

# Forurensningsbudsjett for utvalgte forbindelser i Hannevika, Kristiansandsfjorden



**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 Forurensningsbudsjett for utvalgte forbindelser i Hannevika, Kristiansandsfjorden.	Løpenr. (for bestilling) 6114-2011	Dato 2.2.2011
	Prosjektnr. Udemnr. O-27404	Sider Pris 45
Forfatter(e) Tone Kroglund og Jarle Håvardstun	Fagområde Miljøgifter, marint	Distribusjon Fri
	Geografisk område Vest-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Fylkesmannen i Vest-Agder v/Solvår Reiten	Oppdragsreferanse
---	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>Det er gjennomført beregninger av dagens tilførsler av 6 utvalgte miljøgifter til Hannevika i Kristiansand. Området har tidligere mottatt større tilførsler av miljøgifter og sjøbunnen har vært klassifisert som meget sterkt forurenset av en rekke miljøgifter. I de senere årene er det gjennomført en rekke utslippsbegrensende tiltak og sjøbunnen har blitt tildekket. Formålet med undersøkelsen var å sette opp en oversikt over dagens tilførsler og transportveier. Forurensningsbudsjettet som ble satt opp viser at største kilde til nikkel og arsen i Hannevika er utslipp fra industri, mens største kilde til PCB er avrenning fra tette flater. For dioksiner, non-orto PCB og HCB foreligger det for lite data til å sette opp et budsjett.</p>
---

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Kristiansandsfjorden</li> <li>Forurensningsbudsjett</li> <li>Miljøgifter</li> <li>Kilder</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Kristiansandsfjorden</li> <li>Pollution budget</li> <li>Micro pollutants</li> <li>Sources</li> </ol>
---	--



Tone Kroglund  
Prosjektleder



Torgeir Bakke  
Forskningsleder



Bjørn Faafeng  
Seniorrådgiver

**Forurensningsbudsjett for utvalgte forbindelser i  
Hannevika, Kristiansandsfjorden**

## Forord

Dette prosjektet er gjennomført på oppdrag fra Fylkesmannens Miljøvernavdeling i Vest-Agder. Kontaktperson hos Fylkesmannen har vært Solvår Reiten.

I en miljøforbedringssammenheng er det viktig at tiltakene utføres i en logisk rekkefølge slik at man oppnår størst mulig gevinst for innsatsen. I den sammenheng ønsket Fylkesmannen i Vest-Agder at det skulle utarbeides et forurensningsbudsjett for utvalgte forbindelser i Kristiansandsfjorden. Forurensningsbudsjettet skulle gi oversikt over alle tilførsler og tallfesting av disse.

Detaljer for prosjektet ble diskutert på et møte mellom Fylkesmannen og NIVA 21. august 2007 og forslag til program forelå 13. september 2007

Foreliggende rapport er resultater av beregninger gjort for Hannevika og Kolsdalsbukta i Kristiansandsfjorden.

Innhenting av opplysninger og rapportering er gjennomført av Tone Kroglund. Jarle Håvardstun har foretatt vurdering av miljørisiko og Tone Muthanna har gjort beregninger av avrenning fra tette flater.

Grimstad, 2. februar 2011

*Tone Kroglund*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>7</b>
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Formål	7
1.3 Prosjektets faser	7
1.4 Tidligere undersøkelser	8
<b>2. Materiale og metoder</b>	<b>9</b>
2.1 Undersøkellesområde	9
2.2 Valgte metaller og miljøgifter	10
2.3 Innhenting av data	12
2.4 Metoder i hht risikoveilederen	12
<b>3. Resultater</b>	<b>13</b>
3.1 Utslipp fra Xstrata Nikkelverk AS	13
3.2 Utslipp fra kommunale overløp	15
3.3 Avrenning fra tette flater	16
3.4 Atmosfærisk nedfall	20
3.5 Sedimentasjon, spredning og transportkonstanter	22
3.6 Oppsummerende tabell	26
3.7 Grafisk framstilling av tilførslene	28
<b>4. Referanser</b>	<b>33</b>
<b>Vedlegg A. Oppsummerende tabell over metaller og stoffer som ikke inngår i forurensningsbudsjettet</b>	<b>34</b>
<b>Vedlegg B. Utslippsdata</b>	<b>35</b>
<b>Vedlegg C. Sjablongverdier</b>	<b>39</b>
<b>Vedlegg D. Risikoveileder</b>	<b>40</b>

---

## Sammendrag

Sjøbunnen i Hannevika i Kristiansandsfjorden har vært meget sterkt forurenset av en rekke miljøgifter. Særlig problematisk har forurensningen med dioksiner og dioksinlignende forbindelser, heksaklorbenzen (HCB), nikkel, kobber og PAH vært. I de senere årene er det gjennomført en rekke utslippsbegrensende tiltak for å redusere utslipp fra de store punktkildene i fjorden. Det er også gjennomført opprydningsprosjekter (tildekking) knyttet til de forurensete sedimentene i Hannevika for å redusere videre spredning av miljøgifter.

Fylkesmannen i Vest-Agder ønsket å få utarbeidet et forurensningsbudsjett for utvalgte forbindelser i Kristiansandsfjorden. Forurensningsbudsjettet skulle gi oversikt over alle dagens tilførsler og størrelsen på disse.

Prosjektet har kvantifisert kildene til 6 utvalgte miljøgifter i Hannevika og Kolsdalsbukta på grunnlag av eksisterende opplysninger om direkte kilder, kunnskap om forhold i vannmasser og sedimenter, samt anvendelse av transportkonstanter.

Forbindelsene som er forsøkt kvantifisert er dioksiner, polyklorerte bifenyler (PCB), non-orto PCB, heksaklorbenzen (HCB), nikkel (Ni) og arsen (As). Opplysninger er innhentet fra Xstrata Nikkelverk AS, Klif, Kristiansand kommune og tilgjengelige rapporter.

Kildene er delt inn i direkte og diffuse utslipp fra Xstrata Nikkelverk, utslipp fra kommunale overløp, avrenning fra tette flater, atmosfærisk nedfall, sedimentasjon, spredning og transport fra andre områder. Spredning er beregnet fra risikoveilederen på de metallene hvor det foreligger analyser fra det nye overflatesedimentet.

Resultatene viser at største kilde til nikkel og arsen i Hannevika er utslipp fra Xstrata Nikkelverk, mens største kilde til PCB er avrenning fra tette flater. Det er tidligere foretatt beregninger av spredningsveier for dioksiner mens det ikke er funnet data for non-orto PCB eller HCB. Det foreligger heller ikke tilstrekkelig grunnlag for å beregne transport fra andre områder.

## Summary

Title: Pollution budget for Hannevika in the Kristiansandsfjord, S Norway

Year: 2011

Author: Tone Kroglund og Jarle Håvardstun

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-5849-3

The seabed in Hannevika in Kristiansand fjord has been strongly contaminated by a variety of pollutants. Particularly has contamination with dioxins and dioxin-like compounds, heksaklorbenzen (HCB), nickel, copper and PAH been problematic. In recent years, a number of measures have been taken to reduce emissions from point sources in the fjord. There have also been clean-up projects involving covering of the seafloor with sand and gravel, to reduce further resuspension and dispersal of contaminants.

The aim of this project was to quantify the current sources of 6 selected pollutants and provide a pollution budget for Hannevika.

The selected pollutants are dioxins, polychlorinated biphenyls (PCBs), non-orto PCBs, heksaklorbenzen (HCB), nickel (Ni) and arsenic (As). Information was obtained from Xstrata Nikkelverk AS, Klif (Norwegian Climate and Pollution Agency), Kristiansand municipality and available reports and literature.

The current sources can be divided into direct and diffuse emissions from Xstrata Nikkelverk, emissions from municipal overflow and runoff from land, atmospheric deposition, sedimentation, diffusion and transport from other areas. A risk assessment guideline was used to provide data resuspension and dispersion of contaminants.

The results show that the largest source of nickel and arsenic to Hannevika is emissions from Xstrata Nikkelverk, while the largest source of PCBs is runoff from land. There is not enough data to point to main sources of dioxins, HCB and non-orto PCB. Neither is there sufficient data to calculate the amount of dispersion from other areas.

# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Sjøbunnen i Hannevika, Kristiansandsfjorden, har vært meget, og til dels meget sterkt forurenset av en rekke miljøgifter. Særlig problematisk er forurensningen med dioksiner og dioksinlignende forbindelser, men det er også påvist meget sterk forurensning av heksaklorbenzen (HCB), nikkel, kobber og PAH. Området har også vært forurenset av andre stoffer.

På grunn av miljøgiftforurensningen er det innført kostholdsråd for konsum av fisk og skalldyr fra fjordområdet. Det er også lokalt innførte omsetningsforbud.

I de senere årene er det gjennomført en rekke utslippsbegrensende tiltak for å redusere utslipp fra de store punktkildene i fjorden (bl.a. Elkem og Xstrata Nikkelverk AS) Det er også gjennomført opprydningsprosjekter knyttet til de forurensete sedimentene for å redusere videre spredning av miljøgifter. I Hannevika ble de forurensete sedimentene tildekket med et 50 cm tykt lag sand i 2002-2003. Ved kaia til Falconbridge er det i tillegg lagt ut fiberduk, pukk, sand og betongmadrasser.

I en miljøforbedringssammenheng er det viktig at tiltakene utføres i en logisk rekkefølge slik at man oppnår størst mulig gevinst for innsatsen. I den sammenheng ønsket Fylkesmannen i Vest-Agder at det skulle utarbeides et forurensningsbudsjett for utvalgte forbindelser i Kristiansandsfjorden som viser dagens kilder til forurensning. Forurensningsbudsjettet skulle gi oversikt over alle tilførsler og størrelsen på disse.

## 1.2 Formål

Prosjektet har hatt som mål å sette opp et forurensningsbudsjett for Kristiansandsfjorden med oversikt over alle tilførselskilder og transportveier for følgende miljøgifter:

- Dioksiner
- Polyklorete bifenyler (PCB)
- Non-orto PCB
- Heksaklorbenzen (HCB)
- Nikkel (Ni)
- Arsen (As)

Det er tidligere laget forurensningsbudsjett for PAH i Elkembukta (Fiskåbukta).

## 1.3 Prosjektets faser

Prosjektet er inndelt i flere faser.

Fase 1: Hannevika – Innsamling av eksisterende data/innledende beregninger.

Fase 2: Hannevika – Innsamling av supplerende data og fullføring av forurensningsbudsjett

Fase 3: Forurensningsbudsjett for indre del av Kristiansandsfjorden.

Foreliggende rapport omfatter Fase 1 og fase 2, dvs forurensningsbudsjett for Hannevika. Det er i tillegg gjort en risikovurdering for å få mål på resuspensjon og spredning.



## 1.4 Tidligere undersøkelser

Kristiansandsfjorden har en lang industriell historie og det har i den forbindelse vært gjennomført en rekke undersøkelser av miljøgifter i sedimenter og organismer. Hovedproblemene har vært knyttet til organiske miljøgifter og metaller. På grunn av miljøgiftforurensningen er det innført kostholdsråd for konsum av fisk og skalldyr fra fjordområdet. Det er også lokalt innførte omsetningsforbud.

I 2001 ble det gitt en samlet karakterisering av miljøgifttilstanden i Kristiansandsfjorden som ledd i utarbeidelsen av en tiltaksplan for Kristiansandsfjorden (Næs og Rygg, 2001). Her ble stasjoner prøvetatt og analysert for bl.a. Ni, HCB, PCB og PAH. Det er også laget en samlet vurdering av risikoaspekter ved forurensede sedimenter med utgangspunkt i tilstanden i Kristiansandsfjorden (Skei m.fl. 2002).

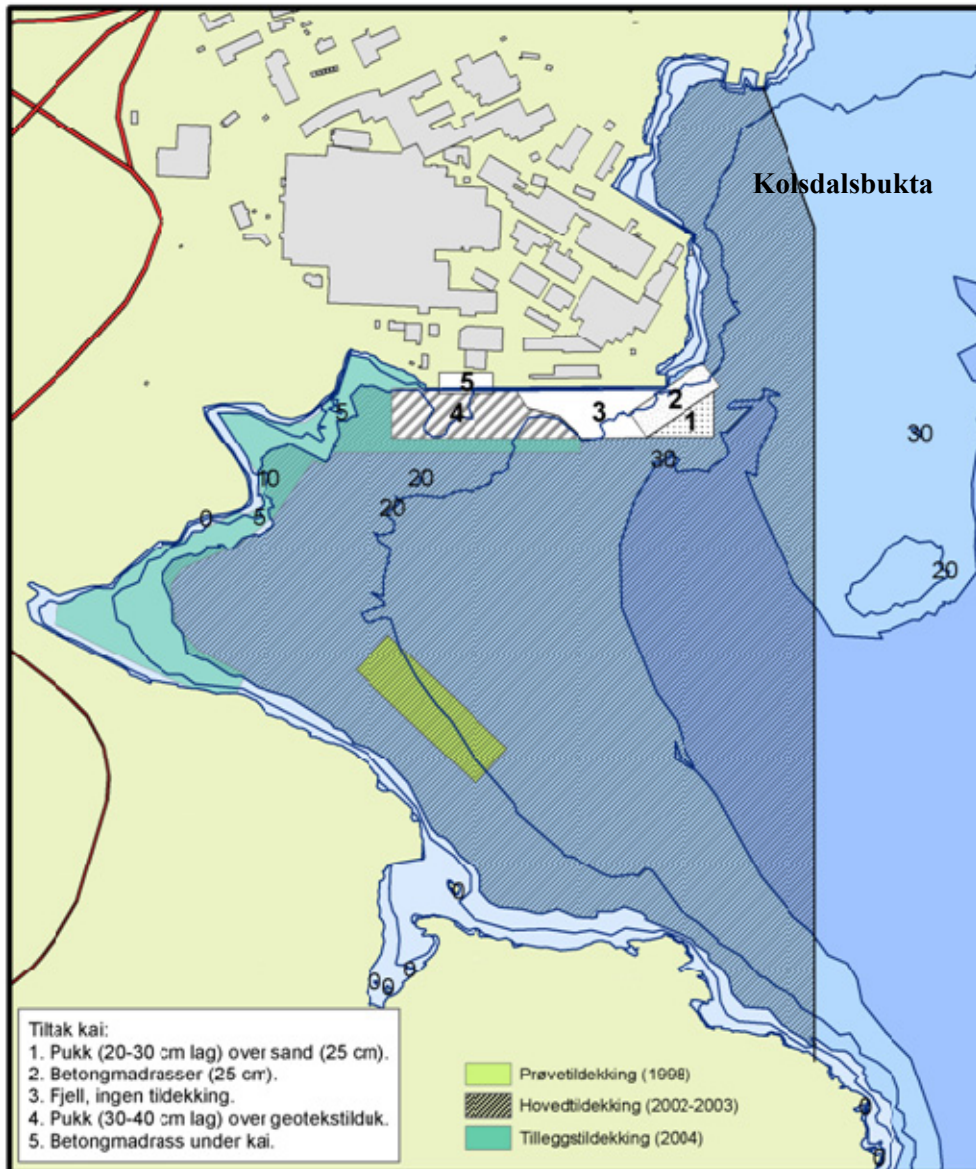
Siste større undersøkelse knyttet til miljøgiftsituasjonen i Kristiansandsfjorden ble gjennomført i 2006 (Berge mfl. 2007). Her inngikk miljøgifter i sediment og organismer og sammensetning av bløtbunnsfauna med prøvetakingslokaliteter fra Marvikaområdet, området Vesterhavn - Fiskåbukta og området ved Flekkerøya.

