

Overvåking av miljøgifter i nærområdet til  
Xstrata Nikkelverk AS i Kristiansand i 2010:  
Metaller, spesielt arsen, og klororganiske  
forbindelser i vann, sedimenter og blåskjell



**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

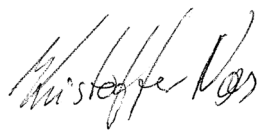
Tittel Overvåking av miljøgifter i nærområdet til Xstrata Nikkelverk AS i Kristiansand i 2010: Metaller, spesielt arsen, og klororganiske forbindelser i vann, sedimenter og blåskjell	Løpenr. (for bestilling) 6146-2011	Dato 15.6.2011
	Prosjektnr. Undernr. O-10361/ O-10362	Sider Pris 39
Forfatter(e) Jarle Håvardstun Jarle Molvær Kristoffer Næs	Fagområde Miljøgifter i marint miljø	Distribusjon Fri
	Geografisk område Vest-Agder	Trykket CopyCat

Oppdragsgiver(e) Xstrata Nikkelverk AS	Oppdragsreferanse Hege Stubberud
---	-------------------------------------

**Sammendrag**

Xstrata Nikkelverk AS gjennomfører et overvåkingsprogram i det bedriftsnære sjøområdet i Kristiansandsfjorden. Programmet supplerer og er koplet opp mot myndighetenes generelle overvåking av Kristiansandsfjorden. I 2010 ble analyser av vannmasser, blåskjell og sedimenter gjennomført. Resultatene viste at arseninnholdet i vannmassene var lavt. Likeså var metallinnholdet i blåskjell relativt lavt, men opptil markert forurenset av bly. Forurensningen av heksaklorbenzen og dioksin i skjellene tilsvarte opptil sterk til meget sterk forurensning. Metallinnholdet på en sedimentovervåkingsstasjon i Hanneviksbukta, som tidligere er blitt overdekket med ren sand, var lite forurenset av metallene kadmium og sink. Sedimentene var imidlertid meget sterkt forurenset av arsen og kobber svarende til svært dårlig miljøtilstand. For nikkel og bly ble stasjonen klassifisert til dårlig miljøtilstand. Resultatene viste også at det var lave verdier av PCB<sub>7</sub>. Imidlertid ble sedimentene klassifisert til å ha moderat miljøtilstand for heksaklorbenzen og dioksin.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Organiske miljøgifter</li> <li>2. Metaller</li> <li>3. Sedimenter</li> <li>4. Blåskjell (<i>Mytilus edulis</i>)</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Organic contaminants</li> <li>2. Metals</li> <li>3. Sediments</li> <li>4. Blue mussels (<i>Mytilus edulis</i>)</li> </ol>
---	--



Kristoffer Næs  
Prosjektleder



Torgeir Bakke  
Forskningsleder



Bjørn Faafeng  
Seniorrådgiver

**Overvåking av miljøgifter i nærområdet til Xstrata  
Nikkelverk AS i Kristiansand i 2010: Metaller,  
spesielt arsen, og klororganiske forbindelser i vann,  
sedimenter og blåskjell**

## Forord

NIVA gjennomfører en langsiktig overvåking for Xstrata Nikkelverk AS i Kristiansand. Hovedkontakt for bedriften er Hege Stubberud.

Ved NIVA har Jarle Håvardstun, Jarle Molvær og Kristoffer Næs gjennomført feltarbeidet og skrevet rapporten. NIVAs og NILUs laboratorier har gjennomført analysene.

Alle takkes for innsatsen.

Grimstad, 15.6.2011

*Kristoffer Næs*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>7</b>
<b>1. Bakgrunn</b>	<b>8</b>
<b>2. Undersøkellesmetodikk</b>	<b>9</b>
2.1 Vannmasser	9
2.2 Blåskjell	10
2.3 Sedimenter	12
<b>3. Resultater og diskusjon</b>	<b>14</b>
3.1 Beregning av innlagringsdyp, fortykning og arsenkonsentrasjon	14
3.1.1 Bakgrunn og formål	14
3.1.2 Beskrivelse av utslippet	14
3.1.3 Metodikk og data om resipienten	15
3.1.4 Resultater	18
3.1.5 Influensområde vannkvalitet	22
3.2 Overvåking av arsen i vannmassene	23
3.3 Miljøgiftinnhold i blåskjell	23
3.3.1 Metaller	23
3.3.2 Organiske miljøgifter	24
3.4 Miljøgiftinnhold i sedimenter	25
3.4.1 Metaller	25
3.4.2 Organiske miljøgifter	26
<b>4. Referanser</b>	<b>28</b>
<b>Vedlegg A. Analyseresultater</b>	<b>29</b>
<b>Vedlegg B. Datoer for måling av vertikalprofiler i Vesterhavn</b>	<b>38</b>

---

## Sammendrag

Kristiansandsfjorden har vært og er tildels fremdeles sterkt forurenset av utslipp fra den lokale industrien. Fjorden er imidlertid i en utvikling mot bedre miljøtilstand etter at industrien har gjennomført utslippsbegrensende tiltak, samt at tiltak mot de forurensete sedimentene også er gjort. Forurensningsmyndighetene har nå satt i gang et overvåkingsprogram som skal dekke fjordområdet som sådan. I den sammenheng har Xstrata Nikkelverk AS igangsatt et eget overvåkingsprogram for det mer bedriftsnære området. Problemstillingene rundt utslipp fra bedriften er i hovedsak knyttet til metaller og organiske miljøgifter.

Hovedformålene med undersøkelsene er:

- Overvåke konsentrasjoner av arsen i vannmasser, blåskjell og sedimenter i nærområdet til Xstrata Nikkelverk AS
- Overvåke konsentrasjonen av metaller og organiske miljøgifter som dioksiner og PCB i blåskjell og sedimenter i nærområdet til Xstrata Nikkelverk AS
- Danne grunnlag for en overvåking av eventuelle endringer over tid i sjøresipienten til Xstrata Nikkelverk AS
- Supplere myndighetenes mer overordnede overvåkingsprogram i Kristiansandsfjorden

Undersøkelsene har omfattet modellering av influensområdet til utslipp av arsen, målinger av arsen i vannmasser samt målinger av metaller og organiske miljøgifter i blåskjell og sedimenter.

**Modellering av influensområdet til utslipp av arsen** viser at til vanlig oppnås vannkvalitetsklasse II ”moderat forurenset” i hht. Klifs klassifiseringer allerede ved primærfortynningen. Modellen anslår videre influensområdet for utslippet til noen titalls meter omkring utslippspunktet. Det fortynnede avløpsvannet vil vanligvis bli innlagret i 10-15 meters dyp. Det er mulig at avløpsvannet en gang i blant, ved fralandsvind som reduserer innstrømming av brakkevann fra selve Kristiansandsfjorden/ liten vannføring i Otra, kan nå overflatelaget i Hanneviksbukta. Da er samtidig primærfortynningen maksimal og arsenkonsentrasjonen trolig bedre eller lik vannkvalitetsklasse II ”moderat forurenset”.

I forhold til påvirkning kan man også ta i betraktning at mens vanddyptet i influensområdet (vannsøylen) er 20-30 meter, vil tykkelsen av skyen med fortynnet avløpsvann typisk være 2-4 meter.

**Målingene av arsen i vannmassene** samsvarte med modelleringen og viste at det på de to prøvetakingstidspunktene ikke ble funnet arsenkonsentrasjoner over bakgrunnsnivå. I hht. modelleringen vil målepunktene i 2011 bli trukket nærmere bedriften.

**Blåskjellundersøkelsene** i Hanneviksbukta, ved Myrodden og i Kolsdalsbukta viste at det var generelt lave verdier av metallene arsen, kadmium, krom, kobber, kvikksølv, nikkel og sink. For disse metallene ble alle stasjoner klassifisert til *moderat* forurenset (klasse II) eller lavere. For bly ble stasjonen i Hanneviksbukta klassifisert til *markert* forurenset (klasse III), mens skjellene fra de to andre stasjonene ble klassifisert til *ubetydelig* forurenset (klasse I) av bly (Pb).

Sammenlignet med metallinnhold i blåskjell fra syv andre stasjoner i Kristiansandsfjorden, Topdalsfjorden og Flekkerøygapet prøvetatt under myndighetenes program i 2010, samsvarer disse resultatene godt.

Blåskjellene fra de tre stasjonene var lite forurenset av PCB<sub>7</sub> og ble klassifisert til ”Lite/ubetydelig forurenset (klasse I)”, eller ”moderat forurenset (klasse II)”. Stasjon Kolsdalsbukta var ”meget sterkt forurenset (klasse V)” av heksaklorbenzen og ”sterkt forurenset (klasse IV)” av dioksiner.

**Sedimentene** fra overvåkingsstasjonen i Hanneviksbukta, som er etablert i et område som ble overdekket med ren sand i, var *ubetydelig* forurenset (klasse I) av metallene kadmium og sink. Sedimentene var imidlertid *sterkt* forurenset (klasse IV) av nikkel og bly og *meget sterkt* forurenset (klasse V) av arsen og kobber.

Resultatene viser at det var lave verdier av PCB<sub>7</sub> på sedimentstasjonen. Imidlertid ble sedimentene klassifisert til *moderat* forurenset (klasse III) for heksaklorbenzen og dioksin.

Stasjonen i Hanneviksbukta ble opprettet for å kunne fungere som en referansestasjon ved framtidig overvåking. Resultatene viste at det var store variasjoner mellom replikate prøver innsamlet fra samme stasjon. Det gjør at denne stasjonen er lite egnet i overvåkingssammenheng og man bør vurdere om en annen stasjon bør opprettes.

## Summary

Title: Monitoring of environmental toxins in water, blue mussels and sediments near Xstrata Nikkelverk AS in Kristiansand in 2010

Year: 2011

Authors: Jarle Håvardstun, Jarle Molvær and Kristoffer Næs

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-5881-3

Xstrata Nikkelverk AS, Kristiansand, conducts a monitoring program of the sea area near to the facility in Kristiansand fjord, S Norway. The program complements and is connected to the government's overall monitoring of this fjord. In 2010, the analysis of waters, mussels and sediments were performed. The results showed that the arsenic content in water was low. Likewise, the metal content in mussels was in relatively low apart from lead where the concentrations corresponded to *markedly* polluted. Concentrations of hexachlorobenzene and dioxins in shellfish varied between values corresponding to *strong* and *very strong* pollution. Samples from a sediment monitoring station in the Hanneviksbukta previously covered with clean sand were re-contaminated by arsenic, copper and nikkel (*strongly* to *very strongly* pollution) and hexachlorobenzene and dioxin (*moderately* pollution). PCB<sub>7</sub> levels at the same station were low.



# 1. Bakgrunn

Xstrata Nikkelverk AS er pålagt av Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif) å etablere et overvåkingsprogram for å belyse konsekvenser av utslipp av miljøgifter til Kristiansandsfjorden. Problemstillingene rundt utslipp fra bedriften er i hovedsak knyttet til metaller, med spesielt fokus på arsen i tillegg til organiske miljøgifter. Det har de siste 15 årene blitt gjennomført mange tiltak for å bedre miljøforholdene i Kristiansandsfjorden generelt. Dette omfatter både utslippsreduksjoner og tiltak med de forurensede sedimentene i Hanneviksbukta og langs kaiene til Xstrata Nikkelverk AS. En oppsummering av disse tiltakene er beskrevet i Berge mfl. 2007.

Hovedformålene med denne undersøkelsen er å:

- Overvåke konsentrasjoner av arsen i vannmasser, blåskjell og sedimenter i nærområdet til Xstrata Nikkelverk AS
- Overvåke konsentrasjonen av metaller og organiske miljøgifter som dioksiner og PCB i blåskjell og sedimenter i nærområdet til Xstrata Nikkelverk AS
- Danne grunnlag for en overvåking av eventuelle endringer over tid i sjøresipienten til Xstrata Nikkelverk AS
- Supplere myndighetenes mer overordnede overvåkingsprogram i Kristiansandsfjorden

For å kunne belyse konsekvensene av utslippene til Hanneviksbukta og Kristiansandsfjorden har NIVA benyttet sin inngående kunnskap om Kristiansandsfjorden gjennom 30 års arbeid i fjordområdet. Dette omfatter blant annet nylig avsluttede målinger av sedimentasjon av metaller i Hanneviksbukta (Næs mfl. 2010) og årlig overvåking på faste stasjoner i Kristiansandsfjorden innenfor det nasjonale overvåkingsprogrammet Coordinated Environmental Monitoring Programme (CEMP) (Green mfl. 2010). I tillegg gjennomfører NIVA på oppdrag fra myndighetene et overvåkingsprogram som omfatter miljøgifter i vann, organismer og sedimenter i Kristiansandsfjorden. Denne overvåkingen ble gjennomført første gang i 2010 (Schøyen mfl. 2010). Det er også utarbeidet et forurensningsbudsjett i Hanneviksbukta for noen utvalgte miljøgifter (Kroglund mfl. 2011).

