	23	16
Kvikksølv	9	2,7	0,3	0,40	0,24	0,80	0,3	0,22	0,78	0,72	0,65
Nikkel	9	1,0	21	18	12,00	16	18	13	19	15	10
Sink	9	2,1	220	180	190	260	300	470	200	230	180
Naftalen	9	1,0	0,36	0,05	0,07	0,051	0,078	0,01	0,075	0,033	0,017
Acenaftalen	9	1,0	0,025	0,01	0,01	0,0050	0,01	0,01	0,025	0,01	0,005
Acenaften	9	1,0	0,35	0,01	0,04	0,0220	0,083	0,01	0,025	0,028	0,005
Fluoren	9	1,0	0,85	0,02	0,08	0,0140	0,04	0,01	0,025	0,021	0,005
<b>Fenantren</b>	<b>9</b>	<b>1,0</b>	<b>4,4</b>	<b>0,07</b>	<b>0,15</b>	<b>0,0280</b>	<b>0,26</b>	<b>0,026</b>	<b>0,11</b>	<b>0,044</b>	<b>0,016</b>
<b>Antracen</b>	<b>9</b>	<b>1,0</b>	<b>0,86</b>	<b>0,01</b>	<b>0,04</b>	<b>0,0250</b>	<b>0,093</b>	<b>0,01</b>	<b>0,025</b>	<b>0,079</b>	<b>0,005</b>
<b>Fluoranten</b>	<b>9</b>	<b>1,0</b>	<b>2,5</b>	<b>0,06</b>	<b>0,36</b>	<b>0,0150</b>	<b>0,21</b>	<b>0,02</b>	<b>0,11</b>	<b>0,01</b>	<b>0,037</b>
<b>Pyren</b>	<b>9</b>	<b>1,0</b>	<b>1,8</b>	<b>0,04</b>	<b>0,01</b>	<b>0,5500</b>	<b>1,8</b>	<b>0,17</b>	<b>0,4</b>	<b>0,01</b>	<b>0,035</b>
<b>Benzo(a)antracen</b>	<b>9</b>	<b>1,0</b>	<b>0,61</b>	<b>0,03</b>	<b>0,02</b>	<b>0,0180</b>	<b>0,052</b>	<b>0,01</b>	<b>0,056</b>	<b>0,085</b>	<b>0,01</b>
Krysen	9	1,0	0,57	0,03	0,01	0,0190	0,051	0,01	0,062	0,093	0,005
Benzo(b)fluoranten	9	1,0	0,38	0,02	0,01	0,0100	0,024	0,01	0,025	0,074	0,012
Benzo(k)fluoranten	9	1,0	0,41	0,01	0,01	0,0100	0,029	0,01	0,025	0,08	0,005
Benzo(a)pyren	9	1,0	0,7	0,01	0,05	0,0100	0,046	0,01	0,025	0,14	0,005
Indeno(1,2,3-cd)pyren	9	1,0	0,21	0,02	0,01	0,0100	0,01	0,01	0,025	0,01	0,005
Dibenzo(a,h)antracen	9	1,0	0,056	0,01	0,01	0,0100	0,01	0,01	0,025	0,01	0,005
<b>Benzo(ghi)perylene</b>	<b>9</b>	<b>1,0</b>	<b>0,19</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,0100</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,025</b>	<b>0,098</b>	<b>0,005</b>
PCB 28	9	1,0	0,005	0,0030	0,0030	0,0015	0,003	0,0015	0,003	0,0015	0,0015
PCB 52	9	1,0	0,005	0,0030	0,0030	0,0015	0,003	0,0015	0,003	0,0015	0,0015
PCB 101	9	1,0	0,005	0,0030	0,0030	0,0015	0,003	0,0015	0,003	0,0015	0,0015
PCB 118	9	1,0	0,005	0,0030	0,0030	0,0015	0,003	0,0015	0,003	0,0015	0,0015
PCB 138	9	1,0	0,005	0,0030	0,0030	0,0015	0,003	0,0015	0,003	0,0015	0,0015
PCB 153	9	1,0	0,005	0,0030	0,0030	0,0015	0,003	0,0015	0,003	0,0015	0,0015
PCB 180	9	1,0	0,005	0,0030	0,0030	0,0015	0,003	0,0015	0,003	0,0015	0,0015
<b>Sum PCB 7</b>	<b>9</b>		<b>0,035</b>	<b>0,021</b>	<b>0,021</b>	<b>0,011</b>	<b>0,021</b>	<b>0,0105</b>	<b>0,021</b>	<b>0,0105</b>	<b>0,0105</b>
DDT	9	2	0,005	0,01	0,01	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Tributyltinn (TBT-ion)	9	3,4	0,014	0,0051	0,020	0,013	0,015	0,0005	0,005	0,047	0,026
<b>Lindan</b>	<b>9</b>	<b>1,0</b>	<b>0,005</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,005</b>	<b>0,005</b>	<b>0,005</b>	<b>0,005</b>	<b>0,005</b>	<b>0,005</b>
<b>Heksaklorbenzen</b>	<b>9</b>	<b>3,3</b>	<b>0,027</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,012</b>	<b>0,016</b>	<b>0,005</b>	<b>0,013</b>	<b>0,09</b>	<b>0,005</b>

Kolonnen merket ”indeks hotspot” indikerer at enkeltprøver kan overstige gjennomsnittskonsentrasjonen betydelig, en verdi på større enn 2 indikerer enkeltprøver med betydelig høyere konsentrasjoner, såkalte ”hotspots”.

## 3. Resultater og diskusjon

### 3.1 Identifisering av delområder med høye miljøgiftkonsentrasjoner

**Tabell 2** viser at hotspotindeksen er over 2 for metallene bly, kadmium, kobber, kvikksølv og sink, men selv om det er stor variasjon mellom stasjonene, viste alle disse metallene lave nivåer. Det samme er tilfellet med TBT. Det er ingenting som tyder på at det er særskilte delområder med høyt PAH-innhold ettersom hotspotindeksen er 1 for samtlige enkeltforbindelser.

### 3.2 Trinn 1 etter revidert veileder

NGIs risikovurdering Trinn 1 ble gjort på basis av SFTs tidligere risikoveileder fra 2005 (SFT TA-2085/2005). Siden det reviderte regnearket for Trinn 2 også automatisk beregner overskridelse av de reviderte grenseverdiene for Trinn 1 vises denne her (**Tabell 3**).

Overskridelse av grenseverdiene gis både for maksimalverdi (dvs overskridelse av prøven med høyest konsentrasjon), og som middelverdi av alle prøvene. For metallene kobber, kvikksølv og sink overskrider den høyeste av sedimentkonsentrasjonene ( $C_{sed, max}$ ) grenseverdien med 27-35 %. Middelverdien av disse metallene i de 9 prøvene (cf. **Tabell 2**) overskrider ikke grenseverdiene for Trinn 1. For metallene arsen, bly, kadmium, krom og nikkel overskrides ikke grenseverdiene for Trinn 1 verken for maks- eller middelverdiene.