I forbindelse med den nasjonale satsingen på opprydding av forurensede sedimenter, ble Kristiansandsfjorden i 2002 valgt ut som et av pilotområdene. I perioden 2002-2006 er det derfor gjennomført en rekke undersøkelser og tiltak, blant annet tildekking av forurensede sedimenter i Hannevikbukta, etablering av strandkantdeponi i Kongsgårdbukta, oppryddingstiltak på land på Bredalsholmen, mudring i småbåthavner, etc. Pilotprosjektet har egen hjemmeside ([www.kristiansandsfjorden.no](http://www.kristiansandsfjorden.no)) og her finnes også oversikt over alle tidligere undersøkelser. Oversikt over hva som er gjort i fjorden av undersøkelser og tiltak finnes også på Fylkesmannens hjemmesider (<http://www.fylkesmannen.no/enkel.aspx?m=54553>).

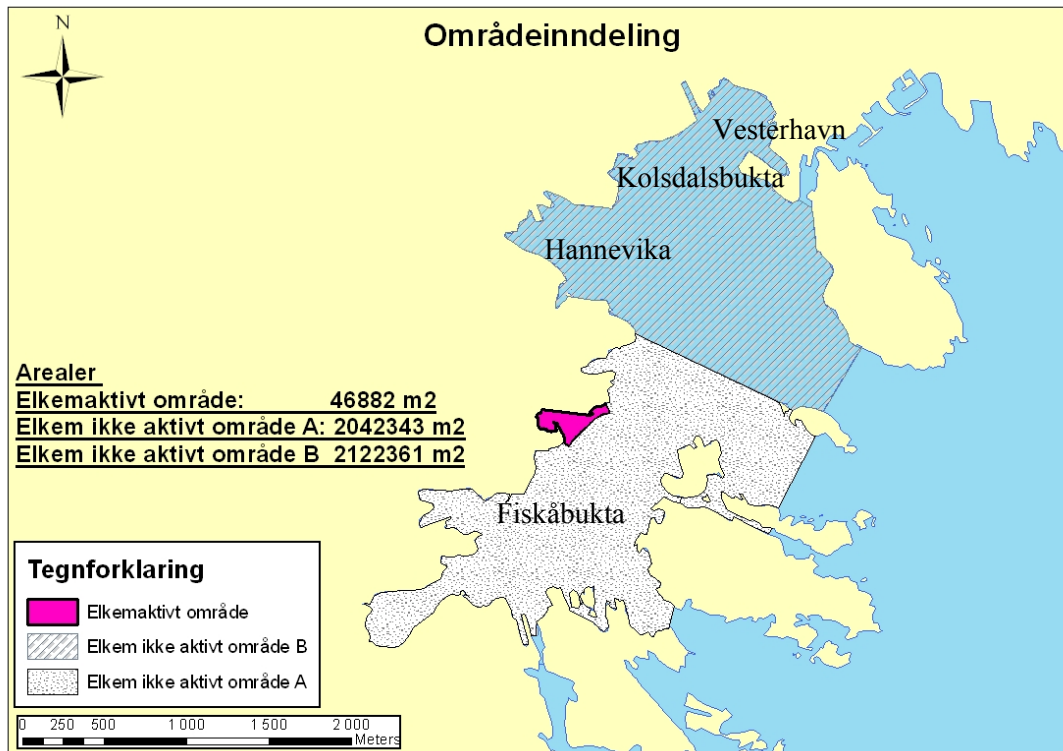
## 2. Materiale og metoder

### 2.1 Undersøkellesområde

Hannevika er en del av Vesterhavn i Kristiansandsfjorden. I prosjektet er bukta nord for Hannevika, Kolsdalsbukta, også inkludert. Området som inngår i forurensningsbudsjettet, Fase 1, er vist i **Figur 1** og **Figur 2**. Områdets areal er ca. 400.000 m<sup>2</sup>.



**Figur 1.** Prosjektfase 1: Hannevika med Kolsdalsbukta. Figuren viser hvor det tidligere er gjort tiltak mot forurensede sedimenter. Figuren er hentet fra NIVA-rapport om undersøkelser vedrørende tildekkingen av forurensede sedimenter i Hannevika (Molvær og Helland 2007). Det skraverte arealet er ca. 400.000 m<sup>2</sup>.



**Figur 2.** Indre del av Kristiansandsfjorden. Figuren er hentet fra NIVA-prosjekt om risikovurdering av PAH-kilder i nærområdet til Elkem i Kristiansand (Ruus mfl. 2005).

## 2.2 Valgte metaller og miljøgifter

En kort beskrivelse av de valgte miljøgiftene (dioksiner, PCB, non-orto PCB, HCB, nikkel og arsen) er gitt her. Informasjonen er generell og hentet fra Wikipedia.

**Dioksin** er samlebetegnelse på en gruppe klorholdige giftstoffer (organokloriner) som dannes under forbrenning av organisk materiale så lenge det er klor til stede. Det fullstendige navnet på denne gruppen er polyklorerte dibenzodioksiner (PCDD) og består av 75 ulike forbindelser. Dioksin er skadelig for mennesker og fører over lang tids eksponering til økt risiko for kreft, nedsatt immunforsvar, hudskader, misdannelser og redusert vekst. En nært beslektet gruppe kjemikalier er furaner eller polyklorerte dibenzofuraner (PCDF) som analyseres og omtales sammen med dioksinene. Denne gruppen består av 135 forskjellige stoffer.

Det giftigste stoffet heter 2,3,7,8,tetraklordibenzo-p-dioksin (2,3,7,8 TCDD). De andre stoffenes giftighet angis som ekvivalenter av 2,3,7,8 TCDD, slik at dette stoffet brukes som referanse for de andre.

Dioksiner er organiske miljøgifter. Det innebærer at stoffene er nedbrytbare i naturen, men slik nedbrytning kan ta svært lang tid. Nedbrytningstiden for dioksiner i naturen varierer fra noen måneder til mange år.

**Polyklorerte bifenyler** eller **PCB** er en gruppe kunstig fremstilte organiske forbindelser som har en bifenystruktur. PCB er industrikjemikalier som ble utviklet på 1920-tallet. PCB-forbindelsene er kjemisk stabile, de er motstandsdyktige mot varme og har lav elektrisk ledningsevne og liten brennbarhet. De tekniske egenskapene til PCB førte til stor industriell produksjon og utnyttelse av

stoffene. Stoffene ble tatt i bruk som isolasjons- og kjølemiddel i elektrisk utstyr (kondensatorer og transformatorer), og som mykgjørere i plast og maling. PCB har også blitt brukt i bygningsartikler, trykksverte og hydrauliske oljer. Motstandsdyktigheten mot varme har også ført til at PCB er brukt som flammehemmer. PCB ble først benyttet i Norge fra omkring 1950.

De viktigste produktene i Norge der det i dag fortsatt finnes PCB som følge av tidligere tiders bruk, er i kondensatorer i lysarmaturer, i olje i strømgjennomføringer samt i bygningsartikler som isolerglassruter, fugemasse, murpuss/avrettingsmasse og maling.

PCB er i likhet med dioksiner et organoklorin. PCB bedømmes som en av verdens farligste miljøgifter og har alvorlige konsekvenser også for menneskers helse. PCB brytes langsomt ned, og har derfor meget lang oppholdstid i naturen. PCB-stoffene er fettløslige og oppkonsentreres over tid i organismer (bioakkumulasjon) og i næringskjeden (biomagnifikasjon).

**Non-orto PCB** er PCB-forbindelser som ikke har kloratomer i orto-posisjon. Non-orto PCB har dioksinlignende virkning og er de mest giftige av PCB-forbindelsene. PCB77, PCB81, PCB126 og PCB169 utgjør non-orto PCBene.

**HCB** er forkortelse for heksaklorbenzen, et organoklorin. Heksaklorbenzen (HCB) er et hvitt krystallinsk stoff som i enkelte land ble brukt blant annet som plantevernmiddel fram til 1965. Dette er nå forbudt og stoffet er ikke kjent i produkter i Norge i dag. HCB er et uønsket biprodukt fra visse industrielle prosesser og kan dannes ved forbrenning av klorholdig materiale, for eksempel avfall. Heksaklorbenzen er svært tungt nedbrytbart i vann, jord og luft, og bioakkumuleres i organismer og oppkonsentreres i næringskjeden. Stoffet er klassifisert som giftig for vannlevende organismer og kan forårsake uønskede langtidsvirkninger i vannmiljøet. Hos mennesker kan heksaklorbenzen forårsake kreft og gi alvorlig helseskade ved lengre tids påvirkning. Kronisk eksponering kan føre til skader på sentralnervesystemet, lever, lunger og milt.

Det er registrert forhøyede konsentrasjoner av heksaklorbenzen i sediment og fisk nær flere norske industrikilder. Nivåene i de største problemområdene i Grenlandsfjordene, særlig Frierfjorden, og i Kristiansandsfjorden har vært avtagende som følge av utslippsreducerende tiltak. Fra 1995 til 2003 ble de norske utslippene redusert med ca. 99 prosent.

**Nikkel** er et metallisk grunnstoff med kjemisk symbol Ni og atomnummer 28. Nikkel er et sølvhvitt, skinnende metall som er hardt og smibart. Det er et nokså alminnelig forekommende metall som er temperaturbestandig og ganske ureaktivt overfor luftas oksygen. Mange legeringer som brukes i hverdagen har nikkel som en viktig bestanddel.

Nikkel er et essensielt grunnstoff som mange dyre- og plantearter arter må ha i spormengder. Behovet er anslagsvis 5 mikrogram om dagen for et menneske. Mange viktige enzymer inneholder nikkel. Dersom opptaket av nikkel blir for stort – via maten eller fra andre kilder – er dette skadelig for organismene.

**Arsen** er et grunnstoff med kjemisk symbol As og atomnummer 33. Stoffet finnes i hovedsak som svovelholdig malm, og er derfor et biprodukt i metallproduksjon. Arsen brukes i mange legeringer. Grunnstoffet inngår også i mange giftige forbindelser, for eksempel arsin, og brukes derfor i blant annet sprøytemiddel og ugressmiddel. Arsen brukes også i elektronikk, blant annet i LCD-skjermer, og som dotering ved produksjon av halvleder. Arsen er kjent siden 400 år f.kr, og var det mest brukte giftmiddelet i middelalderen.

Tidligere var treimpregneringsmidler det viktigste bruksområdet for arsen i Norge. Blyhagl, som inneholder arsen, var også et viktig bruksområde.

Arsenforbindelser kan både være akutt giftige og kronisk giftige for mange organismer i små konsentrasjoner. Forbruket av arsen er betydelig redusert de siste årene, spesielt på grunn av forbud mot bruk av arsen i trykkimpregnert trevirke.

## 2.3 Innhenting av data

Hannevika og Kolsdalsbukta mottar tilførsler fra Xstrata Nikkelverk AS (tidligere Falconbridge nikkelverk), kommunale overløp, avrenning fra land, atmosfærisk nedfall og transport av forurensninger fra områdene utenfor. Det skjer trolig også transport av tungmetaller og miljøgifter gjennom grunnvannstransport.

Det er innhentet opplysninger fra følgende kilder:

- Xstrata Nikkelverk v/ Harald Eik
- Klifs informasjonsbase for norske utslipp ([www.norskeutslipp.no](http://www.norskeutslipp.no))
- Kristiansand kommune (Odderøya renseanlegg) v /Bjørn Aurebekk
- Tilgjengelige rapporter og internettsider

Det er tatt utgangspunkt i de utvalgte 6 stoffene, men der det finnes opplysninger om andre stoffer er disse også inkludert i det innsamlede materialet.

## 2.4 Metoder i hht risikoveilederen

Klif har fått utarbeidet en veileder for risikovurdering av forurensende sedimenter ([www.klif.no](http://www.klif.no)). Risikovurderingen deles inn i tre trinn. Trinn 1 skal raskt skille områder med ubetydelig risiko fra de som bør vurderes videre. Trinn 2 er mer omfattende og inneholder vurderinger knyttet til risiko for spredning, risiko for human helse og risiko for økosystemet. I trinn 1 og 2 inngår sjablongmessige konstanter. I trinn 3 åpnes det for stedsspesifikke målinger knyttet til bl.a. spredningsproblematikk.