For arsen er det gjort beregninger av innlagringsdyp og fortynning av utslippene fra Xstrata Nikkelverk AS til Hanneviksbukta. Opplysningene om bedriftens utslipp av arsen er i hovedsak gitt av Xstrata Nikkelverk AS ved S. Dalane.

## 2. Undersøkellesmetodikk

### 2.1 Vannmasser

Vannprøver ble tatt fra tre stasjoner den 28.9.10 og 9.12.10, vist på kart i **Figur 1**. Koordinatene for stasjonene er vist i **Tabell 1**. Vannprøvene ble analysert for totalinnhold av arsen ved ALS' laboratorium. Oversikt over analysemetoder og analyseusikkerhet er oppgitt i Vedlegg A.



**Figur 1.** Kart som viser stasjonsplassering for vannprøver, sedimenter og blåskjell for Xstrata Nikkelverk AS. Det er også vist stasjoner for NIVAs prosjekter for Fylkesmannen i Vest-Agder samt utsatte blåskjellene er etter NIVAs eget initiativ. Disse stasjoner rapporteres ikke her.

**Tabell 1.** Koordinater for prøvetakingspunkter for vann, blåskjell og sedimenter (WGS84).

Stasjonsnavn	Prøvetype	Breddegrader	Lengdegrader
Kolsdalsbukta	vann	N 58°08.337	Ø 07°58.677
Hanneviksbukta	vann	N 58°07.974	Ø 07°58.369
K 18	vann	N 58°07.801	Ø 07°59.196
Hanneviksbukta	sediment	N 58°08.105	Ø 07°58.404
Hanneviksbukta	blåskjell	N 58°08.160	Ø 07°58.154
Kolsdalsbukta	blåskjell	N 58°08.482	Ø 07°58.927
Myrodden	blåskjell	N 58°07.890	Ø 07°58.642

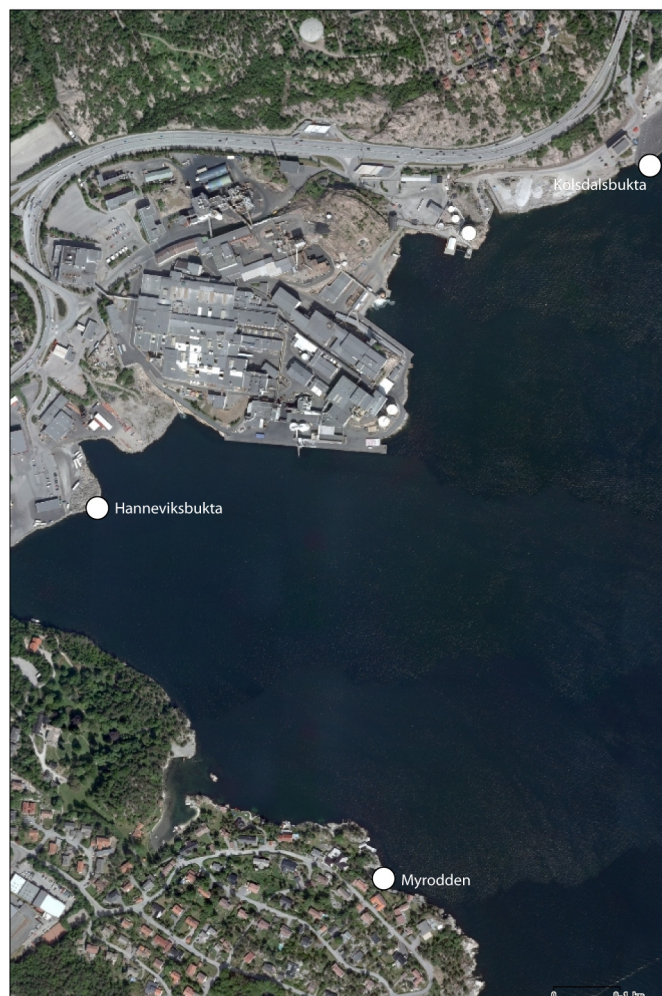
Klif har utviklet kriterier for klassifisering av miljøkvalitet basert på innhold av miljøgifter i blant annet sjøvann (Bakke mfl. 2007). Et utdrag av disse kriteriene for arsen er vist i **Tabell 2**. Systemet opererer med fem tilstandsklasser som spenner fra "bakgrunn (klasse I)" til "svært dårlig (klasse V)" for innhold av metaller i vann.

**Tabell 2.** Utdrag av "Klassifisering av tilstand ut fra innhold av metaller i vann" (Bakke mfl. 2007)

	I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Arsen (µg As/l)	<2	2 - 4,8	4,8 - 8,5	8,5 - 85	>85

## 2.2 Blåskjell

Det ble samlet inn blåskjell fra tre stasjoner 28.9.2010 ved Hanneviksbukta, Kolsdalsbukta og Myrodden. Plassering av blåskjellstasjonene er vist på kart i **Figur 1** og **Figur 2**, koordinatene er oppgitt i **Tabell 1**.



**Figur 2.** Plassering av blåskjellstasjoner.

Alle blåskjellprøvene ble analysert av NIVAs laboratorium for metallene kvikksølv (Hg), kadmium (Cd), kobber (Cu), sink (Zn), bly (Pb), nikkel (Ni), arsen (As), krom (Cr), kobolt (Co), jern (Fe), aluminium (Al), silisium (Si) og kalsium (Ca). Metallene er bestemt ved at prøven oppsluttes ved autoklavering med salpetersyre og analyseres med hjelp av atomabsorpsjon og grafittovn, bortsett fra kvikksølv som bestemmes med gullfelle og kalddamp atomabsorpsjon. Fullstendige analyseutskrifter er oppgitt i Vedlegg A.

Blåskjellene ble også analysert for de organiske miljøgiftene heksaklorbenzen (HCB), polyklorerte bifenyler (PCB<sub>7</sub>), non-orto PCB (dioksinlignende), dioksiner (PCDD) og furaner (PCDF) ved NILUs laboratorium. Fullstendige analyseutskrifter er oppgitt i Vedlegg A.

Klif har utviklet kriterier for klassifisering av miljøkvalitet basert på innhold av miljøgifter i blant annet blåskjell (Molvær mfl. 1997). Et utdrag av disse kriteriene er vist i **Tabell 3**. Systemet opererer med fem tilstandsklasser som spenner fra ”ubetydelig-lite forurenset (klasse I)” til ”meget sterkt forurenset (klasse V)” for innhold av miljøgifter. Blåskjellene fra Kristiansand er blitt klassifisert i hht. dette systemet.

**Tabell 3.** Klifs klassifisering av miljøtilstand ut fra innhold av metaller og utvalgte klororganiske forbindelser i blåskjell (Molvær mfl. 1997).

Arter/ vev	Parametere	Tilstandsklasser				
		I	II	III	IV	V
		<i>Ubetydelig – Lite forurenset</i>	<i>Moderat forurenset</i>	<i>Markert forurenset</i>	<i>Sterkt forurenset</i>	<i>Meget sterkt forurenset</i>
Blåskjell (tørrvektbasis)	Bly (mg Pb/kg)	<3*	3-15	15-40	40-100	>100
	Kadmium (mg Cd/kg)	<2	2-5	5-20	20-40	>40
	Kobber (mg Cu/kg)	<10	10-30	30-100	100-200	>200
	Kvikksølv (mg Hg/kg)	<0,2	0,2-0,5	0,5-1,5	1,5-4	>4
	Krom (mg Cr/kg)	<3	3-10	10-30	30-60	>60
	Sink (mg Zn/kg)	<200	200-400	400-1000	1000-2500	>2500
	Nikkel (mg Ni/kg)	<5	5-20	20-50	50-100	>100
	Arsen (mg Ar/kg)	<10	10-30	30-100	100-200	>200
	Sølv (mg Ag/kg)	<0,3	0,3-1	1-2	2-5	>5
TBT* (mg/kg)	<0,1	0,1-0,5	0,5-2	2-5	>5	
Blåskjell (våttvektbasis)	ΣPAH (µg/kg)	<50	50-200	200-2000	2000-5000	>5000
	ΣKPAH (µg/kg)	<10	10-30	30-100	100-300	>300
	B[a]P (µg/kg)	<1	1-3	3-10	10-30	>30
	TE <sub>PCDF/D</sub> (ng/kg)	<0,2	0,2-0,5	0,5-1,5	1,5-3	>3
	HCB (µg/kg)	<0,1	0,1-0,3	0,3-1	1-5	>5
	ΣPCB <sub>7</sub> (µg/kg)	<4	4-15	15-40	40-100	>100

## 2.3 Sedimenter

Overvåkingen av sedimentene har som hovedmål å påvise endringer i belastningen på de dypere vannlag/sjøbunnen som følge av utslippsforhold og utslippsmengder av arsen. Det ble opprettet en overvåkingsstasjon for sedimenter i Hanneviksbukta for dette formålet. Denne stasjonen ligger i det området i Hanneviksbukta som ble tildekket med sand. For å kunne utføre en statistisk vurdering av om eventuelle endringer i konsentrasjoner over tid er reelle, må den naturlige variansen på overvåkingsstasjonene være kjent. Det ble derfor tatt fem enkeltprøver av overflatesedimentet (0-2cm) som alle ble analysert for metaller og organiske miljøgifter. Sedimentene ble analysert av NIVAs laboratorium for metallene arsen (As), kadmium (Cd), kobber (Cu), sink (Zn), bly (Pb), nikkel (Ni) og kobolt (Co).

Metallene bortsett fra kvikksølv er bestemt ved at prøvene introduseres til instrumentet med en peristaltisk pumpe koblet til en nebulizer der prøveløsningen forstøves. Vanndråpene separeres etter størrelse i et spraykammer og den fine andelen av aerosolen transporteres til et argonplasma, der aerosolen atomiseres og ioniseres. Emisjonen fra plasmaet separeres i spektrometeret og måles med en CCD-detektor. Detektoren har et lineært område på 5-6 dekaner fra deteksjonsgrensen. Kvikksølv må foreligge på ionisk form i prøveløsningen for at kalddampeteknikk skal kunne benyttes. Når reduksjonsmiddelet (SnCl<sub>2</sub>) blandes med prøven blir det ioniske kvikksølvet omformet til metallisk kvikksølv (Hg). En inert bæregass (argon) transporterer kvikksølvet til spektrofotometeret. En fordel med denne teknikken er den gode separasjonen av analytten fra matrisen, slik at ikke-spesifikk bakgrunnsabsorpsjon og matriseinterferenser er minimale. Kvikksølvet i renvann oppkonsentreres i et amalgameringsystem.

Stasjonsplasseringer er vist på kart i **Figur 1** og **Figur 3**, koordinater for stasjonene er vist i **Tabell 1**.





**Figur 3.** Plassering av sedimentprøvestasjonen i Hanneviksbukta.

Klif har utviklet kriterier for klassifisering av miljøkvalitet basert på innhold av miljøgifter i sedimenter (Bakke mfl. 2007). Et utdrag av disse kriteriene er vist i **Tabell 4**.

**Tabell 4.** Klassifisering av tilstand ut fra innhold av metaller og utvalgte organiske miljøgifter i sedimenter (Bakke mfl. 2007) oppgitt på tørrvektsbasis.