For 6 av enkeltforbindelsene av PAH overskrider både maksimal- og gjennomsnittsverdiene av prøvene grenseverdiene for Trinn 1. For 17 av enkeltforbindelsene overskrider kun makskonsentrasjonen grenseverdiene for Trinn 1.

Den reviderte risikoveilederen setter følgende krav til friskmelding etter Trinn 1.

1. Ingen gjennomsnittskonsentrasjon skal overskride grenseverdien for Trinn 1, og
2. Ingen enkeltkonsentrasjon skal overskride den høyeste av: 2 x grenseverdien eller klasse III i SFTs klassifiseringsveileder (SFT TA-2229/2007).

Siden krav nr. 1 ikke oppfylles for 6 av PAH-komponentene, HCB og dioksiner (fra NGIs toksisitetstester) så kan heller ikke sedimentene friskmeldes etter Trinn 1 i den reviderte risikoveilederen.

**Tabell 3.** Overskridelse av grenseverdiene fra Trinn 1 for metaller, PAH-forbindelser, PCB og TBT (hentet fra regnearket). Positive prosentverdier betyr overskridelse. Tabellen viser overskridelse for den høyeste sedimentkonsentrasjonen (maks) og for et gjennomsnitt for alle sedimentprøvene (middel).

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon overskrider Trinn 1 grenseverdi med:	
	Antall prøver	C <sub>sed, max</sub> (mg/kg)	C <sub>sed, middel</sub> (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	9	4	2,07	52		
Bly	9	70	34,78	83		
Kadmium	9	1,3	0,74	2,6		
Kobber	9	69	39,33	51	35 %	
Krom totalt (III + VI)	9	27	18,78	560		
Kvikksølv	9	0,8	0,494	0,63	27 %	
Nikkel	9	21	15,78	46		
Sink	9	470	247,8	360	31 %	
Naftalen	9	0,36	0,083	0,29	24 %	
Acenaftylen	9	0,025	0,012	0,033		
Acenaften	9	0,35	0,064	0,16	119 %	
Fluoren	9	0,85	0,118	0,26	227 %	
<b>Fenantren</b>	<b>9</b>	<b>4,4</b>	<b>0,567</b>	<b>0,50</b>	<b>780 %</b>	<b>13 %</b>
<b>Antracen</b>	<b>9</b>	<b>0,86</b>	<b>0,128</b>	<b>0,031</b>	<b>2674 %</b>	<b>313 %</b>
<b>Fluoranten</b>	<b>9</b>	<b>2,5</b>	<b>0,369</b>	<b>0,17</b>	<b>1371 %</b>	<b>117 %</b>
<b>Pyren</b>	<b>9</b>	<b>1,8</b>	<b>0,535</b>	<b>0,28</b>	<b>543 %</b>	<b>91 %</b>
<b>Benzo(a)antracen</b>	<b>9</b>	<b>0,61</b>	<b>0,099</b>	<b>0,06</b>	<b>917 %</b>	<b>64 %</b>
Krysen	9	0,57	0,095	0,28	104 %	
Benzo(b)fluoranten	9	0,38	0,063	0,24	58 %	
Benzo(k)fluoranten	9	0,41	0,065	0,21	95 %	
Benzo(a)pyren	9	0,7	0,111	0,42	67 %	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	9	0,21	0,035	0,047	347 %	
Dibenzo(a,h)antracen	9	0,056	0,016	0,59		
<b>Benzo(ghi)perylene</b>	<b>9</b>	<b>0,19</b>	<b>0,041</b>	<b>0,021</b>	<b>805 %</b>	<b>95 %</b>
PCB 28	9	0,005	0,003			
PCB 52	9	0,005	0,003			
PCB 101	9	0,005	0,003			
PCB 118	9	0,005	0,003			
PCB 138	9	0,005	0,003			
PCB 153	9	0,005	0,003			
PCB 180	9	0,005	0,003			
<b>Sum PCB7</b>	<b>9</b>	<b>0,035</b>	<b>0,018</b>	<b>0,017</b>	<b>106 %</b>	<b>5 %</b>
DDT	9	0,02	0,012	0,02		
Tributyltinn (TBT-ion)	9	0,047	0,0152	0,035	34 %	
<b>Lindan</b>	<b>9</b>	<b>0,005</b>	<b>0,005</b>	<b>0,0011</b>	<b>355 %</b>	<b>355 %</b>
<b>Heksaklorbenzen</b>	<b>9</b>	<b>0,09</b>	<b>0,020</b>	<b>0,0169</b>	<b>433 %</b>	<b>17 %</b>

### **3.3 Trinn 2A, risiko for spredning**

Beregnet spredning av tungmetaller, PAH, PCB, TBT, lindan og HCB ut fra sedimentet som følge av diffusjon, oppvirvling og transport via organismer er vist i **Tabell 4**. De grunnstoffer og forbindelser der middelverdiene overskred grenseverdiene i Trinn 1 er uthevet i tabellene og med unntak av lindan er det disse som i hovedsak blir kommentert videre. Det blir lagt mest vekt på at middelverdiene overskrides. Fordi det er områdets samlede risiko som vurderes og ikke bare risiko fra et enkelt prøvepunkt.



**Tabell 4.** Beregnet spredning av metaller, PAH-forbindelser, PCB og TBT (hentet fra regnearket). Tabellen viser spredning ut fra den høyeste sedimentkonsentrasjonen (maksimal spredning) og på basis av et gjennomsnitt for alle sedimentprøvene (middels spredning).

