



DR-1754

# Rapport 193/85

Oppdragsgiver

Statens forurensningstilsyn

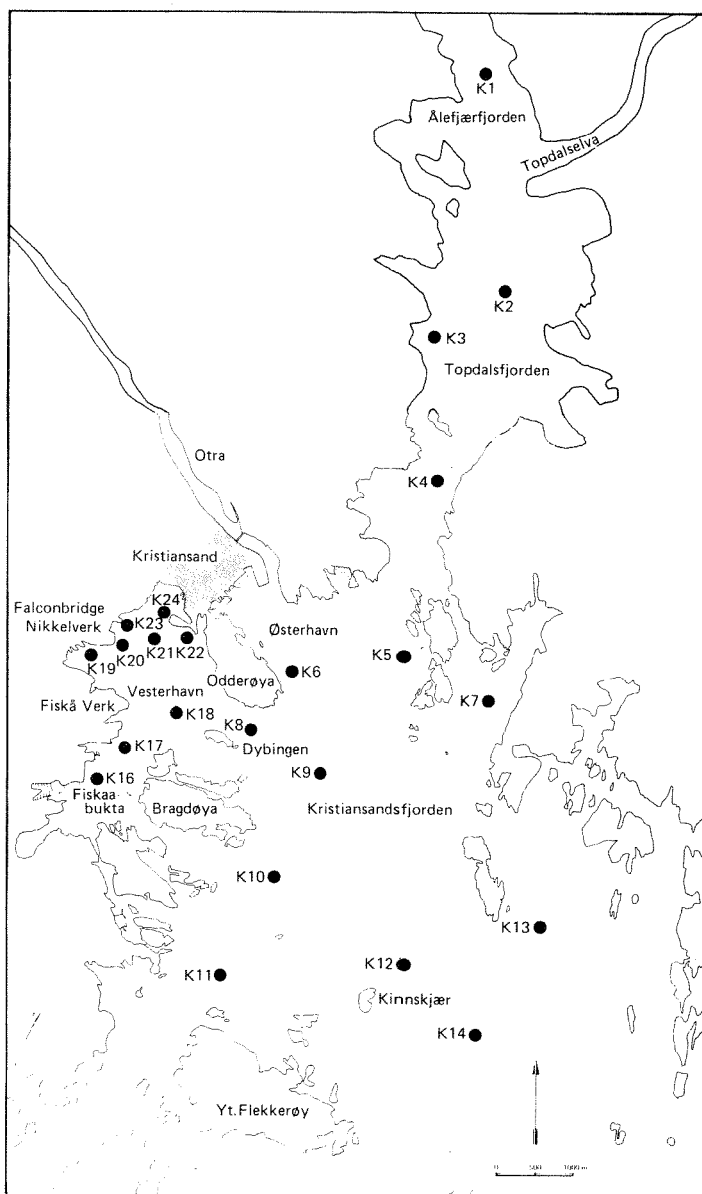
Deltakende institusjon

NIVA

## Basisundersøkelse av Kristiansandsfjorden

### Delrapport 2

Metaller i vannmassene,  
metaller og organiske  
miljøgifter i sedimentene, 1983





## Statlig program for forurensningsovervåking

Det statlige programmet omfatter overvåking av forurensningsforholdene i

**luft og nedbør  
grunnvann  
vassdrag og fjorder  
havområder**

Overvåkingen består i langsiktige undersøkelser av de fysiske, kjemiske og biologiske forhold.

Hovedmålsettingen med overvåkingsprogrammet er å dekke myndighetenes behov for informasjon om forurensningsforholdene med sikte på best mulig forvaltning av naturressursene.

Hovedmålet spenner over en rekke delmål der overvåkingen bl.a. skal:

**gi informasjon om tilstand og utvikling av forurensningssituasjonen på kort og lang sikt.**

**registrere virkningen av iverksatte tiltak og danne grunnlag for vurdering av nye forurensningsbegrensende tiltak.**

**påvise eventuell uheldig utvikling i resipienten på et tidlig tidspunkt.**

**over tid gi bedre kunnskaper om de enkelte vannforekomsters naturlige forhold.**

Sammen med overvåkingen vil det føres kontroll med forurensende utslipp og andre aktiviteter.

For å sikre den praktiske koordineringen av overvåkingen av luft, nedbør, grunnvann, vassdrag, fjorder og havområder og for å få en helhetlig tolkning av måleresultatene er det opprettet et arbeidsutvalg.

Følgende institusjoner deltar i arbeidsutvalget:

**Direktoratet for vilt og ferskvannsfisk (DVF)  
Fiskeridirektoratets Havforskningsinstitutt (FHI)  
Norges Geologiske Undersøkelser (NGU)  
Norsk institutt for luftforskning (NILU)  
Norsk institutt for vannforskning (NIVA)  
Statens forurensningstilsyn (SFT)**

Overvåkingsprogrammet finansieres i hovedsak over statsbudsjettet. Statens forurensningstilsyn er ansvarlig for gjennomføring av programmet.

Resultater fra de enkelte overvåkingsprosjekter vil bli publisert i årlige rapporter.

Henvendelser vedrørende programmet kan i tillegg til de aktuelle institutter rettes til Statens forurensningstilsyn, Postboks 8100, Dep. Oslo 1, tlf. 02 - 22 98 10.



# Statlig program for forurensningsovervåking

0-8000353

BASISUNDERSØKELSE AV KRISTIANSANDSFJORDEN

Delrapport II: Metaller i vannmassene,  
metaller og organiske  
miljøgifter i sedimentene, 1983.

Grimstad, 25. september 1985

Prosjektleder: Kristoffer Næs

# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Hovedkontor      Sørlandsavdelingen      Østlandsavdelingen      Vestlandsavdelingen  
Postboks 333      Gooseveien 36      Rute 866      Breiviken 2  
0314 Oslo 3      4890 Grimstad      2312 Ottestad      5035 Bergen - Sandviken  
Telefon (02)23 52 80      Telefon (041)43 033      Telefon (065)76 752      Telefon (05)25 53 20

Prosjektnr.:	0-8000353
Undernummer:	
Løpenummer:	1754
Begrenset distribusjon:	

Rapportens tittel: BASISUNDERSØKELSE I KRISTIANSANDS-FJORDEN. Delrapport II. Metaller i vannmassene, metaller og organiske miljøgifter i sedimentene, 1983. (Overvåkingsrapport nr. 193/85 )	Dato: 25. september-85
	Rapportnr. 0-8000353
Forfatter (e): Kristoffer Næs	Faggruppe: HYDROØKOLOGISK
	Geografisk område: Vest-Agder
	Antall sider (inkl. bilag): 62

Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn (SFT) (Statlig program for forurensningsovervåking)	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
---	----------------------------------

Ekstrakt: Sedimentene i Vesterhavn/Fiskaabukta-området er meget sterkt forurenset av metaller og organiske miljøgifter med konsentrasjoner opptil henholdsvis 800 og >10 000 ganger normalt. Konsentrasjoner av løst metall i vannmassene på opptil 80x normalt ble funnet for nikkel nær Falconbridge. Verdiene i Vesterhavn/Fiskaabukta for løste metaller generelt var <5 ganger normalt bortsett fra nikkel (20x). Utbredelsen av forurensningene tyder på Falconbridge Nikkelverk A/S som hovedkilde for metall og klororganiske tilførsler, mens Fiskaa Verk har hatt et tidligere utslipp av polysykliske aromatiske hydrokarboner. Bortsett fra klororganiske forbindelser var ytre fjordområde syd for Vesterhavn og også Topdalsfjorden lite forurenset. Otra, sannsynligvis i hovedsak fra Hunsfoss fabrikker, bidrar med persistent organisk bundet klor. Verdiene ved utløpet av elva var ca 1/10 av verdiene nær Falconbridge.

4 emneord, norske:
1. Forurensningsovervåking; 1983
2. Kristiansandsfjorden
3. Vann - sedimenter
4. Metaller
Klororganiske forbindelser
Polysykliske aromatiske hydrokarboner

4 emneord, engelske:
1. Pollution Monitoring; 1983
2. Kristiansandsfjorden
3. water - sediments
4. metals
chloroorganics
polycyclic aromatic hydrocarbons

Prosjektleder:

*Kristoffer Næs*

For administrasjonen:

*Jan Hauken*

*Poly Sørensen*

Programleder, overvåking

ISBN 82-577-0947-6

## FORORD

Foreliggende rapport utgjør en del av basisundersøkelsen i Kristiansandsfjorden under Statlig program for forurensningsovervåkning, administrert av Statens forurensningstilsyn (SFT). Undersøkelsene er finansiert av SFT, Kristiansand og Vennesla kommuner, Falconbridge Nikkelverk A/S, Elkem A/S-Fiskaa Verk, Hunsfoss Fabrikker og Høie Fabrikker og er gjennomført av NIVA etter oppdrag for SFT.

Denne delrapporten omhandler metaller i vannmassene og metaller og organiske miljøgifter i sedimentene. Andre deler av basisundersøkelsen omfatter:

- kartlegging av forurensningstilførsler
- beskrivelse av hydrofysiske forhold (ferskvannstilførsel, saltholdighet, oksygen, lagdeling, vannbevegelse og vannutskifting)
- vannkjemi/vannkvalitet (gjødselstoffer, planteplanktonbiomasse, vannets vekstegenskaper, partikkelinnhold og gjennomskinnelighet)
- dyrelivet på bløtbunn
- miljøgifter i organismer (tang, muslinger, fisk o.a.)

Analyser av metaller i vann, klororganiske forbindelser i sedimentet og scanning elektronmikroskopi er utført ved Senter for Industrieforskning (SI) ved henholdsvis Beate Enger, Kari Martinsen og Kari Baardseth.

Aldersdatering av sedimenter er gjort ved Harwell Environmental and Medical Sciences Division, England og analyser av metaller, organisk materiale og polysykliske hydrokarboner i sedimentet er utført ved NIVA's laboratorier.

Tom Einar Pedersen, Vannlaboratoriet, Agder Distriktshøgskole  
takkes for velvillig assistanse under feltarbeidet.

