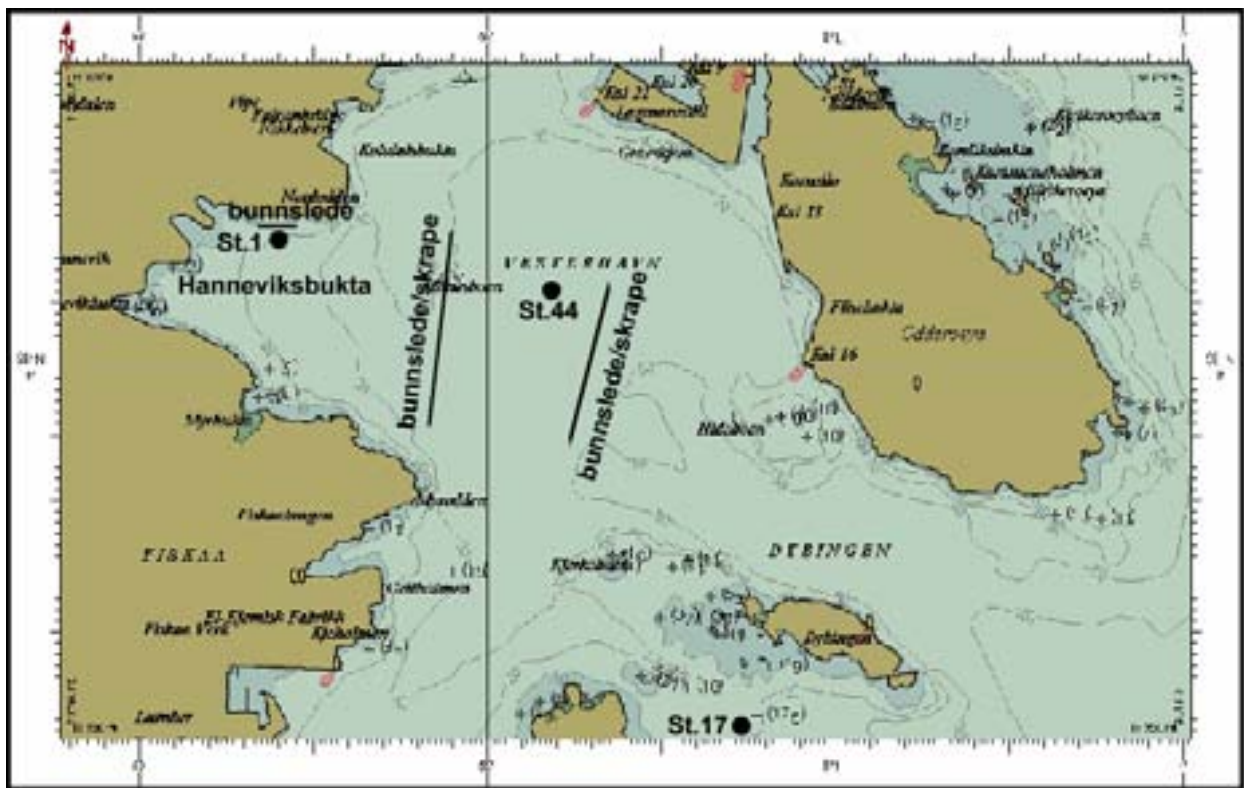


# Miljøtilstanden i Hanneviksbukta og Vesterhavn, Kristiansandsfjorden, før tildekking av forurensede bunnsedimenter

Bunnfauna og miljøgifter i  
organismer



**Hovedkontor**

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internet: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Nordnesboder 5  
5005 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

**Akvaplan-niva**

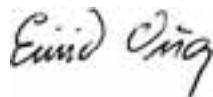
9296 Tromsø  
Telefon (47) 77 75 03 00  
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Miljøtilstanden i Hanneviksbukta og Vesterhavn, Kristiansandsfjorden, før tildekking av forurensete bunnsedimenter. Bunnfauna og miljøgifter i organismer.	Løpenr. (for bestilling) 4915-2004	Dato 30. november 2004
	Prosjektnr. Undernr. 23017 / 24026	Sider Pris 31
Forfatter(e) Eivind Oug Anders Ruus Jarle Håvardstun	Fagområde Miljøgifter marint	Distribusjon
	Geografisk område Vest-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Fylkesmannen i Vest-Agder, Kristiansand kommune, Norges Forskningsråd (program PROFO)	Oppdragsreferanse
---	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>I Kristiansandsfjorden er bunnsedimentene til dels sterkt forurenset av miljøgifter fra industri. I Hanneviksbukta ved Vesterhavn har bunnsedimentene nylig blitt tildekket med rene sandmasser. Denne undersøkelsen beskriver tilstanden for sedimentlevende fauna i Hanneviksbukta, i Vesterhavn og i et område i ytre Vesterhavn som ikke vil være gjenstand for tiltak, like før tildekkingen. I Hanneviksbukta var bunnfaunaen svært arts- og individfattig. Artsmangfoldet tilsvarte klasse V – meget dårlig tilstand – etter SFTs miljøkvalitetskriterier. I Vesterhavn var det en forholdsvis artsrik bunnfauna (kl. II – god tilstand), mens det i ytre Vesterhavn var en artsrik og normal fauna (kl. I – meget god tilstand). Blandprøver av børstemark og vevsprøver av sjøstjerner fra Hanneviksbukta og Vesterhavn ble analysert for innhold av metaller og PCB/HCB. Metaller, spesielt kobber og sink, og PCB hadde akkumulert til høyere konsentrasjoner i Hanneviksbukta enn i Vesterhavn. Forskjellene korresponderte generelt med forskjeller i sedimentkonsentrasjonene. En blandprøve av snegl og skjell fra Vesterhavn viste også at PAH ble tatt opp i organismene. Undersøkelsen viser at miljøgifter fra sedimentene opptas i stedegne organismer og derved representerer en mulig risiko for overføring til fisk og skalldyr som beiter på sedimentlevende bunndyr.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Forurensete sedimenter</li> <li>2. Tildekking</li> <li>3. Bløtbunnsfauna</li> <li>4. Miljøgifter i sedimentlevende organismer</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Contaminated sediments</li> <li>2. Capping</li> <li>3. Soft bottom fauna</li> <li>4. Contaminants in sediment dwelling organisms</li> </ol>
---	--



Eivind Oug  
Prosjektleder



Kristoffer Næs  
Forskningsleder  
ISBN 82-577-4604-5



Jens Skei  
Forskningsdirektør

**Miljøtilstanden i Hanneviksbukta og Vesterhavn,  
Kristiansandsfjorden, før tildekking av forurensete  
bunnsedimenter**

Bunnfauna og miljøgifter i organismer

## Forord

Kristiansandsfjorden er utpekt som pilotområde for opprydning i forurensede bunnsedimenter. I Hanneviksbukta utenfor Falconbridge Nikkelverk A/S er forurenset sjøbunn nylig blitt tildekket med rene sandmasser. I fjorden gjennomføres det ulike undersøkelser for å følge opp tiltakene. Fylkesmannen i Vest-Agder koordinerer arbeidet med tiltak og oppfølgende undersøkelser.

Denne undersøkelsen dokumenterer biologisk tilstand i Hanneviksbukta og Vesterhavn før tildekkingen av sedimentene. Undersøkelsen er finansiert av Fylkesmannen i Vest-Agder og Kristiansand kommune, samt ved interne forskningsmidler i NIVA og midler fra forskningsprosjektet 'Functional role of macrofauna on contaminated sediments, and the potential of fauna recovery following sediment remediation' under programmet PROFO i Norges Forskningsråd.

I feltarbeidet deltok Anders Ruus, Jarle Håvardstun, Lise Tveiten og Eivind Oug. Prøvetakingen ble utført fra F/F 'G.M. Dannevig' tilhørende Havforskningsinstituttet (desember 2002) og fra F/F 'Risøy' tilhørende Riise Underwater Engineering i Haugesund (mai 2003). Supplerende innsamling av sjøstjerner ved dykking ble foretatt av Erich Esdar i Anker Dykkerselskap, Kristiansand.

Ved opparbeidelsen av bunnprøvene har Brage Rygg deltatt. Anders Ruus har vært hovedansvarlig for undersøkelsene av miljøgifter i organismer. Eivind Oug har vært hovedansvarlig for undersøkelsene av bunnfauna og prosjektet som helhet.

Grimstad, 30. november 2004

*Eivind Oug*

---

# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>7</b>
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Forurensningstilstanden	7
1.3 Tildekking av sedimentene	7
1.4 Mål for undersøkelsen	10
<b>2. Prøvetaking og materiale</b>	<b>11</b>
2.1 Lokalteter og innsamling	11
2.2 Metodikk	12
<b>3. Resultater</b>	<b>13</b>
3.1 Innsamling og feltobservasjoner	13
3.1.1 Lokalitet 'Hannevika vestre kai' og St. 1	13
3.1.2 Lokalitet 'ytre Hannevika'	15
3.1.3 Lokalitet 'Vesterhavn sentralt'	15
3.1.4 Ytre Vesterhavn ved Dybingen	15
3.2 Bunnsedimenter	15
3.3 Bunnfauna	16
3.4 Miljøgifter i organismer	19
3.4.1 Materiale til analyse	19
3.4.2 Metaller	20
3.4.3 Klorerte organiske forbindelser (PCB og HCB)	23
3.4.4 Polisykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)	24
<b>4. Vurderinger</b>	<b>26</b>
<b>5. Litteratur</b>	<b>27</b>
<b>Vedlegg A. Toktrapport</b>	<b>28</b>
<b>Vedlegg B. Koordinater for stasjoner</b>	<b>29</b>
<b>Vedlegg C. Resultater for kvantitative bunnprøver</b>	<b>30</b>

---

## Sammendrag

I Kristiansandsfjorden er bunnsedimentene tildels sterkt forurenset av miljøgifter fra industri. De sterkeste forurensningene har vært påvist i Hanneviksbukta utenfor Falconbridge Nikkelverk AS (klororganiske forbindelser) og i Fiskåbukta utenfor Elkem Fiskå verk (polysykliske aromatiske hydrokarboner). I de mest forurensete områdene er naturlig bunnfauna betydelig påvirket av forurensningene. Det er også vist eksperimentelt at miljøgifter i bunnsedimenter fra Hanneviksbukta og Fiskåbukta er tilgjengelige for opptak i bunnorganismer.

Kristiansandsfjorden er utpekt av miljøvernmyndighetene som ett av fem pilotområder for opprydning av forurensete sedimenter. I Hanneviksbukta er forurenset sjøbunn nylig tildekket med rene sandmasser for å forhindre utlekking og videre spredning av miljøgifter fra sedimentene til fjorden. I tilknytning til tiltakene gjennomføres det ulike undersøkelser for å følge opp og dokumentere effektene av tiltakene.

Denne undersøkelsen har hatt som mål å beskrive tilstanden for naturlig fauna i Hanneviksbukta og Vesterhavn før tildekkingen av sedimentene i Hanneviksbukta. Undersøkelsen gir grunnlagsdata for senere sammenligning slik at biologiske effekter av tiltakene kan vurderes. Undersøkelsen omfatter bunndyrsamfunn i sedimenter og miljøgifter i sedimentlevende bunndyr. Prøvetakingen ble foretatt i tre områder: Hanneviksbukta, Vesterhavn og ytre Vesterhavn ved Dybingen. De tre områdene ligger på en gradient i forurensning og representerer henholdsvis tiltakssonen (Hanneviksbukta), et område som vurderes for tiltak (Vesterhavn) og et område som ikke vil være gjenstand for tiltak (Dybingen).