Stoff	Beregnet maksimal spredning				Beregnet middels spredning			
	$F_{\text{tot, maks}}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	$F_{\text{diff, maks}}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	$F_{\text{skipnormert, maks}}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	$F_{\text{org, maks}}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	$F_{\text{tot, middel}}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	$F_{\text{diff, middel}}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	$F_{\text{skipnormert, middel}}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	$F_{\text{org, middel}}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]
Arsen	4,16827	4,03446	0,13290	0,00091	2,15824	2,08895	0,06882	0,00047
Bly	5,47313	3,14492	2,26042	0,06779	2,71919	1,56248	1,12303	0,03368
Kadmium	0,09496	0,05294	0,04199	0,00003	0,05373	0,02996	0,02376	0,00002
Kobber	17,19032	14,86203	2,24348	0,08480	9,79931	8,47207	1,27889	0,04834
Krom totalt (III + VI)	1,85933	0,98578	0,87220	0,00135	1,29312	0,68558	0,60659	0,00094
Kvikksølv	0,07793	0,05184	0,02585	0,00024	0,04773	0,03175	0,01583	0,00015
Nikkel	15,15293	14,43875	0,69638	0,01780	11,38474	10,84816	0,52321	0,01337
Sink	50,45867	33,32814	15,19903	1,93151	26,60114	17,57015	8,01273	1,01826
Naftalen	35,32657	35,11341	0,04733	0,16582	8,14474	8,09559	0,01091	0,03823
Acenaftalen	1,11989	1,08894	0,00205	0,02890	0,54750	0,53237	0,00100	0,01413
Acenaften	6,54629	6,27674	0,01857	0,25098	1,19911	1,14974	0,00340	0,04597
Fluoren	9,29420	8,78704	0,03816	0,46900	1,29511	1,22444	0,00532	0,06535
<b>Fenantren</b>	21,13798	19,26970	0,16669	1,70159	2,72445	2,48365	0,02148	0,21932
<b>Antracen</b>	3,34798	3,05849	0,03167	0,25782	0,49787	0,45482	0,00471	0,03834
<b>Fluoranten</b>	2,41786	1,58480	0,08286	0,75021	0,35720	0,23413	0,01224	0,11083
<b>Pyren</b>	3,70041	2,79936	0,06199	0,83906	1,10053	0,83255	0,01844	0,24954
<b>Benzo(a)antra</b> <b>cen</b>	0,24878	0,10234	0,01983	0,12660	0,04019	0,01654	0,00320	0,02045
Krysen	0,41631	0,12040	0,01857	0,27734	0,06922	0,02002	0,00309	0,04611
Benzo(b)fluoran ten	0,18920	0,03663	0,01232	0,14026	0,03148	0,00609	0,00205	0,02333
Benzo(k)fluoran ten	0,20858	0,04044	0,01329	0,15485	0,03329	0,00646	0,00212	0,02472
Benzo(a)pyren	0,34112	0,06594	0,02268	0,25249	0,05415	0,01047	0,00360	0,04008
Indeno(1,2,3- cd)pyren	0,04024	0,00658	0,00678	0,02687	0,00664	0,00109	0,00112	0,00444
Dibenzo(a,h)ant racen	0,01252	0,00210	0,00181	0,00862	0,00363	0,00061	0,00052	0,00250
<b>Benzo(ghi)per</b> <b>ylen</b>	0,07550	0,01364	0,00615	0,05570	0,01625	0,00294	0,00132	0,01199
PCB 28	0,0250	0,0095	0,0002	0,01532	0,0128	0,0048	0,00009	0,0079
PCB 52	0,0372	0,0071	0,00021	0,02992	0,0190	0,0036	0,00009	0,0153
PCB 101	0,0056	0,0010	0,0002	0,00442	0,00289	0,0005	0,00008	0,0023
PCB 118	0,0007	0,0001	0,0002	0,00042	0,0004	0,00005	0,00008	0,0002
PCB 138	0,0037	0,0006	0,0002	0,00292	0,0019	0,00035	0,00008	0,0015
PCB 153	0,0005	0,0001	0,0002	0,0003	0,0003	0,00003	0,00008	0,0001
PCB 180	0,0020	0,0003	0,0002	0,00153	0,00103	0,0002	0,00008	0,0008
DDT	0,0044	0,0006	0,00062	0,0031	0,0027	0,0004	0,0004	0,0019
Tributyltinn (TBT-ion)	3,10	3,03	0,007	0,05597	0,9991	0,978	0,0023	0,0180
<b>Lindan</b>	0,0669	0,0649	0,0003	0,0018	0,0669	0,0649	0,0003	0,0018
<b>Heksaklorbenz</b> <b>en</b>	0,1233	0,0498	0,0030	0,0705	0,0271	0,0109	0,0007	0,0155

Den prosentvise betydningen av de ulike spredningsveiene er vist i **Tabell 5**.

**Tabell 5.** Spredning av metaller, PAH-forbindelser, PCB og TBT vist som %-fordeling på de ulike spredningsveiene (hentet fra regnearket). Tabellen viser % spredning ut fra den høyeste sedimentkonsentrasjonen (maksnivå) og på basis av et gjennomsnitt for alle sedimentprøvene (middelnivå).

Stoff	Prosentvis fordeling, maksnivå			Prosentvis fordeling, middelnivå		
	F <sub>diff. maks</sub>	F <sub>skipnormert, maks</sub>	F <sub>org. maks</sub>	F <sub>diff. middel</sub>	F <sub>skipnormert, middel</sub>	F <sub>org. middel</sub>
Arsen	96,8	3,2	0,0	<b>96,8</b>	3,2	0,0
Bly	57,5	41,3	1,2	<b>57,5</b>	41,3	1,2
Kadmium	55,8	44,2	0,0	<b>55,8</b>	44,2	0,0
Kobber	86,5	13,1	0,5	<b>86,5</b>	13,1	0,5
Krom totalt (III + VI)	53,0	46,9	0,1	<b>53,0</b>	46,9	0,1
Kvikksølv	66,5	33,2	0,3	<b>66,5</b>	33,2	0,3
Nikkel	95,3	4,6	0,1	<b>95,3</b>	4,6	0,1
Sink	66,1	30,1	3,8	<b>66,1</b>	30,1	3,8
Naftalen	99,4	0,1	0,5	<b>99,4</b>	0,1	0,5
Acenaftalen	97,2	0,2	2,6	<b>97,2</b>	0,2	2,6
Acenaften	95,9	0,3	3,8	<b>95,9</b>	0,3	3,8
Fluoren	94,5	0,4	5,0	<b>94,5</b>	0,4	5,0
Fenantren	91,2	0,8	8,0	<b>91,2</b>	0,8	8,0
Antracen	91,4	0,9	7,7	<b>91,4</b>	0,9	7,7
Fluoranten	65,5	3,4	31,0	<b>65,5</b>	3,4	31,0
Pyren	75,6	1,7	22,7	<b>75,6</b>	1,7	22,7
Benzo(a)antracen	41,1	8,0	50,9	41,1	8,0	<b>50,9</b>
Krysen	28,9	4,5	66,6	28,9	4,5	<b>66,6</b>
Benzo(b)fluoranten	19,4	6,5	74,1	19,4	6,5	<b>74,1</b>
Benzo(k)fluoranten	19,4	6,4	74,2	19,4	6,4	<b>74,2</b>
Benzo(a)pyren	19,3	6,6	74,0	19,3	6,6	<b>74,0</b>
Indeno(1,2,3-cd)pyren	16,4	16,9	66,8	16,4	16,9	<b>66,8</b>
Dibenzo(a,h)antracen	16,8	14,5	68,8	16,8	14,5	<b>68,8</b>
Benzo(ghi)perylene	18,1	8,1	73,8	18,1	8,1	<b>73,8</b>
PCB 28	37,9	0,7	61,4	37,9	0,7	<b>61,4</b>
PCB 52	19,0	0,5	80,6	19,0	0,5	<b>80,6</b>
PCB 101	17,3	2,9	79,7	17,3	2,9	<b>79,7</b>
PCB 118	13,7	23,0	63,2	13,7	23,0	<b>63,2</b>
PCB 138	16,1	4,4	79,5	16,1	4,4	<b>79,5</b>
PCB 153	11,6	31,4	57,0	11,6	31,4	<b>57,0</b>
PCB 180	14,7	8,1	77,2	14,7	8,1	<b>77,2</b>
DDT	14,5	14,8	70,7	14,5	14,8	<b>70,7</b>
Tributyltinn (TBT-ion)	98,0	0,2	1,8	<b>98,0</b>	0,2	1,8
Lindan	96,9	0,4	2,7	<b>96,9</b>	0,4	2,7
Heksaklorbenzen	40,4	2,4	57,2	40,4	2,4	<b>57,2</b>