Ved NIVA har Jarle Molvær hatt ansvaret for koordineringen av  
delprosjektene.

Grimstad, september 1985

Kristoffer Næs

INNHOLDSFORTEGNELSE

	SIDE
FORORD	
1. KONKLUSJONER OG SAMMENDRAG	4
2. INNLEDNING	8
3. MATERIALE OG METODER	9
4. RESULTATER OG DISKUSJON	11
4.1. Metaller i vannmassen	11
4.1.1. Løst form	11
4.1.2. Partikulær form	18
4.2. Sedimenter	20
4.2.1. Generell beskrivelse	20
4.2.2. Metaller i sedimentene	24
4.2.3. Polysykliske aromatiske hydrokarboner, PAH	35
4.2.4. Klororganiske forbindelser	41
5. AVSLUTTENDE KOMMENTAR	50
6. LITTERATUR	51
7. APPENDIKS	54

## 1. KONKLUSJONER OG SAMMENDRAG

Undersøkelsene av metaller i vann og metaller og organiske miljøgifter i sedimentene, har hatt følgende hovedmål:

1. Kartlegge utbredelsen av forurensninger av metaller og organiske miljøgifter. Supplere tidligere undersøkelser.
2. Spore kilder og transport av forurensede utslipp.
3. Undersøke utviklingen i forurensningsbelastning.

Undersøkelsen har også hatt delmålene:

- kartlegge forholdet mellom løste og partikulære metaller
- registrere effekter, om mulig, av utslippsreduksjon fra Falconbridge Nikkelverk A/S juli 1982
- relatere sedimentenes sammensetning til typen av partikulært suspendert materiale i vannmassene.

Hovedkonklusjonene er:

- I Sedimentene i Vesterhavns/Fiskaabukta-området er meget sterkt forurensset av metaller og organiske miljøgifter med konsentrasjoner opptil henholdsvis 800 og >10 000 ganger normalt. Konsentrasjoner av løst metall i vannmassene på opptil 80x normalt ble funnet for nikkel nær Falconbridge. Verdiene i Vesterhavns/Fiskaabukta for løste metaller generelt var <5 ganger normalt bortsett fra nikkel (20x). Utbredelsen av forurensningene peker på Falconbridge Nikkelverk A/S som hovedkilde for metall og klororganiske tilførsler, mens Fiskaa Verk har hatt et tidligere utslipp av polysykliske aromatiske hydrokarboner.
- II Bortsett fra klororganiske forbindelser, var vann og sedimenter i ytre fjordområde syd for Vesterhavns og også Topdals-



fjorden lite forurenset. Otra tilfører persistent organisk bundet klor, sannsynligvis i hovedsak fra utslipp fra Hunsfoss fabrikk.

III Konsentrasjonene av løste metaller i vannmassene var i 1983 betraktelig redusert i forhold til midt i 70-åra. Vannprøver fra analyser av løste metaller er imidlertid for få til å dokumentere effektene av utslippsreduksjoner ved Falconbridge fra juli 1982. De høyeste konsentrasjonene av metaller og klororganiske forbindelser ble funnet i sedimentoverflaten, men dette er et gjennomsnitt av de siste 2-5 år, slik at utslippsreduksjoner i de seneste åra ikke avdekkes. Høye konsentrasjoner av polysykliske aromatiske hydrokarboner i sedimentene utenfor Fiskaa Verk skyldes sannsynligvis tidligere utslipp.

#### SAMMENDRAG

##### 1. Metaller i vannmassene

Nær Falconbridge Nikkelverk A/S var konsentrasjonene av løste metaller i vannmassene av nikkel ca 80 ganger normalt, kobber 6-10. Høye verdier ble også funnet for bly og kvikksølv, men analytiske problemer gjør verdiene usikre. I Vesterhavn/Fiskaa-bukta var metallkonsentrasjonene <5 ganger normalt, bortsett fra nikkel (20 x normalt). I ytre fjordområde dvs. øst og syd for Bragdøya-Odderøya (fig. 1) var verdiene normale. Falconbridge Nikkelverk A/S antas å være hovedkilden. Bidraget fra Otra var lite.

Sammenlignet med midt i 70-årene er konsentrasjonene betraktelig lavere. Hyppigheten av prøveinnsamlingen er imidlertid for liten til klart å dokumentere effekten av utslippsreduksjon ved Falconbridge fra juli 1982.

##### 2. Metaller i sedimentene

De høyeste konsentrasjonene for hele området ble funnet i Vesterhavn nær Falconbridge med opptil 800x normalverdi for

nikkel og 500 for kobber. Middelveidene i Vesterhavn/Fiskaa-bukta som helhet var: nikkel og kobber ca. 150x normalt, arsen 100, bly 35, krom 25, kobolt 10, sink 4 og jern 3x normalt.

Konsentrasjonene avtok raskt mot ytre fjordområde/syd for Odderøya-Bragdøya, som var lite forurenset med verdier på 1-5x normalt, høyest for nikkel.

Topdalsfjorden var svakt til moderat påvirket med verdier på 1-10x normalt. Mer enn 5x normalt ble målt for nikkel, kobber og bly og skyldes sannsynligvis tilførsler fra diverse aktiviteter (industri, avrenning fra jordbruk, flyplass o.s.v.).

Konsentrasjonene av kvikksølv, sink og kadmium var relativt lave i hele området, bortsett fra nær Falconbridge der kadmium var 10x forhøyet.

En tildels sterk innbyrdes sammenheng mellom nikkel på den ene siden og kobber, kobolt og jern ( $r = 0,75 - 0,95$ ) peker på Falconbridge som hovedkilde.

En vertikalprofil i sedimentet midt i Vesterhavn viste at de høyeste konsentrasjonene var i sedimentoverflaten. Resultatene fra overflatesedimentene (0-1 cm) gir imidlertid et gjennomsnitt for de siste 2-5 år. Effekten av utslippsreduksjonene fra Falconbridge kan derfor foreløpig ikke registreres med denne metoden.

### 3. Organiske miljøgifter i sedimentene

#### 3.1. Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH)

I Vesterhavn nær Fiskaa Verk var verdiene meget høye, opptil 800x bakgrunn og skyldes i hovedsak tidligere utslipp fra elektrodemassefabrikk og kjøletårn. Variasjon i konsentrasjon med sedimentdyppet viste at utslippene var redusert/opphevet.

I ytre fjordområde var verdiene ca 3x normalt.

### 3.2. Polyklorerte bifenyler (PCB)

Verdiene var relativt lave, lavere enn f.eks. i Oslofjorden eller i Hvalerområdet. Det er vanskelig å direkte angi overkonsentrasjoner på grunn av dårlig kjente bakgrunnsverdier. Verdiene i sedimentoverflaten var imidlertid 140x høyere enn på 8-10 cm dyp i sedimentene.

### 3.3. Klorerte benzener og klorerte styrener

I Vesterhavn, spesielt nær Falconbridge, var konsentrasjonene særdeles høye. Sammenlignet med den mest belastede delen av Frierfjorden var verdiene 60x høyere for klorbenzener og 15x høyere for klorstyrener. Det er vanskelig å angi kontamineringsgrad for disse miljøfremmede stoffene, men overkonsentrasjonene er i størrelsesorden 10 000 - 100 000 ganger jevnført med nivåer i sedimenter fra områder uten punktkilder.

Konsentrasjonene avtok raskt mot ytre fjordområde, men selv her var overkonsentrasjonene 10 - 1 000 ganger "normalt".

To til 34 % av den persistente klormengden var bundet til identifiserbare og kvantifiserbare forbindelser.

God samvariasjon mellom heksaklorbenzen/oktaklorstyren og nikkel ( $r = 0,99$ ) underbygger konklusjonen om Falconbridge som hovedkilde.

### 3.4. Ekstraherbart persistent organisk bundet klor

De høyeste verdiene ble funnet nær Falconbridge, imidlertid var verdiene nær utløpet av Otra (K6) også relativt høy, 1/10 av konsentrasjonen nær Falconbridge, men 10 ganger konsentrasjonen i ytre fjordområde. 2 % av de organiske klorforbindelsene lot seg identifisere på stasjon K 6, mens 23 % nær Falconbridge. Det kan tyde på annen sammensetning av disse forbindelsene som tilføres med Otra sammenlignet med de nær Falconbridge. Hovedkilde for tilførsler til Otra er sannsynligvis Hunsfoss fabrikk.

## 2. INNLEDNING

### Generell beskrivelse

Fjordområdene rundt Kristiansand deles her grovt i Topdalsfjorden med Ålefjærfjorden og selve Kristiansandsfjorden, fig. 1.

Kristiansandsfjorden har ingen terskler, mens Topdalsfjorden og Ålefjærfjorden har terskler på henholdsvis ca 40 m og ca 25 m dyp. Overflatelaget er preget av ferskvannstilførslen fra Otra (årsmiddel ca 150 m<sup>3</sup>/s) og Topdalselva (årsmiddel ca 60 m<sup>3</sup>/s).

Området tilføres store mengder forurensende stoffer fra kommunal kloakk og industrielt avløpsvann. Regnet som nitrogen og fosfor tilfører kommunalt avløpsvann fjordområdene og Otra ca. 82 000 p.e. I tillegg tilføres kommunal kloakk fra øvre deler av Otra.

Fra industri slippes det ut/har vært sluppet ut tildels store mengder forurensninger hvor spesielt metaller og klororganiske miljøgifter fra Falconbridge Nikkelverk A/S, polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) fra Fiskaa Verk og forurensninger fra treforedlingsindustri i nedre deler av Otra er viktige. En nøyere kartlegging av bedriftenes utslipp gjøres av Statens forurensningstilsyn.

### Tidligere undersøkelser

Etter ca 1915 er det utført en rekke undersøkelser dels av generell karakter som omhandler hydrografi/kjemi, geokjemi og biologi, og dels av spesiell karakter angående forskjellige sider ved forurensningssituasjonen i fjordområdet. En oversikt over dette er gjort av Molvær (1981).