Prøvene ble innsamlet 4-5. desember 2002 (bunnfauna i Hanneviksbukta og miljøgifter i organismer) og 29. mai 2003 (bunnfauna i Vesterhavn og ved Dybingen). Prøvetakingen i Hanneviksbukta ble foretatt like før tildekkingen av bunnsedimentene ble ferdigstilt. Prøvene ble innsamlet med bunngrabb, trekantskrape og bunnslede.

I Hanneviksbukta var det sort bunnsediment med til dels betydelig innslag av rødorange industrislam. Bunnsedimentet hadde høye konsentrasjoner av kopper, bly og nikkel. På prøvetaksstedet i Vesterhavn var det det grått koksholdig mudder med en del flis og trebiter. Ved Dybingen var det friskt sandig mudder. Konsentrasjonene av metaller avtok sterkt fra Hanneviksbukta til Vesterhavn.

I Hanneviksbukta var det en svært arts- og individfattig bunnfauna. Etter SFTs miljøkvalitetskriterier faller stasjonen i klasse V- meget dårlig tilstand. Prøvene var sterkt dominert av en art, en rovlevende børstemark som trolig har stor toleranse for forurensning. Så godt som alle individene var sterkt svartet på overflate og børster.

I Vesterhavn var det en forholdsvis artsrik bunnfauna med normalt individantall. Etter SFTs miljøkvalitetskriterier faller stasjonen i klasse II - god tilstand, men artssammensetningen ga inntrykk av at tilstanden var dårligere enn hva SFTs kriterier indikerte. Faunaen var preget av arter som ofte finnes i forurensete eller organisk anrikede sedimenter. Mange individer av slangestjerner og børstemark hadde svartet overflate.

I ytre Vesterhavn ved Dybingen var det en artsrik fauna. Lokaliteten faller i klasse I – meget god tilstand - etter SFTs miljøkvalitetskriterier. Artssammensetningen må betraktes som normal med en variert sammensatt fauna. Også på denne lokaliteten var det noe svarting på enkelte individer.

Det var generelt vanskelig å samle tilstrekkelig materiale til analyser for miljøgifter i bunnorganismer. I Hanneviksbukta ble forskjellige børstemark slått sammen til en blandprøve og analysert for metaller, polyklorerte bifenyl (PCB) og heksaklorbenzen (HCB). Det ble også tatt en blandprøve av ulike

bunndyr like utenfor tildekkingsområdet som ble analysert for metaller. I Vesterhavn ble en blandprøve av børstemark analysert for metaller og PCB/HCB, mens en blandprøve av bløtdyr (skjell og snegl) ble analysert for polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH). Både i Hanneviksbukta og Vesterhavn ble det innsamlet sjøstjerner til analyse av metaller og PCB/HCB.

For metallene, spesielt kobber og sink, var det høyere konsentrasjoner i børstemark fra Hanneviksbukta enn i Vesterhavn. Prøven fra ytre Hannevika hadde intermediære konsentrasjoner. Resultatene stemmer godt overens med en avtagende gradient i metaller i sedimentene og indikerer at metallene opptas i organismene. I sjøstjerner var konsentrasjonene lavere med unntak for sink. De lavere konsentrasjonene kan trolig forklares ved at sjøstjernene er mindre assosiert med sedimentene enn børstemark og bløtdyr.

For PCB var det høyere konsentrasjoner i børstemark fra Hanneviksbukta enn fra Vesterhavn, både totalt og for enkeltforbindelser. Dette stemmer godt med en avtagende gradient i PCB i sedimentene utover i fjorden fra Hanneviksbukta. Sjøstjerner fra Hanneviksbukta hadde akkumulert noe høyere konsentrasjoner av PCB enn børstemark. For HCB var det høyest konsentrasjon i Vesterhavn. Denne forbindelsen finnes i meget høye konsentrasjoner i sedimentene over hele Vesterhavn-området.

PAH akkumulerte i bløtdyr i Vesterhavn. Det var spesielt forbindelsene fluoranten, pyren og benzofluoranten som viste høye konsentrasjoner.

Undersøkelsene viser at miljøgifter fra sedimentene opptas i stedege organismer. For de fleste forbindelsene var det forskjeller i akkumulerte konsentrasjoner som korresponderte med forskjeller i sedimentkonsentrasjonene. Resultatene samsvarer også med opptak av miljøgifter i forsøksorganismer ved eksperimentell eksponering til sedimenter fra Kristiansandsfjorden. Sedimentlevende bunndyr er en viktig næringskilde for bunnlevende fisk, og representerer derfor en mulig risiko for spredning av miljøgifter til fisk og andre organismer høyere i næringskjeden.

# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn

I Kristiansandsfjorden er bunnsedimentene tildels sterkt forurenset av miljøgifter fra industri. De sterkeste forurensningene har vært påvist i Hanneviksbukta utenfor Falconbridge Nikkelverk AS (klororganiske forbindelser) og i Fiskåbukta utenfor Elkem Fiskå verk (polysykliske aromatiske hydrokarboner). I fjorden er det gitt kostholdsråd for fisk og skalldyr knyttet til innhold av klororganiske forbindelser.

Kristiansandsfjorden er utpekt av miljøvernmyndighetene som ett av fem pilotområder for opprydning av forurensete sedimenter (SFT 2003). I fjorden er det allerede satt i gang tildekking av bunnområdene i Hanneviksbukta. Målet med tildekkingen er å forhindre utlekking og videre spredning av miljøgifter fra sedimentene til fjorden. Som ledd i pilotprosjektet skal effektene av opprydningstiltakene evalueres og tekniske og praktiske forhold dokumenteres (SFT 2003).

## 1.2 Forurensningstilstanden

Forurensningssituasjonen i Kristiansandsfjorden har vært dokumentert gjennom en rekke undersøkelser (Næs 1985, Knutzen et al. 1991, Knutzen et al. 1998, Næs & Rygg 2001). I Hanneviksbukta er hovedproblemet knyttet til metaller og klororganiske forbindelser (HCB, dioksiner/furaner). En større kartlegging av miljøgifter i bunnsedimentene ble foretatt i 2001 (Næs & Rygg 2001). Fordeling av miljøgifter i bunnsedimentene er vist i Figur 1.

Biologiske undersøkelser i Kristiansandsfjorden har vist at forurensningene klart påvirker forekomst av naturlige organismer. I de mest forurensete områdene er antall arter og arts mangfold vesentlig redusert sammenlignet med upåvirkede kontrollområder (Rygg 1985, Skei et al. 2002). Særlig fattig er faunaen i Hanneviksbukta. Virkningene på bunnfaunaen synes best å kunne relateres til forurensningen av metaller, HCB og dioksiner (Skei et al. 2002).

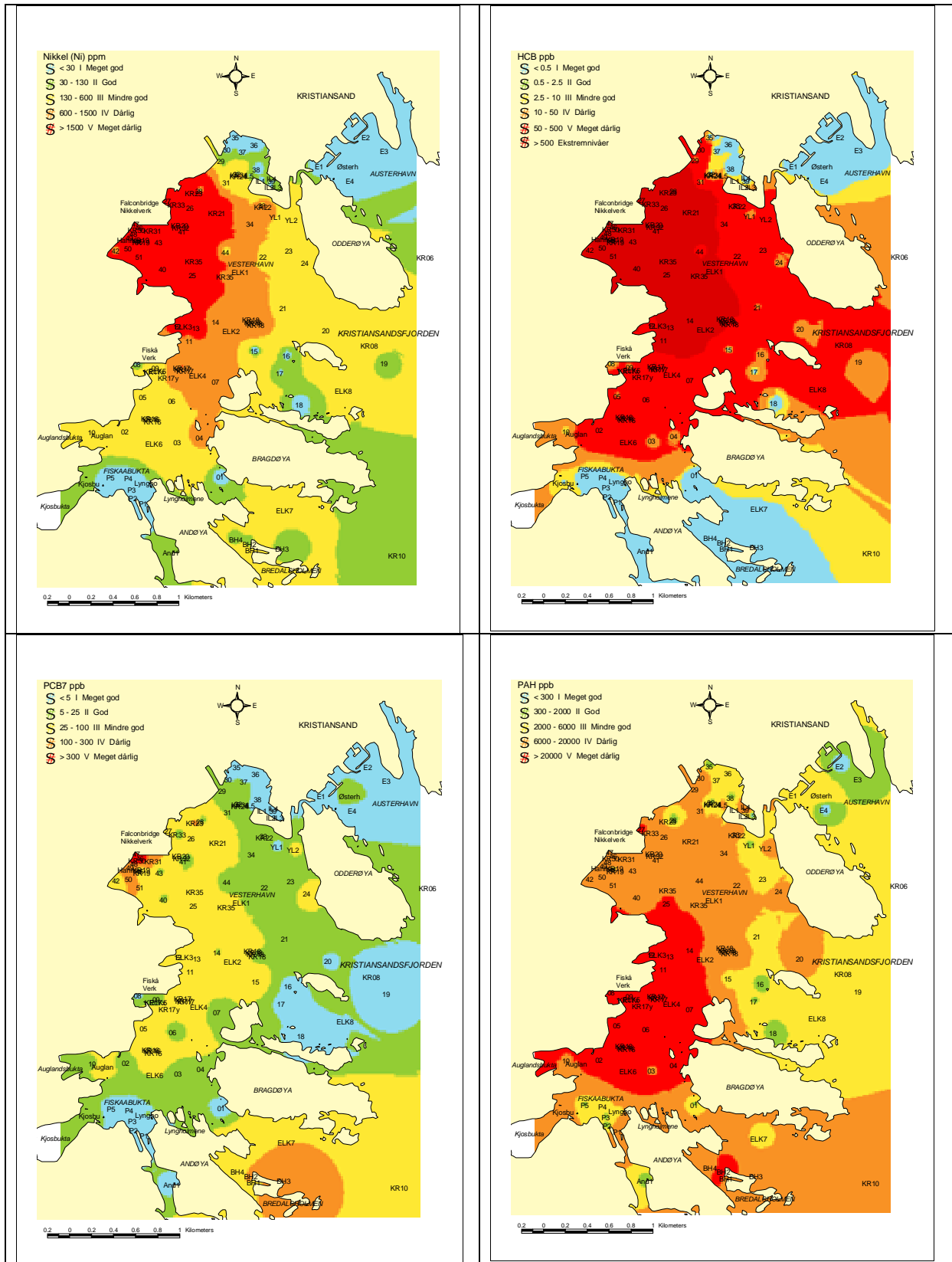
Det er også vist ved eksperimentale undersøkelser med bunnsedimenter fra Hanneviksbukta og Fiskåbukta at miljøgifter fra sedimentene er tilgjengelige for opptak i bunnorganismer. Forsøkene er gjennomført med snegl og børstemark som er blitt eksponert for forurenset sediment (Skei et al. 2002). Dette viser at miljøgiftene representerer en potensiell risiko med hensyn til spredning til fisk og andre organismer som beiter på sedimentlevende dyr.