I tabellen er viktigste spredningsvei uthevet. Verdiene viser at viktigste spredningsvei varierer for de ulike forbindelsene. For metallene kobber, kvikksølv og sink og for TBT er det diffusjon fra sedimentene ( $F_{diff, middel}$ ) som er viktigste spredningsvei. Fordelingen av spredningsveiene for PAH viser at diffusjon fra sedimentene er viktigst for de med lavest molekylvekt, og at spredning via organismer i sedimentene er viktigst for de tyngre forbindelsene. Også for TBT er det diffusjon fra sedimentene som er viktigste spredningsvei. Oppvirvling fra skipstrafikk ( $F_{skipnormert, middel}$ ) er ikke den viktigste spredningsveien for noen av forbindelsene, men synes å ha betydning for en del tungmetaller.

Beregnet total spredning av de ulike miljøgiftene basert på hhv maksimal- og gjennomsnittskonsentrasjoner er vist i **Tabell 6**.

**Tabell 6.** Beregnet spredning sammenlignet med tillatt spredning (hentet fra regnearket). Tabellen viser overskridelse på basis av den høyeste sedimentkonsentrasjonen (maks) og på basis av et gjennomsnitt for alle sedimentprøvene (middel).

Stoff	Beregnet spredning		Spredning dersom $C_{sed}$ er lik grenseverdi for Trinn 1 ( $mg/m^2/år$ )	$F_{tot}$ overskrider tillatt spredning med:	
	$F_{tot, maks}$ ( $mg/m^2/år$ )	$F_{tot, middel}$ ( $mg/m^2/år$ )		Maks	Middel
Arsen	4,1683	2,1582	54,1875		
Bly	5,4731	2,7192	6,4896		
Kadmium	0,0950	0,0537	0,1900		
Kobber	17,19031	9,7993	12,7059	35 %	
Krom totalt (III + VI)	1,85931	1,2931	38,5640		
Kvikksølv	0,0780	0,0477	0,0614	27 %	
Nikkel	15,1529	11,3847	33,1921		
Sink	50,4587	26,6011	38,6492	31 %	
Naftalen	35,3266	8,1447	142,2502		
Acenaftylen	1,1199	0,5475	7,3870		
Acenaften	6,5463	1,1991	14,9423		
Fluoren	9,2942	1,2951	14,1811		
Fenantren	21,1380	2,7244	11,9457	77 %	
Antracen	3,3480	0,4979	0,5994	459 %	
Fluoranten	2,418	0,3572	0,8001	202 %	
Pyren	3,7004	1,1005	2,8420	30 %	
Benzo(a)antracen	0,2488	0,0402	0,1146	117 %	
Krysen	0,4163	0,0692	0,9864		
Benzo(b)fluoranten	0,1892	0,0315	0,5665		
Benzo(k)fluoranten	0,2086	0,0333	0,5071		
Benzo(a)pyren	0,3411	0,0542	0,9692		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,0402	0,0066	0,0390	3 %	
Dibenzo(a,h)antracen	0,0125	0,0036	0,5836		
Benzo(ghi)perylene	0,0755	0,0163	0,0390	94 %	
PCB 28	0,0251	0,0128			
PCB 52	0,0372	0,0190			
PCB 101	0,0056	0,0028			
PCB 118	0,0007	0,0004			
PCB 138	0,0037	0,0019			
PCB 153	0,0005	0,0003			
PCB 180	0,0020	0,0010			
Sum PCB7	0,0746	0,0381			
DDT	0,0044	0,0027	0,0192		
Tributyltinn (TBT-ion)	3,10	0,999	11,5226		
Lindan	0,067	0,0670	0,0735		
Heksaklorbenzen	0,1233	0,0271	0,1136	9 %	

Risikoveilederen angir ikke noen allmenne akseptgrenser for spredning alene, og vi kjenner ikke til at det finnes lokale akseptgrenser for spredning. Tabellen viser hvor mange ganger totalspredningen fra sedimentene overskrider spredningen fra et referansesediment som akkurat tilfredsstillende grenseverdiene i Trinn 1 (dvs som har en akseptabel økologisk risiko). Maksimalnivåene overskrider spredningen fra referansesedimentet for 3 av metallene, 7 av PAH-komponentene og HCB. Ingen av gjennomsnittskonsentrasjonene overskrider referansespredningen. Siden spredning basert på gjennomsnittskonsentrasjonene gir det mest realistiske bildet av hva som transporteres ut av sedimentet og kan påvirke andre deler av økosystemet og human helse, ansees risikoen knyttet til spredning isolert som akseptabel.

Som en kontroll på at spredningsberegningene er realistiske, har regnearket en rutine som beregner hvor lang tid det vil ta å tømme sedimentet for miljøgifter med den beregnede spredningen. Hvis denne tiden er kort for et stoff betyr det at utlekkingen er så stor at sedimentene allerede burde ha vært tømt for stoffet. Siden stoffet finnes betyr det at beregningene overestimerer risikoen (gir for høy utlekking) eller at tilførselen til sedimentene også er betydelig. Det finnes sjelden data for å kunne sondre mellom disse årsakene. For stoffene TBT, naftalen og acenaftylen er beregnet tid for å tømme sedimentene ett år eller mindre

**Tabell 7.** Beregnet tid for å tømme sedimentet for de ulike forbindelsene (hentet fra regnearket). Tabellen viser tømmetid ut fra den høyeste sedimentkonsentrasjonen (maks) og på basis av et gjennomsnitt for alle sedimentprøvene (middel).