Risikoveilederen er her benyttet for å få mål på resuspensjon og spredning av de metaller som ble analysert fra det nye overflatesedimentet (ICP-analyser). Resultatet fra metallanalysene foreligger i et eget notat (Kroglund 2008)

**Risiko for spredning** vurderes ut fra beregnet miljøgifttransport fra sediment til vannmassene via diffusjon og bioturbasjon, oppvirvling som følge av bølger og skipstrafikk og opptak i organismer og spredning gjennom næringskjeden. Alle inngangsdata er gitt i vedlegg C.

## 3. Resultater

### 3.1 Utslipp fra Xstrata Nikkelverk AS

#### Direkte utslipp

Xstrata Nikkelverk AS har fire utslipp til Hannevika og tre utslipp til Kolsdalsbukta. Oversikt over utslippspunktene er vist i **Figur 3**. Det er tidligere laget en sammenstilling av alle enkeltutslippene fra nikkelverket, basert på opplysninger fra Fylkesmannen i Vest-Agder og bedriften selv (Molvær og Helland 2007). Resultatene av dette arbeidet er også brukt i foreliggende rapport.

To av avløpsledningene (utslipp nr. 8 og 5.9 i **Figur 3**) fører oppsamlet overflatevann og regnvann som først er ledet til en sedimenteringstank. Ledningen med utslipp nr. 8 munner ut midt på hovedkaia, like ved kaikanten. Ledningen for utslipp nr. 5.9 munner ut på 20-25 meters dyp utenfor hovedkaias vestre halvdel (**Vedleggstabell B2**).

Utslipp nr. 9 ledes ut i samme området som nr. 5.9, dvs. rett sør for hovedkaia. Som det framgår av **Vedleggstabell A1** slippes det der ut metaller. Utslipp nr. 14 ledes ut i strandsonen (nær land) vest for hovedkaia. Også her slippes ut metaller. Vannmengdene er store – og varierende – og på årsbasis for 2005 utgjorde utslippene nr. 14 og nr. 9/5.9 totalt ca. 23.000 m<sup>3</sup>/d.

De tre øvrige utslippene fra nikkelverket (nr. 20, 3 og 7) munner ut hhv.

- ved land nord i Kolsdalsbukta
- på 30-35 m dyp øst-nordøst for østre ende av hovedkaia
- på ca. 25-30 m like øst for østre ende av hovedkaia

Tilstanden i Hannevika påvirkes i første rekke av utslipp nr. 9 og nr. 14 som særlig bidrar med nikkel, jern og sink. Dessuten vil sannsynligvis manøvrering (baking) av båter ved østre enden av hovedkaia iblant føre fortynnet avløpsvann fra utslipp nr. 7 innover i bukta. Strømretningen utenfor Hannevika er varierende og sannsynligvis i hovedsak nord-sør. Det betyr i så fall at fortynnet avløpsvann fra utslippene 20, 3 og 7 iblant føres sørover til munningen av vika med risiko for at noe føres inn i Hannevika med tidevann eller pga. virkning av vind (Molvær og Helland 2007).

Xstrata Nikkelverk AS opplyser at det gjøres online målinger av alle utslippene. Videre tas det døgnprøver som samles opp til blandprøver for analyse på månedsbasis. Disse tallene danner basis for det som rapporteres til Klif.

#### *Utslippstall for 2007-2009*

I forurensningsbudsjettet er det brukt samlede utslippsmengder for alle utslippene.

Av de 6 utvalgte stoffene for denne rapporten, finnes det utslippstall for nikkel, arsen, non-orto PCB og dioksiner. Det fins ingen opplysninger om PCB eller HCB i utslippsvannet fra Xstrata Nikkelverk AS. **Tabell 1** viser utslippstallene for 2007-2009. Utslippstall fra flere år (2000-2009) er gitt i **Vedleggstabell B1**.



**Figur 3.** Plassering av utslipp fra Xstrata Nikkelverk AS og av kommunalt overvann (Molvær og Helland 2007). For nærmere beskrivelse, se tekst og Vedlegg A.

**Tabell 1.** Direkte utslipp fra Xstrata Nikkelverk AS for perioden 2007-2009. I beregningene av forurensningsbudsjettet er verdiene for 2009 benyttet. Forbindelser i fet skrift inngår i forurensningsbudsjettet.

Utslipp pr. år	Dioksin	PCB	non-orto PCB	HCB	Nikkel Ni	Arsen As	Jern Fe	Bly Pb	Sink Zn	Kobber Cu	Kobolt Co
	mg/år		mg/år		kg/år	kg/år	kg/år	kg/år	kg/år	kg/år	kg/år
2007	20	-	3	-	1313	176	918	34	163	936	109
2008	65	-	11	-	1280	190	904	6,1	190	1164	101
2009	70	-	7	-	880	135	949	3,6	307	1011	70

### Diffuse utslipp fra sigevann og grunnvann

Multiconsult har foretatt nye beregninger av diffust utslipp av nikkell og kobber fra grunnen under Xstratas fabrikkannlegg til sjøen (Brønstad 2008). Det er fortsatt stor usikkerhet heftet med tallene og det er derfor foretatt konservative utslippsberegninger. Beregnede utslippstall til sjøen fra grunnen er:

Nikkel: ca 350 kg/år

Kobber: ca 7 kg/år

Utslippene vil være vannløste/kolloidale, dvs. ikke partikkelbundet.

### 3.2 Utslipp fra kommunale overløp

Som en del av avløpssystemet knyttet til Bredalsholmen renseanlegg har Kristiansand kommune to kommunale overløp til Hannevika, på 12-15 meters dyp (**Figur 3**). Overløpene brukes til utslipp av avløpsvann når vannmengdene i avløpsnettet er uvanlig store pga. nedbør eller snøsmelting. Kommunen opplyser at i 2006 utgjorde det ene utslippet 33.000 m<sup>3</sup> (det sørligste av de to utslippene) og det andre 730 m<sup>3</sup>. I beregningene av utslipp av de ulike stoffene pr år er utslippsmengde på 34.000 m<sup>3</sup> benyttet. Mengden avløpsvann som går i overløp vil variere fra år til år og de beregnede mengdene må sees på som et grovt anslag.

Konsentrasjonen av metaller i overløp vil være lavere enn for vanlig kommunal råkloakk ettersom det vil være iblandet overvann (avrenning fra land etc). Det er likevel valgt å ta utgangspunkt i konsentrasjoner som er målt i innløpsvann til kommunens renseanlegg (**Tabell 2**). Tallene er basert på gjennomsnitt av 2-7 ulike målinger i 2007 og viser således stor usikkerhet. For PCB ble det kun foretatt én analyse og for dioksiner var konsentrasjonene under deteksjonsgrensen for analysemetoden som ble benyttet. Dette medfører at disse forbindelsene blir overestimert.

Av de 6 utvalgte stoffene i denne rapporten, finnes det kun målte verdier for nikkel og PCB. For dioksiner, Non-orto PCB, HCB og arsen finnes det verken målte verdier eller sjablongverdier for avløpsvann.

**Tabell 2.** Beregning av utslipp av metaller og organiske miljøgifter via overløp til Hannevika. Utslippsmengdene er beregnet for et volum på 34.000 m<sup>3</sup>. Tabellen viser både målte konsentrasjoner av metaller og organiske miljøgifter i innløpsvann til kommunens renseanlegg i 2007 (Opplysninger fra Kristiansand kommune) og sjablongverdier for overløpsvann (Lindholm 2004). For de metallene der det finnes målte konsentrasjoner, er disse verdiene benyttet i beregningen..

A: Utvalgte miljøgifter i prosjektet	Diok-siner	PCB	Non-orto PCB	HCB	Ni	As
Sjablongverdier overløpsvann µg/l	-	0,01	-	-	10	-
Målte kons. i innløpsvann Odderøya RA µg/l.	-	0,06 (n=1)	-	-	3,38 ± 0,54 (n=3)	-
<b>Beregnet utslipp pr. år ved overløpsmengde på 34.000 m<sup>3</sup></b>	-	<b>2,0 g</b>	-	-	<b>0,12 kg</b> (0,10-0,14 kg)	-

B: Øvrige stoffer	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Zn	PAH	BaP	DEHP* (Ftalater)
Sjablongverdier overløpsvann µg/l	1	8	100	0,25	15	140	0,5	0,1	
Målte kons. i innløpsvann Odderøya RA µg/l		7,4± 9 (n=3)	11,4 ± 17 (n=3)		3,55 ± 5 (n= 3)	115 ± 145 (n=3)	0,50± 0,16 (n=2)		1,66*±0,36 (n=5)
<b>Beregnet utslipp pr. år (Snitt, Min-max)</b>	<b>34 g</b>	<b>0,25 kg</b> (0,01-0,6 kg)	<b>0,39 kg</b> (0,05-1,0 kg)	<b>8,5 g</b>	<b>0,12 kg</b> (0,005-0,32 kg)	<b>3,9 kg</b> (0,08-9,5 kg)	<b>0,02 kg</b>	<b>3,4 g</b>	<b>0,06 kg</b> (0,05-0,08 kg)

\*Fire av fem målinger var under deteksjonsgrensen på 1,5 µg/l. Deteksjonsgrensen er da brukt som verdi og beregningene er derfor et overestimat.



### 3.3 Avrenning fra tette flater

#### Årlig avrenning

Med utgangspunkt i årsnedbør og størrelsen på områder med tette flater, kan den årlige avrenningen i det aktuelle området beregnes etter formelen (Lindholm 2004):

$$Q_{\text{år}} = a * A * (P-b) * 10^{-3}$$

$Q_{\text{år}}$  = Avrent volum over et middelår i  $m^3$

$a$  = andelen tette flater som dreneres til overvannssystemet. En del tette flater drenerer direkte ut på permeable felter, for eksempel avløp fra hustak som går direkte ut i egen have.

$A$  = Totalareal tette flater i avrenningsområdet i  $m^2$ .

$P$  = Total nedbør over et middelår (mm)

$b$  = Totalt tap av vann p.g.a. fordampning (mm). For områder med stor helning > 1,5 % kan man bruke  $b = \text{ca. } 50 \text{ mm}$ , og for flatere områder  $b = \text{ca. } 100 \text{ mm}$

#### *Arealer med tette flater (A i formelen over)*

Det er tidligere beregnet at det dreneres ca. 13  $km^2$  med bolig-/industriområder/veier til hele Vesterhavn og Fiskåbukta (områdene A og B i **Figur 2**) (Ruus m.fl. 2005). Hannevika og Kolsdalsbukta inngår som del av dette området og det var nødvendig å gjøre nye beregninger av det avgrensede området. Nedbørsfeltet til Hannevika er vist i **Figur 4** med grønn linje. Total areal av nedslagsfeltet (inkludert sjøen) er 11.28  $km^2$  (NVE REGINE felt 021.220). Landarealet er ut fra dette beregnet til 3,7224  $km^2$ .

De utbygde områdene er beregnet til 2,2  $km^2$  og er delt i boligområder og industriområder. Andelen tette flater er beregnet ut fra typiske verdier for hvert område (**Tabell 3**). Det antas at boligområdene har 30-35 % med tette flater og næringsområdene har 70-85% tette flater. Det totale arealet med tette flater er beregnet til 983.750  $m^2$ .

Det antas videre at andelen tette flater som er direkte knyttet til avløpsnett er 0,6 for boligområder og 0,8 for industri (a i formelen over). Det vil si at 40 % av de tette flatene i boligområdene drenerer ut i hager, parker, midtrabatter, gressplener etc. Tapet av nedbør i form av tilbakeholdelse og fordampning fra tette flater regnes til 100 mm pr. år (Lindholm 2004).

#### *Nedbørstall (P i formelen over)*

Det er innhentet nedbørstall fra Kjevik og Oksøy (<http://www.eKlima.met.no>). Normalnedbøren for Kjevik (1961-1990) er 1299 mm/år mens normalnedbøren for Oksøy er 1131 mm/år. Lokal variasjon i nedbørmengde representerer en viss usikkerhet i beregningene men vi har her valgt å bruke nedbørtallene fra Kjevik.

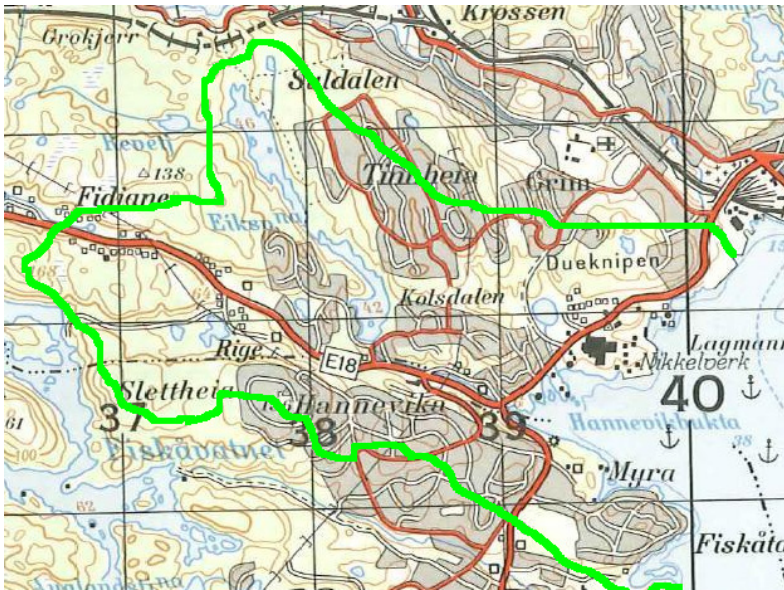
For Hannevikbukta blir den årlige avrenningen:

Boligområder:

$$Q_{\text{år}} = 0,6 * (192\,500 \text{ m}^2 + 210\,000 \text{ m}^2 + 175\,000 \text{ m}^2) * (1\,299 \text{ mm} - 100 \text{ mm}) * 0,001 = 415\,453 \text{ m}^3$$

Industriområder:

$$Q_{\text{år}} = 0,8 * (300\,000 \text{ m}^2 + 106\,250 \text{ m}^2) * (1\,299 \text{ mm} - 100 \text{ mm}) * 0,001 = 389\,675 \text{ m}^3$$



Figur 4. Grønn linje viser arealene som drenerer til Hannevika.