	I Bakgrunn	II God	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig	
Metaller	Arsen (mg As/kg)	<20	20 - 52	52 - 76	76 - 580	>580
	Bly (mg Pb/kg)	<30	30 - 83	83 - 100	100 - 720	>720
	Kadmium (mg Cd/kg)	<0,25	0,25 - 2,6	2,6 - 15	15 - 140	>140
	Kobber (mg Cu/kg)	<35	35 - 51	51 - 55	55 - 220	>220
	Krom (mg Cr/kg)	<70	70 - 560	560 - 5900	5900 - 59000	>59000
	Kvikksølv (mg Hg/kg)	<0,15	0,15 - 0,63	0,63 - 0,86	0,86 - 1,6	>1,6
	Nikkel (mg Ni/kg)	<30	30 - 46	46 - 120	120 - 840	>840
Sink (mg Zn/kg)	<150	150 - 360	360 - 590	590 - 4500	>4500	
PAH	Naftalen (µg/kg)	<2	2 - 290	290 - 1000	1000 - 2000	>2000
	Acenaftylen (µg/kg)	<1,6	1,6 - 33	33 - 85	85 - 850	>850
	Acenaften (µg/kg)	<4,8	2,4 - 160	160 - 360	360 - 3600	>3600
	Fluoren (µg/kg)	<6,8	6,8 - 260	260 - 510	510 - 5100	>5100
	Fenantren (µg/kg)	<6,8	6,8 - 500	500 - 1200	1200 - 2300	>2300
	Antracen (µg/kg)	<1,2	1,2 - 31	31 - 100	100 - 1000	>1000
	Fluoranthen (µg/kg)	<8	8 - 170	170 - 1300	1300 - 2600	>2600
	Pyren (µg/kg)	<5,2	5,2 - 280	280 - 2800	2800 - 5600	>5600
	Benzo[a]antracen (µg/kg)	<3,6	3,6 - 60	60 - 90	90 - 900	>900
	Chrysen (µg/kg)	<4,4	4,4 - 280	280 - 280	280 - 560	>560
	Benzo[b]fluoranten (µg/kg)	<46	46 - 240	240 - 490	490 - 4900	>4900
	Benzo[k]fluoranten (µg/kg)		<210	210 - 480	480 - 4800	>4800
	Benzo(a)pyren (µg/kg)	<6	6 - 420	420 - 830	830 - 4200	>4200
	Indeno[123cd]pyren (µg/kg)	<20	20 - 47	47 - 70	70 - 700	>700
	Dibenzo[ah]antracen (µg/kg)	<12	12 - 590	590 - 1200	1200 - 12000	>12000
	Benzo[ghi]perylene (µg/kg)	<18	18 - 21	21 - 31	31 - 310	>310
	PAH16 <sup>1)</sup> (µg/kg)	<300	300 - 2000	2000 - 6000	6000 - 20000	> 20000
PCB7 <sup>2)</sup> (µg/kg)	<5	5-17	17 - 190	190 - 1900	>1900	
PCDD/F <sup>3)</sup> (TEQ) (µg/kg)	<0,01	0,01 - 0,03	0,03 - 0,10	0,10 - 0,50	>0,50	
Heksaklorbenzen (HCB) (µg/kg)	0,5	0,5 - 17	17 - 61	61 - 610	>610	

1) PAH: Polysykliske aromatiske hydrokarboner  
 2) PCB: Polyklorerte bifenyler  
 3) PCDD/F: Polyklorerte dibenzodioksiner/furaner

## 3. Resultater og diskusjon

### 3.1 Beregning av innlagringsdyp, fortynning og arsenkonsentrasjon

#### 3.1.1 Bakgrunn og formål

Kunnskap om spredning og fortynningsforhold for utslippet er avgjørende for å velge gode overvåkingsstasjoner og for å kunne ha kvalifiserte oppfatninger om hvilken risiko utslippet representerer for de biologiske forholdene i fjorden.

Formålet med denne utredningen er derfor å vise hvorledes arsenutslippet spres og fortynnes i vannmassene, samt beregne arsenkonsentrasjonen i det fortynnete avløpsvannet.

#### 3.1.2 Beskrivelse av utslippet

Opplysningene om bedriftens utslipp av arsen er i hovedsak gitt av Xstrata Nikkelverk AS ved S. Dalane i e-post av 24.9.10. Det er fem utslipp der avløpsvannet inneholder arsen (**Figur 4**). Av disse bidrar avløp nr. 7 med 62 % regnet på årsbasis (**Tabell 5**) og de etterfølgende beregningene blir derfor konsentrert om dette.

Vannet som slippes ut gjennom avløp 7 består av filtrat fra felleanlegg for tynne løsninger og sjøvann. Egenvekten av filtratet er oppgitt til 0,996 kg/l, eller praktisk talt samme egenvekt som ferskvann. Sjøvannet pumpes inn fra 21 meters dyp i Hanneviksbukta. Opplysningene om utslippet er sammenfattet i **Tabell 5**. I to dager (21.-22.09.10) har bedriften målt temperaturen i sjøvannsinntaket og avløpsvannet, og resultatene viste at i avløpsvannet var temperaturen ca. 6 °C høyere enn i sjøvannet.

**Tabell 5.** Beskrivelse av avløp som fører arsen til Hanneviksbukta. Data fra 2009.

Avløp nr.	Arsen (kg/d)		
	Middel	Maksimum	Minimum
3	0,04 (10,8 %)	0,22	0,01
7	0,23 (62,2 %)	0,38	0,13
9	0,05 (13,5 %)	0,15	0
14	0,02 (5,4 %)	0,03	0
20	0,03 (8,1 %)	0,06	0
Sum	0,37 (100 %)	0,84	0,14



**Figur 4.** Hanneviksbukta med avløp som fører arsen. Avløp 7 er i særklasse størst.

Xstrata opplyser at i 2009 var gjennomsnittskonsentrasjonen  $25 \mu\text{g As/l}$  i avløp 7, maksimum var  $39 \mu\text{g As/l}$  og minimum var  $13 \mu\text{g As/l}$ . I beregningene legger vi  $25 \mu\text{g As/l}$  til grunn.

**Tabell 6.** Avløp 7. Vannmengder, utslipp og inntak, til bruk i beregningene av innlagingsdyp og fortykning for utslippsvannet.

Vannmengder ( $\text{m}^3/\text{d}$ )			Inntaksdyp sjøvann	Utslippsdyp	Diameter utslippsledning
Filtrat	Sjøvann	Totalt			
3120	6320	9440	21 m	20 m	600 mm

### 3.1.3 Metodikk og data om resipienten

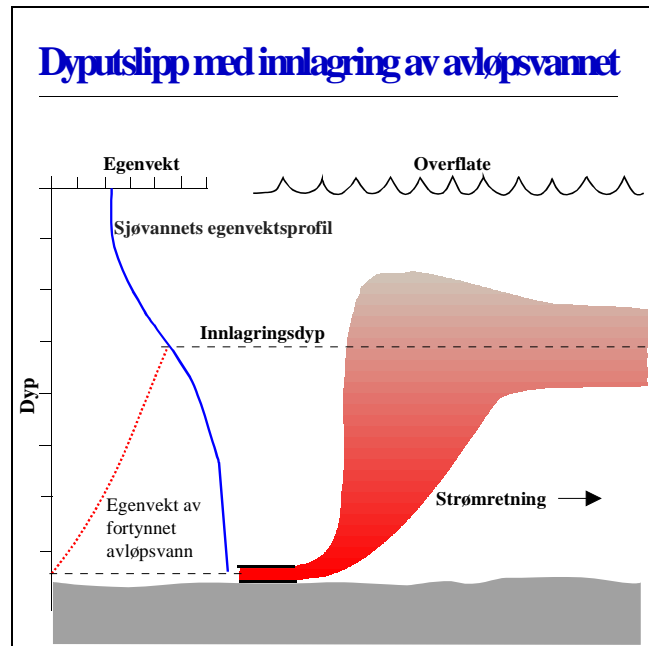
#### Metodikk for beregning av innlagring, fortykning og arsenkonsentrasjon

Avløpsvannet har mindre egenvekt enn sjøvann på 20 meters dyp og vil derfor begynne å stige opp mot overflaten samtidig som det raskt blander seg med det omkringliggende sjøvannet. Når sjøvannet har en stabil sjiktning (egenvekten øker mot dypet) fører dette til at egenvekten til blandingen av utslippsvann + sjøvann øker samtidig som egenvekten til det omkringliggende sjøvannet avtar, og i et gitt dyp kan dermed blandingsvannmassen få samme egenvekt som sjøvannet omkring (se **Figur 5**). Blandingsvannmassen har ikke lenger noen "positiv oppdrift", men dens vertikale bevegelsesenergi gjør imidlertid at den stiger noe forbi dette "likevektsdypet" for så å synke tilbake og innlagres.

Hvis den vertikale sjiktningen er svak kan det fortynnede avløpsvannet stige helt opp til overflaten.

For beregning av innlagingsdyp og fortykning bruker vi den numeriske modellen Visual Plumes utviklet av U.S. EPA (Frick mfl. 2001). Nødvendige opplysninger for modellsimuleringene er vannmengde, konsentrasjon av arsen i avløpsvannet, utslippsdyp, diameter for utslippsrøret, et tilstrekkelig antall vertikale profiler av temperatur og saltholdighet, samt strømhastigheten i resipienten.





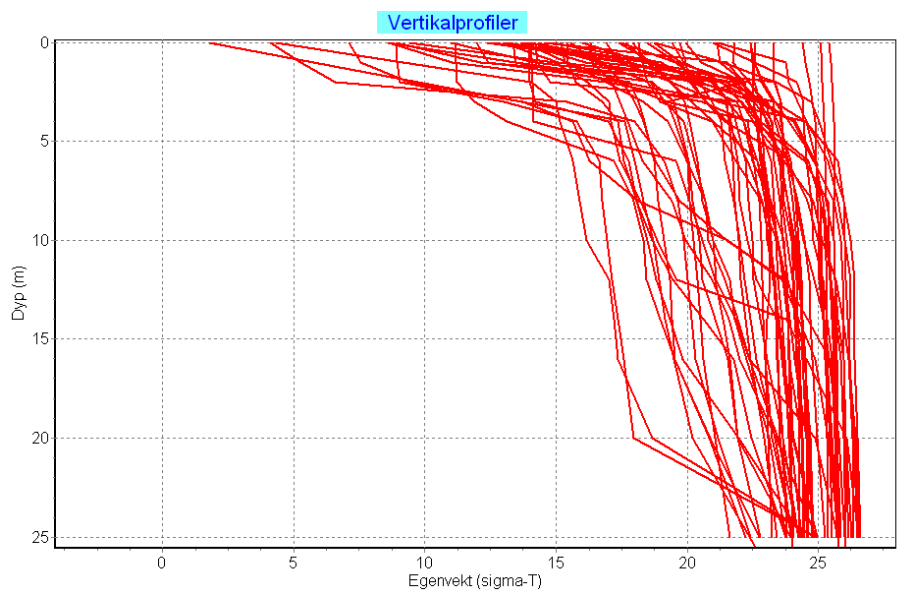
**Figur 5.** Prinsippskisse som viser hvordan et dyputslipp av avløpsvann fungerer i forhold til innlagring. En forutsetning for innlagring er at egenvekten for fjordvannet øker med dypet (stabil vertikal sjiktning).

#### Temperatur og saltholdighet i Hanneviksbukta

For beregningene av innlagringsdypet for utslippsvannet trengs et representativt antall vertikalprofiler av temperatur og saltholdighet (brukes til å beregne egenvekten i de forskjellige dyp). Vi har anvendt 56 vertikalprofiler fra Vesterhavn, målt i tidsrommet 9.6.1981-20.9.2006 (NIVA, upubliserte data), disse er vist i **Figur 6**. Datoene er oppgitt i Vedlegg B. Det aller meste av målingene er gjort i månedene april-november som dermed er godt beskrevet. Der er ingen målinger i månedene desember-januar.

Overflatelaget i Vesterhavn påvirkes av ellevannet fra Otra, og som ventet viser de aller fleste målingene en markert vertikal sjiktning. Men fire av de 56 profilene viser svært svak vertikal sjiktning (4.8.1981, 28.4.1982, 2.11.1983 og 18.11.1983). Tatt i betraktning den store ferskvannstilførselen til Kristiansandsfjordområdet fra Otra og Topdalselva skulle en tro at slike situasjoner er meget sjeldne og helst oppstår i forbindelse med sterk fralandsvind/liten vannføring i de to elvene. Man kan heller ikke helt utelukke målefeil.

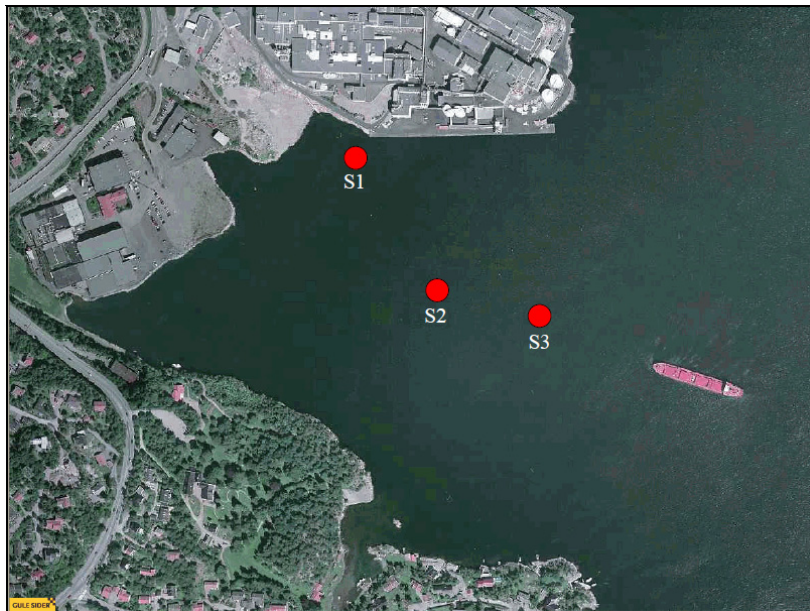
Vi har imidlertid ikke hatt noe konkret grunnlag for å utelukke disse fire profilene, og ved disse situasjonene vil det være vanskelig å oppnå innlagring av avløpsvannet.



**Figur 6.** Vertikalprofiler (56 stk). Tre profiler viser svak vertikal sjiktning mellom overflata og 5-6 meters dyp.

#### Strømhastighet i Hanneviksbukta

I august-september 2006 ble det gjort målinger av strømhastighet mellom overflate og bunn i Hanneviksbukta, dvs. litt lenger sør og øst enn utslippspunktet (**Figur 7**, fra Molvær og Helland 2007). Av de tre målepunktene anser vi S3 som mest representativ for området ved avløp 7. Målingene viste gjennomsnittlig hastighet i intervallet på ca. 4 cm/s, med 10-percentil på ca. 1,7 og 90-percentil på ca. 8 cm/s. I våre beregninger brukes derfor 4 cm/s, samt 2 cm/s og 8 cm/s.