## 1.3 Tildekking av sedimentene

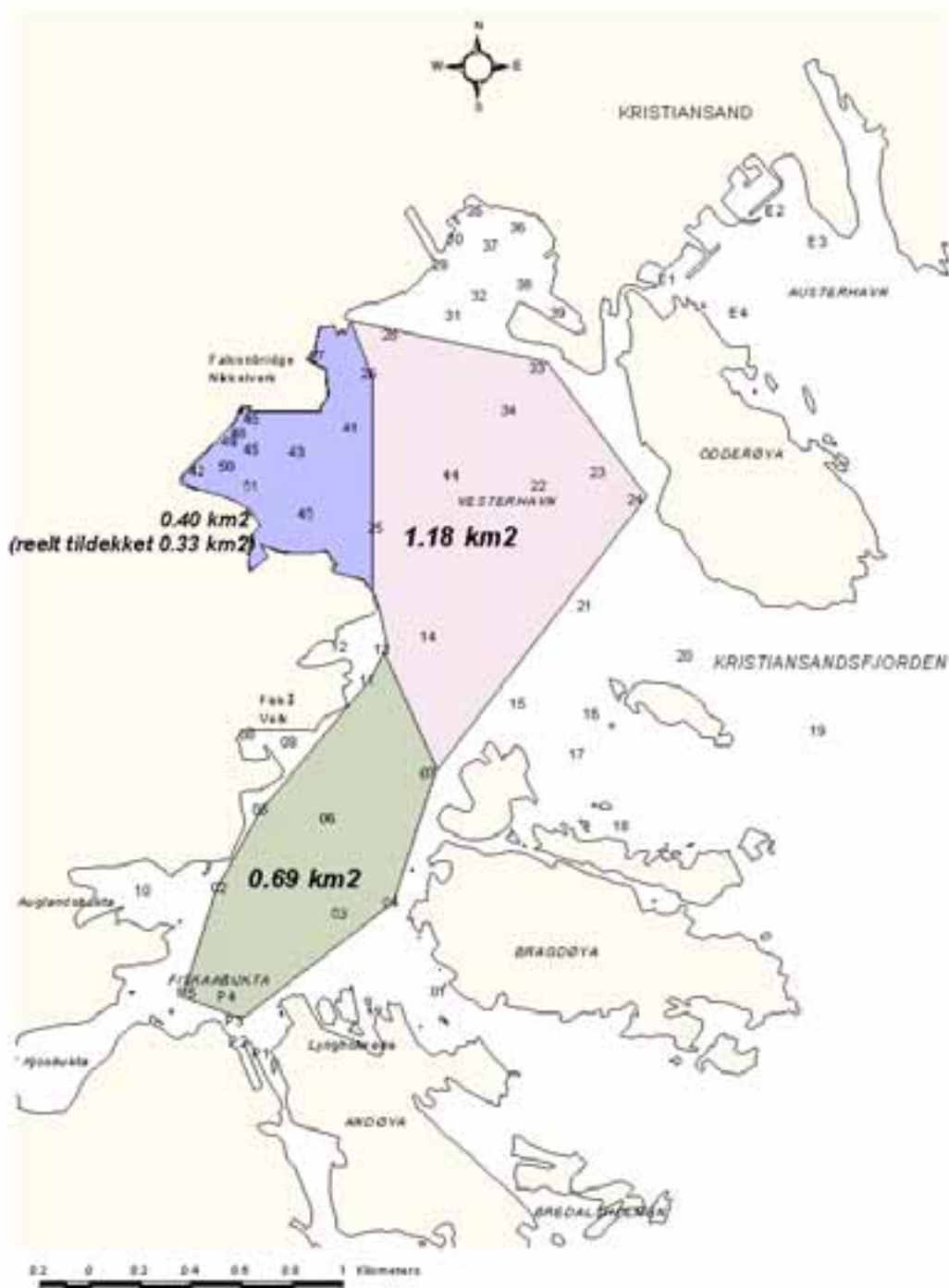
Tildekkingen utføres ved at det legges et lag med ren sand over sedimentene. Tildekkingen utføres innenfor en linje som er trukket fra Kolsdalsbukta til Myrodden utenfor Hanneviksbukta og ut mot Vesterhavn (Figur 2). Arbeidet er nå avsluttet etter at det er lagt ut et ca 40 cm tykt sandlag over hele tildekkingsområdet. Sanden er overskuddsmasse som er gravd ut ved anleggelse av en veitunnel på Lund i Kristiansand.

Det diskuteres om et større område i Vesterhavn utenfor denne linjen skal tildekkes på et senere stadium (se Figur 2).





**Figur 1.** Kart som viser fordeling av nikkel, HCB, PCB og PAH i overflatesedimenter (0-2 cm) i Kristiansandsfjorden basert på SFTs klassifisering av miljøtilstand. Fra Næs & Rygg (2001).



**Figur 2.** Arealer som tildekkes i Hanneviksbukta ved Falconbridge (øvre venstre felt), og arealer som vurderes for tildekking i Vesterhavn (øvre høyre felt) og i Fiskåbukta (nedre felt).

## 1.4 Mål for undersøkelsen

Målet med foreliggende undersøkelse er å dokumentere tilstanden for naturlig fauna i Kristiansandsfjorden før tildekkingen av bunnsedimentene i Hanneviksbukta. Undersøkelsen skal fremskaffe grunnlagsdata for senere sammenligning slik at effekter av tiltakene kan vurderes.

Undersøkelsen omfatter tre områder i fjorden:

- Hanneviksbukta
- Vesterhavn sentralt
- ytre Vesterhavn ved Dybingen

Undersøkelsesområdene ligger på en gradient i forurensningsnivå og representerer henholdsvis tiltakssonen (Hanneviksbukta), et område utenfor tiltakssonen og som vurderes for senere tiltak (Vesterhavn sentralt), og et område som ikke vil være gjenstand for tiltak (ytte Vesterhavn ved Dybingen). Hele Vesterhavn er utsatt for spredning av miljøgifter fra sedimentene i Hanneviksbukta. Etter tildekkingen er det forventet at denne spredningen vil opphøre.

Undersøkelsen har to fagelementer:

- Beskrive sammensetningen av bunndyrsamfunn
- Fastsette innholdet av miljøgifter i bunnorganismer

Prøvene av bunnfauna dokumenterer biodiversiteten i området og gir grunnlag for senere sammenligninger etter at tildekkingen av sedimentene er gjennomført. Sammensetningen av bunndyrsamfunn er naturlige indikatorer på naturkvalitet. I Kristiansandsfjorden vil det være et fremtidig miljømål at det etableres artsrike og variert sammensatte organismesamfunn etter opprydningstiltakene.

Innholdet av miljøgifter i bunnorganismer gir mål for i hvilken grad miljøgiftene opptas i naturlig forekommende organismer på stedet der de lever. En sammenligning av miljøgiftnivåer i bunnorganismer før og etter tildekkingen vil belyse virkningene av tiltakene.

Fisk og skalldyr i fjorden opptar trolig miljøgifter ved å spise forurensede byttedyr. Undersøkelsen vil bidra til å klarlegge transportveier for forurensningene fram til konsumarter.

Det er også av betydning å sammenligne innholdet av miljøgifter i bunnorganismer med opptak i forsøksorganismer under eksperimenter med forurensede sedimenter. Dette vil være et ledd i dokumentasjonen på at organismer opptar miljøgifter fra sedimentene.

## 2. Prøvetaking og materiale

### 2.1 Lokalteter og innsamling

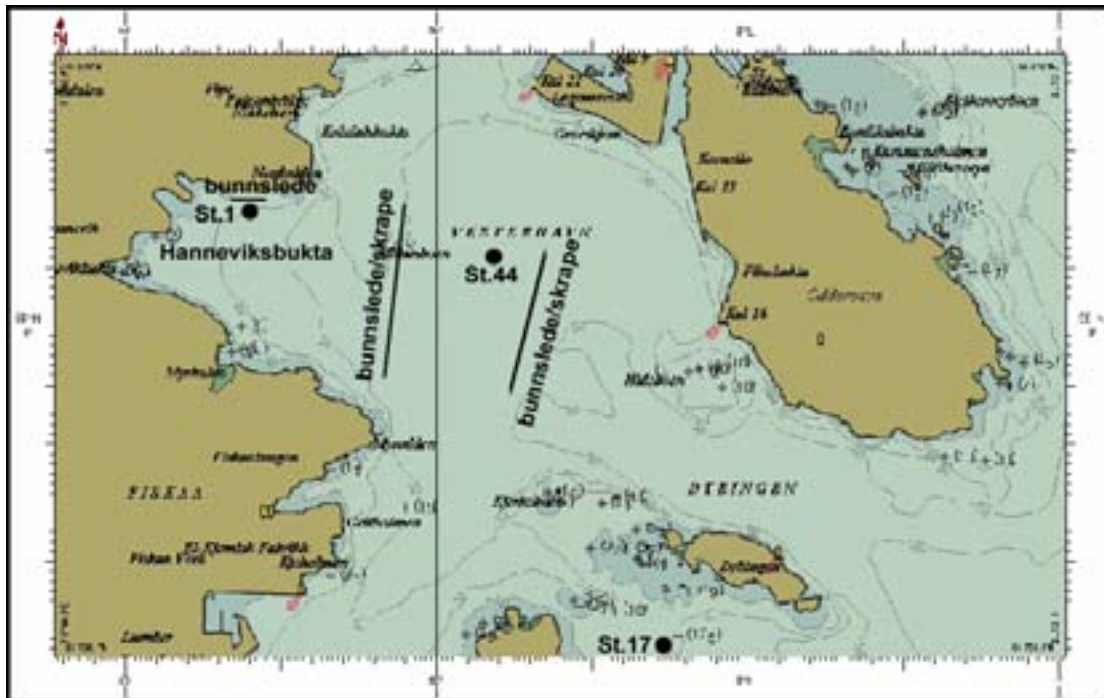
Lokaliteter for prøvetaking er vist på kart i Figur 3. Prøver for beskrivelse av bunndyrsamfunn ble tatt på tre stasjoner plassert fra Vestre kai i Hanneviksbukta til Dybingen (st. 1, 44, 17). Prøver av bunnorganismer til analyse av miljøgifter ble innsamlet ved Vestre kai, i ytre Hanneviksbukta og sentralt i Vesterhavn.

Prøvetakingen ble gjennomført 4-5. desember 2002 og 29. mai 2003. Ved prøvetakingen i desember 2002 ble Hanneviksbukta prioritert fordi tildekkingen av bunnsedimentene i området var kommet langt. Etter opplysninger fra Sørlandskonsult og Agder Marine var hele bukta med unntak for området nærmest vestre kai ved Falconbridge tildekket med et 5-10 cm tykt sandlag. Det utildekkede området strakk seg ca. 50 m ut fra kaikanten. I tillegg ble prøver av bunnorganismer til miljøgiftanalyser innsamlet i Vesterhavn. En detaljert rapport fra prøvetakingen i desember 2002 er gitt i Vedlegg A.

I Hanneviksbukta ble supplerende materiale av sjøstjerner til analyse av miljøgifter i organismer innsamlet ved dykking i januar 2003.

Ved prøvetakingen i mai 2003 ble prøver av bunndyrsamfunn innsamlet i Vesterhavn og ved Dybingen.

Koordinater for prøvetakingsstasjonene er gitt i Vedlegg B.



**Figur 3.** Kart over Vesterhavn og Hannevika med posisjoner for prøvetaking 4-5. desember 2002 og 29. mai 2003.

## 2.2 Metodikk

Kvantitative prøver for beskrivelse av bunndyrsamfunn ble innsamlet med 0.1 m<sup>2</sup> van Veen bunngrabb. På hver stasjon ble det tatt fire parallelle prøver. Sedimentet ble vasket på 5 mm og 1 mm sikter og sikteresten ble konservert i 4-6 % nøytralisert formaldehydløsning.

På alle stasjonene ble det tatt en prøve av overflatesediment (0-2 cm) for analyse av sedimentets finfraksjon, innhold av organisk materiale og metaller. Sedimentprøvene ble tatt gjennom en inspeksjonsluke på oversiden av grabben. Prøvene ble frosset ned fram til analyse.

Bunnorganismer til analyse av innhold av miljøgifter ble innsamlet med grabb, bunnslede og trekantskrape. Sediment i prøvene ble vasket på 1 mm sikt og sikteresten ble umiddelbart inspisert under lupe. Organismer til analyse ble håndplukket fra prøvene og overført til brente glass. Før overføringen ble artene identifisert og notert så langt dette var mulig. I prøvene ble dyrene sortert etter hovedgrupper og næringsformer. Alle prøver ble oppbevart nedfrosset fram til analyse.