Tabell 3. Beregnet andel tette flater i de ulike områdene i Hannevika

Tetteflater	Antatt % tetteflater	% av felt	Estimert areal (m <sup>2</sup> )	Estimert areal (km <sup>2</sup> )	Tette flater (m <sup>2</sup> )
Korridor langs E18 m/ industri	70-80	10,7 %	400000	0,4	300000
Hannevika og Myra boligområde	30-35	14,8 %	550000	0,55	192500
Kolsdalen boligområde	30-35	16,1 %	600000	0,6	210000
Tinnheia boligområde	30-35	13,4 %	500000	0,5	175000
Nedsiden av E39 til fjorden - industri	80-85	3,4 %	125000	0,125	106250
Total estimert arealet av hele feltet		58,4 %	2175000	2,175	983750

### Verdier for miljøgifter i avrenningsvannet

For å kvantifisere mengden miljøgifter som tilføres via avrenning (overvann), er det tatt utgangspunkt i målte verdier som Multiconsult utførte i 2009 (Sivertsen 2009) (Tabell 4). Prøver fra utvalgte overvannskummer i hele kommunen ble tatt ved tre ulike avrenningssituasjoner. Overvannskummene dekker mest mulig av sitt nedbørfelt (avrenningsområde) og flest mulig overvannsledninger. Fra overvannskummen i Hannevika ble det kun tatt prøver av sandfang og ikke av overvann.

Konsentrasjonene i de øvrige kummene varierer mye og det er her brukt gjennomsnittsverdier for de ulike typene bebyggelse i beregning av tilførsler. PCB ble ikke påvist i prøvene, men det er uklart hva deteksjonsgrensen for analysen var.

Det finnes også generelle referanseverdier for konsentrasjoner av miljøgifter i avrenningsvann med ulike type bebyggelse. I databasen StormTac ([www.stormtac.com](http://www.stormtac.com)) foreligger det sjablongverdier som oppdateres jevnlig. Utdrag fra denne databasen er vist i Vedlegg C.

**Tabell 4.** Gjennomsnittsverdier (min- maks i parentes) i µg/l av miljøgifter i overvann fra utvalgte kummer i Kristiansand (fra Sivertsen 2009).

Parameter	Bolig n= 14	Sentrum n= 6	Industri/næring n= 8
Arsen (µg/l As)	1,08 (<1 – 1,76)	1,31 (<1 – 1,31)	1,63 (<1 – 4,84)
Bly (µg/l Pb)	2,08 (0,6 - 14,5)	13,9 (6,8 – 30)	9,5 (1,03 – 48)
Kobber (µg/l Cu)	9,15 (3,2 - 25)	43 (8,7 – 84)	14 (5,4 – 35)
Sink (µg/l Zn)	29,6 (13 – 78)	253 (54 – 465)	148 (29 - 306)
Kadmium (µg/l Cd)	0,14 (0,05 – 1,1)	0,1 (0,05 – 0,2)	0,19 (0,05 – 0,39)
Krom (µg/l Cr)	3,9 (0,9 – 12)	7,3 (1,8 – 15)	8,6 (0,9 – 24)
Nikkel (µg/l Ni)	7,1 (2,4-18)	9,8 (3,6 – 19)	7,6 (3,4 – 20)
Kvikksølv (µg/l Hg)*	0,02 (<0,02 – 0,029)	0,02 (<0,02 – 0,0206)	0,029 (<0,02 – 0,074)
PAH (µg/l)*	0,09 (0,0 - 0,48)	0,7 (0,02 – 2,53)	0,11 (0,0 – 0,31)
B(a)P(µg/l)*	<0,02	0,05 (<0,02-0,18)	0,026 (<0,02-0,054)
PCB (µg/l)**	Ikke påvist	Ikke påvist	Ikke påvist
HCB (µg/l)*	<0,005	< 0,005	< 0,005

\* En stor del av verdiene ligger under deteksjonsgrensen for analysemetoden som er benyttet, og for noen verdier er det ikke oppgitt nedre deteksjonsgrense. Gjennomsnittstallene blir derfor usikre.

### Tilførsler fra tette flater

Hvis vi legger til grunn avrenningsvolumet på 415.000 m<sup>3</sup> fra boligområder og 508.000 m<sup>3</sup> fra industriområder og benytter målte konsentrasjoner av miljøgifter i overvann, blir de samlede tilførselene til Hannevika som vist i **Tabell 5**.

Dersom man bruker sjablongverdier for konsentrasjoner av miljøgifter i overløpsvann, blir de beregnede utslippene høyere. Dette slår særlig ut i høyere utslippstall for bly, kobber, sink og PAH.

Det er grunn til å tro at overflateavrenning til Hannevika kan inneholde høyere konsentrasjoner av en del metaller enn områdene rundt på grunn av utslipp til luft fra nærliggende bedrifter. Prøver av sedimentert materiale i sandfangkummer viste også at sandfangmaterialet fra Hannevika inneholdt høyere verdier av PAH, B(a)P, HCB, Ni og Zn enn de øvrige trafikk/industriområdene (Sivertsen 2009). Likeledes inneholdt vann fra Hanneviksbekken høyere konsentrasjoner av de fleste metaller enn øvrige bekker i Kristiansand. Dette kan tyde på at en ved å bruke gjennomsnittsverdier fra andre områder i Kristiansand underestimerer tilførselene til Hanneviksbukta. I det videre forurensningsbudsjettet har vi derfor valgt å bruke sjablongverdier.

**Tabell 5.** Beregning av årlig overflateavrenning fra tette flater til **Hannevika**, med utgangspunkt i avrenning fra 3,7 km<sup>2</sup>, målte konsentrasjoner av miljøgifter i overvann (Sivertsen 2009) og nedbørtall for Kjevik (1299 millimeter). Sjablongverdi for PCB (0,011 µg/l) er hentet fra Lindholm 2004.

Utslipp pr. år	As	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Hg	PAH	B(a)P	PCB
Industriområder	0,64	3,7	5,5	57,7	0,07	3,3	2,97	10,9	43	10,1	3,9
Boligområder	0,45	0,9	3,8	12,3	0,06	1,6	2,96	8,3	37	8,3	4,2
SUM	<b>1,09 kg</b>	<b>4,6 kg</b>	<b>9,3 kg</b>	<b>70 kg</b>	<b>0,13 kg</b>	<b>4,9 kg</b>	<b>5,9 kg</b>	<b>19,2 g</b>	<b>80 g</b>	<b>18,4 g</b>	<b>8,1 g</b>

**Tabell 6.** Beregning av årlig overflateavrenning fra tette flater til **Hannevika**, med utgangspunkt i avrenning fra 3,7 km<sup>2</sup>, sjablongverdier for miljøgiftkonsentrasjoner i overvann (StormTac2010) og nedbørtall for Kjevik (1299 millimeter). Sjablongverdi for PCB (0,011 µg/l) er hentet fra Lindholm 2004.

Utslipp pr år	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Hg	PAH	B(a)P	PCB
Industriområder	11,7	17,5	105	0,58	5,5	6,2	27,3	390	58	3,9
Boligområder	4,1	8,3	33	0,21	1,7	2,5	6,2	249	21	4,2
SUM	<b>15,8 kg</b>	<b>25,8 kg</b>	<b>138 kg</b>	<b>0,79 kg</b>	<b>7,2 kg</b>	<b>8,7 kg</b>	<b>33,5 g</b>	<b>639 g</b>	<b>79 g</b>	<b>8,1 g</b>

### 3.4 Atmosfærisk nedfall

Atmosfærisk nedfall bidrar til en diffus tilførsel av miljøgifter. Det finnes relativt gode data på atmosfærisk nedfall av metaller for enkelte områder som har inngått i statlige overvåkingsprogram i regi av Klif (Aas mfl. 2002) og gjennom prosjektet om nasjonale metallutslipp relative betydning i forhold til langtransportert atmosfærisk nedfall (Berg mfl. 2003). Relativt få målinger er gjort m.h.p atmosfærisk nedfall av organiske miljøgifter. Målinger av organiske miljøgifter i luft er kun foretatt på Lista og i Ny Ålesund (Aas mfl. 2002).

I tillegg finnes det sjablongverdier for atmosfærisk nedfall, oppgitt i µg/l (StormTac 2008).

Årsakene til forhøyede nivåer av miljøgifter i norsk natur er flere. Noe av forurensningen er langtransportert, men hovedkildene ligger oftest i lokalmiljøet. De viktigste kildene til atmosfærisk nedfall av miljøgifter i Kristiansand er trolig:

- Transport: utslipp av eksos og bruk av piggdekk
- Oppvarming: spesielt vedfyring.
- Utslipp av miljøgifter til luft fra industri

Av de 21 bedriftene som står oppført under Klifs landbaserte industri ([www.norskeutslipp.no](http://www.norskeutslipp.no)), var tre bedrifter oppført med utslipp til luft for 2009. De tre bedriftene er Xstrata Nikkelverk AS, Elkem Carbon Fiskaa og Elkem Solar AS. **Tabell 7** viser årlige utslipp til luft for utvalgte stoffer fra disse bedriftene. Komplette liste over alle utslipp til luft fra bedrifter i Kristiansand er vist i vedlegg. Det er ikke gjort videre beregninger av hvor stor andel av dette som tilføres vannmassene i Hannevika.

Det er derimot gjort beregninger av avsetning fra luft basert på sjablongverdier for atmosfærisk nedfall og på årlige våtavsetninger ved norske bakgrunnsstasjoner (**Tabell 8**). Atmosfærisk nedfall inngår generelt i beregningene av tilførsler fra overvann, og det er derfor kun beregnet direkte atmosfærisk nedfall til sjøoverflaten. Sjøarealene i Hannevika og Kolsdalsbukta er ca. 400 000 m<sup>2</sup>. **Tabell 9** viser de beregnede avsetningene i kg/år. Beregningene basert på sjablongverdier for atmosfærisk nedfall viser flere ganger så høye verdier som verdiene fra bakgrunnsstasjonene. Der det finnes tall fra begge kilder, er sjablongverdiene for atmosfærisk nedfall brukt ettersom det aktuelle område ikke kan sies å være representativt som bakgrunnsområde.

**Tabell 7.** Utslipp til **luft** fra bedrifter i Kristiansand kommune, vist som årlig mengde i 2009. Data fra Klifs informasjonsbase [www.norskeutslipp.no](http://www.norskeutslipp.no).

Stoff	Forkortelse	Utslipp til luft	Enhet
Dioxin	Dioxin	0,024	g
Nikkel	Ni	1331	kg
Arsen	As	111	kg
Kobber	Cu	963	kg
Zink	Zn	208	kg
Bly	Pb	120	kg
Kobolt	Co	127	kg
Partikulært utslipp	INSTOV	6440	kg
Kvikksølv	Hg	4,5	kg
Kadmium	Cd	0,7	kg
PAH	PAH	154	kg
Krom-treverdige	CR-3	0,18	kg
Molybden	Mo	0,010	kg

**Tabell 8.** Årlige våtavsetninger av tungmetaller ( $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ) ved norske bakgrunnsstasjoner og ved Koster (Aas mfl. 2002, Skei m.fl 2002).

Stasjon	Pb	Cd	Zn	Ni	As	Cu	Co	Cr	V	PAH	PCB
Birkenes	1982	50	7382								
Lista	1834	68	9006	449	213	1544	30	374			
Hurdal	934	42	4789								
Osen	447	15	2518								
Kårvatn	206	15	2087								
Karasjok	263	12	1867								
Svanvik	911	59	3043	7378	824	7208	233	138	1237		
Koster										150	4

**Tabell 9.** Beregnede avsetninger av tungmetaller til Hannevika og Kolsdalsbukta i kg/år. Beregnet ut fra årlig våtavsetninger på norske bakgrunnsstasjoner (**Tabell 8**) og fra sjablongverdier for atmosfærisk nedfall (StormTac). Sjøarealet er beregnet til 400 000 m<sup>2</sup>. Tall merket med fet skrift er brukt videre i forurensningsbudsjettet.

	Pb kg/år	Cd kg/år	Zn kg/år	Ni kg/år	As kg/år	Cu kg/år	Co kg/år	Cr kg/år	PAH kg/år	PCB g/år
Nedfall basert på våtavsetning på bakgrunnsstasjoner	0,73	0,027	3,60	0,18	<b>0,085</b>	0,62	0,012	0,15	0,06	<b>1,6</b>
Nedfall basert på sjablongverdier	1,52	0,052	15,59	<b>0,21</b>	-	2,60	-	0,21	0,99	-

### 3.5 Sedimentasjon, spredning og transportkonstanter

#### Sedimentasjon

Sedimentasjonsrater i norske fjorder og kystområder regnes å være i størrelsesorden 1-5 mm per år (Skei m.fl. 2002).

For å få et mer eksakt tall på sedimentasjon i Hannevika ble det satt ut sedimentfeller over en periode på 5 måneder fra mai til oktober 2009 (Næs og Håvardstun 2010). Årlig sedimentasjon til Hannevikbukta ble beregnet til 1,5 til 3,4 kg tørt sediment.

Målingene viste at det sedimenterende materialet hadde *god miljøtilstand* med hensyn på kadmium, krom, kvikksølv, sink og PCB, *moderat miljøtilstand* med hensyn på dioksiner og furaner, og *dårlig og svært dårlig miljøtilstand* med hensyn på arsen, kobber, nikkel og bly.

Det er en rimelig god overensstemmelse mellom konsentrasjonene i sedimentfellene og i overflatesedimentene fra 2006, men med en tendens til at konsentrasjonene i felle materialet er noe høyere (**Tabell 10**).