### 3. MATERIALE OG METODER

Vannprøver for metallanalyser ble innsamlet den 18-19/4-83 og 22-23/11-83 med 1,7 l HydroBios vannhenter og trykkfiltrert med nitrogen gjennom 0,4 µm Nuclepore membranfiltre. Filtratet ble analysert for løst nikkel, kobber, jern, bly, kadmium, kvikksølv, sink, krom, arsen ved atomabsorpsjon etter MIBK-APDC ekstraksjon. Utvalgte filtre ble analysert ved scanning electronmikroskopi tilkopleet røntgenanalysator. Hensikten med to prøveinnsamlinger var å dekke vår/sommer og høst/vinter situasjon, perioder med forskjellig ferskvannstilførsel og primærproduksjon.

Sedimentprøver ble innsamlet 19-20/4-83, tilleggsprøver for PAH 23/11-83, med Niemistö "gravity corer" (Niemistö, 1974) og snittet i 1 eventuelt 2 cm (prøver for analyse av PAH, klororganiske forbindelser) intervaller. Prøvene ble analysert for organisk karbon, total nitrogen ved CHN-elementanalysator, for jern, sink, kobber, nikkel, krom, kadmium, kvikksølv, arsen ved atomabsorpsjon etter oppslutning med 50 % salpetersyre (ved NIVA). Prøver fra valgte stasjoner ble analysert for innhold av polisykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) ved gasskromatografi etter ekstraksjon med cyklohexan (ved NIVA) og for klororganiske forbindelser ved gasskromatografi/massespektrofotometer etter ekstraksjon (ved SI).

Analyser av metall- og PAH innhold ble gjort på størrelsesfraksjonen <63 µm. Kjerner fra tre stasjoner ble aldersdatert ved bly-210 isotopen (Harwell, England).

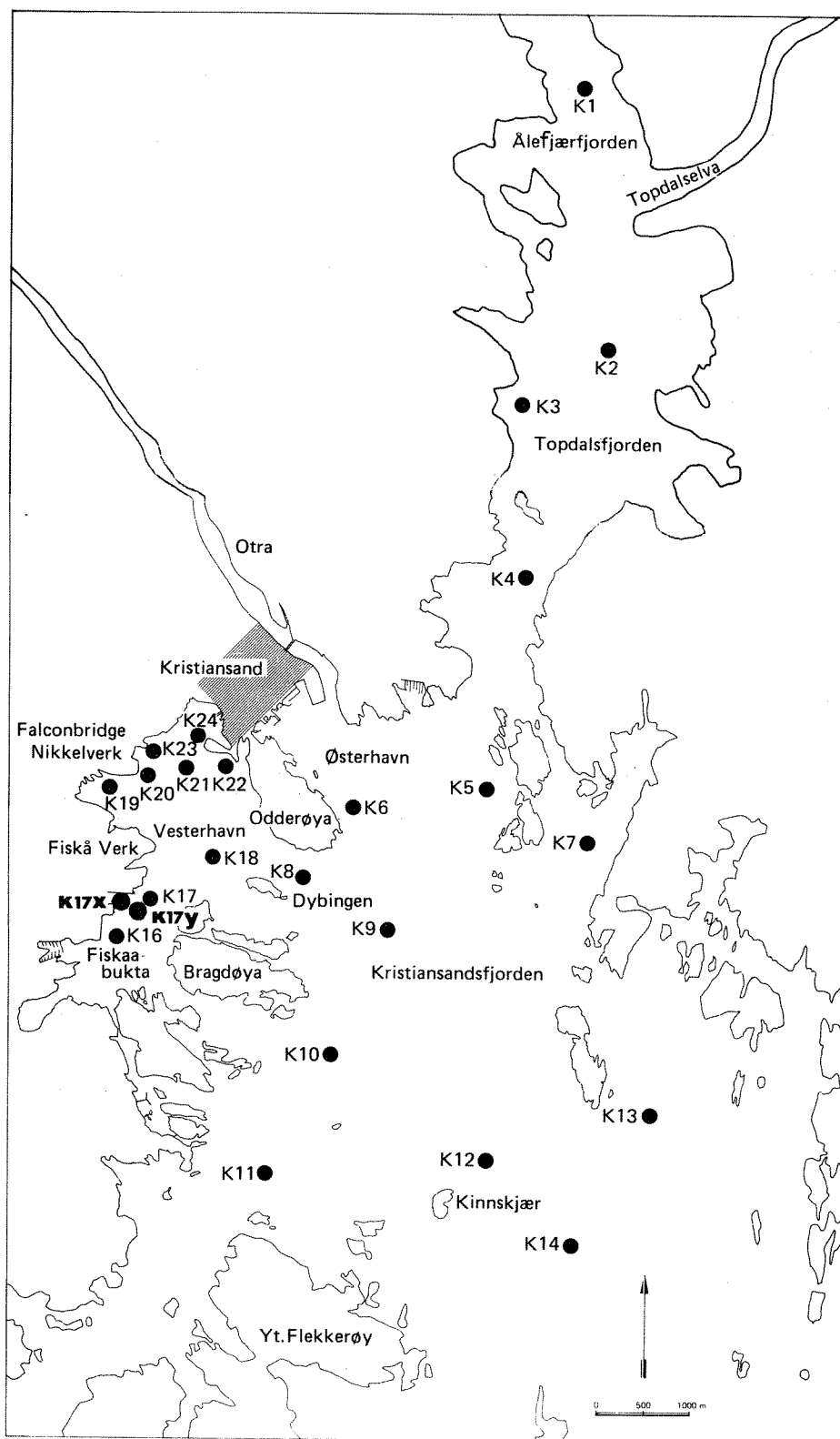


Fig. 1. Stasjonsoversikt.

#### 4. RESULTATER OG DISKUSJON

##### 4.1. Metaller i vannmassen

Nær Falconbridge Nikkelverk A/S var konsentrasjonene i vannmassene av løst nikkel ca 80 ganger normalt, kobber 6-10. Høye verdier ble også observert for bly og kvikksølv, men analytiske problemer gjør verdiene usikre. I Vesterhavn/Fiskaabukta var metallkonsentrasjonene generelt <5 ganger normalt bortsett fra nikkel (20x normalt). I området utenfor Bragdøya-Odderøya var verdiene normale. Falconbridge Nikkelverk A/S antas å være hovedkilden, mens bidraget fra Otra var lite.

##### 4.1.1. Løst form

Fjordområdet rundt Kristiansand tilføres metaller ved avrenning fra land/elvetransport og ved direkte utslipp fra industri og befolkning. Utslippstall fra de enkelte bedrifter er mangelfulle. Det dominerende bidraget må imidlertid antas å komme fra Falconbridge Nikkelverk A/S. Fabrikken reduserte sine utslipp i juli 1982. I følge opplysninger fra fabrikken var utslippene før og etter reduksjonen:

Tabell 1. Metallutslipp fra Falconbridge Nikkelverk A/S  
(kg/døgn).

	1981 (etter Molvær 1981)	Pr. jan/feb. 1983 Iflg. SFT
Ni oppløst i jernslam	ca 300 " 200	totalt 211
Cu oppløst i jernslam	ca 80 " 80	" 53
Co oppløst i jernslam	ca 10 " 10	" 9,4
Pb totalt	ca 100	" 0,13
As som jernarsenat	ca 450	" 0,5
Zn	ca 10	-
Fe som jernhydroksyd oppløst	ca 5000 " 1000	" 4,0

Det generelle bilde av metallanalysene (rådata i appendikstabell A1, s. 53) er forhøyede verdier i Vesterhavn/Fiskaabukta - området, og nær normale verdier i ytre fjordområder, det vil si selve Kristiansandsfjorden utenfor Bragdøya - Odderøya.

Sammenlignes verdiene med "normal-verdier" for relativt upåvirket kystvann (Riley & Chester 1971, Olafson 1982, Magnusson & Rasmussen 1982) observeres følgende overkonsentrasjoner (observert verdi dividert med "normalverdi"):

Tabell 2. Konsentrasjoner (k) i  $\mu\text{g/l}$  og overkonsentrasjoner (ok, observert verdi dividert med "normalverdi") i overflatevann (0-1 m) for arsen (As), kobber (Cu), nikkel (Ni), bly (Pb) og kvikksølv (Hg).

	April 1983									
	As		Cu		Ni		Pb		Hg	
	k	ok	k	ok	k	ok	k	ok	k	ok
Ved Falconbridge (høyeste verdi K20, 21 eller 23)	2,8	~3	8,6	~10	85	~80	1,7	~30	<0,04	<2
Midt i Vesterhavn (K18)	1,0	~1	3,9	~4	19	~20	<0,5	<10	<0,04	<2
Ytre fjordområde (K12)	0,8	~1	1,0	~1	2,2	~2	<0,5	<10	<0,04	<2
	November 1983									
	As		Cu		Ni		Pb		Hg	
	k	ok	k	ok	k	ok	k	ok	k	ok
Ved Falconbridge (høyeste verdi K20, 21 eller 23)	2,8	~3	5,7	~6	82	~80	25		2,2	~100
Midt i Vesterhavn (K18)	1,4	~1	1,5	~1	4,1	~4	<0,5	<10	0,2	~10
Ytre fjordområde (K12)	1,3	~1	1,1	~1	<1	<1	<0,5	<10	<0,04	<2



I det følgende er det valgt å definere svakt påvirket som overkonsentrasjoner <5, moderat 5-10 og sterkt >10.

Analyser av oppløste metaller er forbundet med forurensningsproblemer av prøven både ved innsamling og opparbeidelse. Den høye verdien av bly på 25 µg/l ved Falconbridge i november skyldes sannsynligvis slike forurensninger.

Bortsett fra nær Falconbridge i april var blyverdiene under deteksjonsnivå (0,5 µg/l). Det må imidlertid bemerkes at deteksjonsgrensen for bly er ca 10x høyere enn normalverdi.