Stoff	Beregnet spredning		Tiden det tar å tømme sedimentet for gitt stoff, $t_{tom}$ (år)	
	$F_{tot, maks}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	$F_{tot, middel}$ [mg/m <sup>2</sup> /år]	Maks	Middel
Arsen	4,1683	2,1582	43,7	43,7
Bly	5,4731	2,7192	581,9	581,9
Kadmium	0,0950	0,0537	622,9	622,9
Kobber	17,1903	9,7993	182,6	182,6
Krom totalt (III + VI)	1,8593	1,2931	660,7	660,7
Kvikksølv	0,0779	0,0477	467,1	467,1
Nikkel	15,1529	11,3847	63,1	63,1
Sink	50,4587	26,6011	423,8	423,8
Naftalen	35,3266	8,1447	0,5	0,5
Acenaftylen	1,1199	0,5475	1,0	1,0
Acenaften	6,5463	1,1991	2,4	2,4
Fluoren	9,2942	1,2951	4,2	4,2
Fenantren	21,1380	2,7245	9,5	9,5
Antracen	3,3480	0,4979	11,7	11,7
Fluoranten	2,4179	0,3572	47,0	47,0
Pyren	3,7004	1,1005	22,1	22,1
Benzo(a)antracen	0,2488	0,0402	111,6	111,6
Krysen	0,4163	0,0692	62,3	62,3
Benzo(b)fluoranten	0,1892	0,0315	91,4	91,4
Benzo(k)fluoranten	0,2086	0,0333	89,4	89,4
Benzo(a)pyren	0,3411	0,0541	93,4	93,4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,0402	0,0066	237,4	237,4
Dibenzo(a,h)antracen	0,0125	0,0036	203,5	203,5
Benzo(ghi)perylene	0,0755	0,0162	114,5	114,5
PCB 28	0,0250	0,0128	9,1	9,1
PCB 52	0,0372	0,0190	6,1	6,1
PCB 101	0,0056	0,0028	41,0	41,0
PCB 118	0,0007	0,0004	324,8	324,8
PCB 138	0,0037	0,0019	61,8	61,8
PCB 153	0,0005	0,0003	443,3	443,3
PCB 180	0,0020	0,0010	114,4	114,4
DDT	0,0044	0,0027	209,0	209,0
Tributyltinn (TBT-ion)	3,0958	0,9990	0,7	0,7
Lindan	0,0669	0,0669	3,4	3,4
Heksaklorbenzen	0,1233	0,0271	33,2	33,2

Dette tyder på at beregnet spredning er overestimert eller at det stadig er påfyll av disse forbindelsene til sedimentet. Siden risikoen for spredning ble funnet å være akseptabel vil en mulig overestimering bare gjøre denne konklusjonen enda mer pålitelig.

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

For å kunne vurdere human eksponering for de ulike miljøgifter i sedimentet blir det beregnet en total livstidsdose (som mg pr kg kroppsvekt pr dag gjennom hele livsløpet) basert på transport fra sedimentet til mennesker. Hovedveien er transport gjennom næringskjeden til fisk og skalldyr, men andre sannsynlige kontaktveier er også inkludert (se **Figur 3** og **Figur 4**). Denne livstidsdosen sammenlignes så med gitte grenseverdier: tolerabelt daglig inntak (TDI) for stoffer der dette er fastsatt av Mattilsynet eller maksimalt tolerabelt risiko (MTR) for de øvrige stoffene. Siden mennesker utsettes for flere miljøgiftkilder er det satt en grense ved at bare 10 % av det totale inntaket i mennesker får stamme fra sedimenter (for TBT er grensen 100 % da man går ut fra at all påvirkning fra dette stoffet stammer fra sediment). Den risiko for human helse som dioksinene evt representerer kan ikke vurderes siden grenseverdi for dioksiner mht human helse er tatt ut av Trinn 2 i gjeldende risikoveileder.

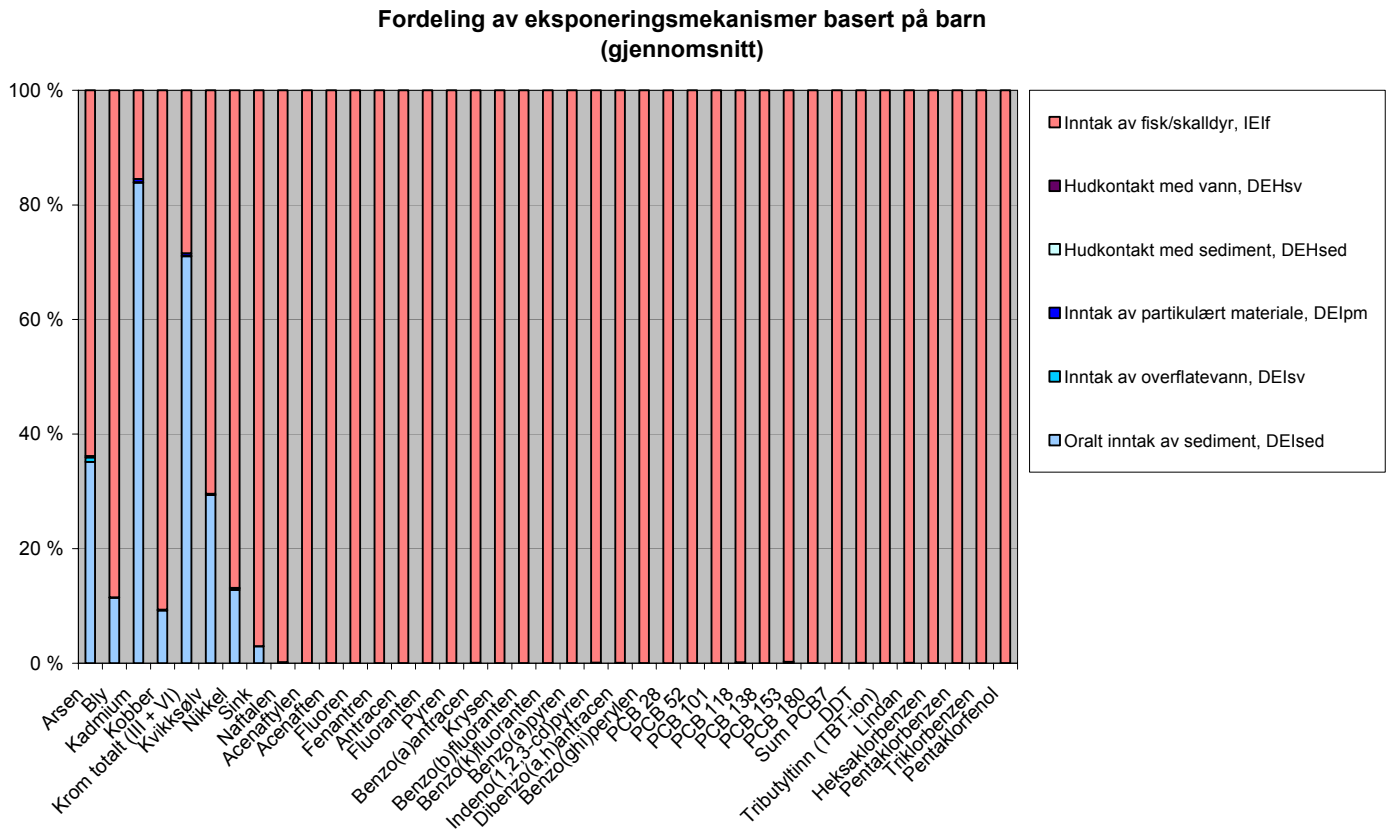
**Tabell 8** viser at det er overskridelse av beregnet total livstidsdose for gjennomsnittsnivået av stoffene benzo(a)pyren. Det er derfor bare sedimentnivåene av benzo(a)pyren som gir uakseptabel risiko for skade på human helse. På grunn av dette stoffets påviste kreftfremkallende egenskaper er livstidsdosen satt meget lavt og er godt begrunnet.