Sedimentasjonen (fluksen) av dioksiner/furaner regnet for hele Hannevikbukta (400.000 m<sup>2</sup>) ble estimert til 40-80 mg toksisitetsekvivalenter årlig. Dette er svært likt direkteutslippet fra Xstrata Nikkelverk AS på ca. 70 mg toksisitetsekvivalenter i 2009. Det er liten grunn til å tro at hele direkteutslippet vil sedimentere innenfor de 400 000 m<sup>2</sup>. Resultatene tyder derfor på at det er en resuspensjon, transport og sedimentasjon av dioksinholdige sedimentpartikler som enten har sitt opphav i Hannevikbukta eller fra området utenfor, alternativt at det finnes ukjente diffuse forurensningskilder i området.

For metaller eksisterer det andre kilder enn direkteutslipp fra Xstrata Nikkelverk AS, særlig diffuse tilførsler fra bedriften. For nikkel og kobber viser målingene at 50-75 % av tilførslene til Hannevikbukta sedimenterer i området. Dette er ikke urealistisk, men noe høyt. Sedimentasjonsresultatene for bly er avvikende fra de kildeopplysninger man har; den beregnede sedimentasjonen på sedimentfellene er 25 ganger høyere enn direkteutslippet fra Xstrata Nikkel AS (Næs og Håvardstun 2010). Det er ikke kjente kilder som kan forklare forskjellene.

**Tabell 10.** Sammenligning av konsentrasjoner i sedimentfeller (Næs og Håvardstun 2010) med konsentrasjoner i overflatesedimentet (0-2 cm) i Hannevikbukta i 2007 (Kroglund 2007). Spennet angir min.-maks. Tallene er oppgitt i µg/g.

Metall	Sedimentfeller 2009, µg/g	Overflate- sediment 2007
As	81-407	65-2140
Cd	0,75-1,1	<0,2
Co	32-70	6-23
Cr	52-86	14-41
Cu	481-1120	42-399
Ni	323-876	33-378
Pb	86-123	45-217
Zn	194-265	28-56

**Tabell 11.** Sammenligning av fluks beregnet ut fra sedimentfeller for hele Hannevikbukta med tilførselstall fra Xstrata Nikkelverk AS i 2009 (oppdatert fra Næs og Håvardstun 2010).

Stasjon	Gj.sn. for sedimentfeller	Estimert utslipp fra Xstrata 2009
As, kg	272	135
Cd, kg	0,8	-
Co, kg	46	70
Cr, kg	62	-
Cu, kg	716	1011
Hg, kg	0,2	-
Ni, kg	561	880
Pb, kg	99	4
V, kg	118	-
Zn, kg	213	307
TE-dioksin, mg	58	70
TE-no PCB, mg	3	7

### Spredning

Spredning vurderes ut fra beregnet miljøgifttransport fra sediment til vannmassene via

- diffusjon og bioturbasjon
- oppvirvling som følge av bølger og skipstrafikk
- opptak i organismer og spredning gjennom næringskjeden.

For disse beregningene er risikoveilederen (Bakke mfl. 2007) benyttet. Alle inngangsdata og aktuelle resultater er gitt i Vedlegg C. Middelverdiene for spredning er brukt videre i forurensningsbudsjettet. Resultatene viser at den viktigste spredningsmekanismen er diffusjon og bioturbasjon og i liten eller ingen grad oppvirvling fra skip og transportveier via organismer (**Tabell 12, Tabell 13**). Det understrekes at risikoveilederen ikke dekker dioksiner og at det er mange usikkerheter ved beregningene.

**Tabell 12.** Beregnet spredning i kg pr år for Hannevika. Det er tatt utgangspunkt i metallkonsentrasjoner målt i sedimentene etter siste tildekking samt data fra risikoveilederen.

Beregnet spredning i kg/år	Arsen	Bly	Kadmium	Kobber	Krom totalt (III + VI)	Nikkel	Sink
<b>Maksimalverdier</b>							
Diffusjon og bioturbasjon	257,8	1,31	0,002	12,23	0,47	36,03	1,57
Oppvirvling fra skip	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transport via organismer	0,06	0,03	0,00	0,07	0,00	0,04	0,09
<b>SUM<sub>maks</sub></b>	<b>258</b>	<b>1,3</b>	<b>0,002</b>	<b>12,3</b>	<b>0,47</b>	<b>36</b>	<b>1,7</b>
<b>Middelverdier</b>							
Diffusjon og bioturbasjon	115,3	0,71	0,002	8,22	0,30	22,69	1,08
Oppvirvling fra skip	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transport via organismer	0,03	0,02	0,00	0,05	0,00	0,03	0,06
<b>SUM<sub>middel</sub></b>	<b>115</b>	<b>0,7</b>	<b>0,002</b>	<b>8,3</b>	<b>0,30</b>	<b>23</b>	<b>1,15</b>



**Tabell 13.** Prosentvis fordeling mellom de ulike sprednings-mekanismene.

Stoff	$F_{diff}$	$F_{skip}$	$F_{org}$
Arsen	100,0	0,0	0,0
Bly	97,9	0,0	2,1
Kadmium	99,9	0,0	0,1
Kobber	99,4	0,0	0,6
Krom totalt (III + VI)	99,9	0,0	0,1
Nikkel	99,9	0,0	0,1
Sink	94,5	0,0	5,5

*Tidligere målinger av spredning*

Det er tidligere gjort beregninger av partikkeloppvirvling og spredning i Hannevika og Vesterhavn (Molvær og Helland 2007). Dette ble gjort på bakgrunn av ulike målinger i vannmassene (strømhastighet, strømretning, turbiditet, partikkelmengde) og opplysninger om skipsanløp.

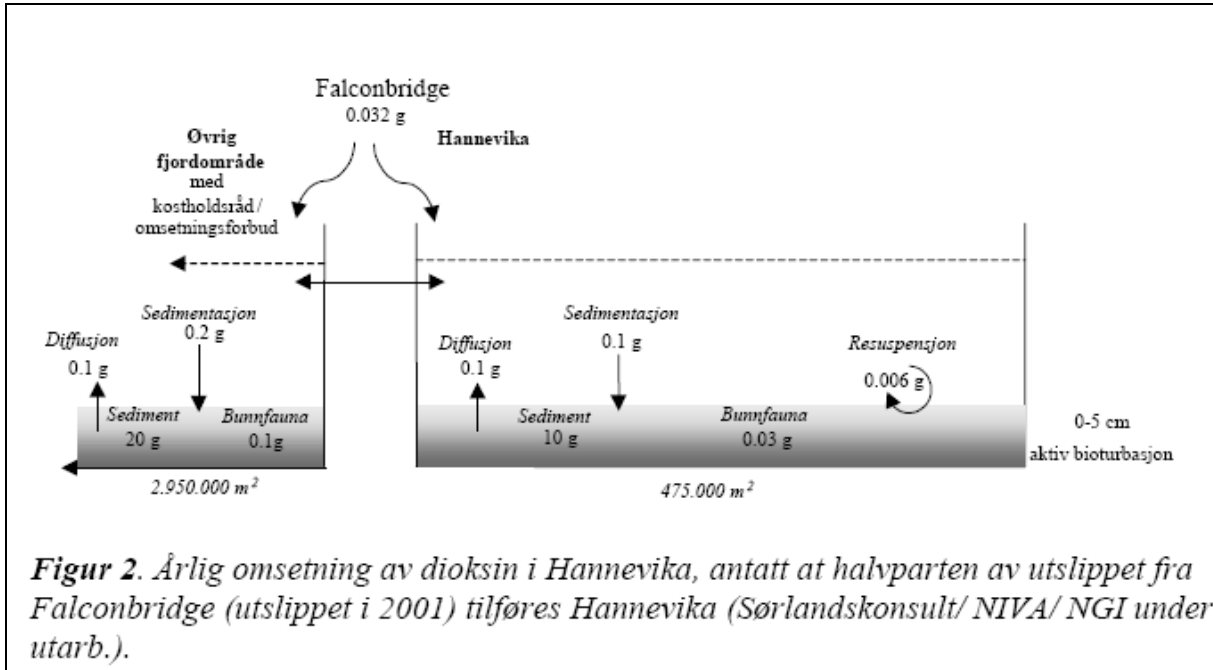
Målingene tydet på en varierende, men jevnt over liten oppvirvling og spredning av sedimenter i forbindelse med skipstrafikken ved hovedkaia til Xstrata Nikkelverk. De fleste skipsankomster/-avganger kunne spores som en økning i strømhastigheten, men bare ved ankomst av 1 av i alt 10 båter ble det registrert forholdsvis sterk strøm (opp til 10cm/s). Turbiditetsverdiene var jevnt over lave og viste ingen økning i forbindelse med skipsankomst og avgang til nikkelverket. Det var heller ingen sammenheng mellom høy turbiditet og tidspunkt for mye nedbør på Kjevik.

**Horisontal transport fra andre områder***PAH*

Spredning av PAH fra Elkembukta til områdene utenfor er tidligere beregnet til 50-150 kg PAH pr. år (Ruus mfl. 2005). Det er ikke kjent hvor stor andel av transporten som går til Hannevika.

*Dioksiner*

Det er tidligere laget et stoffbudsjett for dioksin i Hannevika som viser flukser mellom sediment og vann og transport mellom Hannevika og det øvrige fjordområdet (Skei mfl. 2002). Modellen er basert på konsentrasjonsnivåer for tildekking av sedimenter og viser at bidraget fra diffusjon var større enn tilførselene fra Xstrata Nikkelverk. Modellen er beheftet med store usikkerheter, men antyder hvilke transportter som er viktige (**Figur 5**).



**Figur 5.** Transportveier for dioksin i Hannevika (Skei mfl. 2002).

*Utslipp fra renseanlegg*

Fra Odderøya avløpsrenseanlegg renner det i gjennomsnitt ut ca 6,9 millioner m<sup>3</sup> pr. år (Ruus m.fl 2005). Ved bruk av målte konsentrasjoner i utløpsvann og sjablongverdier for utslipp fra renseanlegg kan man beregne hvor mye som totalt tilføres vannmassene i Kristiansandsfjorden. Det er ikke kjent hvor stor andel av dette som tilføres Hannevika.

For de fleste miljøgiftene er utslippene fra renseanlegget mindre eller kun 5-7 x større enn de samlede utslippene til Hannevika. På grunn av fortykning i vannmassene og antagelsen om at kun en del av vannmassene fra utslippsstedet ved Odderøya blir ført til Hannevika, regnes ikke disse mengdene å kunne bidra vesentlig til forurensningsbudsjettet for Hannevika.

**Tabell 14.** Beregning av utslipp fra Odderøya renseanlegg. Tabellen viser også konsentrasjoner av metaller og miljøgifter i utløpsvann fra kommunens renseanlegg (Opplysninger fra Kristiansand kommune) og sjablongverdier (Lindholm 2004) som er brukt i beregningene. For de metallene der det ikke finnes målte konsentrasjoner, er sjablongverdier benyttet.

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	PAH	BaP	PCB7	DEHP (Ftalater)
Sjablongverdier for utløp fra kjemisk renseanlegg µg/l	0,15	3	15	0,1	8	0,6	25	0,3	0,1	0,01	
Målte konsentrasjoner µg/l		6,9	87		5,5	0,98	57	0,50		0,059	1,66
<b>Beregnet utslipp, kg/år</b>	<b>1,035</b>	<b>48</b>	<b>597</b>	<b>0,69</b>	<b>38</b>	<b>6,8</b>	<b>393</b>	<b>3,4</b>	<b>0,69</b>	<b>0,41</b>	<b>11,4</b>

### 3.6 Oppsummerende tabell

**Tabell 15** viser oversikt over tilgjengelige data på utslippsmengder til Hannevika og Kolsdalsbukta. For flere av metallene og kildene finnes det ikke målte eller beregnede tall.

Resultatene viser at nikkel i all hovedsak blir tilført via utslipp fra Xstrata, enten som direkte utslipp (71 %) eller fra diffuse utslipp (28 %). Arsen blir også overveiende tilført fra Xstrata, men sedimentasjonstallene tyder på at det også kan være andre kilder.

Hovedkilden til PCB er avrenning fra tette flater (69 %). For dioksiner, HCB og non-orto PCB foreligger det ikke data for de fleste kildene så det er ikke grunnlag for å fastsette hovedkilder.

**Tabell 15.** Oppsummerende tabell over årlige tilførsler av de 6 utvalgte metallene og miljøgiftene. Alle utslippene er oppgitt i kg pr. år med unntak av dioksiner som er oppgitt i g/år.

Utslipp pr år	Tilførsler					Indirekte			SUM tilførsler <sup>7</sup>
	Direkte utslipp Xstrata <sup>1a</sup>	Diffuse utslipp Xstrata <sup>1b</sup>	Komm. Overløp <sup>2</sup>	Tette flater <sup>3</sup>	Atm. nedfall <sup>4</sup>	Sedimentasjon	Spredning <sup>5</sup>	Transport andre områder <sup>6</sup>	
<b>Dioksin</b>	0,070 g	-	-	-	-	0,058 g	0,1 g (gml tall)	-	<b>0,070 g</b>
<b>PCB</b>	-	-	2,0 g	8,1 g	(1,6) g	-	-	% av 410 g	<b>11,7 g</b>
<b>Non-orto PCB</b>	0,007 g	-	-	-	-	0,003 g	-	-	<b>0,007 g</b>
<b>HCB</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>ingen data</b>
<b>Nikkel</b>	880 kg	350 kg	0,12 kg	8,7 kg (5,9 kg)	0,21 kg (0,18 kg)	561 kg	23 kg (max 36 kg)	% av 38 kg	<b>1239 kg</b>
<b>Arsen</b>	135 kg	-	-	1,09 kg	(0,085 kg)	272 kg	115 kg (max 258 kg)	-	<b>136 kg</b>

- = ingen data

<sup>1a</sup> Utslippstall for 2009

<sup>1b</sup> Tall fra Multiconsult 2008

<sup>2</sup> Tallene er basert på årlig overløpsmengde på 34 000 m<sup>3</sup> og målte konsentrasjoner av miljøgifter i innløpsvannet til Odderøya renseanlegg. Tallene viser snittverdier av konsentrasjoner.