Kvikksølv-konsentrasjonene var normale i april, men høye nær Falconbridge i november. Den høye verdien på 2,2 µg/l kan, som anmerket for bly, skyldes forurensninger av prøven. Imidlertid var verdien midt i Vesterhavn også relativt høy og det kan derfor tyde på støtutslipp. Kvikksølv er ikke påvist i avløpsvannet fra Falconbridge (miljøvernsjef Resmann pers. med.). Imidlertid er deteksjonsgrensen 10 µg/l på disse analysene, utført ved fabrikken, det vil si 500x normalverdi for upåvirket kystvann og derfor ubrukelig for kontrollformål.

Konsentrasjonene av nikkel, kobber og arsen nær Falconbridge var den samme i april og november, henholdsvis ~80, ~10 og ~3 ganger normalverdi. Verdiene for nikkel og kobber i Vesterhavn/Fiskaabukta som helhet var imidlertid signifikant (Mann-Whitney U-test) lavere i november enn i april. Gjennomsnitt (K16-K24) i april: nikkel 31 µg/l, kobber 5,1 µg/l, november: nikkel 15 µg/l, kobber 2,4 µg/l. Prøvetaking på kun to tidspunkt som her, gir selvfølgelig kun øyeblikksbilder. Forskjeller i konsentrasjonene mellom april og november kan skyldes forskjellige hydrografiske forhold og/eller variasjoner i utslipp.

Jern kan, i tillegg til industrielle tilførsler, i stor grad tilføres ved avrenning fra land. Variasjoner i konsentrasjon kan derfor være naturlige. Moderat forhøyede verdier ble funnet i april i Vesterhavn/Fiskaabukta og områder direkte påvirket av Topdalselva og Otra (appendikstabell A1, 2). Det siste må sees i sammenheng med snøsmelting og naturlige tilførsler. I november

var verdiene normale og ingen klare forskjeller i hele undersøkellesområdet.

Nikkel, kobber og arsen viste en til dels sterk innbyrdes sammenheng i Vesterhavn/Fiskaabukta med korrelasjonskoeffisienter fra 0,7 - 0,9, tabell 3 og figur 2.

---

Tabell 3. Korrelasjonskoeffisienter (r) mellom nikkel, kobber og arsen i vann fra Vesterhavn/Fiskaabuktaområdet (K16-K24, 0,5 m, n= 9).

April:	Ni	As: 0,73
		Cu: 0,93
November:	Ni	As: 0,93
		Cu: 0,74

---

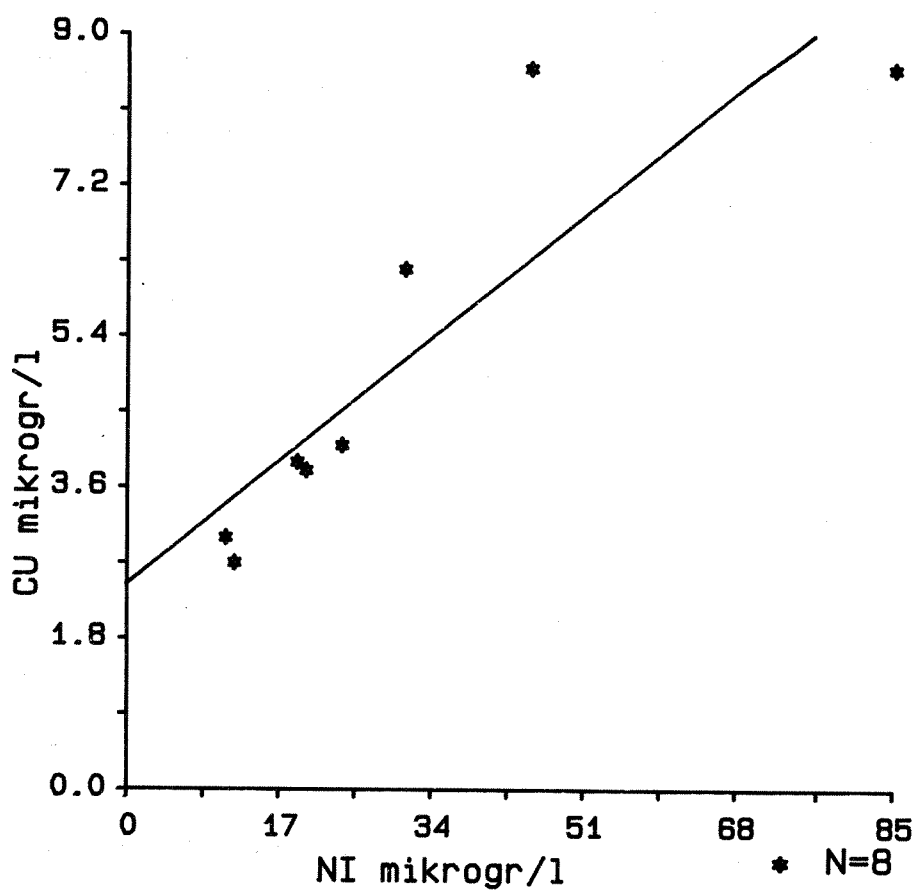
Denne sammenhengen indikerer at hovedkilden for disse metallene er Falconbridge. Bly og kvikksølv korrelerte ikke med nikkel på grunn av at verdiene i hovedsak var lavere enn deteksjonsgrensen. De høyeste verdiene ble imidlertid funnet nær Falconbridge.

Tidligere målinger av løste metaller i vannmassene i Kristiansandsområdet er gjort av blant annet Falconbridge, Agder Distriktshøgskole ved Hovland og Olsen (1980) og Senter for industriforskning ved Seip og Melhus (1980), tabell 4, 5 og 6.

NIVA: 1985-2 -18

OVERFLATEVANN (0.5m) VESTERHAVN/FISKÅBUKTA K16-K24.

18.04.88



$Y = 0.09X + 2.45$        $R = 0.88$        $P \leq 0.010$        $SD = 0.07$

Fig. 2. Korrelasjon nikkell-kobber i overflatevann (0-5 m) i Vesterhavn/Fiskaabukta, K16-24.

*Klar sammenheng mellom konsentrasjonene av nikkell og kobber.*

Tabell 4. Metallkonsentrasjoner i vann fra Vesterhavn/Fiskaabukta i 1970 (2 målinger) og 1975 (3 målinger) 0,5 m dyp. Analyser utført av Falconbridge Nikkelverk A/S. Verdiene er gjennomsnittlige for sammenslåtte målepunkter, stasjon 9, 10, 12, 13, 14, 15 i Falconbridge's eget måleprogram svarende til sentrale deler av Vesterhavn/Fiskaabukta.

	µg/l (ufiltrert)	
	1970	1975
As	10	<10
Cu	130	<10
Fe	20	<10
Ni	220	50
Pb	20	<20
Co	10	<10

Tabell 5. Gjennomsnittlige metallkonsentrasjoner ved Odderøya Fyr i perioden 8/11-1979 - 28/1-1980 (10 målinger fra automatiske prøvetakere, 7-17 dagers perioder), 0,5 m dyp. Analyser utført av SI (Seip & Melhuus, 1980).

	µg/l (ufiltrert)		
	$\bar{x}$	max	min
Cu	6,0	9,4	3,2
Fe	10,3	17,0	7,2
Ni	51	108	26
Pb	2,5	4,2	1,4
Zn	4,1	10,9	1,0
Co	3,4	5,0	1,9

Tabell 6. Gjennomsnittlige metallkonsentrasjoner ved Odderøya Fyr i perioden 9/9-82 - 7/10-82 (3 ukeblandprøver), 0,5 m dyp. Utslipp av jernslam fra Falconbridge stanset juli 1982, tallene er derfor ved nye utslippsforhold. Analyser ved NIVA/SI.

	µg/l (ufiltrert)		
	$\bar{x}$	max	min
As	0,5	0,8	<0,1
Cu	2,6	3,7	1,1
Fe	17,6	25,5	5,7
Ni	18,2	31	73
Pb	0,6	1,7	0,5
Zn	5,0	7,6	1,0
Co	1,2	2,5	<1,0

Tabell 7. Metallkonsentrasjoner i Vesterhavns/Fiskaabukta 18/4-83 og 22/11-83, 0,5 m (denne undersøkelsen gjennomsnitt fra stasjon K16-K24).

	µg/l (filtrert)					
	April			November		
	$\bar{x}$	max	min	$\bar{x}$	max	min
As	1,3	2,8	0,8	1,6	2,8	1,4
Cu	5,1	8,6	2,7	2,5	5,7	1,2
Fe	13,8	17,0	9,0	3,2	5,2	2,0
Ni	31	85	11	15	82	1
Pb	0,8	1,7	0,5		[25]	<0,5
Hg	-	<0,04	<0,04	1,1	2,2	<0,04

Konsentrasjonene i 1970 var ekstremt høye. Reduksjon til 1975 skyldes ifølge Falconbridge (Resmann pers. med.) generell reduksjon i utslipp og tildels prosessomlegging.

Det er vanskelig å sammenligne tallene i tabell 4-7 direkte fordi tallene beskriver øyeblikkssituasjoner eller korte tidsintervall med forskjellige hydrografiske forhold. Tallene må derfor tas som indikasjoner på konsentrasjonsnivåene i de angitte periodene. Det er imidlertid klart at det har vært en reduksjon i verdiene fra 1970 til idag. Materialet fra denne undersøkelsen er for lite til klart å påvise effektene av utslippsreduksjonene ved Falconbridge i 1982.

For å påvise eventuell utlekking av metaller fra sedimentene, ble prøver fra vertikalsnitt analysert. Dette viste for april avtagende konsentrasjoner med dypet, i november avtagende eller tilnærmet lik konsentrasjon. Utlekking av metaller fra sedimentene er derfor lite sannsynlig. Prøvetakingen var for grov til å fastslå at det ikke skjer utlekking overhodet, men sammenlignet med direkte utslipp må denne tilførselen være ubetydelig.

Konsentrasjonen av metall fra en stasjon nær utløpet av Otra (K6) viste både for april og november normale verdier. Det er derfor sannsynlig at Otra har lite å si for forhøyede konsentrasjoner i området.

#### 4.1.2. Partikulær form

Metaller finnes i både løst og partikulær form. Analyser av filtre ble utført for å sammenligne denne fordelingen (appendikstabell 2).