**Tabell 8.** Beregnet total livstidsdose (mg/kg/d), grense for human risiko (MTR/TDI 10 %) og overskridelse av beregnet total livstidsdose av MTR 10 % (hentet fra regnearket). Tabellen viser overskridelse på basis av den høyeste sedimentkonsentrasjonen (maks) og på basis av et gjennomsnitt for alle sedimentprøvene (middel).

Stoff	Beregnet total livstidsdose		Grense for human risiko, MTR/TDI 10 % (mg/kg/d)	Beregnet total livstidsdose overskrider MTR/TDI 10 % med:	
	DOSE <sub>maks</sub> (mg/kg/d)	DOSE <sub>middel</sub> (mg/kg/d)		Maks	Middel
Arsen	6,41E-06	3,32E-06	1,00E-04		
Bly	2,81E-04	1,40E-04	3,60E-04		
Kadmium	1,20E-06	6,80E-07	5,00E-05		
Kobber	3,36E-04	1,92E-04	5,00E-03		
Krom totalt (III + VI)	2,74E-05	1,90E-05	5,00E-04		
Kvikksølv	1,46E-06	8,97E-07	1,00E-05		
Nikkel	7,63E-05	5,73E-05	5,00E-03		
Sink	6,72E-03	3,54E-03	3,00E-02		
Naftalen	5,44E-04	1,25E-04	4,00E-03		
Acenaftylen	9,46E-05	4,62E-05			
Acenaften	8,21E-04	1,50E-04			
Fluoren	1,54E-03	2,14E-04			
Fenantren	5,57E-03	7,18E-04	4,00E-03	39,3 %	
Antracen	8,44E-04	1,26E-04	4,00E-03		
Fluoranten	2,46E-03	3,63E-04	5,00E-03		
Pyren	2,75E-03	8,17E-04			
Benzo(a)antracen	4,15E-04	6,70E-05	5,00E-04		
Krysen	9,08E-04	1,51E-04	5,00E-03		
Benzo(b)fluoranten	4,59E-04	7,64E-05			
Benzo(k)fluoranten	5,07E-04	8,09E-05	5,00E-04	1,4 %	
Benzo(a)pyren	8,26E-04	1,31E-04	2,30E-06	35834,6 %	5603,9 %
Indeno(1,2,3-cd)pyren	8,81E-05	1,45E-05	5,00E-04		
Dibenzo(a,h)antracen	2,82E-05	8,18E-06			
Benzo(ghi)perylene	1,82E-04	3,92E-05	3,00E-03		
PCB 28	5,03E-05	2,57E-05			
PCB 52	9,79E-05	5,01E-05			
PCB 101	1,45E-05	7,40E-06			
PCB 118	1,45E-06	7,42E-07			
PCB 138	9,57E-06	4,89E-06			
PCB 153	9,61E-07	4,91E-07			
PCB 180	5,03E-06	2,57E-06			
<i>Sum PCB7</i>	<i>1,80E-04</i>	<i>9,18E-05</i>	<i>2,00E-06</i>	<i>8884,0 %</i>	<i>4491,8 %</i>
DDT	1,01E-05	6,16E-06	1,00E-03		
Tributyltinn (TBT-ion)	1,83E-04	5,90E-05	2,50E-04		
Lindan	5,86E-06	5,86E-06			
Heksaklorbenzen	2,31E-04	5,07E-05			



**Figur 3** og **Figur 4** viser at risikoen kun er knyttet til eksponering til benzo(a)pyren gjennom konsum av fisk og skaldyr. Betydning av de ulike spredningsveiene fra sediment til mennesker for de ulike stoffene er gitt i **Figur 3** for middelkonsentrasjoner i sedimentet og i **Figur 4** for maksimalkonsentrasjonene.



**Figur 3.** Fordeling av eksponeringsmekanismer basert på gjennomsnitt av alle sedimentprøvene.



**Tabell 9** viser at beregnet porevannskonsentrasjon basert på gjennomsnittskonsentrasjonene i sedimentet overskrider  $PNEC_w$  for 3 metaller (Cu, Ni og Zn), en av PAH-forbindelsene (pyren) samt TBT (hele 138 000 ganger). Trinn 1 (**Tabell 3**) viste i tillegg at flere PAH-forbindelser og hexaklorbenzen, samt dioksiner (NGI 2007) overskrider grenseverdiene. Legger vi også til at maksimumkonsentrasjonene overskrider  $PNEC_w$  for ytterligere 6 PAH-forbindelser og for HCB er det derfor åpenbart at sedimentene utgjør en uakseptabel risiko for skade på organismer i vedvarende kontakt med sedimentet.

**Tabell 9.** Beregnet porevannskonsentrasjon sammenliknet med grenseverdi for økologisk risiko (hentet fra regnearket). Tabellen viser overskridelse på basis av den høyeste sedimentkonsentrasjonen (maks) og på basis av et gjennomsnitt for alle sedimentprøvene (middel).