Bunnorganismene ble analysert for innhold av metaller, polyklorerte bifenyler (PCB), heksaklorbenzen (HCB) og polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH). Analysene ble utført på NIVAs laboratorium i henhold til standard prosedyrer. Metaller (arsen (As), kadmium (Cd), kobolt (Co), krom (Cr), kobber (Cu), nikkel (Ni), bly (Pb), vanadium (V) og sink (Zn)) ble oppløst i salpetersyre og bestemt ved ICP-MS. Organiske miljøgifter (PCB<sub>7</sub>, HCB og PAH<sub>16</sub>) ble ekstrahert med organiske løsningsmidler og bestemt ved gasskromatografi. NIVAs laboratorium er akkreditert i henhold til NS-EN 45001 og ISO-ISE guide 25.

## 3. Resultater

### 3.1 Innsamling og feltobservasjoner

#### 3.1.1 Lokalitet 'Hannevika vestre kai' og St. 1

Ved prøvetakingen i desember 2002 ble det innledningsvis tatt prøver med bunngrabb ved ytterenden (østenden) av kaien på 25-28 m dyp. I prøvene var det sand fra overdekkingen og endel stein. Det var noen få dyr i prøvene, men lokaliteten ble oppgitt på grunn av tildekkingen av sedimentene.

Prøvetakingen ble flyttet innover til omtrent ved midtpunkt for kai (markert som St. 1 på kart). Avstand til kai var 30-40 m, dyp 18-20 m. På lokaliteten var det svart sediment med innhold av rødorange industrislam.

På lokaliteten ble det tatt en rekke prøver med bunngrabb for innsamling av dyr til miljøgiftanalyser. Sedimentet i prøvene varierte endel, fra nokså rent sort sediment til nesten rent rødorange industrislam (Figur 4). Samtlige prøver hadde et tynt grått topplag (1-2 mm), dette kunne være rester av finpartikler fra sanddumpingen like ved. Noen få prøver besto av nesten ren sand. I prøvene var det varierende innhold av organiske komponenter (bladrester, plantefragmenter etc). En oversikt over prøvetakingen er gitt i Tabell 1.

For om mulig å få materiale av større arter, men som kan finnes mer spredt i området, ble det foretatt supplerende innsamling med bunnslæde. Slæden ble trukket parallelt med kaien over en distanse på 100-200 m i en avstand på ca 25 m fra kaifronten. Bunnen var stedvis ujevn med stein og ujevnheter. Første trekk ble foretatt ved kaiens østende på 25-15 m dyp, men ble avbrutt ved at slæden kilte seg fast. Senere trekk ble foretatt langs kaiens midtområde på omkring 15 m dyp.

**Tabell 1.** Prøvetaking av bunnorganismer til miljøgiftanalyser 4-5. desember 2002 i Hanneviksbukta og Vesterhavn, Kristiansandsfjorden.

Lokalitet	Dyp m	Redskap	Sediment	Kommentar
Hannevika Vestre kai (øst)	25-28	van Veen grabb	Sand og grus, litt stein	Noen dyr i prøvene, slått sammen med materiale fra sledeprøver
Hannevika Vestre kai, st. 1	18-20	van Veen grabb	Svart sediment med +/- rødt industrislam, noen prøver med sand og fin grus	Egen prøve av børstemarken <i>Phyllodoce</i> , annet materialet slått sammen med sledeprøver
Hannevika Vestre kai (midt)	15-25	Snelli-slede	For det meste mørkt sediment, litt grus og stein, noe søppel.	Prøver av korstroll, snegl og børstemark
Ytre Hannevika	30-35	Trekantskrape	Mørkt grått til sort slam, full skrape (> 50 liter)	Prøver av diverse bunndyr (børstemark, snegl, musling)
Vesterhavn sentralt	43-47	Trekantskrape, Snelli-slede	Mørkt grått slam med brunt topplag (skrape > 50 liter, slede ca 10 liter)	Prøver av børstemark, bløtdyr, kamstjerne og sjøfjær



**Figur 4.** Bunnsediment fra St. 1 ved Vestre kai, Hanneviksbukta. Venstre: åpnet grabb; høyre: topplag sett med åpne inspeksjonsluker.

Det var lite dyr i sledetrekke. Bunnmaterialet besto av mørkt sediment med innhold av sprengstein, noen metallbiter og litt avfall (Tabell 1).

Kvantitative prøver for beskrivelse av bunndyrsamfunn ble tatt med bunngrabb på St. 1. I Tabell 2 er det gitt data for prøvetakingen og visuell beskrivelse av bunnsedimentet.

**Tabell 2.** Kvantitative prøver av bunnfauna og sedimenter i Hanneviksbukta og Vesterhavn, Kristiansand 2002-2003. Lokalteter, dyp og visuelle observasjoner av bunnforhold og sedimenter. Alle prøver ble tatt med 0.1 m<sup>2</sup> van Veen grabb.

Stasj.	Dato	Dyp (m)	Observasjoner	Sikterest (materiale > 1 mm)
St. 1 Vestre kai	5.12 2002	18-20	Svart sediment med +/- rødt industrislag, 2-10 mm lysere topplag. Noen prøver med sand og fin grus. Oljefilm på overflate av spylevann.	Volum 0.7-1 liter per prøve. Trebiter, flis, bladrester, plantemateriale, litt koks og slagg, noe sprengstein, sort og rustfarget. Sorte, rustrøde og hvite småklumper av (oljeholdig ?) leire og industrislag. Noen rester av blåskjell. Dårlig lukt. En prøve (repl. IV) med lys gråbrun grov mineralsand og grus.
St. 44 Vesterhavn	29.05 2003	38	Grå koks-farget mudder, lyst brunt topplag med oransje innslag. Mark og sjømus.	Volum 1-4 liter. Mye slagg og koks, noe grus og småstein, endel flis og trebiter, moderat rustfarging. Litt planterester. Skallrester av rur, blåskjell og muslinger, enkelte snegl, rør av børstemark ( <i>Pectinaria</i> ). Dårlig lukt.
St. 17 Vesterhavn v/ Dybingen	29.05 2003	19	Grå /olivenfarget sandig mudder, tynt brunt topplag. Mark, skjell og sjømus.	Volum 0.4-0.6 liter. Litt grov sand og grus. Endel trebiter og flis. Litt planterester. Endel skallrester av rur, snegl ( <i>Turritella</i> , <i>Littorina</i> ), blåskjell, kuskjell og andre muslinger. Rør av børstemark ( <i>Pectinaria</i> ).

### 3.1.2 Lokalitet 'ytre Hannevika'

Ettersom det ble funnet forholdsvis lite materiale av bunndyr til miljøgiftanalysene ved Vestre kai, ble det forsøkt innsamling i ytre Hannevika like utenfor det tildekkede området. Det ble gjort ett skrap med trekantskrape. Sedimentet var bløtt og skrapen var full ved opptak (Tabell 1). Endel sediment ble siktet og noe materiale ble sikret for miljøgiftanalyse. Det var lite dyr i prøven. Prøvetakingen ble deretter avsluttet.

### 3.1.3 Lokalitet 'Vesterhavn sentralt'

Innsamling av dyr til miljøgiftanalyser ble prioritert på lokaliteten ved prøvetakingen i desember 2002. Dette var for å sikre at alle dyr til miljøgiftanalyser ble tatt samtidig på stasjonene. For å få flest mulig større dyr ble innsamling med trekantskrape og bunnslede valgt.

Det ble gjort ett skrap med trekantskrape. Sedimentet var bløtt og skrapen var full ved opptak. Endel sediment ble siktet, fortrinnsvis noe mørkere brunt sedimentlag som ble antatt å være overflatelaget. Det var endel dyr i prøven, men skrapen tok for mye sediment for effektiv innsamling.

Videre prøvetaking ble foretatt med bunnslede. Denne viste seg å være effektiv og tok forholdsvis bra med overflatesediment, ca 10 liter pr trekk. Sedimentet ble siktet og håndplukket for dyr (Tabell 1).

Kvantitative prøver for beskrivelse av bunndyrsamfunn ble tatt med bunngrabb på st. 44 i mai 2003. I Tabell 2 er det gitt data for prøvetakingen og visuell beskrivelse av bunnsedimentet.

### 3.1.4 Ytre Vesterhavn ved Dybingen

Kvantitative prøver for beskrivelse av bunndyrsamfunn ble tatt med bunngrabb på st. 17 i mai 2003. Stasjonen representerer ytterområdet av Vesterhavn og er mindre påvirket av forurensningene i fjorden. I Tabell 2 er det gitt data for prøvetakingen og visuell beskrivelse av bunnsedimentet.

## 3.2 Bunnsedimenter

Bunnsedimentene på St. 1 ved Vestre kai hadde høye konsentrasjoner av kopper (Cu), bly (Pb) og nikkel (Ni) (Tabell 3). Konsentrasjonene tilsvarte klasse IV – sterkt forurenset eller klasse V – meget sterkt forurenset etter SFTs miljøkvalitetskriterier (Molvær et al. 1997). Nivåene av sink var lave og tilsvarte klasse I – ubetydelig forurenset.

På stasjon 44 i Vesterhavn og 17 ved Dybingen var verdiene lavere, men områdene var allikevel betydelig forurenset. Konsentrasjonene for alle metallene avtok fra sentralt i Vesterhavn og ut mot Dybingen.

I Vesterhavn ble det målt svært nær samme konsentrasjoner av nikkel ved sedimentkartleggingen i 2001 (Næs og Rygg 2001). På st. 17 var konsentrasjonene lavere i 2001, men denne prøven ble tatt fra et mer sandholdig sediment med lavere organisk innhold (Tabell 3).



**Tabell 3.** Tørrstoff, kornstørrelse, organisk materiale og metaller (kopper, bly, sink, nikkel) i bunnsedimenter fra Kristiansandsfjorden 2002-2003. Resultater fra sedimentkartleggingen i 2001 er vist for sammenligning. Tilstandsklasser i henhold til SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet er vist: klasse I – ubetydelig forurenset, kl. II – moderat forurenset, kl. III – markert forurenset, kl. IV – sterkt forurenset, kl. V – meget sterkt forurenset (Molvær et al. 1997).

St.	Lokalisering	Dyp (m)	Tørrstoff mg/g	Kornst. (%<0.063 mm)	TOC mg/g	Cu µg/g	Pb µg/g	Zn µg/g	Ni µg/g
1	Veste kai	19	482	56	12.8	10300 (V)	1420 (IV)	122 (I)	9320 (V)
44	Vesterhavn	38	311	78	25.1	394 (III)	122 (III)	120 (I)	463 (III)
	2001	42	488	72	26.4	-	-	-	444
17	Ytre Vesterh., Dybingen	19	463	70	21.3	179 (III)	51 (II)	58 (I)	289 (III)
	2001	20	631	41	12.2	-	-	-	89

### 3.3 Bunnfauna

I Tabell 4 er det gitt en oversikt over antall arter, individtettheter og beregnede verdier for artsmangfold på stasjonene. I Tabell 5 er de viktigste artene ved denne og tidligere undersøkelser på samme stasjon vist. Fullstendige resultater er gitt i Vedlegg C.

På st. 1 ved Vestre kai var det en svært arts- og individfattig bunnfauna (Tabell 4). Bare seks arter ble funnet i prøvene. Etter SFTs miljøkvalitetskriterier faller stasjonen i klasse V- meget dårlig tilstand. Prøvene var sterkt dominert av en art, børstemarken *Phyllodoce mucosa* (Tabell 5). Dette er en

**Tabell 4.** Faunaparametre for kvantitative bunnprøver i Kristiansandsfjorden 2002-2003 og ved tidligere prøvetaking. Indekser for artsmangfold:  $H'$  = Shannon-Wiener indeks ( $\log_2$ ),  $E(S_{100})$  = Hurlberts indeks (artstall ved 100 individer). ISI = artsindeks for følsomhet for forurensning. Tilstandsklasser i henhold til SFTs system for klassifisering av miljøkvalitet er vist: kl. I – meget god tilstand, kl. II – god tilstand, kl. III – mindre god tilstand, kl. IV – dårlig tilstand, kl. V – meget dårlig tilstand (Molvær et al. 1997).