Analysene viste at nikkel i alt overveiende grad var i løst form. For kobber var det nær Falconbridge lik fordeling mellom løst og partikulært, mens ca 1/3 var i partikulær form i resten av området. Jern var overveiende i partikulær form, i overensstemmelse med ingen klare overkonsentrasjoner av løst jern.

Scanning elektronmikroskopi av filtre fra vannprøver nær Falconbridge viste finkornige partikler med høyt innhold av nikkel, kobber, jern og kobolt, fig. 3.

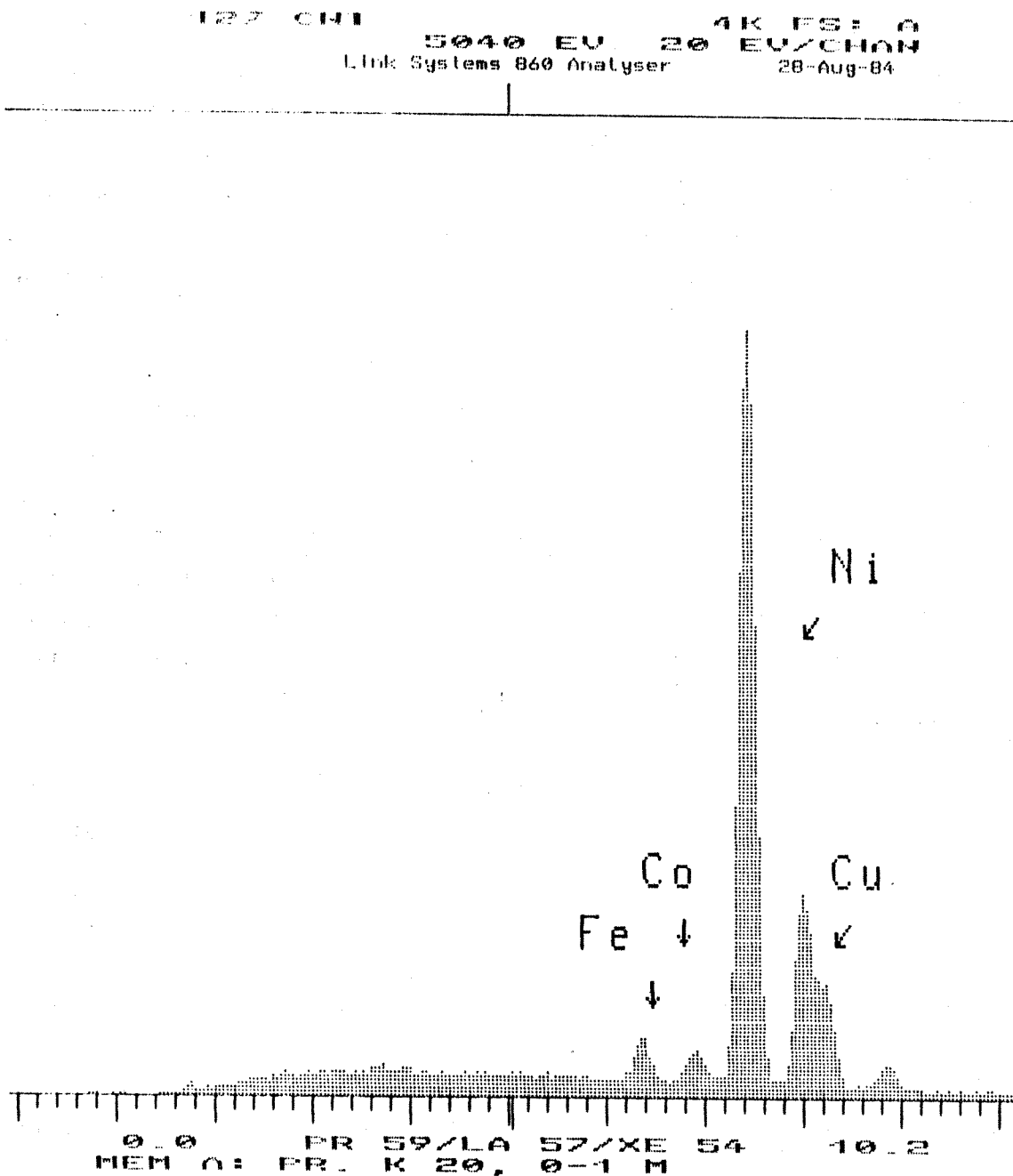


Fig. 3. Karakterisering av partikler i vannmassene nær Falconbridge Nikkelverk A/S ved hjelp av scanning elektronmikroskop tilkopleet røntgenanalysator.

*Partiklene hadde høyt innhold av nikkel, kobber, jern og kobolt.*

## 4.2. Sedimenter

### 4.2.1. Visuell beskrivelse, organisk innhold

-----  
Karakteristisk for sedimentene i Vesterhavn er påvirkning med jernhydroksyd fra utslipp fra Falconbridge Nikkelverk A/S. Høyest organisk innhold hadde sedimentene i Fiskaabukta p.g.a. dårligere vannutskifting og kloakktilførsler. I ytre fjordområde og i Topdalsfjorden var sedimentene normale.  
-----

Sedimentene tilføres organisk og uorganisk materiale fra avrenning fra land, kommunale/industrielle utslipp og fra biologisk produksjon i vannmassene. Naturlig har sedimenter i områder med god vannutveksling og gode strømforhold relativt lavt innhold av organisk materiale, mens områder med dårligere utskiftingsforhold og større tilførsler, vil ha høyere organisk innhold.

Tabell 8 gir en visuell beskrivelse av sedimentene i undersøkelsesområdet samt innhold av karbon og nitrogen. Området kan grovt deles i 3-4 typer. I Topdalsfjorden er sedimentene relativt organisk rike med total karbonverdier på ca 4 % som er naturlig for denne type fjord. I ytre fjordområde, det vil si utenfor Bragdøya - Odderøya inneholdt sedimentene mindre organisk materiale. Innholdet av karbon var 2-3 % som også er normalt for området. Det var ikke tegn til påvirkning fra renseanlegget i Korsvikfjorden (v/K7). Stasjonen ved utløpet av Otra, K6, hadde høyt organisk innhold dominert av fiber fra treforedlingsindustrien langs elva. Påvirkningen ser ut til å være lokal.

Sedimentene i Vesterhavn bar preg av organisk belastning med karbonverdier på 3-4 %. Det som imidlertid var karakteristisk for sedimentene her, var påvirkning med det tidligere utslippet av jernhydroksyd fra Falconbridge. Nær fabrikken var sedimentkjernen i 65 cm lengde fullstendig rustbrun av jernhydroksyd.



Høyest organisk innhold hadde sedimentene i Fiskaabukta (K16, 17) som skyldes dårligere vannutskifting, kloakkutslipp (3 stk) og noe påvirkning fra tremasseindustri.

Forholdet mellom karbon og nitrogen (C/N) gir informasjon om typen av det organiske materiale. Verdier fra 6-10 finnes i sedimenter hvor det organiske materiale er av marin opprinnelse. Stigende grad av karbonholdig materiale fra land medfører høyere verdier. I hele undersøkelsesområdet var verdiene mellom 10-15, som viser at det organiske materiale i moderat grad kommer ved avrenning fra land.

Tabell 8. Visuell beskrivelse av sedimentene med innhold av karbon (C) og nitrogen (N).

Stasjon	Dyp (m)	Kjerne- lengde (cm)	% C 0-1 cm	% N 0-1 cm	C/N	Anmerkninger
K1	65	50	4,2	0,42	9,9	35 cm anoksisk lag over leire
K2	76	55	4,1	0,42	9,7	12 cm mørkt organisk lag over 15 cm organisk blandet leire. Deretter leire.
K3	36	30	-	-	-	5 cm lys brunt organisk lag over lys leire.
K4	?	30	1,1	0,1	11,0	Lys grå silt. Øverste 5 cm mere organisk.
K5	51	30	0,9	0,08	11,6	Siltig. Øverste 2 cm mere organisk. Nederste 15 cm leire.
K6	130	30	4,4	0,29	15,1	Leire. Øverste 10 cm, i særdeleshet øverste 5 cm, mye fiber.
K7	77	40	2,5	0,21	11,9	Øverste 5 cm lys brun organisk over leire.
K8	125	40	2,9	0,21	13,9	Silt/sand. Øverste centimetre lys grå til- dels organisk. Rødbrune partikler, jernhydroksyd?
K9	200	65	2,8	0,24	11,8	Øverste 4 cm lys organisk over leire.
K10	143	60	3,0	0,23	12,9	Øverste 3-4 cm lyst organisk lag. Blåleire fra ca 10 cm.
K11	67	30	1,9	0,17	11,1	Øverste 2 cm lys brunt organisk. Silt til 10 cm deretter leire.
K12	244	30	2,5	0,19	13,1	2 cm lysebrunt organisk lag over leire.
K13	106	40	2,4	0,21	11,4	Øverste 20 cm organisk blandet leire/silt. Dypere ned blå-leire.
K14	263	45	2,1	0,17	12,5	Sandig silt med 2 cm organisk lag på toppen.
K16	17	40	-	-	-	Øverste 8 cm organisk rikt (ikke H <sub>2</sub> S lukt) Brunt organisk lag til 25 cm deretter leire.

Tabell 8 forts.

Stasjon	Dyp (m)	Kjerne- lengde (cm)	% C 0-1 cm	% N 0-1 cm	C/N	Anmerkninger
K17	67	40	6,2	0,44	14,0	5 cm lys brun organisk topplag deretter 10 cm sort lag. Dypere enn dette leire.
K18	44	25	4,8	0,31	15,4	Mørkt organisk lag til 8 cm deretter leire. Øverste ½ cm brun, muligens iblandet jernhydroksyd.
K19	22	80	-	-	-	Til 65 cm fullstendig rødbrun av jernhydroksyd. Øverste 15 cm fnokker.
K20	31	50	1,0	0,11	9,1	Øverste 10 cm helt rustbrun av jernhydroksyd. Dypere enn 35 cm sandig silt.
K21	30	18	3,6	0,35	10,1	1,5 cm jernhydroksyd lag over ca 5 cm mørkt organisk lag, deretter sandig silt. Slagg- lignende materiale i prøven. 23
K22	40	28	4,1	0,35	11,7	1 cm lys brunt organisk lag med muligens noe jernhydroksyd, deretter mørk organisk.
K23	24	30	3,3	0,24	10,2	Øverst 2 cm påvirket av jernhydroksyd. Mørk organisk til 20 cm deretter silt.
K24	24	20	3,9	0,27	14,3	Øverste ½ cm brunlig organisk med muligens jernhydroksyd, deretter mørk organisk.