**Figur 7.** Plassering av strømmålere i august-september 2006 (fra Molvær og Helland 2007).

#### Beregning av avløpsvannets egenvekt

Som vist i **Tabell 5** utgjør sjøvann fra 21 meters dyp ca. 67 % (som gjennomsnitt) av avløpsvannet. Avløpsvannets temperatur er ca. 6 grader høyere enn sjøvannets. Hver vertikalprofil for temperatur og saltholdighet inkluderer en måling i 20 meters dyp, og i beregningene av innlagring og fortynning er avløpsvannets saltholdighet og temperatur korrigert i hver enkelt av de 56 beregningene.

#### Valg av koeffisient for turbulent blanding

Den beregnede fortynningen vil variere med størrelsen av koeffisienten for turbulent blanding. Denne størrelsen varierer fra sted til sted og med tiden. Vi velger å følge EPAs anbefaling for litt innelukkede farvann og bruker en koeffisient  $0,0003 \text{ m}^{2/3}/\text{s}^2$  som et ganske konservativt estimat av blandingen. Denne brukes både som konstant, og som en koeffisient som øker med størrelsen av skyen med fortennet avløpsvann. For utslipp av små vannmengder i åpne farvann kan sistnevnte variant være mest realistisk.

#### Bakgrunnskonsentrasjon av arsen

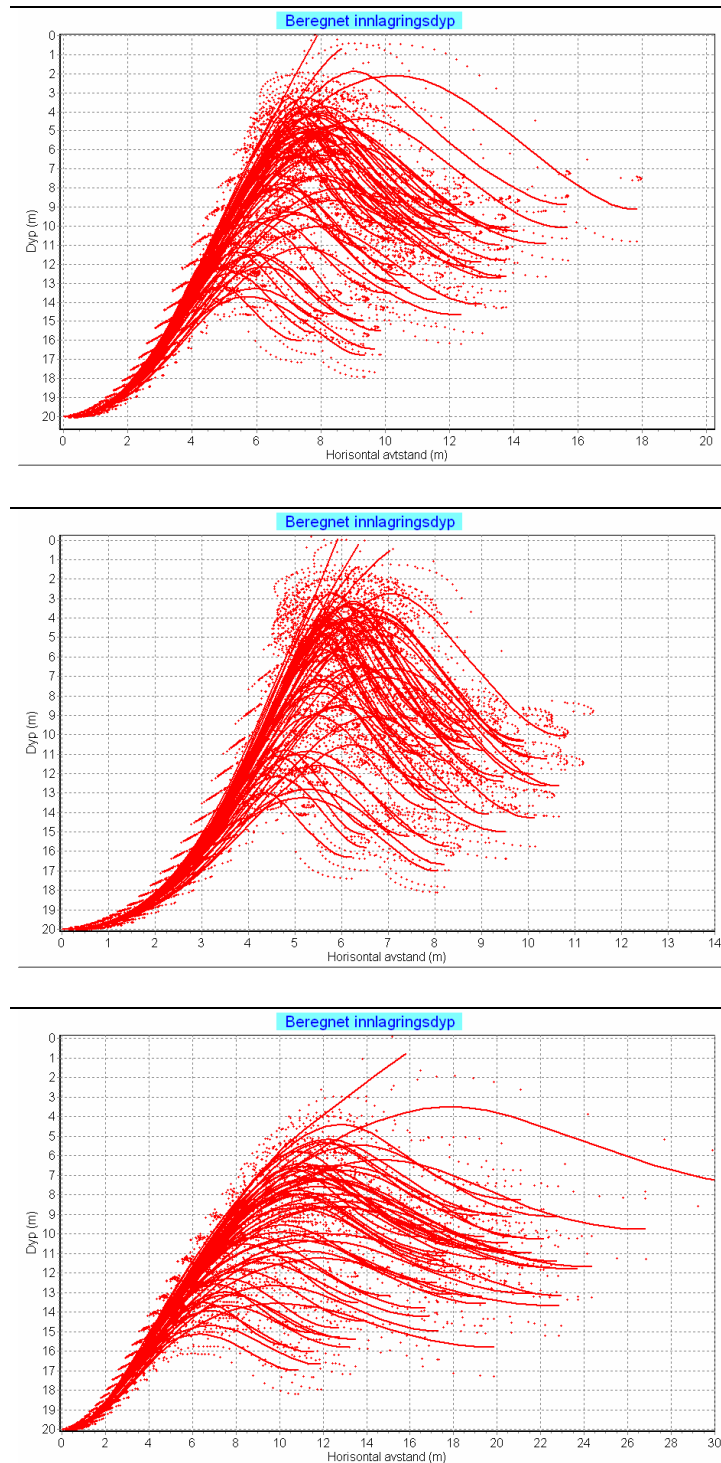
Arsen inngår i Klifs klassifiseringssystem (Bakke mfl. 2007) og **Tabell 2** viser klassifiseringen.

I september og desember 2010 ble det tatt vannprøver av overflatelaget fra tre stasjoner i Kristiansfjorden, i desember ble det i tillegg tatt en prøve fra 10 meters dyp på stasjonen nærmest utslippspunktet. Stasjonsplassering er vist på kart i **Figur 1**. Vannprøvene ble analyserte mht. total arsen. Høyeste konsentrasjon var henholdsvis  $1,21 \mu\text{g As/l}$  og  $1,49 \mu\text{g As/l}$  (se **Tabell 7**). Vi forventer at avløpsvannet oftest innlagres dypere enn overflatelaget og at sjøvannskonsentrasjonen der kan være noe høyere. Derfor velges  $2 \mu\text{g As/l}$  som typisk konsentrasjon i sjøvannet omkring utslippene.

### **3.1.4 Resultater**

#### Innlagringsdyp

Avløpsvannet har lavere egenvekt enn sjøvannet i 20 meters dyp, og begynner dermed å stige mot overflaten. Innlagringen påvirkes av den vertikale sjiktningen og av strømhastigheten. Resultatene av innlagringsberegningene for de 56 situasjonene og strømhastighetene 2 cm/s, 4 cm/s og 8 cm/s er vist i **Figur 8**. Den øvre av de tre figurene viser "vanlig strømhastighet" med 4 cm/s og der er 54 situasjoner med innlagring og to situasjoner der avløpsvannet innblandes i overflatelaget. Det skal bemerkes at for to andre situasjoner er det bare så vidt påvirkning av overflatelaget unngås. Dette gjelder for de fire vertikallprofilene som ble nevnt tidligere. Gjennomslag til overflaten kan være ønskelig å unngå hvis eksponering av organismer i overflatelaget søkes minimaliseres. Ved svak strømhastighet (2 cm/s) går strålene mer vertikalt (merk at det er ulik skala på x-aksen) og der er fire situasjoner da avløpsvannet når overflata. Ved høy strømhastighet (8 cm/s) er strålebanene flatere (merk at det er ulik skala på x-aksen) og der er bare en situasjon da avløpsvannet når overflata – og en med marginal innlagring.



**Figur 8.** Beregningen av innlagringsdyp for avløpsvannet ved utslipp i 20 meters dyp. Hver figur viser resultat for 56 situasjoner. Senterlinjen for skyen med fortynnet avløpsvann er vist med heltrukne linjer, mens yttergrensene er vist med stiplede linjer. Øverst: resultat for vanligste strømhastighet, 4 cm/s. Midten: resultat for lav strømhastighet, 2 cm/s. Nederst: resultat for høy strømhastighet, 8 cm/s.

### Fortynning

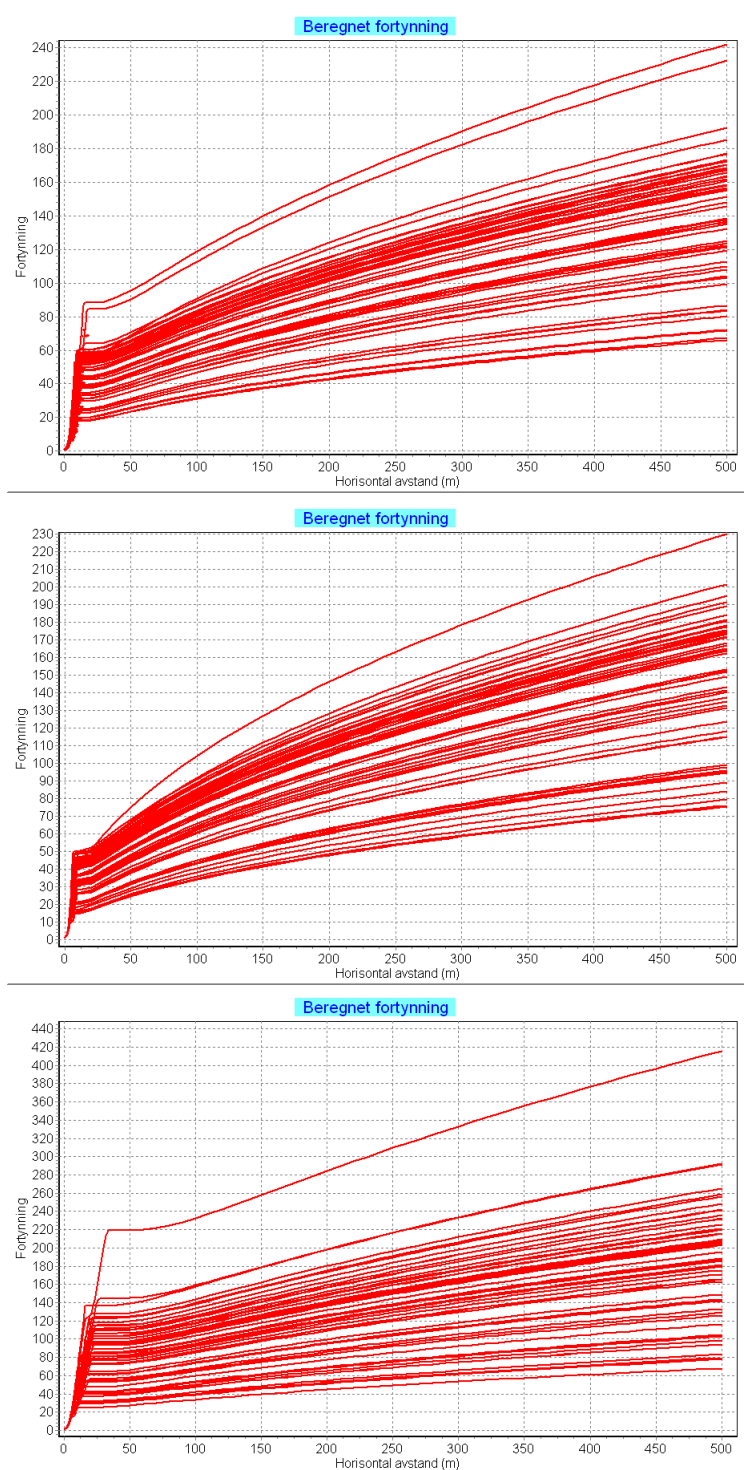
Den beregnede gjennomsnittlige fortynningen i den innlagrede ”skyen” med avløpsvann er vist i **Figur 9**, for alle de 56 situasjonene og for de tre valgte strømhastighetene. Ved den vanligste strømhastigheten (4 cm/s) er avløpsvannet fortynnet 20-60x allerede når det innlagres (primærfortynningen). Fortynningen er lavest når avløpsvannet innlagres dypt (kort fortynningsdistanse) og større ved de situasjonene når innlagringen skjer høyere i vannsøylen. For de to situasjonene da det innblandes i overflatelaget er primærfortynningen ca. 85x. Ved ca. 150 meters avstand er fortynningen typisk 40-140x.

Den midtre figuren (strømhastighet 2 cm/s) viser noe lavere primærfortynning fordi strålebanen er mer vertikal (kortere fortynningsdistanse enn for 4 cm/s), men deretter øker fortynningen relativt raskt – og raskere enn ved 4 cm/s. Denne forskjellen skyldes at ”fortynning behøver tid”, og ved lav hastighet tar det lenger tid for avløpsvannet å nå ut til for eksempel 150 meter enn ved større hastigheter.

Den nederste figuren (strømhastighet 8 cm/s) viser høyest primærfortynning fordi strålebanen er flatere (lengre fortynningsdistanse enn for 2-4 cm/s), men deretter øker fortynningen langsommere enn vist i de to figurene ovenfor. Grunnen til langsommere fortynning ut til for eksempel 150 meter er større strømhastighet/kortere tid.

Som nevnt ovenfor bruker vi en konstant koeffisient for den turbulente blandingen, og det gir en forholdsvis moderat fortynning med økende avstand.

Den vertikale tykkelsen av skyen med fortynnet avløpsvann vil variere med den vertikale sjiktningen og strømforholdene, men ligger sannsynligvis oftest i intervallet 2-3 meter. I sentrum av skyen vil fortynningen oftest være 50-70 % av den gjennomsnittlige fortynningen.