Stasjon		Dyp	Areal	Artstall	Ind.	Ind/m <sup>2</sup>	H'	E(S <sub>100</sub> )	ISI	SFT Klasse
St. 1	2002	19	0.4	6	126	315	0.48	-	5.4	V
	2001 <sup>1)</sup>	15	0.1	10	36	360	2.63	-	4.0	III
st. 44	2003	38	0.4	55	576	1440	3.74	25.3	8.5	II
	1983 <sup>2)</sup>	40	0.4	23	4315	10788	-	5.2	-	V
st. 17	2003	19	0.4	75	835	2088	4.65	32.9	8.3	I
	2001	19	0.1	52	562	5620	3.97	25.3	5.6	II

1) Data fra Skei et al. (2002): stasjon 46

2) Data fra Rygg (1985): stasjon 22

rovlevende form som trolig har stor toleranse for forurensning. Så godt som alle individene var sterkt svertet på overflate og børster.

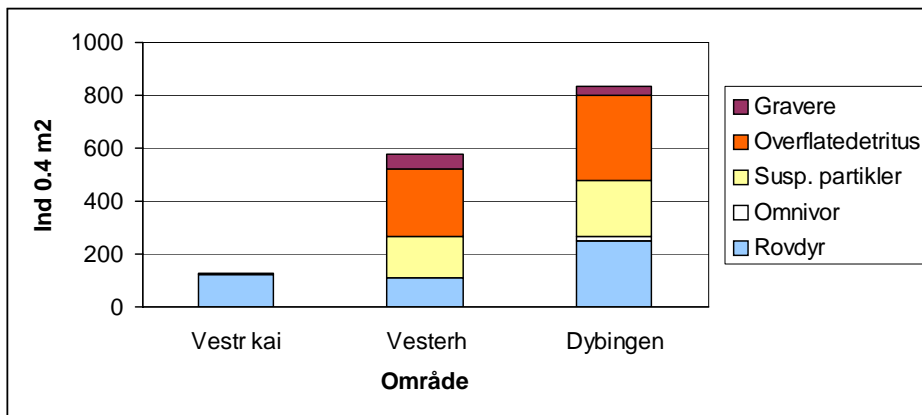
Ved undersøkelsen i 2001, da det ble tatt en enkeltprøve, ble det funnet 10 arter (Skei et al 2002). Denne prøven ble tatt noe lenger inn i Hanneviksbukta og i større avstand fra kaien. Også denne prøven var dominert av børstemarken *Phyllodoce*, men det var flere enkeltindivider av forskjellige arter tilstede. Etter SFTs kriterier falt prøven i tilstandsklasse III – mindre god tilstand, men vurderingen er usikker fordi en prøve er for lite til å bedømme tilstanden. Artssammensetningen indikerte dårlig tilstand.

På stasjon 44 sentralt i Vesterhavn ble det funnet en forholdsvis artsrik fauna med normalt individantall (Tabell 4, 5). Etter SFTs miljøkvalitetskriterier faller stasjonen i klasse II - god tilstand. Den dominerende formen, børstemarken *Chaetozone*, har høy toleranse for miljøpåvirkninger og finnes ofte i forurensede eller organisk anrikede sedimenter. Den nest vanligste arten, slangestjernen *Amphiura*, er vanlig i normale eller noe organisk anrikede sedimenter. I dette tilfellet var alle individene små og visuelt vurdert i dårlig forfatning. Mange individer av slangestjerner og børstemark hadde svertet overflate. Artssammensetningen ga inntrykk av at tilstanden var dårligere enn hva SFTs kriterier indikerte.

Sammenlignet med prøver fra 1983, som ble tatt i samme område, var tilstanden vesentlig forbedret. I 1983 dominerte *Chaetozone* sterkt sammen med flere andre børstemarker som også ofte opptrer ved organisk anrikning. Resultatene indikerte at fjorden i 1983 var organisk overbelastet. Trolig er den forbedrede tilstanden en følge av at tilførselen av forurensninger til fjorden er redusert, deriblant at utslippene av kommunalt avløpsvann er stanset.

På stasjon 17 ved Dybingen var det en artsrik fauna. Denne lokaliteten faller i klasse I – meget god tilstand - etter SFTs miljøkvalitetskriterier. Også på denne lokaliteten var det noe sverting på enkelte individer. Artssammensetningen må betraktes som normal med en variert sammensatt fauna. Det ble tatt en prøve på stasjonen i 2001, som også var svært artsrik (Skei et al. 2002). Resultatene for de to prøvetakingene samsvarer meget godt og hadde mange felles dominerende arter.

I Figur 5 er fordelingen av individer etter ernæringsmåte på de tre stasjonene vist. I et normalt organismsamfunn vil flere ulike ernæringsformer være representert. Stasjon 1 ved Vestre kai var helt dominert av rovdyr, mens de to andre stasjonene hadde en mer variert sammensetning av faunen. Den relative sammensetningen i Vesterhavn og ved Dybingen var ganske lik. Sammenlignet med upåvirkede områder var andelen av gravende former og tildels også av suspensjonernærende former lavere.



Figur 5. Fordeling av individene i Kristiansandsfjorden i 2002-2003 etter ernæringsmåte

**Tabell 5.** De 10 viktigste artene med individtetthet (ind/m<sup>2</sup>) på stasjonene i Kristiansandsfjorden 2002-2003 og ved tidligere prøvetaking. Resultater fra 1983 fra Rygg (1985) og fra 2001 fra Skei et al. (2002).

<b>Stasjon 1, Vestre kai</b>				<b>2001 (st. 46, 0.1 m<sup>2</sup>)</b>			
<b>2002 (0.4 m<sup>2</sup>)</b>				<b>2001 (st. 46, 0.1 m<sup>2</sup>)</b>			
	Individer	%	Kum %		Individer	%	Kum %
Phyllodoce mucosa	118	93.7	93.7	Phyllodoce mucosa	13	36.1	36.1
Edwardsia longicornis	2	1.6	95.2	Capitella sp	8	22.2	58.3
Capitella sp	2	1.6	96.8	Tubificoides benedii	6	16.7	75.0
Tubificoides benedii	2	1.6	98.4	Nemertinea indet	2	5.6	80.6
Harmothoe sp	1	0.8	99.2	Cirratulus cirratus	2	5.6	86.1
Polyphysia crassa	1	0.8	100.0	Chaetozone sp	1	2.8	88.9
-	-	-	-	Heteromastus filiformis	1	2.8	91.7
-	-	-	-	Philine quadrata	1	2.8	94.4
-	-	-	-	Natantia indet	1	2.8	97.2
-	-	-	-	Carcinus maenas	1	2.8	100.0

<b>Stasjon 44, Vesterhavn</b>				<b>1983 (st. 22, 0.4 m<sup>2</sup>)</b>			
<b>2002 (0.4 m<sup>2</sup>)</b>				<b>1983 (st. 22, 0.4 m<sup>2</sup>)</b>			
	Individer	%	Kum %		Individer	%	Kum %
Chaetozone sp	186	32.3	32.3	Chaetozone setosa	3474	80.5	80.5
Amphiura filiformis	120	20.8	53.1	Heteromastus filiformis	519	12.0	92.5
Nemertinea indet	47	8.2	61.3	Cirratulus cirratus	196	4.5	97.0
Prionospio fallax	30	5.2	66.5	Nemertinea indet	54	1.3	98.3
Echinocardium flavescens	17	3.0	69.4	Oligochaeta indet	21	0.5	98.8
Sosane sulcate	15	2.6	72.0	Eteone longa /flava	15	0.3	99.1
Philine scabra	11	1.9	74.0	Phyllodoce groenlandica	13	0.3	99.4
Montacuta sp	10	1.7	75.7	Glycera alba	8	0.2	99.6
Polyphysia crassa	10	1.7	77.4	Goniada maculata	2	0.05	99.7
Goniada maculate	9	1.6	79.0	Mya arenaria	2	0.05	99.7

<b>St. 17, ytre Vesterhavn</b>				<b>2001 (0.1 m<sup>2</sup>)</b>			
<b>2002 (0.4 m<sup>2</sup>)</b>				<b>2001 (0.1 m<sup>2</sup>)</b>			
	Individer	%	Kum %		Individer	%	Kum %
Prionospio fallax	205	24.6	24.6	Prionospio fallax	175	31.1	31.1
Thyasira flexuosa	75	9.0	33.5	Phoronis muelleri	69	12.3	43.4
Edwardsia cf. danica	54	6.5	40.0	Edwardsia longicornis	38	6.8	50.2
Nemertinea indet	48	5.7	45.7	Nemertinea indet	38	6.8	56.9
Phoronis muelleri	41	4.9	50.7	Philine quadrata	30	5.3	62.3
Hydrozoa indet	40	4.8	55.4	Magelona minuta	27	4.8	67.1
Corbula gibba	38	4.6	60.0	Thyasira flexuosa	22	3.9	71.0
Edwardsia longicornis	22	2.6	62.6	Trichobranchus roseus	16	2.8	73.8
Magelona minuta	21	2.5	65.1	Tharyx killariensis	15	2.7	76.5
Venus striatula	20	2.4	67.5	Mysella bidentata	12	2.1	78.6

### 3.4 Miljøgifter i organismer

#### 3.4.1 Materiale til analyse

I Hanneviksbukta (Vestre kai) var det få dyr i prøvene og vanskelig å finne tilstrekkelig materiale av bunnorganismer til analysene. I noen sledeprøver ble det fanget et par større individer av børstemarkene *Nereis* og *Nephtys*. Alt materialet ble slått sammen til en blandprøve som ble analysert for metaller og PCB/HCB (Tabell 6). Alle artene med unntak for *Capitella* er rovlevende former som normalt har tom tarm.

Korstroll som ble innsamlet ved dykking i januar 2003, ble også benyttet til analyse av metaller og PCB/HCB. For korstroll ble vev fra gonade og fordøyelseskjertel benyttet til analyse.

Alle individer som ble samlet fra ytre Hanneviksbukta ble slått sammen til en blandprøve og analysert for metaller (Tabell 6). Denne prøven inneholdt arter med ulike ernæringsformer.

Materialet fra Vesterhavn sentralt ble fordelt på tre prøver. Børstemark ble samlet i en prøve til analyse av metaller og PCB/HCB. I utgangspunktet ble det forsøkt å lage en blandprøve av bare rovlevende former, men materialet ble ikke tilstrekkelig. Noen gravende former ble derfor også tatt med i prøven (børstemarkene *Pectinaria*, *Diplocirrus*). Gravende former har bunnmateriale i tarmen som kan påvirke analyseresultatet, men prøven antas allikevel å være sammenlignbar med prøven fra Vestre kai.

Tabell 6. Oversikt over materiale til analyse av miljøgifter i organismer

Lokalitet	Dyp (m)	Prøvetype	Arter i prøven	Analyse
Hannevika Veste kai	15-25	Diverse børstemark	<i>Phyllodoce mucosa</i> , <i>Ophiodromus flexuosus</i> , <i>Nephtys</i> , <i>Nereis</i> , <i>Capitella</i> *	metaller, PCB/HCB
”	15-25	Korstroll	<i>Asterias rubens</i>	metaller PCB/HCB
Ytre Hannevika	30-35	Diverse bunndyr (børstemark, snegl og musling)	<i>Pectinaria</i> *, <i>Eteone</i> , <i>Nephtys</i> , <i>Phyllodoce</i> , <i>Philine</i> , pelikanfotsnegl, en ubestemt musling, nemertin	metaller
Vesterhavn sentralt	43-47	Diverse børstemark	<i>Pectinaria</i> *, <i>Goniada</i> , <i>Scalibregma</i> *, <i>Polyphysia</i> *, <i>Glycinde</i> , <i>Diplocirrus</i> *, <i>Nephtys</i> , <i>Glycera</i> , nemertin	metaller, PCB/HCB
”	”	Pigghud (kamstjerne)	<i>Astropecten</i> (en stor og en liten)	metaller
”	”	Diverse bløtdyr	<i>Nassarius</i> (?), kuskjell, knivskjell, to større muslinger av ubestemt art	PAH

\* Sedimentetere som normalt har bunn sediment i tarmen.