#### 4.2.2. Metaller i sedimentene

-----  
Sedimentene i Vesterhavnområdet er sterkt, tildels meget sterkt forurenset av nikkel, kobber, bly, arsen og kobolt. Hovedkilden er Falconbridge Nikkelverk A/S. Ytre fjordområde og Topdalsfjorden er henholdsvis svakt og svakt til moderat påvirket.  
-----

Som for løste metaller i vannmassene, kan fjordområdene rundt Kristiansand deles inn i 3-4 typer etter metallbelastning i sedimentene (rådata i appendikstabell A3). Tabell 9 gir en oversikt over konsentrasjon og overkonsentrasjon i de forskjellige områdene. Overkonsentrasjonen er observert verdi dividert med bakgrunnsverdi. Som bakgrunn er her brukt konsentrasjonene i 15 dyp i kjernen fra stasjonen midt i Vesterhavn, Kl8, appendikstabell A2.

I teksten er området med overkonsentrasjoner <5 betegnet som svakt påvirket, 5-10 som moderat og >10 som sterkt påvirket.

I Topdalsfjorden var det svake til moderate overkonsentrasjoner avhengig av metalltype (tabell 9). Mer enn 5x bakgrunn ble observert for nikkel (7), bly (10) og kobber (6). Dette skyldes sannsynligvis generell påvirkning fra aktiviteter som industri, landbruk, flyplass o.s.v.

I ytre fjordområde, generelt representert ved stasjonen mellom Kinnskjær og Dvergsøy, Kl2, hadde svake overkonsentrasjoner mellom 1 og 5, med høyest for nikkel.

Høyeste konsentrasjoner for hele området ble funnet nær Falconbridge med overkonsentrasjoner opptil 800x. Dette viser at hovedkilden for metallforurensningen i sedimentene er Falconbridge. Selv om de meget høye verdiene ble funnet nær hovedutslippene, er verdiene i Vesterhavn/Fiskaabukta som helhet meget høye, tabell 9 og figur 4.

Kvikksølv (Hg), sink (Zn) og kadmium (Cd)-konsentrasjonene var

relativt lave i hele området. Kadmium var imidlertid ca 10x forhøyet nær Falconbridge og ca 5x forhøyet nær Fiskaa Verk. Det sistnevnte kan skyldes utslipp (i hovedsak tidligere) av polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) fra Fiskaa Verk hvor kadmium kan være knyttet til disse utslippene. Tilsvarende observeres f.eks. i Årdalsfjorden (Baalsrud 1985 in prep.).

Generelt avtok verdiene raskt mot ytre fjordområde som kun er svakt påvirket, fig. 5.

Aldersdatering av sedimentet fra stasjonene midt i Vesterhavn, Kl8, ble utført for å beregne årlige tilførsler og om mulig, påvise historisk utvikling i belastning. Sedimenttilveksten utfra bly-210 analyser ble bestemt til ca 4 mm/år. Antar vi konsentrasjonene på stasjon Kl8 som et gjennomsnitt for området Vesterhavn/Fiskaabukta på ca 3 km<sup>2</sup>, vanninnhold i øvre 2 cm lik 60 % og egenvekt av tørt sediment 2,3 g/cm<sup>3</sup>, vil de midlere årlige metalltilførslene utfra 1983-konsentrasjoner være som gitt i tabell 10.

Tabell 9. Sedimentkonsentrasjoner k, ( $\mu\text{g/g}$  tørt sed.,  $<63 \mu\text{m}$ , jern i %) og overkonsentrasjoner ok, (observerte verdi dividert med "bakgrunn") for nikkel (Ni), kobolt (Co), bly (Pb), kadmium (Cd), sink (Zn), krom (Cr), jern (Fe), kobber (Cu), arsen (As), kvikksølv (Hg).

	Ni		Co		Pb		Cd		Zn		Cr		Fe		Cu		As		Hg	
	k	o.k	k	o.k	k	o.k	k	o.k	k	o.k	k	o.k	k	o.k	k	o.k	k	o.k	k	o.k
Topdalsfjorden																				
K2	77	7	11	2	202	10	0,25	2	289	5	64	4	2,8	1	69	6				
Ytre fjord																				
K12	55	5	19	4	67	3	0,07	1	94	2	34	2	2,4	1	33	3				1
Vesterhavn																				
K18	1520	150	68	10	668	35	0,13	2	228	4	446	25	6,0	3	1539	150	2700	100		
Nær Falcon- bride																				
K19, 20, 23	8200	800	472	80	1070	50	0,5	10	232	4	318	20	36,2	15	5778	500	7900	400	0,41	4

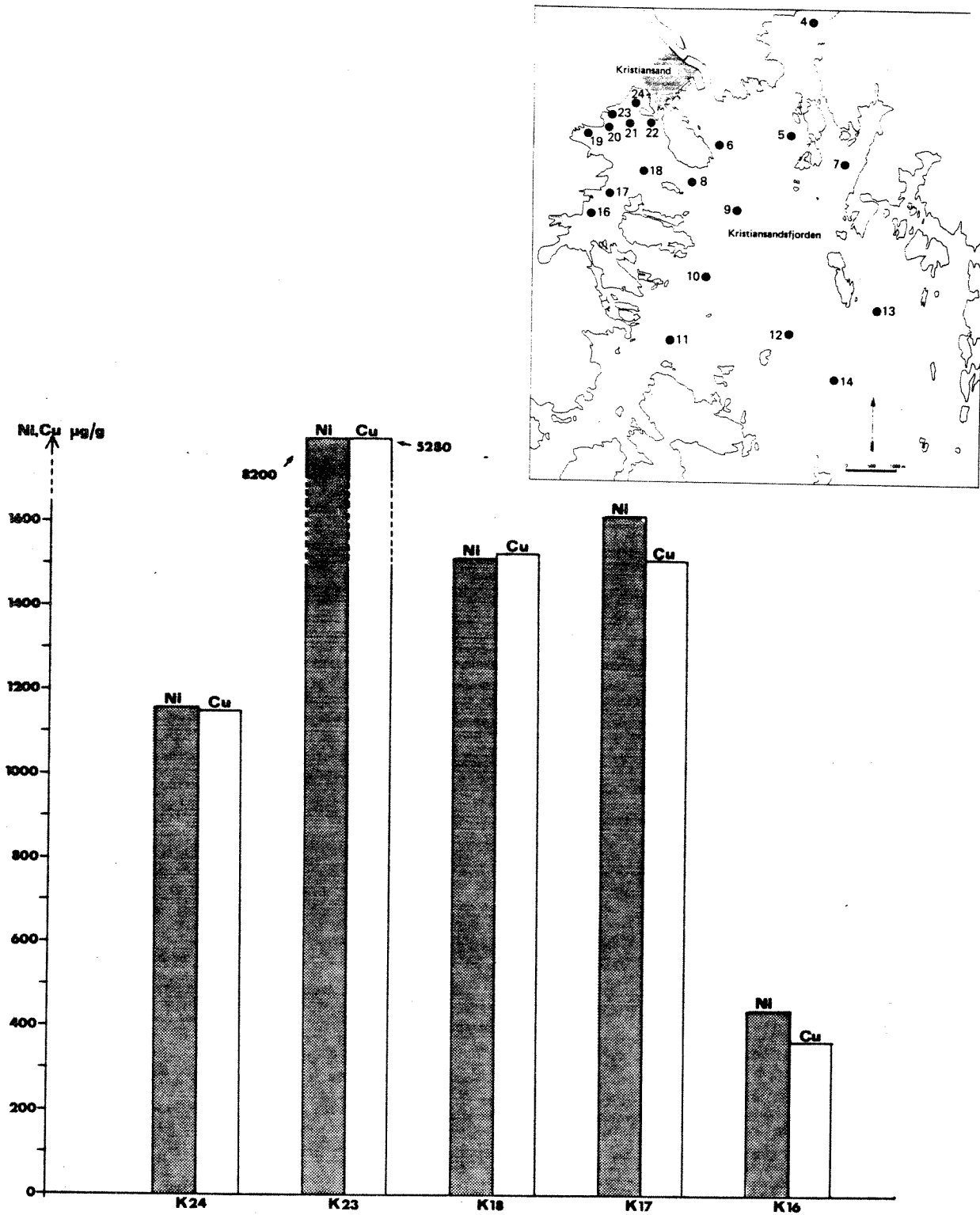


Fig. 4. Nikkel (Ni) og kobber (Cu) konsentrasjoner i overflatesedimentet (0-1 cm) i Vesterhavn/Fiskåbukta.