<sup>3</sup> Tilførsler fra tette flater er basert på nedbørtall fra Kjevik (1299 mm/år) og sjablongverdier. Tall i parentes er mengden beregnet fra gjennomsnittskonsentrasjoner i overvann fra andre steder i kommunen.

<sup>4</sup> Atmosfærisk nedfall er basert på sjablongverdier for atmosfærisk nedfall og årsnedbør på 1299 millimeter. Tallene i parentes viser våtavsetning fra bakgrunnsstasjon på Lista og Koster.

<sup>5</sup> Spredning beregnet fra risikoveilederen. Snittverdier (maksimumverdier i parentes).

<sup>6</sup> Omfatter bl.a mulig spredning fra avløpsvann fra Odderøya renseanlegg. Tallene refererer til totalutslipp fra renseanlegget

<sup>7</sup> I summen er det ikke tatt med tall for sedimentasjon, spredning og transport fra andre områder.

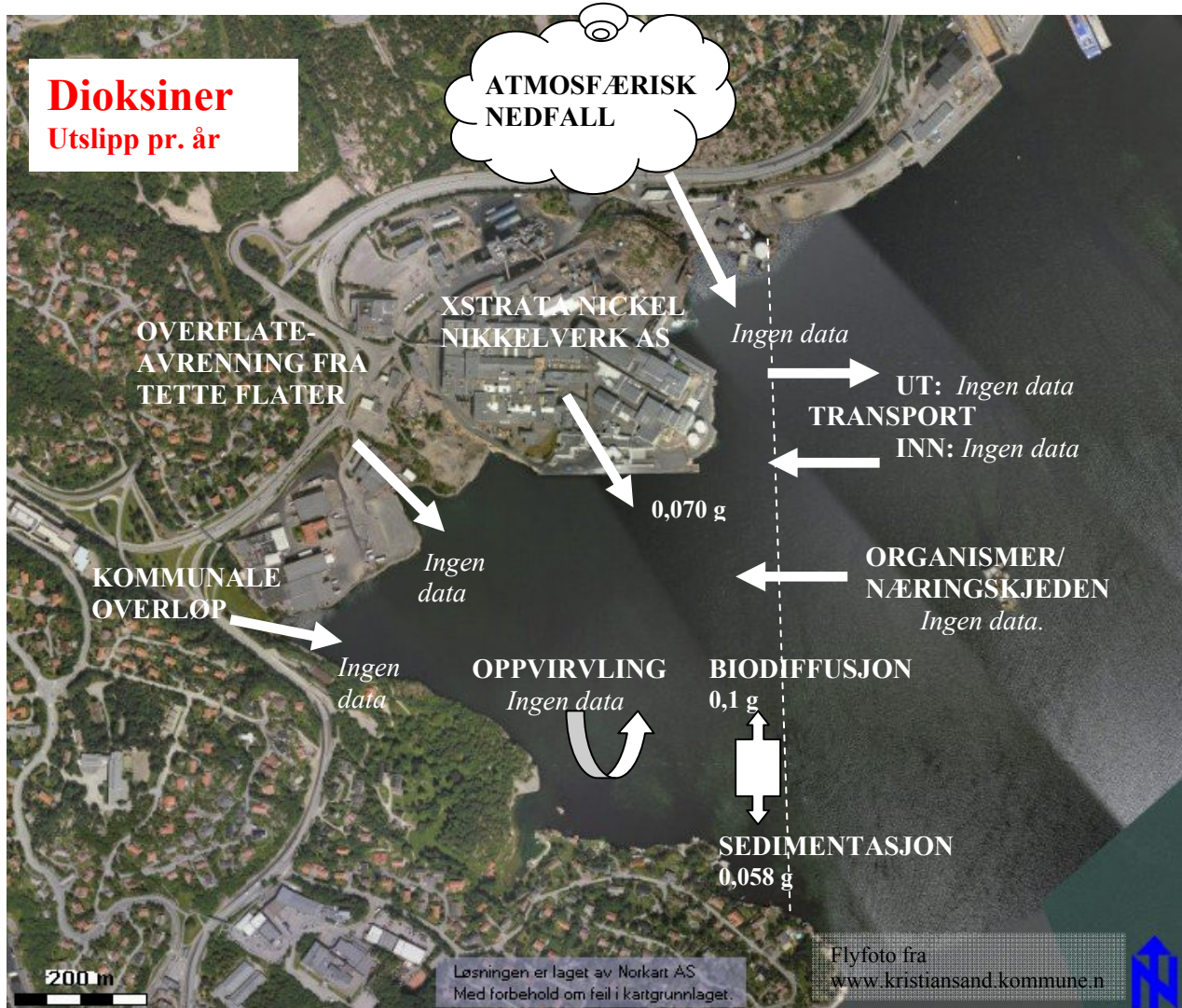
**Tabell 16.** Prosentvis fordeling av kilder. Der det mangler data fra flere kilder er tallene satt i parentes.

Utslipp pr år	Direkte utslipp Xstrata	Diffuse utslipp Xstrata	Komm. Overløp	Tette flater	Atm. nedfall
<b>Dioksiner*</b>	(100)				
<b>PCB</b>			17	69	14
<b>Non-orto PCB*</b>	(100)				
<b>HCB*</b>					
<b>Nikkel</b>	71	28	<1	<1	<1
<b>Arsen</b>	(100)			<1	<1

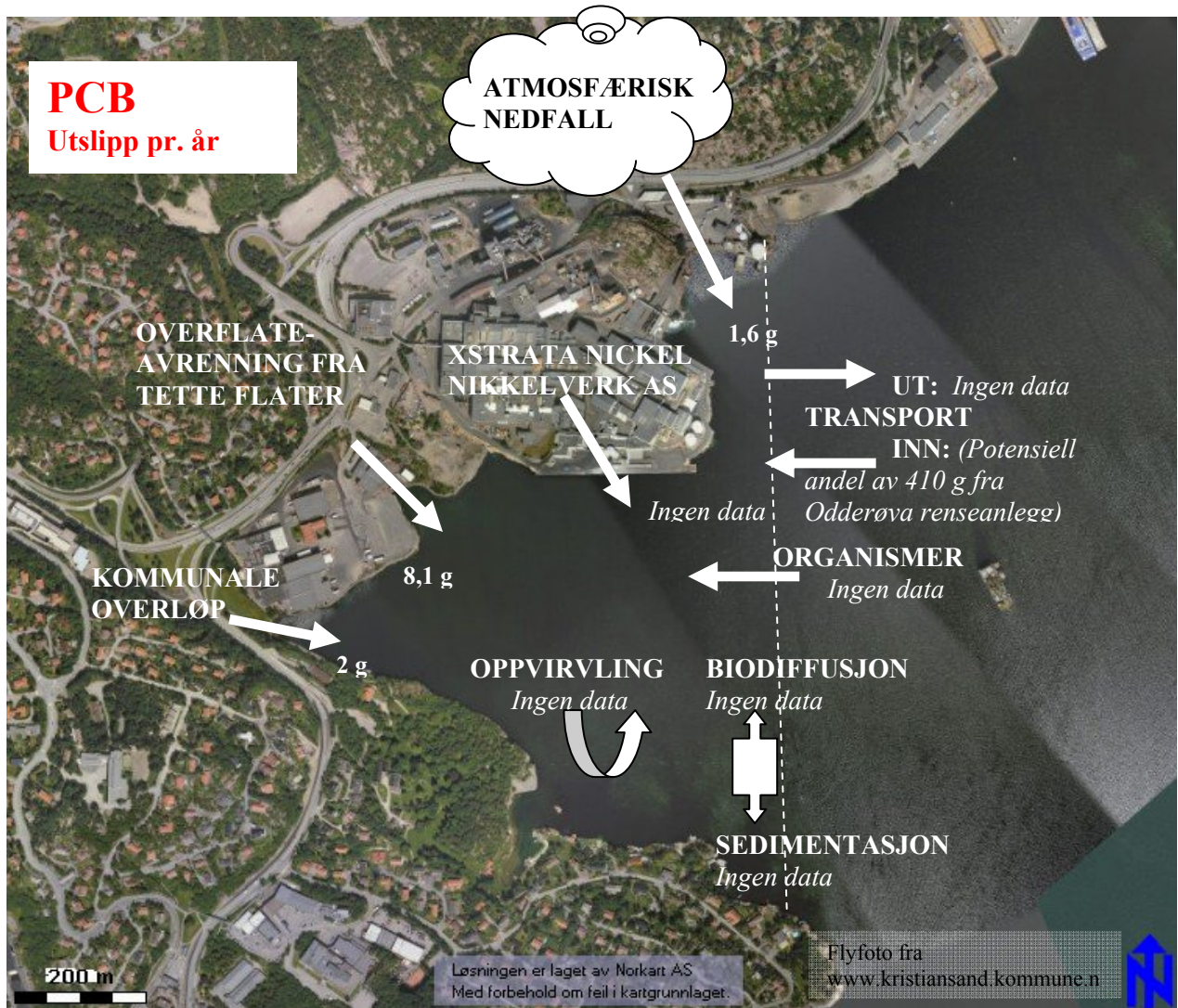
\* Lite data

### 3.7 Grafisk framstilling av tilførslene

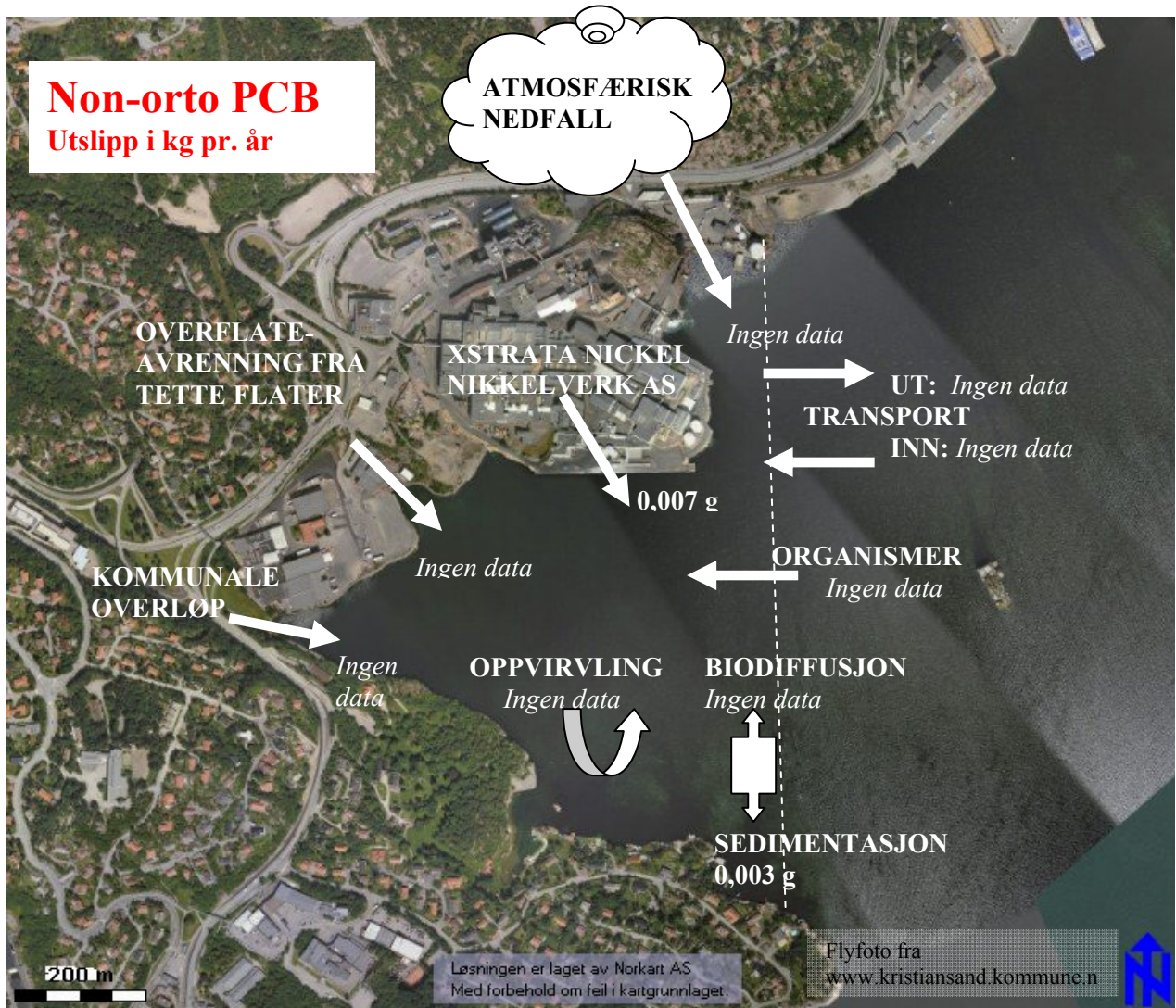
På bakgrunn av **Tabell 15** og flyfoto av området er det laget grafiske framstillinger som viser hovedtrekkene i forurensningsbudsjettet. Det er laget en figur for hvert av de 6 utvalgte stoffene, med unntak av HCB der det ikke finnes flukstall (**Figur 6 - Figur 10**).



**Figur 6.** Oppsummering av tilførselsberegninger for dioksiner i Hannevika og Kolsdalsbukta.



Figur 7. Oppsummering av tilførselsberegninger for PCB i Hannevika og Kolsdalsbukta.



Figur 8. Oppsummering av tilførselsberegninger for non-orto PCB i Hannevika og Kolsdalsbukta.



Figur 9. Oppsummering av tilførselsberegninger for Nikkel (Ni) i Hannevika og Kolsdalsbukta.





Figur 10. Oppsummering av tilførselsberegninger for arsen (As) i Hannevika og Kolsdalsbukta.

## 4. Referanser

Bakke, T., G. Bredeveld, T. Källqvist, A. Oen, E. Eek, A. Ruus, A. Kibsgaard, A. Helland, K. Hylland 2007. Veileder for risikovurdering av forurenset sediment. SFT-rapport TA-2230/2007. 64 s.