En større sjøstjerne (kamstjerne) ble analysert for metaller. Denne antas å være sammenliknbar med prøven av korstroll fra Vestre kai.

En blandprøve av bløtdyr (skjell og snegl) ble tatt til analyse av PAH. Denne prøven inneholdt rovdyr og suspensjonsernærende former, men ingen sedimentetere.

### 3.4.2 Metaller

Resultater fra analysene er vist i Tabell 7. Børstemark fra Vestre kai i Hanneviksbukta inneholdt høyere konsentrasjoner av alle metaller (unntatt krom og vanadium) enn børstemark fra Vesterhavn sentralt. Prøven med diverse bunndyr fra ytre Hannevika, som inneholder en vesentlig mengde børstemark, hadde generelt intermediære konsentrasjoner, men krom, vanadium og bly var høyest i denne prøven. Resultatene stemmer godt overens med en antatt avtagende gradient for metaller i sedimentene utover i fjorden fra Vestre kai (se Fig. 1). Dette kommer også til uttrykk i Figur 6, som gir en grafisk fremstilling av metallkonsentrasjonene i prøvene av børstemark fra Hannevika vestre kai og Vesterhavn sentralt.

Dersom en sammenlikner metallkonsentrasjonene i børstemark fra Hannevika vestre kai og Hannevika sentralt med metallkonsentrasjoner i børstemark (*Nereis diversicolor*) eksperimentelt eksponert for sediment fra Hannevika (tynnet 1:1 med rent sediment; gjennomsnitt av 3 replikater; fra Skei et al. 2002), vises det at kobber og sink har akkumulert til høyere konsentrasjoner i børstemark fra Vestre kai, enn i de eksperimentelt eksponerte børstemarkene. Sink var også høyere i børstemark fra Vesterhavn sentralt. Det må imidlertid bemerkes at børstemarken i eksperimentet fikk anledning til å tømme tarmen for eventuelle rester av sediment før analyse. Det var logistiske hindringer for dette for "villfanget" børstemark. Videre kan det nevnes at kobber og sink er "essensielle" metaller. Det betyr at de er viktige for kroppsegne prosesser i moderate konsentrasjoner og reguleres derfor til en viss grad av ulike organismer. Artsbestemte forskjeller i reguleringen av disse metallene kan gjøre seg gjeldende for forskjellene siden ulike arter av børstemark inngår i de ulike prøvene. Dette kommer sannsynligvis mer til uttrykk dersom en sammenligner på tvers av rekker (phyla), som f.eks. med pigghuder (se nedenfor).

Flere av metallene viste høyest konsentrasjoner i eksperimentelt eksponerte børstemark. Dette kan tyde på at manipulerede sedimenter (eksempelvis homogenisering og kontakt med luft) kan inneholde metaller som er mer tilgjengelige enn forurensede, naturlige sedimenter. Den observerte gradienten i bioakkumulering med avstand fra Vestre kai indikerer imidlertid at metallene i de forurensede naturlige sedimentene også er biotilgjengelige.

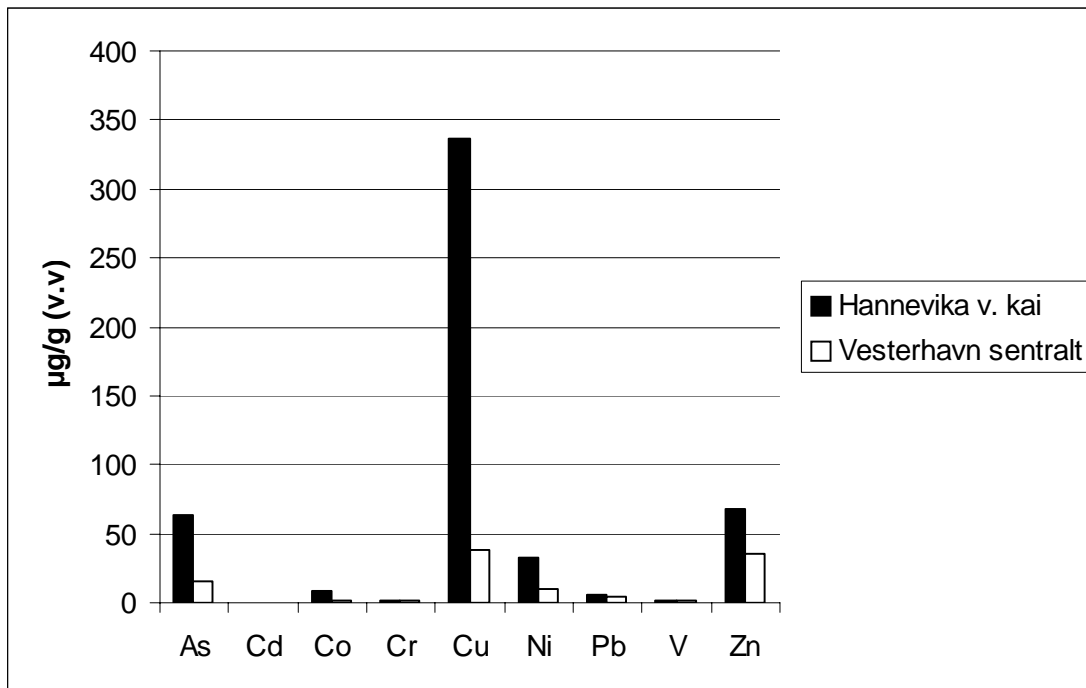
I Figur 7 er det gitt en grafisk fremstilling av metallkonsentrasjonene i prøvene av pigghuder fra Vestre kai og Vesterhavn sentralt. Sammenliknet med børstemark hadde pigghudene generelt lavere metallkonsentrasjoner (se også Tabell 7). Unntaket er sink, som hadde akkumulert til like høye konsentrasjoner i pigghudene som i børstemark. De generelt lavere metallkonsentrasjonene kan sannsynligvis forklares med at pigghudene ikke er like assosiert med sedimentet som børstemarkene. Forskjellen i viktigheten av sink forklares sannsynligvis med ulik evne til å regulere dette essensielle metallet (se over). I det ovennevnte bioakkumuleringseksperimentet (Skei et al. 2002) ble det også vist at snegler (*Hinia reticulata*) akkumulerte mer sink relativt til andre metaller enn det børstemark gjorde.

**Tabell 7.** Miljøgifter i prøver av bunndyr fra Hannevika Vestre kai, i ytre Hanneviksbukta og i Vesterhavn sentralt. Alle konsentrasjoner er på våtvektsbasis. n.a. = ikke analysert

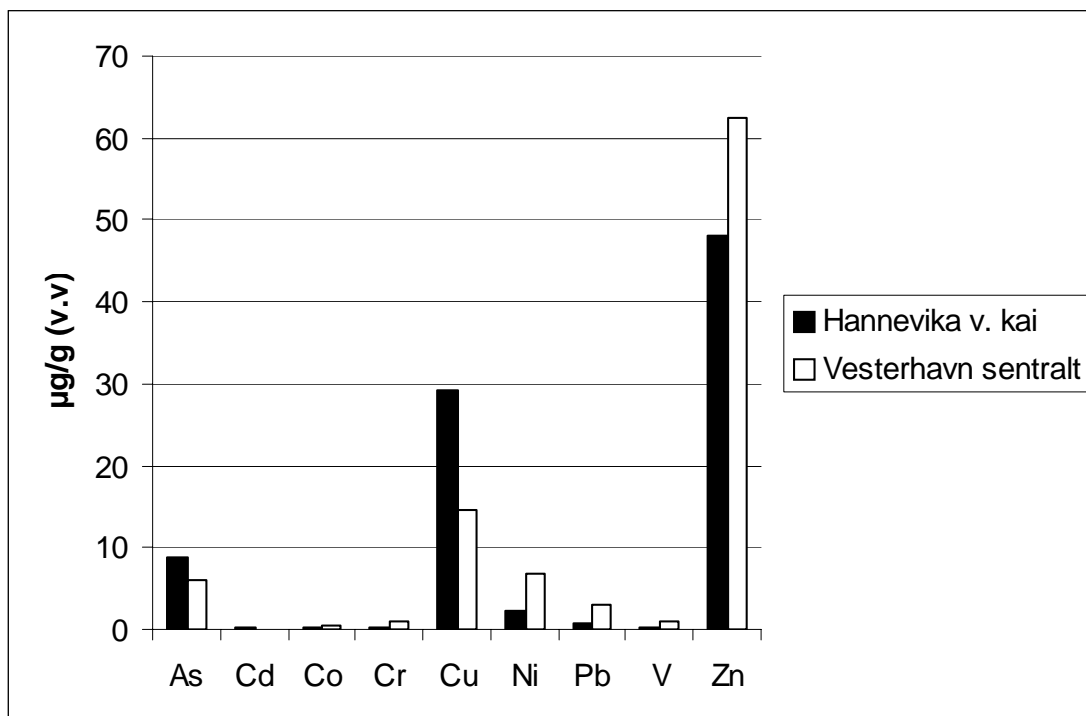
Metall (µg/g)	Hannevika v. kai. div. børstemark	Hannevika v. kai. korstroll	Ytre Hannevika div. bunndyr	Vesterhavn sentralt. div. børstemark	Vesterhavn sentralt. pigghud	Vesterhavn sentralt. div. bløtdyr
As	63,3	8,8	61,0	15,3	6,0	n.a.
Cd	0,7	0,2	0,1	0,1	0,0	n.a.
Co	8,8	0,2	2,6	1,1	0,4	n.a.
Cr <sup>1</sup>	0,8	0,1	5,1	1,4	1,1	n.a.
Cu	337,0	29,3	95,2	37,9	14,6	n.a.
Ni	32,2	2,3	26,8	9,5	6,7	n.a.
Pb	5,8	0,9	8,3	3,6	3,0	n.a.
V	0,8	0,1	4,3	1,8	0,9	n.a.
Zn	67,7	48,1	60,4	35,7	62,5	n.a.
<b>PCB</b>						
<b>(µg/kg)</b>						
CB28	0,0	0,0	n.a.	0,0	n.a.	n.a.
CB52	0,0	0,0	n.a.	0,0	n.a.	n.a.
CB101	1,5	1,5	n.a.	1,0	n.a.	n.a.
CB118	2,0	2,1	n.a.	1,3	n.a.	n.a.
CB153	2,7	3,5	n.a.	2,4	n.a.	n.a.
CB138	2,4	3,1	n.a.	2,1	n.a.	n.a.
CB180	0,9	0,2	n.a.	0,7	n.a.	n.a.
Sum- PCB	9,5	10,4	n.a.	7,5	n.a.	n.a.
<b>HCB<sup>1</sup></b>						
<b>(µg/kg)</b>	8,7	1,2	n.a.	11,0	n.a.	n.a.
<b>PAH<sup>2</sup></b>						
<b>(µg/kg)</b>						
NAP	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,0
ACNLE	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1,1
ACNE	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,0
FLE	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,0
PA	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	6,1
ANT	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	2,4
FLU	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	13,0
PYR	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	15,0
BAA	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	8,6
CHRTR	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	5,3
BBF	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	11,0
BKF	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3,9
BAP	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	5,9
ICDP	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	8,9
DBA3A	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,0
BGHIP	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	7,4
Sum- PAH	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	88,6

<sup>1</sup>Noe usikkerhet knyttet til konsentrasjonene av Cr og HCB.