**Figur 9.** Beregnet fortynning av avløpsvannet for de 56 situasjonene og ved strømhastighet 4 cm/s (øverst), 2 cm/s (midten) og 8 cm/s (nederst).



### 3.1.5 Influensområde vannkvalitet

Vi har antatt at  $2 \mu\text{g As/l}$  er en typisk konsentrasjon i sjøvannet som blandes med avløpsvannet, og dermed fortynner dette. Til vanlig oppnås vannkvalitetsklasse II "God" ( $2-4,8 \mu\text{g As/l}$ ) allerede ved primærfortynningen. På grunnlag av beregningene i det foregående kapitlet, vannkvalitetsklassifiseringen og en Predicted No Effect Concentration (PNEC) på  $12,5 \mu\text{g As/l}$  (Crommentuijn mfl. 1997) kan man dermed anslå influensområdet for utslippet til noen titalls meter omkring utslippspunktet, som skissert i **Figur 10**.

Til vanlig vil det fortynnede avløpsvannet bli innlagret i 10-15 meters dyp. Det er mulig at avløpsvannet en gang i blant – ved fralandsvind som reduserer innstrømming av brakkvann fra selve Kristiansandsfjorden/ liten vannføring i Otra – kan nå overflatelaget i Hanneviksbukta. Da er samtidig primærfortynningen maksimal og arsenkonsentrasjonen  $\leq 2,5 \mu\text{g As/l}$ .

I forhold til påvirkning kan man også ta i betraktning at mens vanddypet i influensområdet (vannsøylen) er 20-30 meter, vil tykkelsen av skyen med fortynnet avløpsvann typisk være 2-4 meter.



**Figur 10.** Illustrasjon av skyen med innlagret avløpsvann. Utenfor noen titalls meter vil vannkvaliteten tilsvare God (klasse II).

### 3.2 Overvåking av arsen i vannmassene

Resultatene av arseninnholdet i vannprøvene fra Kristiansandsfjorden i 2010 er vist i **Tabell 7**. Resultatene viser at det på de to prøvetakingstidspunktene ikke ble funnet arsenkonsentrasjoner over bakgrunnsnivå. Prøven på 10 meters dyp som ligger nær utslippspunktet viste heller ikke økte verdier av arsen på prøvetakingstidspunktet.

**Tabell 7.** Arseninnhold i vannprøver fra Kristiansandsfjorden. Romertall tilsvarende tilstandsklasse i hht Klifs kriterier.

Stasjon	Dato	Dyp m	As µg/l	Tilstandsklasse
K 18	10/9/2010	0,3	<1	I
Kolsdalsbukta	10/9/2010	0,3	1,21	I
Myrodden	10/9/2010	0,3	1,14	I
K 18	9/12/2010	0,2	1,19	I
Kolsdalsbukta	9/12/2010	0,2	1,49	I
Kolsdalsbukta	9/12/2010	10	1,45	I
Myrodden	9/12/2010	0,2	1,24	I

I den videre overvåkingen i 2011 vil prøvetakingsområdet bli snevret inn i hht. resultatene fra innlagers- og fortynningsberegningene. Det vil da bli samlet inn prøver fra flere vanddyper.

### 3.3 Miljøgiftinnhold i blåskjell

#### 3.3.1 Metaller

Metallinnholdet i blåskjellprøvene fra nærområdet til Xstrata Nikkelverk AS i 2010 er vist i **Tabell 8**.

**Tabell 8.** Miljøgiftinnhold i blåskjell fra Kristiansandsfjorden 2010. Romertall og farge tilsvarende tilstandsklasser i hht. Klifs kriterier (**Tabell 3**). For aluminium (Al), jern (Fe), kobolt (Co), silisium (Si) og kalsium (Ca) er det ikke utarbeidet tilstandsklasser.

stasjon	tørrestoff %	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Al	Fe	Co	Si	Ca
Hanneviksbukta mg/kg t.v	13,1	13,1 II	1,4 I	3,5 II	29,4 II	0,2 II	16,8 II	19,0 III	148,1 I	106,1	442,7	7,1	259,5	5191
Kolsdalsbukta mg/kg t.v	16,2	12,0 II	1,0 I	1,2 I	11,7 II	0,1 I	4,9 I	4,0 I	193,8 I	101,2	493,8	1,4	240,7	2963
Myrodden mg/kg t.v	13,1	14,5 II	1,6 II	2,3 I	10,7 II	0,1 I	7,1 II	4,4 I	140,5 I	60,3	328,2	2,1	137,4	3359

Resultatene i **Tabell 8** viser at det var generelt lave verdier for metallene arsen (As), kadmium (Cd), krom (Cr), kobber (Cu), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni) og sink (Zn) i blåskjell. For disse metallene ble alle stasjoner klassifisert til ”moderat (klasse II)” eller lavere. For bly ble stasjonen i Hanneviksbukta klassifisert til ”markert forurenset (klasse III)”, mens skjellene fra de to andre stasjonene ble klassifisert til ”ubetydelig-lite forurenset (klasse I)” av bly (Pb).

Sammenlignet med metallinnhold i blåskjell fra syv andre stasjoner i Kristiansandsfjorden, Topdalsfjorden og Flekkerøygapet (Schøyen mfl. 2010), og med tre stasjoner fra Fiskåtangen, Lumber og Timlingen (Næs mfl. 2011) samsvarer disse resultatene godt. Stasjonene som ble undersøkt hadde metallinnhold lavere enn ”moderat forurenset (klasse II)” for alle metallene som kunne klassifiseres, med unntak av en stasjon ved Odderøya som ble klassifisert til ”markert forurenset, (klasse III)” for Pb.

Blåskjellene ble også analysert for metallene Co, Fe, Al, Si og Ca siden disse inngår i overvåkingen i regi av Elkem. Disse metallene er det ikke utarbeidet tilstandsklasser for. Sammenlignet med resultatene fra Schøyen mfl. 2010 er det tre metaller som viser markert høyere verdier for skjellene fra



Hanneviksbukta. Koboltinnholdet er omtrent 50 ganger høyere, jerninnholdet er ca. 10 ganger høyere, og innholdet av silisium og aluminium er omtrent dobbelt så høyt. Sammenlignet med resultatene i Næs mfl. 2011 er det koboltinnholdet i blåskjell fra Hanneviksbukta som skiller seg ut med ca. syv ganger høyere konsentrasjoner enn skjell fra Fiskåtangen, Lumber og Timlingen.

Det er ikke gjennomført metallanalyser av blåskjell fra disse stasjonene tidligere, og det er derfor ikke mulig å si om det har vært en endring av metallinnhold i blåskjell over tid ved disse stasjonene.

### 3.3.2 Organiske miljøgifter

Innholdet av de organiske miljøgiftene heksaklorbenzen (HCB), polyklorerte bifenyl (PCB), non-orto PCB, dioksiner (PCDD), furaner (PCDF) og summen av dioksiner og furaner (PCDD/F) i blåskjell er vist i **Tabell 9**. For dioksiner, furaner og non-orto PCB er konsentrasjonene omregnet til toksisitetsekvivalenter (TE) i hht. Verdens helseorganisasjons modell (World Health Organization, WHO) (Van den Berg mfl. 2005).

**Tabell 9.** Innholdet av HCB, PCB<sub>7</sub>, non-orto PCB, dioksiner, furaner og summen av dioksiner og furaner. Romertall og farge tilsvarer tilstandsklasser i hht. Klifs kriterier (**Tabell 3**).

Toksisitetsekvivalenter (TE) er i hht. WHO-modell (Van den Berg mfl. 2005).

stasjon	tørrestoff %	HCB µg/kg v.v.	PCB <sub>7</sub> µg/kg v.v.	TE PCDD ng/kg v.v.	TE PCDF ng/kg v.v.	TE sum PCDD/F ng/kg v.v.	TE non-orto PCB ng/kg v.v.
Hanneviksbukta	13,1	0,77 III	10,99 II	0,11	0,47	0,58 III	1,44
Kolsdalsbukta	16,2	6,69 V	2,55 I	0,32	2,38	2,69 IV	1,85
Myrodden	13,1	0,54 III	1,42 I	0,10	0,30	0,40 III	0,51

Resultatene i **Tabell 9** viser at blåskjellene fra de tre stasjonene var lite forurenset av PCB<sub>7</sub> og ble klassifisert til "Lite/ubetydelig (klasse I)", eller "moderat forurenset (klasse II)". Stasjon Kolsdalsbukta ble klassifisert til "meget sterkt forurenset (klasse V)" for HCB og "sterkt forurenset (klasse IV)" av sum TE PCDD/F.

Stasjonene Hanneviksbukta og Myrodden ble begge klassifisert til "markert forurenset (klasse III)" for forbindelsene HCB og summen av dioksiner og furaner (TE sum PCDD/F). Det er ikke utarbeidet tilstandsklasser for non-orto PCB i blåskjell, men utregningene viser at dersom en hadde lagt til bidraget av TE fra non-orto PCB ville skjellene fra Hanneviksbukta og skjellene fra Kolsdalsbukta blitt klassifisert til én tilstandsklasse høyere. Skjellene fra Myrodden ville fortsatt blitt klassifisert til "markert forurenset (klasse III)".

Innholdet av PCB<sub>7</sub> ble klassifisert til "Lite/ubetydelig (klasse I)" på stasjonene Kolsdalsbukta og Myrodden, mens stasjon Hanneviksbukta ble klassifisert til "moderat forurenset (klasse II)". Sammenlignet med resultatene fra Schøyen mfl. 2010 ligger PCB<sub>7</sub>-innholdet i Hanneviksbukta 5-20 ganger høyere enn de syv undersøkte stasjonene i Kristiansandsfjorden. For forbindelsene HCB, non-orto PCB, dioksiner og furaner skiller stasjonen i Kolsdalsbukta seg ut med høye verdier. Den blir klassifisert til "meget sterkt forurenset (klasse V)" for HCB og "sterkt forurenset (klasse IV)" for sum TE PCDD/F. Stasjonene Kolsdalsbukta og Myrodden blir klassifisert til "moderat forurenset (klasse III)" for disse forbindelsene.

Sammenlignet med resultatene fra Schøyen mfl. 2010 er det i den undersøkelsen to stasjoner som blir klassifisert til "sterkt forurenset (klasse IV)" for HCB, en stasjon ved Lagmannsholmen og en stasjon ved Odderøy. HCB-innholdet er ca. 4,5 ganger høyere i skjellene fra Kolsdalsbukta enn ved disse stasjonene. For dioksiner og furaner er det også stasjonene Lagmannsholmen og Odderøy som har høyest konsentrasjoner, de blir klassifisert til "moderat forurenset (klasse III)". Stasjon Kolsdalsbukta har omtrent dobbelt så høyt innhold av dioksiner og furaner som disse to stasjonene.

For stasjonen Hanneviksbukta er det tidligere påvist en nedgang i TE non-orto PCB fra 2,15 pg/g i 2002 til 0,29 pg/g i 2007 (Berge mfl. 2007). I foreliggende undersøkelse ble det målt 1,44 pg/g og non-orto PCB- innholdet ser derfor ut til å ha økt noe igjen de seneste årene. Det samme gjelder for TE sum PCDD/F som var 1,36 pg/g i 2002 og 0,37 pg/g i 2007 (Berge mfl. 2007) sammenlignet med 0,58 pg/g i 2010.

For stasjonen Myrodden foreligger det data fra 2002 og 2003 (Berge mfl. 2007). Innholdet av TE non-orto PCB ble halvert fra 1,12 pg/g i 2002 til 0,57 pg/g i 2003. Dette er på samme nivå som i foreliggende undersøkelse med TE non-orto PCB på 0,51 pg/g. Også TE sum PCDD/F ble halvert fra 0,75 pg/g i 2002 til 0,30 pg/g i 2003. Verdien fra 2010-undersøkelsen er 0,40 pg/g.

Vi er ikke kjent med endringer i tilførsler som kan forklare svingningene observert i perioden 2002-2010 og naturlige variasjoner kan ikke utelukkes.

For stasjonen i Kolsdalsbukta er det ikke sammenlignbare data fra tidligere år.

### 3.4 Miljøgiftinnhold i sedimenter

#### 3.4.1 Metaller

Det ble tatt fem replikate sedimentprøver fra en stasjon i Hanneviksbukta. Stasjonen i Hanneviksbukta ble opprettet for å kunne fungere som en referansestasjon ved framtidig overvåking og plassert i et område som skulle være tildekket med sand. Metallresultatene presentert i **Tabell 10** viser at det var store variasjoner over små avstander innenfor stasjon. Det betyr at det har forekommet en rekontaminering av tildekkingslaget. Dette har også betydning for egnetheten av stasjonen i overvåkingssammenheng, og medfører at stasjonen som er valgt trolig vil fungere dårlig som en framtidig overvåkingssasjon.

Resultatene fra de fem replikatene er gitt i **Tabell 10**. I tabellen er det også gitt resultater fra overflatesedimenter fra flere stasjoner i Hanneviksbukta prøvetatt i 2006 (Kroglund 2007) og konsentrasjoner av metaller i sedimentfeller som ble eksponert i Hanneviksbukta i 2009 (Næs mfl. 2010).