Brønstad, Gunnar 2008. Vurdering diffus spredning til sjø. Notat Miljø 1 – 2008. Multiconsult. 8. oktober 2008.

Berg, T., Kallenborn, R., Manø, S. og Uggerud, H.T. (2003) Tidstrender i atmosfæriske konsentrasjoner av tungmetaller og persistente organiske miljøgifter. Kjeller (NILU OR 67/2003).

Berge, J., Bjerkeng, 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 l. nr OR-5506. 179 s.

Kroglund, T. 2008. Analyse av metaller i sedimenter fra Hannevika, Kristiansand. NIVA-notat O-27404. 17. juni 2008.

Lindholm, O. 2004. Miljøgifter i overvann fra tette flater. NIVA-rapport 4775-2004. 42s.

Molvær, J. og A. Helland 2007. Hannevika. Undersøkelser vedrørende tildekkingen av forurensete sedimenter. NIVA-rapport 5328. 52 s.

Næs, K., Håvardstun, J. 2010. Sedimentasjon av dioksiner og metaller i Hannevikbukta, Kristiansand, 2009. NIVA-rapport 5942-2010. 40s.

Næs, K., Rygg, B., 2001. Tiltaksplan for opprydding i forurensete sedimenter i Kristiansandsfjorden. Kartlegging av konsentrasjoner i sedimentet i 2001 samt kartfremstilling av resultater fra tidligere undersøkelser. Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Rapport l. nr OR-4371. 43 s.

Ruus, J. Molvær, F. Uriansrud, K. Næs 2005. Risikovurdering av PAH-kilder i nærområdet til Elkem i Kristiansand. NIVA-rapport 5042. 118s.

Sivertsen, Ø. 2009. Kartlegging av miljøgifter i overvann og bekker. Multiconsult rapport 311902-1. 12s + vedlegg.

Skei, J. F. Olsgard, A. Ruus, E. Oug, B. Rygg 2002. Risikovurderinger knyttet til forurensete sedimenter: Med fokus på Kristiansandsfjorden. SFT-rapport TA-1864/2002. 106s.

Aas, W., K. Tørseth, S. Solberg, T. Berg, S. Manø og K.E. Yttri, 2002. Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel, 2001. Rapport 847/02. NILU OR 21/2002. SFT-rapport TA-1882/2002.

<http://www.stormtac.com>

<http://eKlima.met.no>

## Vedlegg A. Oppsummerende tabell over metaller og stoffer som ikke inngår i forurensningsbudsjettet

*Vedleggstabell A1. Oppsummerende tabell over årlige tilførsler av ulike metaller og miljøgifter som ikke inngår i forurensningsbudsjettet. Alle utslippene er oppgitt i kg /år med unntak av B(a)P som er oppgitt i g/år.*

Utslipp pr år	Direkte utslipp Xstrata <sup>1</sup>	Diffuse utslipp Xstrata	Komm. Overløp <sup>2</sup>	Tette flater <sup>3</sup>	Atm. nedfall <sup>4</sup>	Sedimentasjon	Spredning <sup>5</sup>	Transport andre områder <sup>6</sup>	SUM
B(a)P			3,4 g	79 g	5,2 g			(0,69 g)	<b>87,6 g</b>
PAH			0,02 kg	0,639 kg	0,99 kg (0,06 kg)			(3,4 kg)	<b>1,649 kg</b>
Hg			0,0085 kg	0,033 kg		0,2 kg		(0,69 kg)	<b>0,04 kg</b>
Pb	3,6 kg		0,12 kg	15,84 kg	1,52 kg (0,73 kg)	99 kg	0,72 kg	(6,8 kg)	<b>21,1 kg</b>
Cd			0,034 kg	0,79 kg	0,052 kg (0,027 kg)	0,8 kg	0,002 kg	(1,03 kg)	<b>0,88 kg</b>
Cu	1011 kg	7 kg	0,39 kg	25,85 kg	2,60 kg (0,62 kg)	716 kg	8,3 kg	(579 kg)	<b>1047 kg</b>
Cr			0,25 kg	7,12 kg	0,21 kg (0,15 kg)	62 kg	0,3 kg	(48 kg)	<b>7,58 kg</b>
Co	70 kg				(0,012 kg)	46 kg			<b>70 kg</b>
Fe	949 kg								<b>949 kg</b>
Zn	307 kg		3,9 kg	138 kg	15,59 kg (3,6 kg)	213 kg	1,1 kg	(393 kg)	<b>464 kg</b>
DEHP			0,06 kg					(11,4 kg)	<b>0,06 kg</b>
EPOCl	18 kg								<b>18 kg</b>
EPOBr	1,8 kg								<b>1,8 kg</b>

<sup>1</sup> Utslippstall for 2009. For EPOCl og EPOBr er tallene kun fra 2006.

<sup>2</sup> Tallene er basert på årlig overløpsmengde på 34 000 m<sup>3</sup> og målte konsentrasjoner av miljøgifter i innløpsvannet til Odderøya renseanlegg. Tallene viser snittverdier av konsentrasjoner..

<sup>3</sup> Tilførsler fra tette flater er basert på nedbørtall fra Kjevik (1299 mm/år) og sjablongverdier.

<sup>4</sup> Atmosfærisk nedfall er basert på sjablongverdier for atmosfærisk nedfall og årsnedbør på 1299 millimeter. Tallene i parentes viser våtavsetning fra bakgrunnsstasjon på Lista og Koster.

<sup>5</sup> Spredning beregnet fra risikoveilederen (snittverdier).

<sup>6</sup> Omfatter bl.a mulig spredning fra avløpsvann fra Odderøya renseanlegg. Tallene refererer til totalutslipp fra renseanlegget. Kun en liten del av dette vil kunne sedimentere i Hannevika.

## Vedlegg B. Utslippsdata

*Vedleggstabell B1. Utslippstall fra Xstrata Nickel Nikkelverk AS for perioden 2000-2009.*

År	Fe kg/døgn	As kg/døgn	Pb kg/døgn	Zn kg/døgn	Ni kg/døgn	Cu kg/døgn	Co kg/døgn	Dioksin mg/år	non-orto PCB mg/år
2000	240	270	25	80	770	745	95	264	36
2001	573	167	28	158	840	780	67	39	11
2002	623	283	34	223	988	625	116	32	13
2003	932	515	7	143	1027	669	126	374	50
2004	600	345	13	<I,R,>	1085	827	177	315	95
2005	414	263	16	133	1509	726	83	58	17
2006	1244	870	26	183	1736	1126	137	49	5
2007	918	176	34	163	1313	936	109	20	3
2008	904	190	6	190	1280	1164	101	65	11
2009	949	135	4	307	880	1011	70	70	7
<i>Utsl.grense 2008</i>	6	2,2	0,3	1,9	6	4,9	0,8		
Middelverdier	kg/år	kg/år	kg/år	kg/år	kg/år	kg/år	kg/år	mg/år	mg/år
2000-2007	693	361	23	155	1159	804	114	144	29
2008-2009	927	163	5	249	1080	1087	85	67	9

**Vedleggstabell B2.** Oversikt over alle utslippspunktene fra *Xstrata Nickel Nikkelverk* til Hannevika og Kolstadbukta. Tallene referer til årsmiddel for 2005. Utslipp direkte til Hannevika er vist med *uthevet skrift*. (kilde: *Xstrata Nickel og Fylkesmannen i Vest-Agder, Miljøvern avdelingen*). Hentet fra *Molvær og Helland 2007*.

Utslipp nr.	Info, avløp/rør	Type utslipp	Kommentar
<b>14</b> Elektrolyttrens	Utslipet kommer ut i strandkanten i bukta mot ESSO. Dybde ca.1 m. Ingen diffusor.	<b>8830 m<sup>3</sup>/døgn</b> Ni=1,40 kg/d Cu=0,22 kg/d Co=0,02 kg/d Fe=0,15 kg/d Zn=0,05 kg/d.	<b>Prosessutslipp, regnvann.</b> Dette er sjøvann brukt til kjøling i Elektrolyttrens, samt regnvann og takvann. Variasjon i månedsmiddel: 6180 - 9310 m <sup>3</sup> /d.
5.9/9	Nr.9, KL og H <sub>2</sub> S-generator er koblet sammen og må regnes som et og samme avløp til Hannevika. Avløpet går ca. 90 m ut fra kai, og kommer ut i sjøen ca. 2,5 m over bunnen på en PE plastbukk. Dybde 23 m. Diffusor i form av mange små hull nær endeutløpet	<b>14620 m<sup>3</sup>/døgn</b> Ni=0,68 kg/d Cu=0,24 kg/d Co=0,01 kg/d Fe=0,20 kg/d As=0,06 kg/d Zn=0,08 kg/d.	<b>Prosessutslipp, regnvann.</b> <b>Prosessutslipp:</b> Dette er sjøvann brukt til kjøling, overvann, takvann og grunnvann. Avløp fra H <sub>2</sub> S generator med utslipp av H <sub>2</sub> S, lagt parallelt med, og koblet inn på, dette avløpet. Variasjon I månedsmiddel fra 9 880 til 20 870 m <sup>3</sup> /d. <b>Regnvann:</b> Det er laget en egen settletank under kaien der deler av regnvann fra vestre del av Vestre Kai renner gjennom. Evt. uløste metaller vil kunne bli fanget opp her.
<b>8</b>	Avløpet kommer ut under kaia nær vannoverflaten.	<b>Regnvann</b>	<b>Overflatevann og takvann fra området mellom ML-anl. og gamle knuseri, samt fra deler av Vestre Kai.</b>
7 (ML/WP)	Avløpet går ca. 40 m ut, og står ca. 2,5 m over bunnen. Dybde 21 m. Avløpet ligger på et hjul. Det er betongmadrass under hjulet.	7900 m <sup>3</sup> /døgn. Ni=0,90 kg/d Cu=0,53 kg/d Co=0,10 kg/d Fe=0,33 kg/d As=0,64 kg/d Zn=0,06 kg/d EPOCl=0,05 kg/d EPOBr=0,005 kg/d	Prosessutslipp, regnvann. Dette er sjøvann brukt til kjøling og filtrat fra felleanlegg for tynne løsninger. Variasjon i månedsmiddel fra 4430 til 9520 m <sup>3</sup> /d
ny 3	Ny 3 er lagt inn på avløp 3 ved østre kai.	Årsutslipp 2005, slaggsilo: Ni = 6,6 kg Cu = 8,2 kg Co = 6,6 kg	Regnvann, slaggavrenning. Avrenning fra nederste del av kjørevei, samt avrenning fra slaggsilo. Diskontinuerlig. 137 tappinger i 2005. Hver tapping tar ca.20 min. Ca 150 m <sup>3</sup> pr. tapping.
3 (Bryggebakken)	Samlet avløp går ca. 90 m ut fra land mellom østre og vestre kai og står ca.2,5 m over bunnen på 23 m dyp. Avløpet ligger på et hjul. Ingen diffusor.	4160 m <sup>3</sup> /d Ni = 0,38 kg/d Cu = 0,66 kg/d Co = 0,04 kg/d Fe = 0,14 kg/d As = 0,01 kg/d Pb = 0,02 kg/d	Prosessutslipp, regnvann. Variasjon i månedsmiddel fra 3250 til 5480 m <sup>3</sup> /d Dette er sjøvann brukt til kjøling samt overvann fra 50 mål på bedriftsområdet. Ved store nedbørsmengder, spyling av området, evt. ukontrollerte utslipp legges avløp til deponi til

		Zn = 0,06 kg/d	konsentrasjonene er under akseptabelt nivå. Vann i deponi kjøres til rensetrinnet, Tynne Løsninger.
20, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> fabrikk og Gassrensse anlegg	Avløpet kommer ut i strandkanten innerst i bukta ved østre kai på ca.1 m dyp. Ingen diffusor.	22 030 m <sup>3</sup> /døgn. Ni = 0,33 kg/d Cu = 0,27 kg/d Fe = 0,31 kg/d As = 0,01 kg/d Pb = 0,01 kg/d Zn = 0,09 kg/d Dioxin=0,06 g/år	Prosessutslipp (svovelsyrefabrikk og gassrensseanlegg) + regnvann. Dette er rent sjøvann brukt til kjøling og vann fra sjøvannsscrubber. Vannmengden er jevn. Variasjon i månedsmiddel fra 19 120 til 23 280 m <sup>3</sup> /d.
1	Se kart: Bygg\B01\Vvs	Regnvann	Overflatevann fra østre jernbaneområde.
4	Se kart: Bygg\B01\Vvs Hele bedriften	Regnvann	Overflatevann, takvann, samt enkelte avløp fra vasker i verksted. Ingen kjente kilder til forurensning.
5	Se kart: Bygg\B01\Vvs Hele bedriften	Regnvann	Takvann fra shedd
6	Se kart: Bygg\B01\Vvs Hele bedriften	Regnvann	Takvann og overflatevann fra ytterste området. Indre området er hevet (asfaltert) og avrenning inn mot bygg blir pumpet til tynne løsninger.
50, Svovelsyretanker	Se kart: Bygg\B01\Vvs Hele bedriften	Regnvann, evt. ukontrollert utslipp av svovelsyre	Vann fra fangdam til svovelsyretankene. Dersom fangdammen blir overfylt vil man kunne åpne avrenning direkte til sjø.
10	Se kart: Bygg\B01\Vvs Hele bedriften	Regnvann	Overflatevann fra området rundt Forsøksanlegget, samt takvann.
Offentlig overvann, Hannevika	Innerst i bukten ved Hennig Olsen Iskremfabrikk.	Regnvann	Regnvann fra området bak Co-raff, P-plass, området bak inntaksstasjon i Rosindalen. Alle disse grenser mot E39 og overvann renner ut til offentlig overvannssystem.  Evt. overvann fra deponi Kolsdalen ved ekstreme nedbørmengder renner i bekk ned Kolsdalen og videre i drenssystemet (bekk fra Tinnheia) omlagt av Statens vegvesen under E39 til Hannevika.