*Svært høye konsentrasjoner i Vesterhavn.  
(NB! brutt skala for st. K23).*

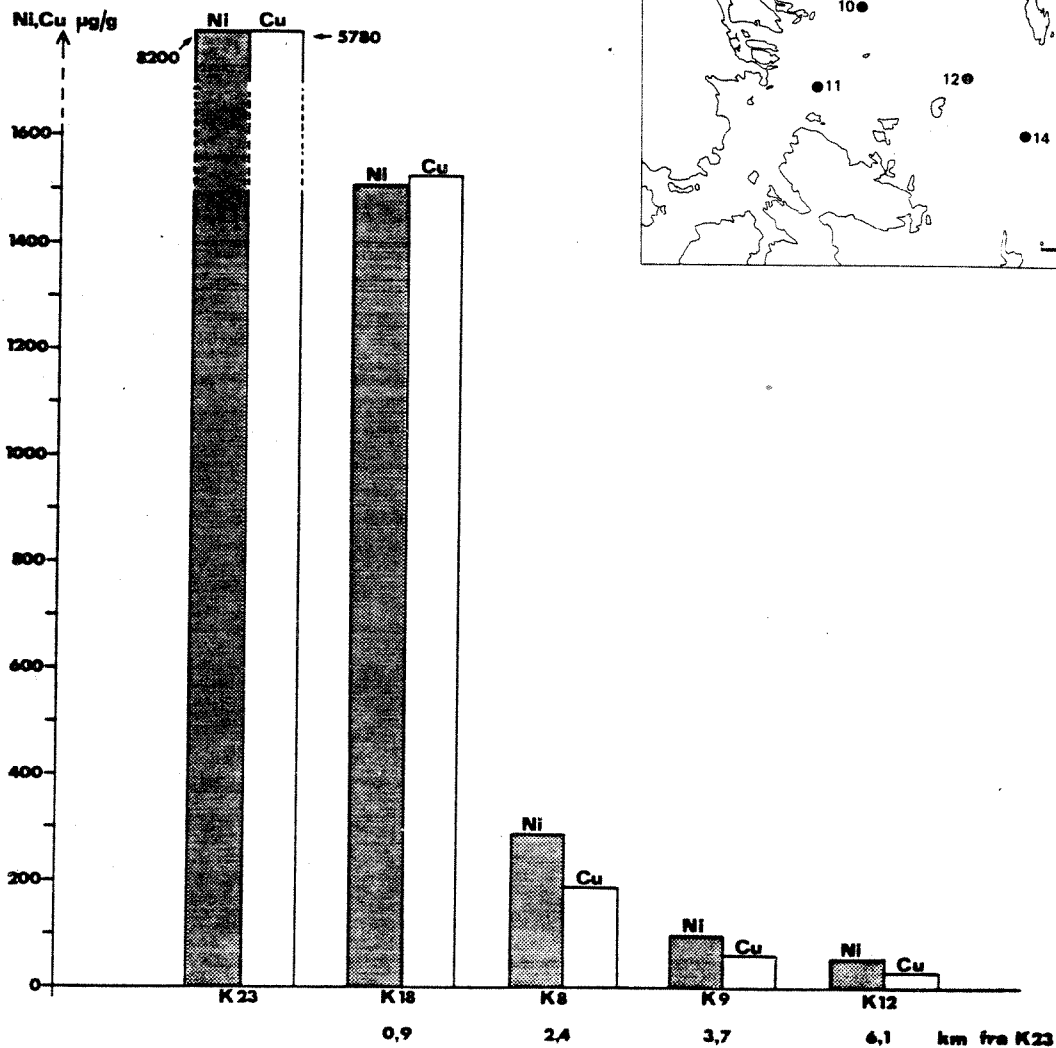


Fig. 5. Nikkel (Ni) og kobber (Cu) konsentrasjoner i overflatesedimentet (0-1 cm) i Kristiansandsfjorden.

Høye konsentrasjoner i hele Vesterhavn/Fiskaabukta.  
(NB! brutt skala for st. K23).



---

Tabell 10. Beregnede årlige metalltilførsler til sedimentene i Vesterhavn/Fiskaabukta ut fra 1983-konsentrasjoner.

Nikkel	10 t
Kobber	10 t
Jern	370 t
Bly	4 t
Arsen	17 t
Kobolt	0,4 t
Krom	3 t

---

Tallene er usikre, men indikerer belastningen på området. Siden Falconbridge reduserte sine utslipp i juli 1982 og 0-1 cm snitt i sedimentet gir gjennomsnittkonsentrasjonen for ca 3 år, er det sannsynlig at belastningen i 1983 var mindre enn dette. Utslippene av metaller ble ytterligere redusert vinteren 1985.

Sammenlignes tallene med utslippstallene fra Falconbridge, som ikke representerer totale tilførsler, men hovedkilden, (tabell 1) er de beregnede tilførslene mindre enn 20 % av fabrikkens utslipp før reduksjonen i 1982 (kobolt ca 50 %). Det betyr at en relativ stor del av tilførslene transporteres ut av Vesterhavn-området. Dette gjelder metaller både i løst og partikulær form, og er i overensstemmelse med at forurensningspartiklene identifisert ved scanning elektronmikroskopi viste at disse partiklene var meget finfordelte. Stor fortynning i ytre fjordområde gjør at konsentrasjonene her er relativt lave.

Analyser av metallkonsentrasjonene i sedimentdypet ble gjort på en stasjon i Vesterhavn (K18) og en stasjon i midtre område (K9). Figur 6 viser resultatene for nikkel og kobber. Formen på kurven fra K18 tilsier kun svak omblending av gravende organismer (bioturbasjon), mens den rette linjen fra K9 viser at sedimentet er gjennomblandet. Dette er i overensstemmelse med faunaanalysene (Rygg 1985), som viste nedsatt diversitet på K18 med fravær av organismer som normalt i stor grad er ansvarlig for omblendingen. Aldersdateringen hadde for dårlig oppløsning til

nøyaktig å tidfeste økningen i konsentrasjon på stasjon K18. Sedimentnivået 2-4 cm ble som et gjennomsnitt **aldersdagert** til 1978 og nivået 4-6 cm til 1901. Sedimenttilveksten kan ikke anvendes direkte på grunn av kompaksjon av sedimentet med dypet og dermed avtagende tilvekst.

Den innbyrdes sammenhengen mellom metallene kan gi informasjon om kilder og spredning. Tabell 11 viser en korrelasjonsmatrise mellom stasjoner i Vesterhavn/Fiskaabukta (K16-24) og fra ytre område (K5-14). Kadmium er utelatt på grunn av lave, relativt stabile verdier, kvikksølv og arsen på grunn av resultater fra kun et fåtall av stasjonene. I Vesterhavnområdet var det en sterk korrelasjon mellom nikkel og kobber, kobolt og jern, noe svakere mellom nikkel og bly. Dette illustrerer at Falconbridge er hovedkilden for disse metallene. Sink korrelerte sterkt med organisk materiale (Tot-N, TOC). Krom viste ingen korrelasjon med de andre metallene. De høyeste verdiene for krom var på stasjon K18 midt i Vesterhavn og kunne tyde på andre kilder enn Falconbridge.

I ytre område var det fremdeles en meget sterk korrelasjon mellom nikkel og kobber. Samvariasjonen mellom nikkel og kobber verdiene fra alle stasjonene, fig. 7, indikerer en generell nikkel/kobber påvirkning i hele området. I ytre området ble det også observert god samvariasjon mellom nikkel/kobber og krom og bly og sink i motsetning til i Vesterhavn. Dette er vanskelig å forklare, men kan henge sammen med forskjeller i transportmekanismer bort fra det primære influensområdet, forskjeller i grad av binding til partikler mellom de forskjellige metallene o.s.v.

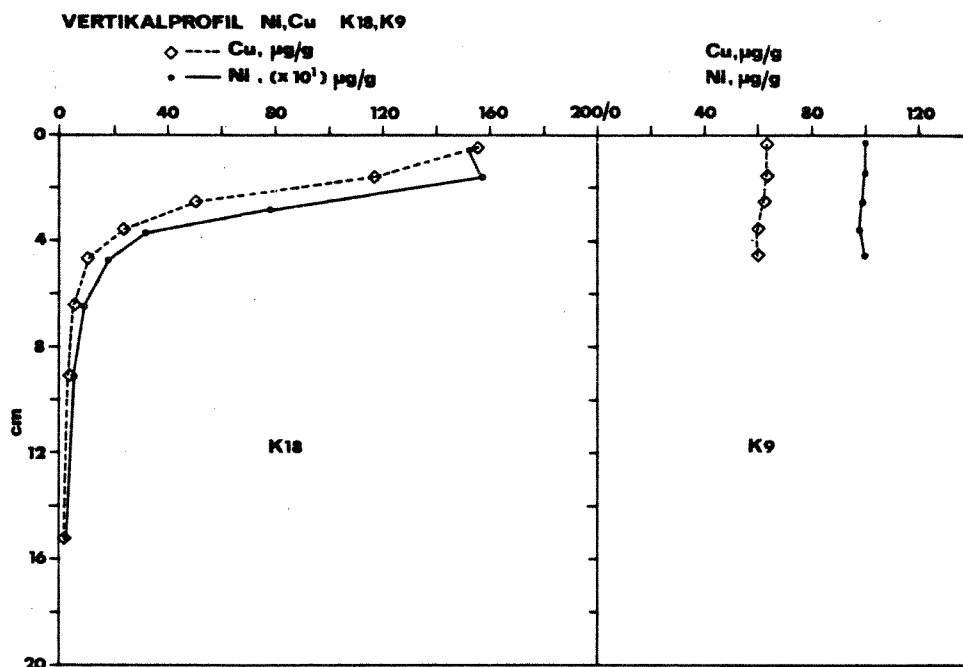
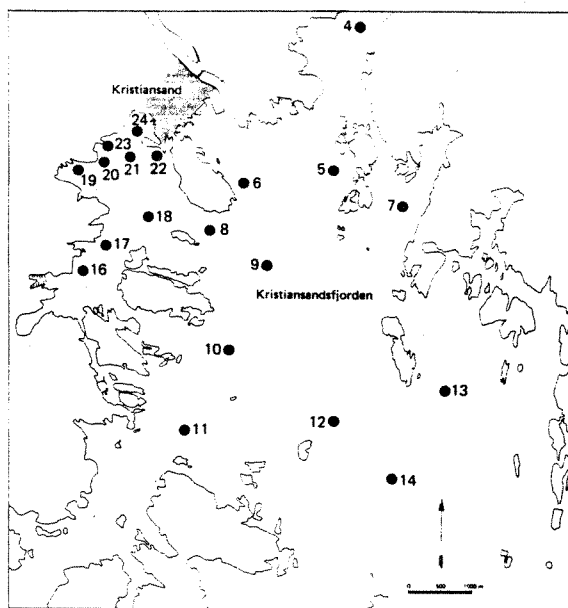
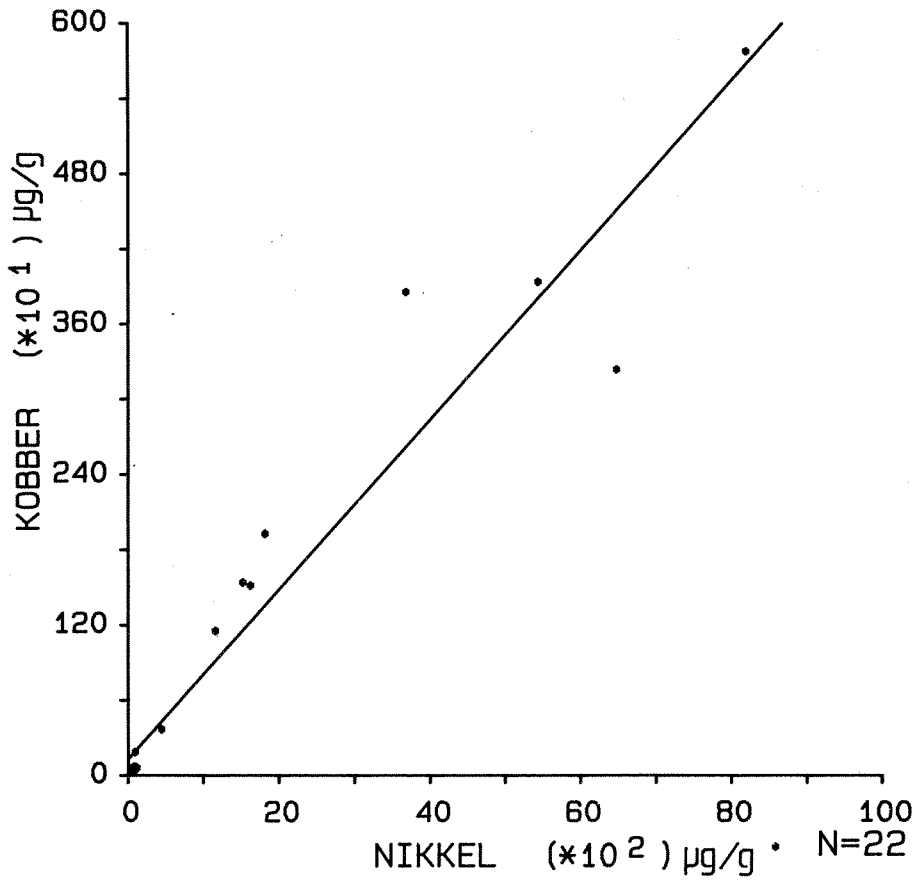