**Tabell 10.** Metallinnhold oppgitt på tørrvektsbasis i sedimenter fra Hanneviksbukta i 2010 og 2006, og konsentrasjoner av metaller i sedimentfeller fra Hanneviksbukta i 2009. Gjennomsnittsverdiene for de fem replikatene i 2010 er klassifisert i hht. Klifs kriterier som angitt med romertall og fargekode. For kobolt er det ikke utarbeidet tilstandsklasser.

stasjon Hanneviksbukta	Tørrstoff %	Kornford % <63µm	TOC µg C/mg TS	As µg/g t.v.	Cd µg/g t.v.	Cu µg/g t.v.	Ni µg/g t.v.	Pb µg/g t.v.	Zn µg/g t.v.	Co µg/g t.v.
I	44,2	62	13,4	3120	<0,2	687	583	342	60,4	38,8
II	41,5	60	21,4	1810	<0,2	628	465	240	83,3	36,2
III	39,4	74	17,7	1480	<0,2	495	408	209	79,7	32,8
IV	44,4	64	14,9	1590	<0,2	434	368	196	65,8	28,8
V	62,6	41	6,1	896	<0,2	257	225	124	41,6	16,8
<b>Gjennomsnitt</b>				<b>1779 (V)</b>	<b>&lt;0,2 (I)</b>	<b>500 (V)</b>	<b>410 (IV)</b>	<b>222 (IV)</b>	<b>66,2 (I)</b>	<b>30,7</b>
Overflatesediment 2006 min-maks verdi				65-2140	<0,2	42-399	33-378	45-217	28-56	6-23
sedimentfeller 2009 min-maks verdi				81-407	0,75-1,1	481-1120	323-876	86-123	194-265	32-70

Resultatene i **Tabell 10** viser at sedimentene fra Hanneviksbukta er lite forurenset av metallene Cd og Zn. De blir klassifisert til "bakgrunn (klasse I)". Stasjonen er imidlertid meget sterkt forurenset av As og Cu svarende til "svært dårlig (klasse V)". For Ni og Pb ble stasjonen klassifisert til "dårlig (klasse IV)". Det er ikke utarbeidet tilstandsklasser for Co.

Metallinnholdet i overflatesedimentene fra 2010 er i samme størrelsesorden som andre stasjoner i området prøvetatt i 2006 (Kroglund 2007). Sammenlignet med konsentrasjonene i sedimentfellene (Næs mfl. 2010) ser metallinnholdet i overflatesedimentene i 2010 ut til å være høyere for As og Pb. Det indikerer at konsentrasjonene av disse metallene i sedimentene vil gå ned over tid gitt dagens forhold for området. Metallinnholdet i overflatesedimentene fra 2010 skilte seg derimot ikke vesentlig ut fra sedimentfelle materialet for de andre metallene.

Det ble også tatt sedimentprøver fra området ved Fiskå og Timlingene i 2010 (Håvardstun mfl. 2011), stasjonsplassering er vist på kart i **Figur 11**.



**Figur 11.** Kart som viser plassering av sedimentstasjoner prøvetatt for Elkem i 2010.

Sedimentresultatene fra stasjonene K 17 og KR 3 er vist i tabell **Tabell 11**.

**Tabell 11.** Metaller i sedimenter ved Fiskå og Timlingen. Romertall og fargekode tilsvarer Klifs tilstandsklasse. For stasjon KR 3 er gjennomsnittsverdi av fem prøver benyttet.

Stasjon	TTS %	korn % <63µm	TOC/F µg C/mg TS	As µg/g t.v.	Cd µg/g t.v.	Cu µg/g t.v.	Ni µg/g t.v.	Pb µg/g t.v.	Zn µg/g t.v.	Co µg/g t.v.
KR 3 (I-V)	43,9	70	28,8	21,8 II	<0,2 I	241,6 IV	346,8 IV	64,1 II	83,5 I	15
K 17	33,3	69	54,8	83 IV	<0,3 I	641 V	828 IV	169 IV	163 II	35,6

### 3.4.2 Organiske miljøgifter

Innholdet av de organiske miljøgiftene HCB, PCB<sub>7</sub>, non-orto PCB, PCDD og PCDF i sedimenter er vist i

**Tabell 12.** TE sum PCDD/F tilsvarer summen av dioksiner og furaner.

**Tabell 12.** Innhold av klorerte forbindelser i sedimenter fra Hanneviksbukta 2010. Romertall og farge for gjennomsnittsverdier tilsvarer tilstandsklasser i hht. Klifs kriterier. Toksisitetsekvivalenter (TE) er iht. WHO-modell (Van den Berg mfl. 2005).

stasjon Hanneviksbukta	tørrestoff %	Kornford % andel <63µm	HCb µg/kg t.v.	PCB7 µg/kg t.v	TE PCDD µg/kg t.v	TE PCDF µg/kg t.v.	TE sum PCDD/F µg/kg t.v.	TE non-orto PCB µg/kg t.v.
I	44,2	62	60,2	2,0	0,0055	0,076	0,082	0,0040
II	41,5	60	105	2,4	0,0057	0,088	0,094	0,0044
III	39,4	74	21,5	1,6	0,0044	0,054	0,059	0,0033
IV	44,4	64	26,1	2,4	0,0035	0,041	0,044	0,0026
V	62,6	41	8,45	1,3	0,0030	0,031	0,034	0,0019
<b>Gjennomsnitt</b>	46,4	60	44,3 (III)	1,94 (I)	0,0044	0,058	0,063 (III)	0,0032
sedimentfeller 2009 min-maks verdi gjennomsnitt				9,3-20 15,1 (II)			0,030-0,096 0,064 (III)	0,00052-0,0072 0,0029

Resultatene viser at det var lave verdier av PCB<sub>7</sub>, og stasjonen ble klassifisert til "bakgrunn (klasse I)". Sedimentene ble klassifisert til "moderat (klasse III)" for HCB og PCDD/F. Det er ikke utarbeidet tilstandsklasser for non-orto PCB i sedimenter.

Hvis vi også sammenligner disse verdiene med sedimentfellemålingene i 2009, viser tabellen god overensstemmelse mellom konsentrasjonene i sedimentfelle materialet og overflatesedimentene for dioksiner (PCDD), furaner (PCDF) og non-orto PCB. For PCB<sub>7</sub> er konsentrasjonene i sedimentfellene høyere, og blir klassifisert til "god (klasse II)".

Det foreligger ikke nyere sedimentundersøkelser fra Hanneviksbukta, men i 2006 ble det analysert på dioksiner på en stasjon i Vesterhavnområdet (Berge mfl. 2007). Sammenlignet med resultatene fra denne stasjonen (K 18), var TE PCDD/F-innholdet 196 pg/g. TE PCDD/F-innholdet i Hanneviksbukta var betydelig lavere, med 63 pg/g. Årsaken til at det er lavere verdi i Hanneviksbukta antar vi skyldes tildekkingen av de gamle sedimentene og at materialet som sedimenterer nå inneholder mindre dioksiner enn materialet som sedimenterte før cappen ble lagt ut.

Tilsvarende som for metallene, ble det observert betydelige variasjoner i konsentrasjoner innenfor stasjonen i Hanneviksbukta, særlig for HCB.

## 4. Referanser

- Bakke, T., Breeveld, G., Källqvist, T., Oen, A., Eek, E., Ruus, A., Kibsgaard, A., Helland, A., Hylland, K. 2007. Veileder for klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann – Revisjon av klassifisering av metaller og organiske miljøgifter i vann og sedimenter. Klif TA-2229/2007.
- Berge, J.A., Bjerkgeng, B., Næs, K., Oug, E., Ruus, A. 2007. Undersøkelse av miljøtilstanden i Kristiansandsfjorden 2006. Miljøgifter i sediment og organismer og sammensetning av bløtbunnsfauna. NIVA-rapport 5506-2007.
- Crommentuijn, T. Polder, M.D. & van der Plassche, E.J. (1997) Maximum permissible concentrations and negligible concentrations for metals taking background concentrations into account. RIVM report no. 601501 001.
- Frick, W.E., Roberts, P.J.W., Davis, L.R., Keyes, J, Baumgartner, D.J. and George, K.P., 2001. Dilution Models for Effluent Discharges, 4<sup>th</sup> Edition (Visual Plumes). Environmental Research Division, U.S. Environmental Protection Agency, Athens Georgia, USA.
- Green, N.W., Schøyen, M., Øxnevad, S., Ruus, A., Høgåsen, T., Beylich, B., Håvardstun, J., Rogne, Å.G., Tveiten, L. 2010. Coordinated Environmental Monitoring Programme (CEMP). Hazardous substances in fjords and coastal waters – 2009. Levels, trends and effects. Klima- og forurensningsdirektoratet (Klif), Statlig program for forurensningsovervåking, SPFO-rapportnr. 1079/2010, TA nr. 2716/2010. NIVA prosjekt nummer O-10106, 80106, 26106, 27106 og 28106 og rapport nummer 6048-2010, 287 s.
- Næs, K., Håvardstun, J. 2010. Sedimentasjon av dioksiner og metaller i Hanneviksbukta, Kristiansand 2009. NIVA-rapport 5942-2010.
- Kroglund, T., Håvardstun, J. 2011. Forurensningsbudsjett for utvalgte forbindelser i Hanneviksbukta, Kristiansandsfjorden. NIVA-rapport 6114-2011.
- Molvær J, Knutzen J, Magnusson J, Rygg B, Skei J, Sørensen J, 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning. SFT-veiledning nr. 97:03, TA-1467/1997. 36 s.
- Molvær, J. og Helland, A., 2007. Hannevika. Undersøkelser vedrørende tildekkingen av forurensede sedimenter. NIVA-rapport nr. 5328-2007. 52 sider.
- Schøyen, M., Håvardstun, J., Øxnevad, S., Allan, I., Næs, K. 2010. Overvåking av miljøgifter i Kristiansandsfjorden i 2010. Undersøkelse av blåskjell, taskekrabber og passive prøvetakere i vann. NIVA rapport 6089-2010. 167 s.
- Van den Berg, M., Birnbaum, L. S., Denison, M., De Vito, M., Farland, W. Feeley, M., Fiedler, H., Hakansson, H., Hanberg, A., Haws, L. Rose, M., Safe, S., Schrenk, D., Tohyama. C., Tritscher, A., Tuomisto, J., Tysklind, M., Walker, N., Peterson, R. 2006. The 2005 World Health Organization Re-evaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-Like Compounds. Toxicological Sciences 93 (2). 223-221.

# Vedlegg A. Analyseresultater

Vannprøver ble videresendt til ALS Global for analyse:

Side nr. 1/1

Norsk  
Institutt  
for  
Vannforskning

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Tel: 22 18 51 00  
Fax: 22 18 52 00

## ANALYSE RAPPORT



Navn **Xstrata Arsen**  
Adresse

Deres referanse:

Vår referanse:

Dato

Rekv.nr. 2011-169  
O.nr. O 10362

10.03.2011

Prøvene ble levert ved NIVAs laboratorium av oppdragsgiver, og merket slik som gjengitt i tabellen nedenfor. Prøvene ble analysert med følgende resultater (analyseusikkerhet kan fås ved henvendelse til laboratoriet):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	Gml. kode 2955-1 K18 0,2m	2010.12.09	2011.02.02	2011.02.17-2011.02.17
2	Gml. kode 2955-2 Myroddb. 0,2m	2010.12.09	2011.02.02	2011.02.17-2011.02.17
3	Gml. kode 2955-3 Kulsdals,0,2m	2010.12.09	2011.02.02	2011.02.17-2011.02.17
4	Gml. kode 2955-4 Kulsdals, 10m	2010.12.09	2011.02.02	2011.02.17-2011.02.17

3U°YHQU				
\$QDO\VHYDULDEHO (QKHW OHWRGH				
\$UVHQ	6J O (NVVHUQ			

### Kommentarer

1 Sent til ALS

Norsk institutt for vannforskning

Karin Lang-Ree  
Laboratoriesekretær

Norsk Institutt for Vannforskning  
 Gaustadalléen 21  
 0349 Oslo  
 Tel: 22 18 51 00  
 Fax: 22 18 52 00

# ANALYSE RAPPORT



Navn **Xstrata supplere**  
 Adresse

<b>Deres referanse:</b>	<b>Vår referanse:</b>	<b>Dato</b>
	Rekv.nr. 2010-2082	10.03.2011
	O.nr. O 10361	

Prøvene ble levert ved NIVAs laboratorium av oppdragsgiver, og merket slik som gjengitt i tabellen nedenfor. Prøvene ble analysert med følgende resultater (analyseusikkerhet kan fås ved henvendelse til laboratoriet):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings-dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	St.K-18	2010.09.10	2010.09.14	2010.09.21-2010.09.21
2	St.Kolsdalsbukta	2010.09.10	2010.09.14	2010.09.21-2010.09.21
3	St. Myroddenbukta	2010.09.10	2010.09.14	2010.09.21-2010.09.21