<sup>2</sup>Naphtalene (NAP), acenaphtylene (ACNLE), acenaphtene (ACNE), fluorene (FLE), phenanthrene (PA), anthracene (ANT), fluoranthene (FLU), pyrene (PYR), benzo[a]anthracene (BAA), chrysene+triphenylene (CHRTR), benzo[b]fluoranthene (BBF), benzo[j,k]fluoranthene (BKF), benzo[a]pyrene (BAP), indeno[1,2,3-cd]pyrene (ICDP), dibenz[a,c/a,h]anthracene (DBA3A), benzo[ghi]perylene (BGHIP).



**Figur 6.** Metallkonsentrasjoner (µg/g, våtvekt) i prøver av børstemark fra Hannevika Vestre kai og Vesterhavn sentralt.



**Figur 7.** Metallkonsentrasjoner (µg/g, våtvekt) i prøver av pigghuder fra Hannevika vestre kai (korstroll; *Asterias rubens*) og Vesterhavn sentralt (kamstjerne, *Astropecten*).

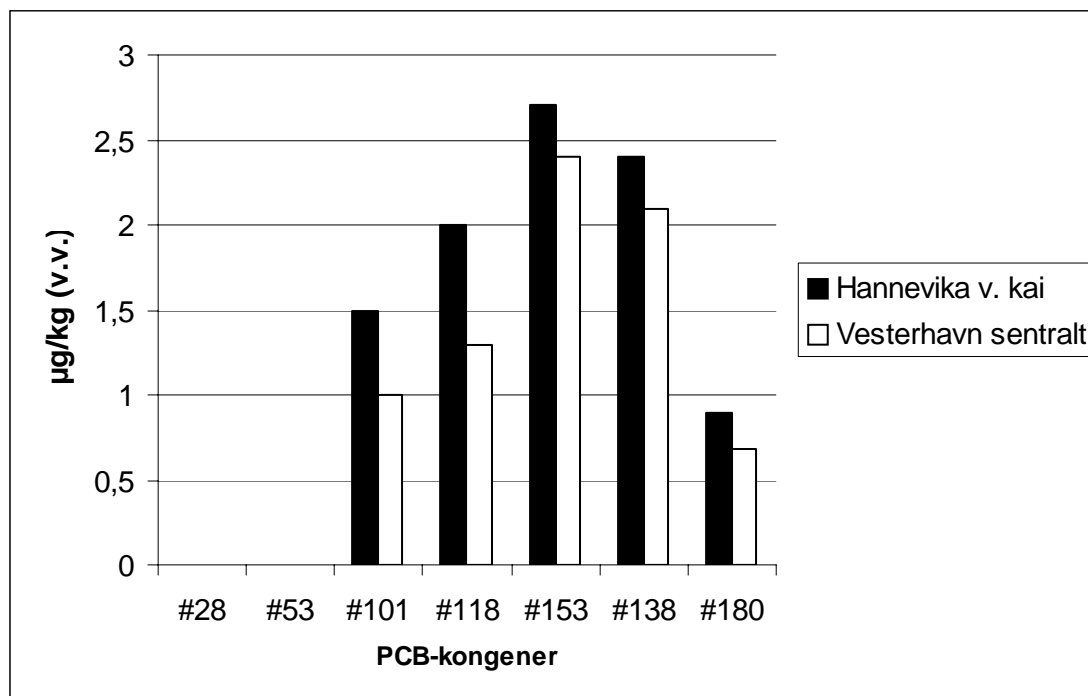
Pigghudene viste ikke de samme forskjellene i metallkonsentrasjoner mellom Vestre kai og Vesterhavn sentralt som det børstemark gjorde. Det må imidlertid bemerkes at prøven inneholdt forskjellige arter (se Tabell 6).

### 3.4.3 Klorerte organiske forbindelser (PCB og HCB)

Børstemark fra Vestre kai hadde høyere konsentrasjoner av polyklorerte bifenyler (PCB) enn børstemark fra Vesterhavn sentralt, både totalt og for enkeltforbindelser (Tabell 7; Figur 8). Dette stemmer godt overens med en antatt avtagende gradient av PCB i sedimentene utover i fjorden fra Vestre kai (se Fig. 1). For heksaklorbenzen (HCB) var det derimot motsatt med høyest konsentrasjon i prøven fra Vesterhavn sentralt (Tabell 7). Det kan også bemerkes at at HCB-konsentrasjonen i denne prøven var høyere enn konsentrasjonen av Sum-PCB (Tabell 7).

Næs & Rygg (2001) viste at sedimentkonsentrasjonene av HCB er meget høye over hele Vesterhavn, enkelte steder ekstreme (Fig. 1). Dette kan forklare de høye HCB-konsentrasjonene i børstemark, og at konsentrasjonene ikke avtok fra Vestre kai til Vesterhavn sentralt, som for de fleste metallene. Det må imidlertid bemerkes at kun én prøve ble analysert fra hvert sted, samt at laboratoriet rapporterte en viss usikkerhet knyttet til HCB resultatene siden det var lite prøvemateriale.

I motsetning til for metaller var PCB-konsentrasjonen i pigghudene (korstroll) fra Vestre kai noe høyere enn PCB-konsentrasjonen i børstemark fra samme lokalitet (Tabell 7). Korstrollene er, som nevnt, mindre assosiert med sedimentene. De kan imidlertid også ha akkumulert PCB via fødeveien. Korstroll er rovdyr som hovedsaklig spiser muslinger, og en viss grad av biomagnifisering kan ha forekommet. Biomagnifisering er akkumulering ved fødeopptak hvor konsentrasjonene øker fordi opptaket er større enn det nedbrytning og utskillelse.



**Figur 8.** Konsentrasjoner av PCB-forbindelser ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ , våtvekt) i prøver av børstemark fra Hannevika Vestre kai og Vesterhavn sentralt.



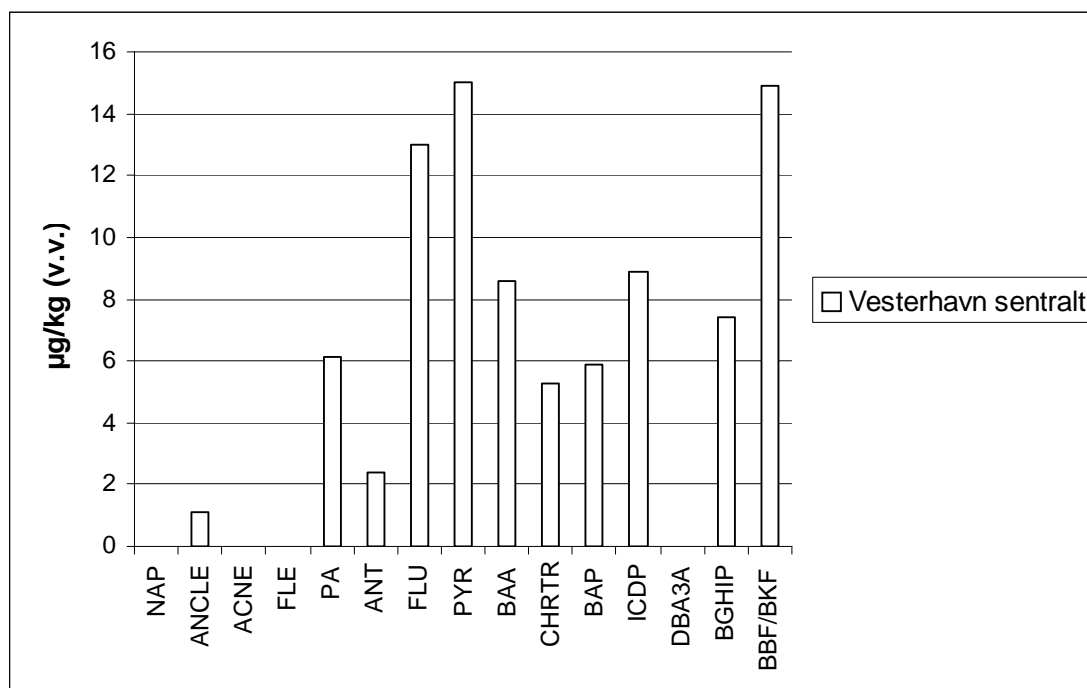
HCB var derimot vesentlig lavere i pigghuder (korstroll) fra Vestre kai enn i børstemark (Tabell 7). Dette kan være et resultat av høyere evne til å omdanne denne forbindelsen hos korstrollene, men igjen må det bemerkes at bare en prøve av hver av organismene er et lite grunnlag for å trekke slutninger.

### 3.4.4 Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)

På grunn av begrensede prøvemengder var det bare materiale til analyse av PAH i bløtdyr fra Vesterhavn sentralt. Resultatene er gitt i Tabell 7. Figur 9 gir en grafisk fremstilling av PAH-konsentrasjonene.

Dersom en sammenlikner disse resultatene med PAH som akkumulerte i snegl (*Hinia reticulata*) som var eksperimentelt eksponert for sedimenter fra Fiskå-bukta (tynnet 1:1 med rent sediment; fra Skei et al. 2002), vises det at bløtdyrene fra Vesterhavn generelt akkumulerte mindre PAH enn sneglene i eksperimentet. Dette kan være et resultat av at PAH-konsentrasjonene i sedimenter er betydelig høyere i Fiskåbukta enn i Vesterhavn (se Fig. 1).

Figur 9 viser at forbindelsene fluoranthene (FLU), pyrene (PYR) og benzo[b+j,k]fluoranthene (BBF/BKF) var de forbindelsene som akkumulerte til høyest konsentrasjoner i bløtdyrene fra Vesterhavn. Det var også tilfelle i de nevnte sneglene som var eksperimentelt eksponert for Fiskå-sediment (Skei et al. 2002). Disse forbindelsene var også de viktigste i sedimentet som ble benyttet i



**Figur 9.** PAH-konsentrasjoner (µg/kg, våtvekt) i prøve av bløtdyr (Mollusca) fra Vesterhavn sentralt. De enkelte forbindelsene er: naphthalene (NAP), acenaphtylene (ANCLE), acenaphtene (ACNE), fluorene (FLE), phenanthrene (PA), anthracene (ANT), fluoranthene (FLU), pyrene (PYR), benzo[a]anthracene (BAA), chrysene+triphenylene (CHRTR), benzo[a]pyrene (BAP), indeno[1,2,3-cd]pyrene (ICDP), dibenz[a,c/a,h]anthracene (DBA3A), benzo[ghi]perylene (BGHIP) og benzo[b+j,k]fluoranthene (BBF/BKF).

eksperimentet (Skei et al. 2002). Spesielt kan nevnes pyrene, som i eksperimentsedimentet var 97 ganger høyere enn kontrollsediment og som i børstemark akkumulerte til konsentrasjoner som var 214 ganger høyere enn for kontrollsediment. Dette viste at flere av forbindelsene, og særlig pyrene, bioakkumulerte i stor grad.

## 4. Vurderinger

Undersøkelsene har bidratt til å gi en god dokumentasjon på forurensningstilstanden i fjorden før overdekkingen av sedimentene. Sammen med sedimentkartleggingen i 2001 (Næs & Rygg 2001), prøvene av bunnfauna og eksperimentene med sediment (Skei et al. 2002) gir de et godt inntrykk av tilstanden i fjorden og biologiske effekter av forurensningene. I denne undersøkelsen har det vært lagt spesielt vekt på å få fram data som kan benyttes for senere sammenligninger når effekten av opprydningstiltakene skal vurderes. Prøvetakingen av bunnfauna er derfor gjennomført med metodikk som kreves ved overvåking av større resipienter.