**Vedleggstabell B3. Utslippsdata fra Odderøya renseanlegg (oppl. fra Kristiansand kommune)**

Parameter	Målte konsentrasjoner i innløpsvann												Sjåblongverdier		
	BOF	KOF	Tot-N	Tot-P	Pb	Cu	Cr	Ni	Zn	PAH-16	PCB7	DEHP	BaP	Cd	Hg
Enhet	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Antall analyser	7	7	4	7	3	3	3	3	3	2	1	5			
Min	27	93	19	1,38	0,15	1,5	0,33	3	2,3	0,38		1,5			
Max	265	580	58	6,06	9,3	31	18	4	279	0,61		2,3			
Snittverdi	145	356	39	3,81	3,55	11,44	7,44	3,38	115	0,50	0,06	1,66	0,10	1,00	0,25
St.dev	77	156	16	1,70	5	17	9	0,54	145	0,16		0,36			
<b>Utslipp av overvann til Hannevika pr. år (basert på overløp av størrelse 34000m<sup>3</sup> = 34 000 000 l)</b>															
Min	918	3162	629	47	0,005	0,051	0,011	0,102	0,078	0,013		0,051			
Max	9010	19720	1955	206	0,32	1,05	0,61	0,14	9,49	0,02		0,078			
Snittverdi, kg	<b>4915</b>	<b>12094</b>	<b>1331</b>	<b>130</b>	<b>0,12</b>	<b>0,39</b>	<b>0,25</b>	<b>0,12</b>	<b>3,90</b>	<b>0,02</b>	<b>0,0020</b>	<b>0,056</b>	<b>0,003</b>	<b>0,034</b>	<b>0,009</b>
	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg

**Vedleggstabell B4.** Utslipp til luft i 2009 fra bedrifter i Kristiansand kommune  
([www.norskeutslipp.no](http://www.norskeutslipp.no))

Stoff	Forkortelse	Enhet	Elkem	Elkem	Xstrata	SUM
			Carbon AS	Solar AS	Nikkelverk AS	
Dioxin	Dioxin	g		0,024		0,024
Nikkel	Ni	kg	517	3,22	811	1331
Arsen	As	kg	111	0,22		111
Kobber	Cu	kg	88	1,4	874	963
Zink	Zn	kg	208	0,21		208
Bly	Pb	kg	119	0,73		120
Kobolt	Co	kg	37		90	127
Partikulært utslipp	INSTOV	kg	1980	3500	960	6440
Kvikksølv	Hg	kg	4,2	0,25		4,5
Kadmium	Cd	kg	0,7	0,01		0,7
PAH	PAH	kg	130	24		154
Krom-treverdige	CR-3	kg		0,18		0,2
Molybden	Mo	kg		0,0103		0,0

Bedrift	Type	Beliggenhet
Xstrata Nickel Nikkelverk	Produksjon av ikke-jernholdige metaller	Hannevika
Elkem Carbon AS	Produksjon av kullprodukter (koks, petroleumsprodukter og kjernebrensel)	Fiskåbukta
Elkem Solar AS	Produksjon av ikke-jernholdige metaller. Primær og sekundær metallproduksjon	Fiskåbukta

## Vedlegg C. Sjablongverdier

Fra Lindholm 2004

*Forslag til sjablong-konsentrasjoner i overvann fra tette flater og overløpsvann (µg/l)*

Utslippskilde	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	PAH	BaP	PCB
Sentrumsområder	0,5	5	30	0,1	10	20	140	0,6	0,1	0,01
Bolig- Villaområder	0,15	4	10	0,05	6	4	30	0,2	0,1	0,01
Bolig- Rekkehus	0,20	5	15	0,05	7	5	40	0,25	0,1	0,01
Bolig-Blokkbebyggelse	0,25	6	20	0,05	9	7	45	0,6	0,1	0,01
Næringsområder	0,5	5	30	0,1	10	20	140	0,6	0,1	0,01
Veger 5000 kj/d	0,25	1	38	0,1	1,2	13,5	62	0,3	0,01	0,01
Veger 30000 kj/d	0,44	5	72	0,1	4,4	31	197	1,5	0,04	0,01
Overløpsvann	1	8	100	0,25	10	15	140	0,5	0,1	0,01

StormTac.com 2010

### Schablonhalter, StormTac, version 2010-10

<http://www.stormtac.com/>

Markanvändning	Standardvärden														I Mer os
	Avr.	Koi	P	N	Pb	Cu	Zn	Cd	Cr	Ni	Hg	SS	olja	PAH	
Urban															
Vägar (5 000 fordon/dygn)	0,85	0,14	2,4	8	30	97	0,31	28	6,0	0,080	75	0,79	0,32	0,015	25
Vägar (10 000 fordon/dygn)	0,85	0,16	2,4	12	38	164	0,34	37	8,0	0,080	87	0,81	0,52	0,020	50
Vägar (15 000 fordon/dygn)	0,85	0,18	2,4	17	47	231	0,38	42	10	0,080	98	0,83	0,72	0,025	65
Vägar (30 000 fordon/dygn)	0,85	0,24	2,4	30	72	432	0,48	51	16	0,080	133	0,89	1,3	0,040	100
Vägar (100 000 fordon/dygn)	0,85	0,52	2,4	93	191	1370	1,0	66	44	0,080	294	1,17	4,1	0,11	225
Parkeringsgar	0,85	0,10	1,1	30	40	140	0,45	15	4,0	0,050	140	0,80	1,7	0,060	150
Villor	0,25	0,20	1,4	10	20	80	0,50	4,0	6,0	0,015	45	0,40	0,60	0,050	65
Radhus	0,32	0,25	1,5	12	25	85	0,60	6,0	7,0	0,020	45	0,60	0,60	0,050	75
Flerfamiljshus	0,45	0,30	1,6	15	30	100	0,70	12	9,0	0,025	70	0,70	0,60	0,050	85
Fritidshus	0,20	0,20	3,3	5,0	20	80	0,50	2,0	5,0	0,015	50	0,10	0,30	0,030	50
Koloniområden	0,20	0,20	5,0	5,0	15	50	0,20	2,0	1,0	0,012	38	0,10	0	0	50
Centrum	0,70	0,28	1,9	20	22	140	1,0	5,0	8,5	0,050	100	1,50	0,60	0,10	60
Industrier	0,50	0,30	1,8	30	45	270	1,50	14	16	0,070	100	2,50	1,0	0,15	80
Park	0,18	0,12	1,2	6,0	15	25	0,30	3,0	2,0	0,020	49	0,20	0	0	42
Atmosfärisk deposition	-	0,032	1,8	1,4	2,3	8,5	0,090	0,42	0,60	0,017	0	0	0,070	0,0035	19
Rural															
Skogar	0,050	0,035	0,75	6,0	6,5	15	0,20	0,50	0,50	0,0050	34	0,10	0	0	42
Jordbruksmarker	0,26	0,22	5,3	9,0	14	20	0,10	1,0	0,50	0,0050	100	0,15	0	0	42
Gräs- och ängsmarker	0,075	0,20	1,0	6,0	15	30	0,30	2,0	0,50	0,0050	45	0,20	0	0	42
Våtmarker	0,20	0,050	0,90	6,0	7,5	13	0,15	0,15	0,50	0,0050	16	0,10	0	0	42
Övrigt (mer osäker data)															
Golfbanor	0,18	0,35	2,1	5,0	15	18	0,30	0,70	2,0	0,010	55	0,20	0	0	42
Flygplatser	0,85	0,10	1,8	0,70	7,0	43	0,15	3,4	3,6	0,050	130	0,15	1,7	0,050	30
Banvall (järnväg) Osäker antagen	0,50	0,053	1,0	26	49	168,8	0,32	2,2	1,6	0,050	56	0,60	2,0	0,050	42
Hygge	0,050	2,0	6,0	7,0	15	0,20	0,50	0,50	0,030	0,0050	0,10	0	0	0	42



## Vedlegg D. Risikoveileder

**Tabell C1. Risikoveileder: GENERELLE PARAMETERE**

Grunnleggende sedimentparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
TOC	1	1	
Bulkdensitet til sedimentet, $\rho_{sed}$ [kg/l]	0,8	0,8	
Porøsitet, $\epsilon$	0,7	0,7	
Korreksjonsfaktor	315576000	315576000	For å ende opp med mg/m <sup>2</sup> /år for spredning ved biodiffusjon
Generelle områdeparametere	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Sedimentareal i bassenget, $A_{sed}$ [m <sup>2</sup> ]	ingen standard	400000	
Vannvolumet over sedimentet, $V_{sed}$ [m <sup>3</sup> ]	ingen standard	6000000	
Oppholdstid til vannet i bassenget, $t_r$ [år]	ingen standard		

### SPREDNING

Parametere for transport via biodiffusjon, $F_{diff}$	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Tortuositet, $\tau$	3	3	
Faktor for diffusjonshastighet pga bioturbasjon, $a$	10	10	
Diffusjonslengde, $\Delta x$ [cm]	1	1	
Parametere for oppvirvling fra skip, $F_{skip}$	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Antall skipsanløp per år, $N_{skip}$	ingen standard	36	Hentes fra havnemyndigheter
Mengde oppvirvlet sediment per anløp, $m_{sed}$ [kg]	ingen standard	100	Sett inn verdi fra faktaboks 6 i veileder
Sedimentareal påvirket av oppvirvling, $A_{skip}$ [m <sup>2</sup> ]	ingen standard	300000	
Fraksjon suspendert $f_{susp}$ = sedimentfraksjon < 2 $\mu$ m	ingen standard	0	Tas fra siktekurve (dersom 5 % er mindre enn 2 $\mu$ m, er $f = 0,05$ )
Parametere for transport via organismer, $F_{org}$	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Mengde organisk karbon i bunnfauna biomasse $OC_{cbio}$ [g/g]	0,25	0,25	
Organisk karbontilførsel til sedimentet utenfra, $OC_{sed}$ [g/m <sup>2</sup> /år]	200	200	
Fraksjon av organisk karbon som ikke omsettes, $d$ [g/g]	0,47	0,47	
Organisk karbon omsatt (respirert) i sedimentet, $OC_{resp}$ [g/m <sup>2</sup> /år]	31	31	
Parametere for å beregne tømning av stofflageret i det bioaktive laget, $t_{tom}$	Sjablong-verdi	Anvendt verdi	Begrunnelse
Mektighet av bioturbasjonsdyp, $d_{sed}$ (mm/m <sup>2</sup> )	100	100	
Tetthet av vått sediment, $\rho_{vv}$ (kg/l)	1,3	1,3	
Fraksjon tørrvekt av vått sediment	0,35	0,35	

**Tabell C2. Målt sedimentkonsentrasjon sammenlignet med trinn 1 grenseverdier. Sedimentprøver ble innsamlet i november 2006, etter tildekking av sedimenter.**

Stoff	Målt sedimentkonsentrasjon			Trinn 1 grenseverdi (mg/kg)	Målt sedimentkonsentrasjon overskrider trinn 1 grenseverdi med:	
	Antall prøver	C <sub>sed, max</sub> (mg/kg)	C <sub>sed, middel</sub> (mg/kg)		Maks	Middel
Arsen	5	639	285,8	52	1129 %	450 %
Bly	5	72,8	39,44	83		
Kadmium	5	0,1	0,1	2,6		
Kobber	5	142	95,46	51	178 %	87 %
Krom totalt (III + VI)	5	31,9	20,58	560		
Nikkel	5	131	82,5	46	185 %	79 %
Sink	5	55,5	38,2	360		

**Tabell C3. Beregnet spredning i mg/m<sup>2</sup>/år**

Stoff	Beregnet spredning	
	F <sub>tot, maks</sub> (mg/m <sup>2</sup> /år)	F <sub>tot, middel</sub> (mg/m <sup>2</sup> /år)
Arsen	644,67	288,33
Bly	3,34	1,81
Kadmium	0,00	0,00
Kobber	30,76	20,68
Krom totalt (III + VI)	1,17	0,75
Nikkel	90,18	56,80
Sink	4,16	2,87

**Tabell C4. Fluksberegninger i kg pr år for hele området. F<sub>tot</sub> = total spredning, F<sub>diff</sub> = spredning fra biodiffusjon, F<sub>skip</sub> = spredning fra skipsoppvirvling, F<sub>org</sub> = spredning fra transport via organismer.**

Stoff	Beregnet maksimal spredning				Beregnet middel spredning			
	F <sub>tot, maks</sub> [kg/år]	F <sub>diff, maks</sub> [kg/år]	F <sub>skip, maks</sub> [kg/år]	F <sub>org, maks</sub> [kg/år]	F <sub>tot, middel</sub> [kg/år]	F <sub>diff, middel</sub> [kg/år]	F <sub>skip, middel</sub> [kg/år]	F <sub>org, middel</sub> [kg/år]
Arsen	257,87	257,80	0,01	0,06	115,33	115,30	0,00	0,03
Bly	1,34	1,31	0,00	0,03	0,72	0,71	0,00	0,02
Kadmium	0,002	0,002	0,00	0,00	0,002	0,002	0,00	0,00
Kobber	12,30	12,23	0,00	0,07	8,27	8,22	0,00	0,05
Krom totalt (III + VI)	0,47	0,47	0,00	0,00	0,30	0,30	0,00	0,00
Nikkel	36,07	36,03	0,00	0,04	22,72	22,69	0,00	0,03
Sink	1,67	1,57	0,00	0,09	1,15	1,08	0,00	0,06

Tabell C5. Prosentvis fordeling mellom de ulike sprednings-mekanismene.

Stoff	Prosentvis fordeling, maks			Prosentvis fordeling, middel		
	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	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
Bly	97,9	0,0	2,1	97,9	0,0	2,1
Kadmium	99,9	0,0	0,1	99,9	0,0	0,1
Kobber	99,4	0,0	0,6	99,4	0,0	0,6
Krom totalt (III + VI)	99,9	0,0	0,1	99,9	0,0	0,1
Nikkel	99,9	0,0	0,1	99,9	0,0	0,1
Sink	94,5	0,0	5,5	94,5	0,0	5,5

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)