3U°YHQU					
\$QDO\ VHYDULDEHO	(QKHW	OHWRGH			
\$UVHQ	ôJ O	(NVWHUQ			

Norsk institutt for vannforskning

Karin Lang-Ree  
 Laborariesekretær

Sedimenter:

Side nr. 1/1

Norsk  
Institutt  
for  
Vannforskning

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Tel: 22 18 51 00  
Fax: 22 18 52 00

## ANALYSE RAPPORT



Navn Xstrata supplere  
Adresse

Deres referanse:	Vår referanse:	Dato
	Rekv.nr. 2010-2972 O.nr. O 10361	10.03.2011

Prøvene ble levert ved NIVAs laboratorium av oppdragsgiver, og merket slik som gjengitt i tabellen nedenfor. Prøvene ble analysert med følgende resultater (analyseusikkerhet kan fås ved henvendelse til laboratoriet):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings-dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	XTR1,1	2010.12.09	2010.12.15	2010.12.15-2011.02.22
2	XTR1,2	2010.12.09	2010.12.15	2010.12.15-2011.02.22
3	XTR1,3	2010.12.09	2010.12.15	2010.12.15-2011.02.22
4	XTR1,4	2010.12.09	2010.12.15	2010.12.15-2011.02.22
5	XTR1,5	2010.12.09	2010.12.15	2010.12.15-2011.02.22

\$QDO\VHYDULDEHO	(QKHW	3U°YHQU OHWRGH					
7°UUVWRII		%					
.RUQIRUGHOLQJ	óP W Y	,QWHUQ					
.DUERQ RUJ WRWDO	óJ & PJ 76	*					
\$UVHQ	óJ J W Y	(					
.DGPLXP	óJ J W Y	(					
.REROW	óJ J W Y	(					
.REEHU	óJ J W Y	(					
1LNNHO	óJ J W Y	(					
%O\	óJ J W Y	(					
6LQN	óJ J W Y	(					
'LRNVLQHU			X	X	X	X	X

u : Analyseresultat er vedlagt i egen analyserapport.

\* : Metoden er ikke akkreditert.

### Kommentarer

- Dioksin, HCB og PCB m. dioksinlign. effekt analyseres på NILU. Rapport og faktura sendes direkte til NES. Forel.res. mottatt ca 10/2

Norsk institutt for vannforskning

Karin Lang-Ree



Prøve XTR1 replikat I

## Results of PCB Analysis



Encl. to measuring report: O-7473  
 NILU-Sample number: 10/3029  
 Customer: NIVA v/ K. Næs  
 Customers sample ID: 2972-1  
 :  
 Sample type: Sediment  
 Analysed sample amount: 2,00 g  
 Total sample amount:  
 Concentration units: ng/g  
 Data files: VB870

Compound		Concentration	Recovery	TE (1998)	TE (2005)
Structure	IUPAC-no.	ng/g	%	pg/g	pg/g
PeCB		9,34	19		
HCb		60,2	19		
2,2',5'-TriCB	18	0,03	54		
<b>2,4,4'-TriCB</b>	<b>28</b>	<b>0,08</b>			
2,4',5'-TriCB	31	0,08			
2',3,4'-TriCB	33	0,05			
3,4,4'-TriCB	37	< 0,01			
<b>Sum-TriCB</b>		<b>0,37</b>			
2,2',4,4'-TetCB	47	0,05	55		
<b>2,2',5,5'-TetCB</b>	<b>52</b>	<b>0,11</b>			
2,3',4,4'-TetCB	66	0,17			
2,4,4',5'-TetCB	74	0,08			
<b>Sum-TetCB</b>		<b>0,90</b>			
2,2',4,4',5'-PenCB	99	0,11	67		
<b>2,2',4,5,5'-PenCB</b>	<b>101</b>	<b>0,29</b>			
2,3,3',4,4'-PenCB	105	0,11	89	0,01	0,00
2,3,4,4',5'-PenCB	114	< 0,01	80	0,01	0,00
<b>2,3',4,4',5'-PenCB</b>	<b>118</b>	<b>0,26</b>	82	0,03	0,01
2',3,3',4,5'-PenCB	122	< 0,01	81	0,00	0,00
2',3,4,4',5'-PenCB	123	< 0,01			
<b>Sum-PenCB</b>		<b>1,53</b>			
2,2',3,3',4,4'-HexCB	128	0,13	81		
<b>2,2',3,4,4',5'-HexCB</b>	<b>138</b>	<b>0,48</b>			
2,2',3,4,5,5'-HexCB	141	0,09	85		
2,2',3,4',5',6'-HexCB	149	0,29			
<b>2,2',4,4',5,5'-HexCB</b>	<b>153</b>	<b>0,47</b>	83	0,03	0,00
2,3,3',4,4',5'-HexCB	156	0,06	74	0,01	0,00
2,3,3',4,4',5'-HexCB	157	0,01	73	0,00	0,00
2,3',4,4',5,5'-HexCB	167	0,03			
<b>Sum-HexCB</b>		<b>2,40</b>			
2,2',3,3',4,4',5'-HepCB	170	0,15	79		
<b>2,2',3,4,4',5,5'-HepCB</b>	<b>180</b>	<b>0,33</b>			
2,2',3,4,4',5',6'-HepCB	183	0,07	88	0,00	0,00
2,2',3,4',5,5',6'-HepCB	187	0,17			
2,3,3',4,4',5,5'-HepCB	189	0,01			
<b>Sum-HepCB</b>		<b>1,12</b>			
2,2',3,3',4,4',5,5'-OctCB	194	0,08	78		
2,2',3,3',4,4',5,5',6'-NonCB	206	0,20			
DecaCB	209	1,08			
<b>Sum 7 PCB</b>		<b>2,02</b>			
<b>Sum PCB</b>		<b>7,67</b>		<b>0,08</b>	<b>0,02</b>

Sum 7 PCB: PCB(28+52+101+118+138+153+180)  
 Sum PCB: Sum of observed PCB (mono- and di-CB are not included)  
 <: Lower than detection limit at signal-to-noise 3 to 1  
 i: Isotope ratio deviates more than 20 % from theoretical value.  
 This may be due to instrumental noise or/and chemical interference  
 b: Lower than 10 times method blank.  
 g: Recovery is not according to NILUs quality criteria  
 TE (1998): 2378-TCDD toxicity equivalents of the mono-ortho PCB according to the WHO model  
 (M. Van den Berg et al., 1998)  
 TE (2005): 2378-TCDD toxicity equivalents of the mono-ortho PCB according to the WHO model  
 (M. Van den Berg et al., 2005)

16. versjon 20.10.2010 GSK

Prøve XTR1 replikat II

## Results of PCB Analysis



Encl. to measuring report: O-7473  
 NILU-Sample number: 10/3030  
 Customer: NIVA v/ K. Næs  
 Customers sample ID: 2972-2  
 :  
 Sample type: Sediment  
 Analysed sample amount: 2,00 g  
 Total sample amount:  
 Concentration units: ng/g  
 Data files: VB870

Compound		Concentration	Recovery	TE (1998)	TE (2005)
Structure	IUPAC-no.	ng/g	%	pg/g	pg/g
PeCB		11,2	26		
HCb		105	g		
2,2',5-TriCB	18	0,03			
<b>2,4,4'-TriCB</b>	<b>28</b>	<b>0,08</b>	65		
2,4',5-TriCB	31	0,08			
2',3,4-TriCB	33	0,06			
3,4,4'-TriCB	37	<			
<b>Sum-TriCB</b>		<b>0,39</b>			
2,2',4,4'-TetCB	47	0,05			
<b>2,2',5,5'-TetCB</b>	<b>52</b>	<b>0,10</b>	72		
2,3',4,4'-TetCB	66	0,14			
2,4,4',5-TetCB	74	0,08			
<b>Sum-TetCB</b>		<b>0,77</b>			
2,2',4,4',5-PenCB	99	0,12			
<b>2,2',4,5,5'-PenCB</b>	<b>101</b>	<b>0,33</b>	87		
2,3,3',4,4'-PenCB	105	0,12	93	0,01	0,00
2,3,4,4',5-PenCB	114	<	93	0,01	0,00
<b>2,3',4,4',5-PenCB</b>	<b>118</b>	<b>0,29</b>	85	0,03	0,01
2',3,3',4,5-PenCB	122	<			
2',3,4,4',5-PenCB	123	<	88	0,00	0,00
<b>Sum-PenCB</b>		<b>1,78</b>			
2,2',3,3',4,4'-HexCB	128	0,21			
<b>2,2',3,4,4',5'-HexCB</b>	<b>138</b>	<b>0,59</b>	106		
2,2',3,4,5,5'-HexCB	141	0,13			
2,2',3,4',5',6-HexCB	149	0,38			
<b>2,2',4,4',5,5'-HexCB</b>	<b>153</b>	<b>0,59</b>	113		
2,3,3',4,4',5-HexCB	156	0,07	90	0,04	0,00
2,3,3',4,4',5'-HexCB	157	0,01	76	0,01	0,00
2,3',4,4',5,5'-HexCB	167	0,03	72	0,00	0,00
<b>Sum-HexCB</b>		<b>3,15</b>			
2,2',3,3',4,4',5-HepCB	170	0,20			
<b>2,2',3,4,4',5,5'-HepCB</b>	<b>180</b>	<b>0,39</b>	114		
2,2',3,4,4',5',6-HepCB	183	0,08			
2,2',3,4',5,5',6-HepCB	187	0,19			
2,3,3',4,4',5,5'-HepCB	189	0,02	88	0,00	0,00
<b>Sum-HepCB</b>		<b>1,42</b>			
2,2',3,3',4,4',5,5'-OctCB	194	0,12			
2,2',3,3',4,4',5,5',6-NonCB	206	0,32			
DecaCB	209	2,37	116		
<b>Sum 7 PCB</b>		<b>2,37</b>			
<b>Sum PCB</b>		<b>10,3</b>		<b>0,09</b>	<b>0,02</b>

Sum 7 PCB: PCB(28+52+101+118+138+153+180)  
 Sum PCB: Sum of observed PCB (mono- and di-CB are not included)  
 <: Lower than detection limit at signal-to-noise 3 to 1  
 i: Isotope ratio deviates more than 20 % from theoretical value.  
 This may be due to instrumental noise or/and chemical interference  
 b: Lower than 10 times method blank.  
 g: Recovery is not according to NILUs quality criteria  
 TE (1998): 2378-TCDD toxicity equivalents of the mono-ortho PCB according to the WHO model  
 (M. Van den Berg et al., 1998)  
 TE (2005): 2378-TCDD toxicity equivalents of the mono-ortho PCB according to the WHO model  
 (M. Van den Berg et al., 2005)

16. versjon 20.10.2010 GSK

Prøve XTR1 replikat III

## Results of PCB Analysis



Encl. to measuring report: O-7473  
 NILU-Sample number: 10/3031  
 Customer: NIVA v/ K. Næss  
 Customers sample ID: 2972-3  
 :  
 Sample type: Sediment  
 Analysed sample amount: 2,00 g  
 Total sample amount:  
 Concentration units: ng/g  
 Data files: VB870

Compound		Concentration	Recovery	TE (1998)	TE (2005)
Structure	IUPAC-no.	ng/g	%	pg/g	pg/g
PeCB		3,90	20		
HCB		21,5	15		
2,2',5'-TriCB	18	0,02	53		
<b>2,4,4'-TriCB</b>	<b>28</b>	<b>0,05</b>			
2,4',5'-TriCB	31	0,05			
2',3,4'-TriCB	33	0,03			
3,4,4'-TriCB	37	< 0,01			
<b>Sum-TriCB</b>		<b>0,23</b>			
2,2',4,4'-TetCB	47	0,03	53		
<b>2,2',5,5'-TetCB</b>	<b>52</b>	<b>0,07</b>			
2,3',4,4'-TetCB	66	0,12			
2,4,4',5'-TetCB	74	0,05			
<b>Sum-TetCB</b>		<b>0,60</b>			
2,2',4,4',5'-PenCB	99	0,09	67		
<b>2,2',4,5,5'-PenCB</b>	<b>101</b>	<b>0,22</b>			
2,3,3',4,4'-PenCB	105	0,09			
2,3,4,4',5'-PenCB	114	< 0,01			
<b>2,3',4,4',5'-PenCB</b>	<b>118</b>	<b>0,22</b>			
2',3,3',4,5'-PenCB	122	< 0,01			
2',3,4,4',5'-PenCB	123	< 0,01			
<b>Sum-PenCB</b>		<b>1,14</b>			
2,2',3,3',4,4'-HexCB	128	0,11	88		
<b>2,2',3,4,4',5'-HexCB</b>	<b>138</b>	<b>0,41</b>			
2,2',3,4,5,5'-HexCB	141	0,08			
2,2',3,4',5',6'-HexCB	149	0,24			
<b>2,2',4,4',5,5'-HexCB</b>	<b>153</b>	<b>0,39</b>			
2,3,3',4,4',5'-HexCB	156	0,05			
2,3,3',4,4',5'-HexCB	157	0,01			
2,3',4,4',5,5'-HexCB	167	0,02			
<b>Sum-HexCB</b>		<b>1,99</b>			
2,2',3,3',4,4',5'-HepCB	170	0,13		94	
<b>2,2',3,4,4',5,5'-HepCB</b>	<b>180</b>	<b>0,25</b>			
2,2',3,4,4',5',6'-HepCB	183	0,05			
2,2',3,4',5,5',6'-HepCB	187	0,12			
2,3,3',4,4',5,5'-HepCB	189	0,01			
<b>Sum-HepCB</b>		<b>0,84</b>			
2,2',3,3',4,4',5,5'-OctCB	194	0,06	100		
2,2',3,3',4,4',5,5',6'-NonCB	206	0,15			
DecaCB	209	0,86			
<b>Sum 7 PCB</b>		<b>1,60</b>			
<b>Sum PCB</b>		<b>5,86</b>		<b>0,07</b>	<b>0,01</b>