Undersøkelsene av miljøgifter i bunnfauna har i tillegg gitt dokumentasjon på at miljøgifter fra sedimentene opptas i stedegne organismer. Undersøkelsene viste at det var forskjeller i akkumulerte konsentrasjoner i bunnfauna samlet på ulike steder i Kristiansandsfjorden. Disse forskjellene korresponderer med forskjeller i sedimentene i de respektive områder (Næs og Rygg 2001). Dette indikerer at miljøgiftene i sedimentene er biotilgjengelige. Resultatene samsvarer også godt med det som tidligere er vist ved eksperimentell eksponering av bunndyr (børstemark og snegl) for forurensede sediment fra Kristiansandsfjorden (Skei et al. 2002). Til sammen er dette ledd i en samlet dokumentasjon på at miljøgiftene spres til organismesamfunnene i fjorden.

Sedimentlevende bunndyr er en viktig næringskilde for mange bunnlevende fisk. Miljøgiftene i sedimentene representerer derfor en mulig risiko med hensyn på spredning fra sedimentene til fisk og andre organismer høyere i næringskjeden. Sedimentene med de høyeste konsentrasjonene av miljøgifter representerer den største risikoen.

## 5. Litteratur

- Knutzen J, Martinsen K, Næs K, Oehme M, Oug E. 1991. Tiltaksorientert overvåking av miljøgifter i organismer og sedimenter fra Kristiansandsfjorden 1988 og 1990. Statlig prog. forurensningsovervåk. rapport 443/91. NIVA rapport 2554. SFT/NIVA. 183 s.
- Knutzen J, Næs K, Berglind L, Biseth A, Brevik EM, Følsvik N, Schlabach M. 1998. Overvåking av miljøgifter i sedimenter og organismer fra Kristiansandsfjorden 1996. Statlig prog. forurensningsovervåk. rapport 729/98. NIVA rapport 3833. SFT/NIVA. 181 s.
- Molvær J, Knutzen J, Magnusson J, Rygg B, Skei J, Sørensen J. 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Statens forurensningstilsyn. Veiledning 97:03. 36 s.
- Næs K. 1985. Basisundersøkelse av Kristiansandsfjorden. Delrapport 2. Metaller i vannmassene, metaller og organiske miljøgifter i sedimentene 1983. Statlig prog. Forurensningsovervåk. rapport 193/85. NIVA rapport 1754. SFT/NIVA. 62 s.
- Næs K, Rygg B. 2001. Tiltaksplan for opprydding i forurensede sedimenter i Kristiansandsfjorden. Kartlegging av konsentrasjoner i sedimentet i 2001 samt kartfremstilling av resultater fra tidligere undersøkelser. NIVA rapport 4371-2001. 42 s.
- Rygg B. 1985. Basisundersøkelse av Kristiansandsfjorden. Delrapport I. Bløtbunnfaunaundersøkelser 1983. Statlig prog. Forurensningsovervåk. rapport 176/85. NIVA rapport 1711. SFT/NIVA. 60 s.
- Skei J, Olsgard F, Ruus A, Oug E, Rygg B. 2002. Risikovurderinger knyttet til forurensede sedimenter: med fokus på Kristiansandsfjorden. SFT rapport TA 1864/2002. Internett: [www.sft.no/publikasjoner/vann/1864/ta1864.pdf](http://www.sft.no/publikasjoner/vann/1864/ta1864.pdf)
- SFT 2003. Forurenset sjøbunn. Internett [www.sft.no/arbeidsomr/sedimenter/](http://www.sft.no/arbeidsomr/sedimenter/)

## Vedlegg A.

### Rapport fra tokt 4-5. desember 2002

Deltakere NIVA: Anders Ruus, Eivind Oug og Jarle Håvardstun

Havforskningsinstituttets fartøy F/F 'G.M Dannevig' var innleid for prøvetakingen.  
Deltakere HI: 3 stk mannskap.

#### Onsdag 4.12

12:00 Deltakerne fra NIVA ankom båten i Kristiansand.

12:00-19:45 Prøvetaking i Hannevika ved vestre kai ved Falconbridge. Innsamling av bunndyr til miljøgiftanalyser med van Veen bunngrabb og Sneli-slede.

20:00 Retur til kai i Kristiansand

Under prøvetakingen var det NØ frisk bris, lett regn og temperatur 1-3 C.

#### Torsdag 5.12

08:00-11:30 Prøvetaking i ytre Hannevika (syd av Binesboen) og sentralt i Vesterhavn. Innsamling av bunndyr til miljøgiftanalyser med trekantskrape og Sneli-slede.

12:00-13:30 Innsamling av kvantitative prøver med van Veen grabb for analyse av bunnfauna på stasjon ved vestre kai, Falconbridge.

14:00 Retur til kai og avstigning, Kristiansand.

Under prøvetakingen var det NØ frisk bris til liten kuling, oppholdsvær og temperatur 1-3 C.

## Vedlegg B.

Koordinater for kvantitative bunnfaunastasjoner og sledeprøver.

<b>Stasjon</b>	<b>Koordinater N</b>	<b>Koordinater Ø</b>	<b>Redskap</b>	<b>Kommentar</b>
<i>Kvantitativ bunnfauna</i>				
Hannevika Vestre kai, St.1	58 08,19	07 58,43	van Veen grabb	
Vesterhavn, st. 44	58 08,13	07 59,20	van Veen grabb	
Vesterhavn, Dybingen, st. 17	58 07,45	07 59,75	van Veen grabb	
<i>Sledeprøver</i>				
Hannevika Vestre kai start	58 08,21	0758,53	Sneli slede	Flere trekk slått sammen. Litt varierende dyp
Hannevika Vestre kai stopp	58 08,21	0758,38	Sneli slede	
Ytre Hannevika start.	58 08,21	0758,88	trekantskrape	
Ytre Hannevika stopp	58 07,94	0758,86	trekantskrape	
Vesterhavn sentralt start.	58 08,12	0759,35	trekantskrape	
Vesterhavn sentralt stopp	58 07,89	0759,24	trekantskrape	
Vesterhavn sentralt start.	58 08,13	0759,37	Sneli slede	
Vesterhavn sentralt stopp	58 08,04	0759,29	Sneli slede	

## Vedlegg C.

Fullstendige resultater for kvantitative prøver av bunnfauna 5. desember 2002 (st. 1) og 29. mai 2003 (st. 17 og st. 44). Alle data er for enkeltprøver (0.1 m<sup>2</sup> van Veen grabb).

Gruppe	Art \	Stasjon Prøve	Stasjon 17, ved Dybingen				Stasjon 44, Vesterhavn				Stasjon 1, vestre kai							
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
HYDROZOA	Hydrozoa indet		14	11	8	7												
ANTHOZOA	Cerianthus lloydii		1	1		2	1											
	Edwardsia cf. danica		19	16	6	13				3								
	Edwardsia longicornis		1	8	6	7	2	3	2	1	2							
PLATYHELMINTHES	Turbellaria indet		2	2		1												
NEMERTINEA	Nemertinea indet		19	9	7	13	15	10	15	7								
NEMATODA	Nematoda indet			1		1												
POLYCHAETA	Paramphinome jeffreysii					2	1		4									
	Enipo kinbergi			1														
	Gattyana cirrosa		1			2		2		1								
	Harmothoe antilopes		1	1														
	Harmothoe sp																	1
	Pholoe assimilis						2	1	1									
	Pholoe baltica		1	1	5	1												
	Eumida ockelmanni				1													
	Phyllodoce groenlandica					1												
	Phyllodoce mucosa											27	14	1				76
	Phyllodoce sp				1			1										
	Phyllococidae indet																	1
	Nereimyra punctata		1															
	Ophiodromus flexuosus		2	1	1	1	5			1								
	Exogone naidina									1								
	Syllidae indet							1										
	Eunereis longissimus									1								
	Nephtys hombergii		2	3	1	1												
	Nephtys incisa		1		3	1												
	Sphaerodorum flavum																	1
	Glycera alba				1	2		2	2	2								
	Glycera capitata					1												
	Glycinder nordmanni		1	1	1	1	1											
	Goniada maculata		1	3	2	1	1	4	4	1								
	Scoloplos armiger		1				1		1									
	Scoloplos sp		1	1	1	2												
	Polydora caulleryi		1															
	Polydora sp					5												
	Prionospio banyulensis		2															
	Prionospio cirrifer		2			1												
	Prionospio fallax		46	35	51	73	3	4	21	2								
	Prionospio multibranchiata							1	2									
	Magelona alleni		1		1	1												
	Magelona minuta		4	7	7	3												
	Chaetozone setosa		3	1	4	7												
	Chaetozone sp							32	98	28	28							
	Macrochaeta clavicornis							1	2									2
	Tharyx killariensis		4	3	3	7												
	Cossura longocirrata						1											
	Diplocirrus glaucus		1	1	1	2		1										
	Polyphysia crassa						2	3	4	1								1
	Scalibregma inflatum		4	1	1	1	2	1	1									
	Capitella sp						1											2
	Mediomastus fragilis					1		1	4	1								
	Myriochele sp								1									
	Owenia fusiformis						1											
	Pectinaria auricoma								1	1								
	Pectinaria belgica						1		1									
	Ampharete lindstroemi								1									
	Ampharete sp			1														
	Anobothrus gracilis					1												
	Sabellides octocirrata						5		2									
	Sosane sulcata			3	3	6		1	14									
	Amatea trilobata			1														
	Paramphitrite tetrabranchiata												1					
	Polycirrus sp		1	2	4													
	Scionella lornensis		1	1	1													
	Terebellides stroemi			2														
	Trichobranchus roseus		1	3		3												
	Jasmineira caudata		2			2	1	1	5									

## Fullstendige resultater for kvantitativ bunnfauna, forst.

Gruppe	Art \	Stasjon	Stasjon 17, ved Dybingen				Stasjon 44, Vesterhavn				Stasjon 1, vestre kai			
		Prøve	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
OLIGOCHAETA	Oligochaeta indet		2											
	Tubificoides benedii													2
PROSOBRANCHIA	Onoba vitrea			1										
	Lunatia alderi								1					
	Nassarius pygmaeus							1						
OPISTHOBANCHIA	Nudibranchia indet					3								
	Philine quadrata		3		5	2								
	Philine scabra			1	1	3		6	1	3	1			
	Cylichna alba				2	1								
CAUDOFOVEATA	Caudofoveata indet					1								
BIVALVIA	Bivalvia indet							2						
	Lucinoma borealis				1									
	Thyasira flexuosa		21	22	16	16		1	2					
	Montacuta cf. tenella								8					
	Montacuta sp							10						
	Montacuta tenella				1									
	Mysella bidentata		1	11	2	2								
	Parvicardium minimum			1							1			
	Dosinia exoleta					1								
	Venus striatula		2	7	7	4								
	Mysia undata		4	2		2								1
	Corbula gibba		12	13	4	9		1	1				2	
	Hiatella arctica			1										
	Thracia pubescens			1	2	1								
PYCNOGONIDA	Anoplodactylus sp				1									
CUMACEA	Eudorella truncatula		1											
AMPHIPODA	Ampelisca tenuicornis		1	3	2	4		1			1			
	Westwoodilla caecula								1					
DECAPODA	Ebalia cranchi								1					
SIPUNCULIDA	Golfingia sp		2	1		1								
PRIAPULIDA	Priapulus caudatus		1	3		1								
PHORONIDA	Phoronis muelleri		6	13	10	12								
OPHIUROIDEA	Ophiuroidea indet		3		2	2		1						
	Amphiura filiformis		1		2	1		40	33	21	26			
ECHINOIDEA	Brissopsis lyrifera				1			2	3					
	Echinocardium cordatum				1	3		1					1	
	Echinocardium flavescens		3	1	3	3		6		5	6			
HOLOTHUROIDEA	Labidoplax buski			1										