Stoff	Beregnet porevannskonsentrasjon		Målt porevannskonsentrasjon		Grense-verdi for økologisk risiko, PNEC <sub>w</sub> (ug/l)	Beregnet overskridelse av PNEC <sub>w</sub>	
	C <sub>pv, maks</sub> (mg/l)	C <sub>pv, middel</sub> (mg/l)	C <sub>pv, maks</sub> (mg/l)	C <sub>pv, middel</sub> (mg/l)		Maks	Middel
Arsen	6,05E-04	3,13E-04	ikke målt	ikke målt	4,8		
Bly	4,52E-04	2,25E-04	ikke målt	ikke målt	2,2		
Kadmium	1,00E-05	5,66E-06	ikke målt	ikke målt	0,24		
Kobber	2,83E-03	1,61E-03	ikke målt	ikke målt	0,64	341,7 %	151,8 %
Krom totalt (III + VI)	2,25E-04	1,56E-04	ikke målt	ikke målt	3,4		
Kvikksølv	8,00E-06	4,90E-06	ikke målt	ikke målt	0,048		
Nikkel	2,97E-03	2,23E-03	ikke målt	ikke målt	2,2	34,8 %	1,3 %
Sink	6,44E-03	3,39E-03	ikke målt	ikke målt	2,9	122,0 %	17,0 %
Naftalen	5,54E-03	1,28E-03	ikke målt	ikke målt	2,4	130,8 %	
Acenaftalen	1,92E-04	9,40E-05	ikke målt	ikke målt	1,3		
Acenaften	1,13E-03	2,07E-04	ikke målt	ikke målt	3,8		
Fluoren	1,67E-03	2,32E-04	ikke målt	ikke målt	2,5		
Fenantren	3,84E-03	4,95E-04	ikke målt	ikke målt	1,3	195,6 %	
Antracen	6,10E-04	9,07E-05	ikke målt	ikke målt	0,11	454,5 %	
Fluoranten	3,46E-04	5,11E-05	ikke målt	ikke målt	0,12	188,4 %	
Pyren	6,11E-04	1,82E-04	ikke målt	ikke målt	0,023	2557,4 %	690,3 %
Benzo(a)antracen	2,43E-05	3,93E-06	ikke målt	ikke målt	0,012	102,8 %	
Krysen	2,86E-05	4,76E-06	ikke målt	ikke målt	0,07		
Benzo(b)fluoranten	9,35E-06	1,56E-06	ikke målt	ikke målt	0,03		
Benzo(k)fluoranten	1,03E-05	1,65E-06	ikke målt	ikke målt	0,027		
Benzo(a)pyren	1,68E-05	2,67E-06	ikke målt	ikke målt	0,05		
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,79E-06	2,96E-07	ikke målt	ikke målt	0,002		
Dibenzo(a,h)antracen	5,74E-07	1,66E-07	ikke målt	ikke målt	0,03		
Benzo(ghi)perylene	3,71E-06	7,99E-07	ikke målt	ikke målt	0,002	85,7 %	
PCB 28	2,46E-06	1,26E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 52	2,00E-06	1,02E-06	ikke målt	ikke målt			
PCB 101	2,95E-07	1,51E-07	ikke målt	ikke målt			
PCB 118	2,95E-08	1,51E-08	ikke målt	ikke målt			
PCB 138	1,95E-07	9,97E-08	ikke målt	ikke målt			
PCB 153	1,95E-08	9,97E-09	ikke målt	ikke målt			
PCB 180	1,02E-07	5,23E-08	ikke målt	ikke målt			
Sum PCB7	5,09E-06	2,60E-06	ikke målt	ikke målt			
DDT	2,05E-07	1,25E-07	ikke målt	ikke målt	0,001		
Tributyltinn (TBT-ion)	8,55E-04	2,76E-04	ikke målt	ikke målt	0,0002	4,1x10 <sup>5</sup> %	1,3x10 <sup>5</sup> %
Lindan	1,83E-05	1,83E-05	ikke målt	ikke målt	0,02		
Heksaklorbenzen	1,38E-05	3,04E-06	ikke målt	ikke målt	0,013	6,5 %	

### 3.5.2 Risiko for øvrige lokale akvatiske organismer

Risikovurdering for organismer i vannet over sedimentet baserer seg på beregnet konsentrasjon av den enkelte miljøgift i vannmassene som følge av spredningen fra sedimentene og fortykning i vannmassene (det siste beregnet fra totalt vannvolum og oppholdstid av vannet i bassenget over sedimentet). Dette betegnes som PEC (Predicted Environmental Concentration). **Tabell 10** viser at beregnet maksimal og gjennomsnittlig  $PEC_w$  i vannmassene ikke overskrider grenseverdien  $PNEC_w$  for noen av stoffene. Høyeste PEC/PNEC-forhold ble funnet for TBT: 0,05 som er betryggende under grensen for økologisk risiko som er  $PEC/PNEC > 1$ . Dette betyr at sedimentene ikke utgjør en noen risiko for skade på organismer i vannmassene over.

**Tabell 10.** Beregnet konsentrasjon i vannmassene over sedimentet ( $PEC_w$ ) og overskridelse i forhold til grenseverdi for effekter i vannmassene ( $PNEC_w$ ) (hentet fra regnearket). Tabellen viser overskridelse på basis av den høyeste sedimentkonsentrasjonen (maks) og på basis av et gjennomsnitt for alle sedimentprøvene (middel).

Stoff	Beregnet konsentrasjon i vannmassene $PEC_w$		Grense-verdi for økologisk risiko, $PNEC_w$ (ug/l)	Overskridelse av $PNEC_w$ Forholdet $PEC_w/PNEC_w$	
	$C_{sv, maks}$ (ug/l)	$C_{sv, middel}$ (ug/l)		Maks	Middel
Arsen	4,57E-05	2,37E-05	4,8	9,52E-06	4,93E-06
Bly	5,93E-05	2,95E-05	2,2	2,69E-05	1,34E-05
Kadmium	1,04E-06	5,89E-07	0,24	4,34E-06	2,45E-06
Kobber	1,88E-04	1,07E-04	0,64	2,93E-04	1,67E-04
Krom totalt (III + VI)	2,04E-05	1,42E-05	3,4	5,99E-06	4,17E-06
Kvikksølv	8,52E-07	5,22E-07	0,048	1,78E-05	1,09E-05
Nikkel	1,66E-04	1,25E-04	2,2	7,55E-05	5,67E-05
Sink	5,32E-04	2,81E-04	2,9	1,84E-04	9,68E-05
Naftalen	3,86E-04	8,89E-05	2,4	1,61E-04	3,70E-05
Acenaftilen	1,20E-05	5,85E-06	1,3	9,20E-06	4,50E-06
Acenaften	6,90E-05	1,26E-05	3,8	1,82E-05	3,33E-06
Fluoren	9,68E-05	1,35E-05	2,5	3,87E-05	5,40E-06
Fenantren	2,13E-04	2,75E-05	1,3	1,64E-04	2,11E-05
Antracen	3,39E-05	5,04E-06	0,11	3,08E-04	4,58E-05
Fluoranten	1,83E-05	2,70E-06	0,12	1,52E-04	2,25E-05
Pyren	3,14E-05	9,33E-06	0,023	1,36E-03	4,06E-04
Benzo(a)antracen	1,34E-06	2,17E-07	0,012	1,12E-04	1,80E-05
Krysen	1,52E-06	2,53E-07	0,07	2,18E-05	3,62E-06
Benzo(b)fluoranten	5,37E-07	8,93E-08	0,03	1,79E-05	2,98E-06
Benzo(k)fluoranten	5,89E-07	9,41E-08	0,027	2,18E-05	3,48E-06
Benzo(a)pyren	9,72E-07	1,54E-07	0,05	1,94E-05	3,09E-06
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,47E-07	2,42E-08	0,002	7,33E-05	1,21E-05
Dibenzo(a,h)antracen	4,29E-08	1,24E-08	0,03	1,43E-06	4,14E-07
Benzo(ghi)perylene	2,17E-07	4,67E-08	0,002	1,09E-04	2,34E-05
PCB 28	1,06E-07	5,41E-08	Ikke oppgitt		
PCB 52	7,93E-08	4,05E-08	Ikke oppgitt		
PCB 101	1,24E-08	6,31E-09	Ikke oppgitt		
PCB 118	2,83E-09	1,44E-09	Ikke oppgitt		
PCB 138	8,29E-09	4,24E-09	Ikke oppgitt		
PCB 153	2,42E-09	1,24E-09	Ikke oppgitt		
PCB 180	4,97E-09	2,54E-09	Ikke oppgitt		
DDT	1,40E-08	8,56E-09	0,001	1,40E-05	8,56E-06
Tributyltinn (TBT-ion)	3,33E-05	1,08E-05	0,0002	1,59E-01	5,12E-02
Lindan	7,15E-07	7,15E-07	0,02	3,57E-05	3,57E-05
Heksaklorbenzen	5,79E-07	1,27E-07	0,013	4,45E-05	9,78E-06