Sum 7 PCB: PCB(28+52+101+118+138+153+180)  
 Sum PCB: Sum of observed PCB (mono- and di-CB are not included)  
 <: Lower than detection limit at signal-to-noise 3 to 1  
 i: Isotope ratio deviates more than 20 % from theoretical value.  
 This may be due to instrumental noise or/and chemical interference  
 b: Lower than 10 times method blank.  
 g: Recovery is not according to NILUs quality criteria  
 TE (1998): 2378-TCDD toxicity equivalents of the mono-ortho PCB according to the WHO model  
 (M. Van den Berg et al., 1998)  
 TE (2005): 2378-TCDD toxicity equivalents of the mono-ortho PCB according to the WHO model  
 (M. Van den Berg et al., 2005)

16. versjon 20.10.2010 GSK

Prøve XTR1 replikat IV

## Results of PCB Analysis



Encl. to measuring report: O-7473  
 NILU-Sample number: 10/3032  
 Customer: NIVA v/ K. Næss  
 Customers sample ID: 2972-4  
 :  
 Sample type: Sediment  
 Analysed sample amount: 2,00 g  
 Total sample amount:  
 Concentration units: ng/g  
 Data files: VB870

Compound		Concentration	Recovery	TE (1998)	TE (2005)
Structure	IUPAC-no.	ng/g	%	pg/g	pg/g
PeCB		6,15	1		
HCB		26,1	2		
2,2',5'-TriCB	18	0,01	28		
<b>2,4,4'-TriCB</b>	<b>28</b>	<b>0,05</b>			
2,4',5'-TriCB	31	0,04			
2',3,4'-TriCB	33	0,03			
3,4,4'-TriCB	37	< 0,01			
<b>Sum-TriCB</b>		<b>0,13</b>			
2,2',4,4'-TetCB	47	0,02	33		
<b>2,2',5,5'-TetCB</b>	<b>52</b>	<b>0,07</b>			
2,3',4,4'-TetCB	66	0,11			
2,4,4',5'-TetCB	74	0,05			
<b>Sum-TetCB</b>		<b>0,38</b>			
2,2',4,4',5'-PenCB	99	0,14	50		
<b>2,2',4,5,5'-PenCB</b>	<b>101</b>	<b>0,37</b>			
2,3,3',4,4'-PenCB	105	0,18			
2,3,4,4',5'-PenCB	114	0,01			
<b>2,3',4,4',5'-PenCB</b>	<b>118</b>	<b>0,40</b>			
2',3,3',4,5'-PenCB	122	< 0,01			
2',3,4,4',5'-PenCB	123	< 0,01			
<b>Sum-PenCB</b>		<b>2,00</b>			
2,2',3,3',4,4'-HexCB	128	0,20	75		
<b>2,2',3,4,4',5'-HexCB</b>	<b>138</b>	<b>0,67</b>			
2,2',3,4,5,5'-HexCB	141	0,12			
2,2',3,4',5',6'-HexCB	149	0,32			
<b>2,2',4,4',5,5'-HexCB</b>	<b>153</b>	<b>0,56</b>			
2,3,3',4,4',5'-HexCB	156	0,10			
2,3,3',4,4',5'-HexCB	157	0,02			
2,3',4,4',5,5'-HexCB	167	0,04			
<b>Sum-HexCB</b>		<b>3,05</b>			
2,2',3,3',4,4',5'-HepCB	170	0,13		78	
<b>2,2',3,4,4',5,5'-HepCB</b>	<b>180</b>	<b>0,24</b>			
2,2',3,4,4',5',6'-HepCB	183	0,05			
2,2',3,4',5,5',6'-HepCB	187	0,11			
2,3,3',4,4',5,5'-HepCB	189	0,01			
<b>Sum-HepCB</b>		<b>0,83</b>			
2,2',3,3',4,4',5,5'-OctCB	194	0,05	81		
2,2',3,3',4,4',5,5',6'-NonCB	206	0,11			
DecaCB	209	0,58			
<b>Sum 7 PCB</b>		<b>2,36</b>			
<b>Sum PCB</b>		<b>7,13</b>		<b>0,13</b>	<b>0,02</b>

Sum 7 PCB: PCB(28+52+101+118+138+153+180)  
 Sum PCB: Sum of observed PCB (mono- and di-CB are not included)  
 <: Lower than detection limit at signal-to-noise 3 to 1  
 i: Isotope ratio deviates more than 20 % from theoretical value.  
 This may be due to instrumental noise or/and chemical interference  
 b: Lower than 10 times method blank.  
 g: Recovery is not according to NILUs quality criteria  
 TE (1998): 2378-TCDD toxicity equivalents of the mono-ortho PCB according to the WHO model  
 (M. Van den Berg et al., 1998)  
 TE (2005): 2378-TCDD toxicity equivalents of the mono-ortho PCB according to the WHO model  
 (M. Van den Berg et al., 2005)

16. versjon 20.10.2010 GSK

Prøve XTR1 replikat V:I

## Results of PCB Analysis



Encl. to measuring report: O-7473  
 NILU-Sample number: 10/3033  
 Customer: NIVA v/ K. Næss  
 Customers sample ID: 2972-5  
 :  
 Sample type: Sediment  
 Analysed sample amount: 2,00 g  
 Total sample amount:  
 Concentration units: ng/g  
 Data files: VB870

Compound		Concentration	Recovery	TE (1998)	TE (2005)
Structure	IUPAC-no.	ng/g	%	pg/g	pg/g
PeCB		1,73	19		
HCB		8,45	11		
2,2',5'-TriCB	18	0,02	60		
<b>2,4,4'-TriCB</b>	<b>28</b>	<b>0,04</b>			
2,4',5'-TriCB	31	0,03			
2',3,4'-TriCB	33	0,02			
3,4,4'-TriCB	37	< 0,01			
<b>Sum-TriCB</b>		<b>0,14</b>			
2,2',4,4'-TetCB	47	0,02	63		
<b>2,2',5,5'-TetCB</b>	<b>52</b>	<b>0,05</b>			
2,3',4,4'-TetCB	66	0,06			
2,4,4',5'-TetCB	74	0,02			
<b>Sum-TetCB</b>		<b>0,31</b>			
2,2',4,4',5'-PenCB	99	0,05	75	0,00	0,00
<b>2,2',4,5,5'-PenCB</b>	<b>101</b>	<b>0,19</b>			
2,3,3',4,4'-PenCB	105	0,04			
2,3,4,4',5'-PenCB	114	< 0,01			
<b>2,3',4,4',5'-PenCB</b>	<b>118</b>	<b>0,11</b>			
2',3,3',4,5'-PenCB	122	< 0,01			
2',3,4,4',5'-PenCB	123	< 0,01			
<b>Sum-PenCB</b>		<b>0,74</b>			
2,2',3,3',4,4'-HexCB	128	0,08	97		
<b>2,2',3,4,4',5'-HexCB</b>	<b>138</b>	<b>0,33</b>			
2,2',3,4,5,5'-HexCB	141	0,09			
2,2',3,4',5',6'-HexCB	149	0,25			
<b>2,2',4,4',5,5'-HexCB</b>	<b>153</b>	<b>0,35</b>			
2,3,3',4,4',5'-HexCB	156	0,03			
2,3,3',4,4',5'-HexCB	157	< 0,01			
2,3',4,4',5,5'-HexCB	167	0,01			
<b>Sum-HexCB</b>		<b>1,75</b>			
2,2',3,3',4,4',5'-HepCB	170	0,13			
<b>2,2',3,4,4',5,5'-HepCB</b>	<b>180</b>	<b>0,27</b>			
2,2',3,4,4',5',6'-HepCB	183	0,05			
2,2',3,4',5,5',6'-HepCB	187	0,12			
2,3,3',4,4',5,5'-HepCB	189	< 0,01			
<b>Sum-HepCB</b>		<b>0,87</b>			
2,2',3,3',4,4',5,5'-OctCB	194	0,05	99		
2,2',3,3',4,4',5,5',6'-NonCB	206	0,07			
DecaCB	209	0,39			
<b>Sum 7 PCB</b>		<b>1,33</b>			
<b>Sum PCB</b>		<b>4,31</b>		<b>0,04</b>	<b>0,01</b>

Sum 7 PCB: PCB(28+52+101+118+138+153+180)  
 Sum PCB: Sum of observed PCB (mono- and di-CB are not included)  
 <: Lower than detection limit at signal-to-noise 3 to 1  
 i: Isotope ratio deviates more than 20 % from theoretical value.  
 This may be due to instrumental noise or/and chemical interference  
 b: Lower than 10 times method blank.  
 g: Recovery is not according to NILUs quality criteria  
 TE (1998): 2378-TCDD toxicity equivalents of the mono-ortho PCB according to the WHO model  
 (M. Van den Berg et al., 1998)  
 TE (2005): 2378-TCDD toxicity equivalents of the mono-ortho PCB according to the WHO model  
 (M. Van den Berg et al., 2005)

16. versjon 20.10.2010 GSK

Blåskjell:

Side nr.1/1

Norsk  
Institutt  
for  
Vannforskning

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Tel: 22 18 51 00  
Fax: 22 18 52 00

## ANALYSE RAPPORT



Navn **Xstrata supplere**  
Adresse

<b>Deres referanse:</b>	<b>Vår referanse:</b>	<b>Dato</b>
	Rekv.nr. 2010-2480	10.03.2011
	O.nr. O 10361	

Prøvene ble levert ved NIVAs laboratorium av oppdragsgiver, og merket slik som gjengitt i tabellen nedenfor. Prøvene ble analysert med følgende resultater (analyseusikkerhet kan fås ved henvendelse til laboratoriet):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings-dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	Hanneviksbukta, Stedegen	2010.09.28	2010.10.22	2010.11.18-2010.11.26
2	Kolsdalsbukta, Stedegen	2010.09.28	2010.10.22	2010.11.18-2010.11.26
3	Myrodden, Stedegen	2010.09.28	2010.10.22	2010.11.18-2010.11.26

3U°YHQU OHWRGH	3U°YHQU OHWRGH			
7°UUVWRII	%			
\$OXPLQLXP	óJ J Y Y (			
\$UVHQ	óJ J Y Y (			
.DGPLXP	óJ J Y Y (			
.REROW	óJ J Y Y (			
.URP	óJ J Y Y (			
.REEHU	óJ J Y Y (			
-HUQ	óJ J Y Y (			
.YLNNV°OY	óJ J Y Y (			
1LNNHO	óJ J Y Y (			
%O\	óJ J Y Y (			
6LQNLXP	óJ J Y Y (			
6LQ	óJ J Y Y (			
.DOVLXP	óJ J Y Y (			

\* : Metoden er ikke akkreditert.

### Kommentarer

- Alle tre prøvene er sendt NILU for doksianalyse, PCB med dioksinlignende effekt og HCB.+fett  
Resultater og faktura sendes direkte til NES.

Norsk institutt for vannforskning

Karin Lang-Ree  
Laboratoriesekretær

## Vedlegg B. Datoer for måling av vertikalprofiler i Vesterhavn

Dato	Dato	Dato	Dato	Dato
9.6.1981	15.4.1982	23.9.1982	8.9.1983	2.7.1984
23.6.1981	28.4.1982	12.10.1982	22.9.1983	18.7.1984
7.7.1981	12.5.1982	25.10.1982	4.10.1983	6.8.1984
21.7.1981	26.5.1982	15.11.1982	18.10.1983	6.9.1984
4.8.1981	9.6.1982	4.5.1983	2.11.1983	20.9.1984
18.8.1981	22.6.1982	20.5.1983	18.11.1983	20.11.1984
1.9.1981	5.7.1982	1.6.1983	9.2.1984	24.8.2006
16.9.1981	16.7.1982	16.6.1983	16.3.1984	20.9.2006
29.9.1981	27.7.1982	28.6.1983	5.4.1984	
15.10.1981	12.8.1982	12.7.1983	26.4.1984	
11.11.1981	27.8.1982	9.8.1983	16.5.1984	
26.11.1981	9.9.1982	23.8.1983	1.6.1984	

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 samfunnsniv.



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)