### 3.6 Samlet risikovurdering Trinn 2

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

Risikoen for skade på human helse ved konsum av lokal sjømat er ikke akseptabel på grunn av for høy sedimentkonsentrasjon av den potensielt kreftfremkallende PAH-forbindelsen benzo(a)pyren. Den påviste risikoen for skade på human helse er bare reell dersom det fanges og konsumeres fisk eller skalldyr fra Bryggevann. Vi har ikke informasjon til å kunne bedømme dette nærmere, men en slik bedømmelse bør gjøres i forkant av en eventuell tiltaksplan. Slik vurdering vil i praksis utgjøre et Trinn 3 element i risikovurderingen.

Beregningene viser at sedimentene ikke utgjør en risiko for skade på organismer i vannmassene, men risikoen for økologisk skade på organismer i sedimentene er ikke akseptabel på grunn av for høyt nivå av kobber, nikkel, sink, TBT, flere PAH-forbindelser og dioksiner. Et lite forbehold må taes ved at Bryggevann i stor grad er et ferskvanns økosystem og vi har anvendt et vurderingsverktøy som er beregnet på sedimenter i et sjøvannssystem. Det er som tidligere nevnt grunn til å forvente at risikosystemet likevel er relevant fordi det ikke er noen systematisk forskjell i følsomhet overfor miljøgifter mellom ferskvannsorganismer og marine organismer. Det at kompensasjonsstrømmen av brakkvann i Skienselva sannsynligvis kan nå opp til det aktuelle området, styrker også relevansen av risikoverktøyet. Vi kjenner ikke til noen informasjon om bunnfaunaen i Bryggevann og om en fortsatt skade på denne er så betydningsfull at den tilsier tiltak dersom risiko for human helse viser seg likevel å være akseptabel. Det at dette er et brakkvannsområde som man må forvente har meget vekslende saltholdighet, og det at flis og planterester dekker mye av bunnen, tilsier at bunnfaunen er fattig og neppe har stor økologisk betydning. For å kunne bedømme dette må imidlertid bunnfaunaen undersøkes.

Utgangspunktet for kravet fra SFT om å gjennomføre en Trinn 2-vurdering var de høye dioksinnivåene uttrykt ved DR-CALUX testen i Trinn 1, men også de senere kjemiske analysene av PCDD/PCDF. Som tidligere nevnt dekker imidlertid ikke Trinn 2 i det gjeldende risikoverktøyet dioksiner, slik at man ikke kommer lenger i å fastslå den risikoen som dioksinene representerer enn det som ble funnet i Trinn 1, dvs en økologisk risiko for sedimentlevende organismer.

## 4. Konklusjoner og anbefalinger

Trinn 2 i SFTs reviderte risikoveileder viser at kun en av miljøgiftene i bunnsedimentene i Skienselva utenfor Union representerer risiko for skade på human helse ved transport til fisk og skalldyr til konsum. Dette er den potensielt kreftfremkallende PAH-forbindelsen benzo(a)pyren. Vurderingen viser også at flere av miljøgiftene i sedimentet (kobber, nikkel, sink, TBT, flere PAH-forbindelser og dioksiner) utgjør en risiko for skade på sedimentlevende organismer, mens forurensningen i sedimentet ikke medfører risiko for skade på organismer i vannmassene over.

Disse konklusjonene tilsier formelt at man bør gjennomføre en tiltaksplanlegging for sedimentene. Før man gjennomfører en tiltaksplanlegging anbefales at man undersøker om risikoen for helseskade er reell, dvs om det foregår fangst av fisk og skalldyr til konsum fra Bryggevaen. Dette vil også gi grunnlag for å bedømme behovet for å gjøre Trinn 3 vurdering av risikoen fra dioksiner i sedimentet på human helse, siden dette ikke dekkes i Trinn 2. Videre bør man skaffe informasjon om den eksisterende bunnfaunaen for å kunne bedømme om fortsatt skade på denne er så betydningsfull at den tilsier tiltak dersom risiko for human helse likevel viser seg å være akseptabel. Disse to avklaringene kan betraktes som et Trinn 3 i risikovurderingen.



## 5. Referanser

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

Kolstad, P., Sivertsen, A., Källqvist, T. 2007. Miljøundersøkelser – Union fabrikker Skien. Sedimentundersøkelse og risikovurdering Trinn I. NGI-Rapport 20061031-2.

Skarbøvik, E., Stålnacke, P. G., Kaste, Ø., Selvik, J. R., Borgvang, S. A., Tjomsland, T., Høgåsen, T., Beldring, S. 2007. Riverine inputs and direct discharges to Norwegian coastal waters-2006. OSPAR Commission.

Saloranta, T., Armitage, J. Næs, K., Cousins, I., Barton, D. 2006. SF-tool multimedia model package: Model code description and application examples from the Grenland fjords. NIVA Rapport 5216.

Veileder for risikovurdering av forurenset sediment. SFT-rapport (TA-2085/2005) rev.1,2005.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

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



Norsk institutt for vannforskning

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