Fig. 6.. Vertikalprofil av nikkell (Ni) og kobber (Cu) i sedimentet i Vesterhavn (K18) og i ytre fjordområde (K9).

*Økning i verdiene fra ca 4 cm dyp i sedimentet og mot overflaten.*

KORRELASJON NI-CU, OVERFLATESEDIMENTENTER, K1-K24.



$$Y = 0.68X + 131.12 \quad R=0.96 \quad P_{\leq} 0.001 \quad SD=0.16$$

Fig. 7. Korrelasjon nikkell - kobber i overflatesedimentene i Kristiansandsfjorden, K1-24.

*Klar sammenheng mellom nikkell og kobber i sedimentene.  
Se også fig. 2.*

Tabell 11. Korrelasjonsmatrise for sediment for stasjonene i Vesterhavn/Fiskaabukta (A) og ytre fjordområde (B).

A. Stasjon K16-K24, 0,5 cm nivå.

	Ni	Co	Pb	Zn	Cr	Fe	Cu	Tot-N	TOC
Co	0,94								
Pb	0,52	0,72							
Zn	-0,35	-0,63	-0,64						
Cr	0,12	0,26	0,70	-0,22					
Fe	0,75	0,93	0,83	-0,79	0,41				
Cu	0,93	0,79	0,36	-0,122	0,07	0,57			
Tot N	-0,45	-0,70	-0,74	0,88	-0,27	-0,83	-0,15		
TOC	-0,68	-0,84	-0,64	0,88	-0,02	-0,88	-0,48	0,90	
C/N	-0,80	-0,82	-0,38	0,60	0,31	-0,74	-0,77	0,43	0,76

B. Stasjon K5-K14, 0,5 cm nivå.

	Ni	Co	Pb	Zn	Cr	Fe	Cu	Tot-N	TOC
Co	0,02								
Pb	0,20	-0,43							
Zn	-0,13	-0,44	0,92						
Cr	0,86	0,07	0,13	-0,26					
Fe	0,20	0,48	0,18	-0,07	0,56				
Cu	0,98	-0,11	0,18	-0,15	0,88	0,15			
Tot-N	0,22	-0,11	0,09	-0,08	0,53	0,42	0,31		
TOC	0,25	-0,10	-0,07	-0,19	0,51	0,22	0,36	0,97	
C/N	0,39	-0,03	-0,40	-0,53	0,56	0,04	0,50	0,67	0,83

Ni = nikkel

Co = kobolt

Pb = bly

Zn = sink

Cr = krom

Fe = jern

Cu = kobber

Tot-N = total nitrogen

TOC = total organisk karbon

Målsettingen for denne delundersøkelsen var blant annet å supplere tidligere undersøkelser. Metaller i sedimentene i Vesterhavn har blitt analysert av Hansen og Vågsholm (1978). Verdiene fra Hansen og Vågsholm er i bra overensstemmelse med foreliggende undersøkelse, bortsett fra nær Falconbridge, hvor blyverdiene var ca 10x og kobber ca 2x høyere enn i denne undersøkelsen (1983). Hansen og Vågsholm fant de høyeste blyverdiene i 6-12 cm dyp i sedimentet. En mulig forklaring på forskjellen mellom de to undersøkelsene er derfor reduksjon i tilførslene, selv om analysetekniske årsaker ikke skal utelukkes.

#### 4.2.3. Polysykliske aromatiske hydrokarboner, PAH

-----  
Innhold av polysykliske aromatiske hydrokarboner i sedimentene var meget høyt nær Fiskaa Verk, ca 800x naturlig. Midt i Vesterhavnen var verdiene ca 25x normalt, og 7x normalt ved ut-siden av Odderøya - Bragdøya. Hovedkilden antas å være Fiskaa Verk med eldre, nå stansede utslipp.  
-----

Polysykliske aromatiske hydrokarboner produseres både naturlig i det marine miljø og tilføres som forurensende stoff fra indu-stri. Konsentrasjoner på 200-500 ng/g observeres ofte på "upå-virkede" lokaliteter. Verdier utover generell belastning (kom-munalt avløpsvann, oljespill, slitasje fra asfaltveidekke, at-mosfæriske tilførsler) skyldes ufullstendig forbrenning av kar-bonforbindelser; i norske fjordområder gjerne fra smelteverk som bruker kull som reduksjonsmiddel.

Konsentrasjonene i Kristiansandsfjorden (rådata i appendiks-tabell A4) varierte fra 1 000 - 2 000 ng/g i Topdalsfjorden/-ytte fjordområde til nær 400 000 ng/g nær Fiskaa Verk, fig. 8. Tabell 12 gir overkonsentrasjoner (bakgrunn satt til 500 ng/g) for en del utvalgte stasjoner.

---

Tabell 12. Konsentrasjoner og ca. overkonsentrasjoner (observert verdi dividert med antatt bakgrunnsverdi) av total PAH i overflatesedimentene (0-2 cm).

<u>Stasjon</u>	<u>Konsentrasjon ng/g</u>	<u>Ca. Overkonsentrasjon</u>
K4, Topdalsfjorden	1 194	2
K6, Østerhavnen	3 152	6
K8, Dybingen - Odderøya	3 512	7
K12, v/Kinnskjær	1 612	3
K18, Vesterhavnen	12 277	25
K21, v/Falconbridge	16 425	30
K17x, v/Fiskaa	326 677	800

---

Sannsynlig kilde er Fiskaa Verk med tidligere utslipp fra våtvaskere montert foran posefiltre i elektrodemassefabrikk og utslipp fra kjøle- og fuktetårn foran elektrodefilter (Evju, SFT, pers. med.). Det førstnevnte utslippet ble stoppet i 1968, det andre i 1978. Dette er samsvar med at høyeste konsentrasjon ikke var i overflaten, men 4-6 cm sedimentdyp, fig. 9. Fra Fiskaa Verk opplyses det at man i dag ikke har systematiske utslipp, men noe påvirkning fra deponi på land kan forekomme. At man fremdeles observerer høye konsentrasjoner i sedimentoverflaten, kan skyldes omblending av gravende organismer.

Det var små forskjeller i relativ sammensetning av PAH-forbindelsene fra områder med svak belastning (Topdalsfjorden/ytre fjordområde, stasjon 4, 6, 8 og 12) til de sterkt belastede stasjonene (Vesterhavn/Fiskaabukta, stasjon 17, 17X, 17Y, 18 og 21), fig. 10 og tabell 13. Det var ingen signifikante forskjeller (Mann-Whitney U-test) i summen av de relativt lettløslige komponentene fenantren, fluoranten og pyren mellom de førstnevnte og sistnevnte stasjonsgruppene. Innholdet av potensielt kreftfremkallende PAH (KPAH, se appendikstabell A4 for definisjon) varierte fra 14-25% av total PAH (tabell 14).

Sammenligning av PAH-verdier i Kristiansandsfjorden med konsentrasjoner fra andre lokaliteter er gjort i tabell 13.

---

Tabell 13. Konsentrasjoner av total PAH og benzo(a)pyren (ng/g) i sedimenter fra forskjellige områder.

Lokalitet	Total PAH	Benzo(a)pyren	Ref.
Kristiansandsfjorden	500 000	24 000	Denne undersøkelsen
Årdalsfjorden	820 000	47 900	Baalsrud et al. 1985
Vefsnfjorden	35 700	1 520	Haugen et al. 1981
Sauda fjorden	99 000	7 730	Bjørset et al. 1979
Grønland		5	Verschueren 1983



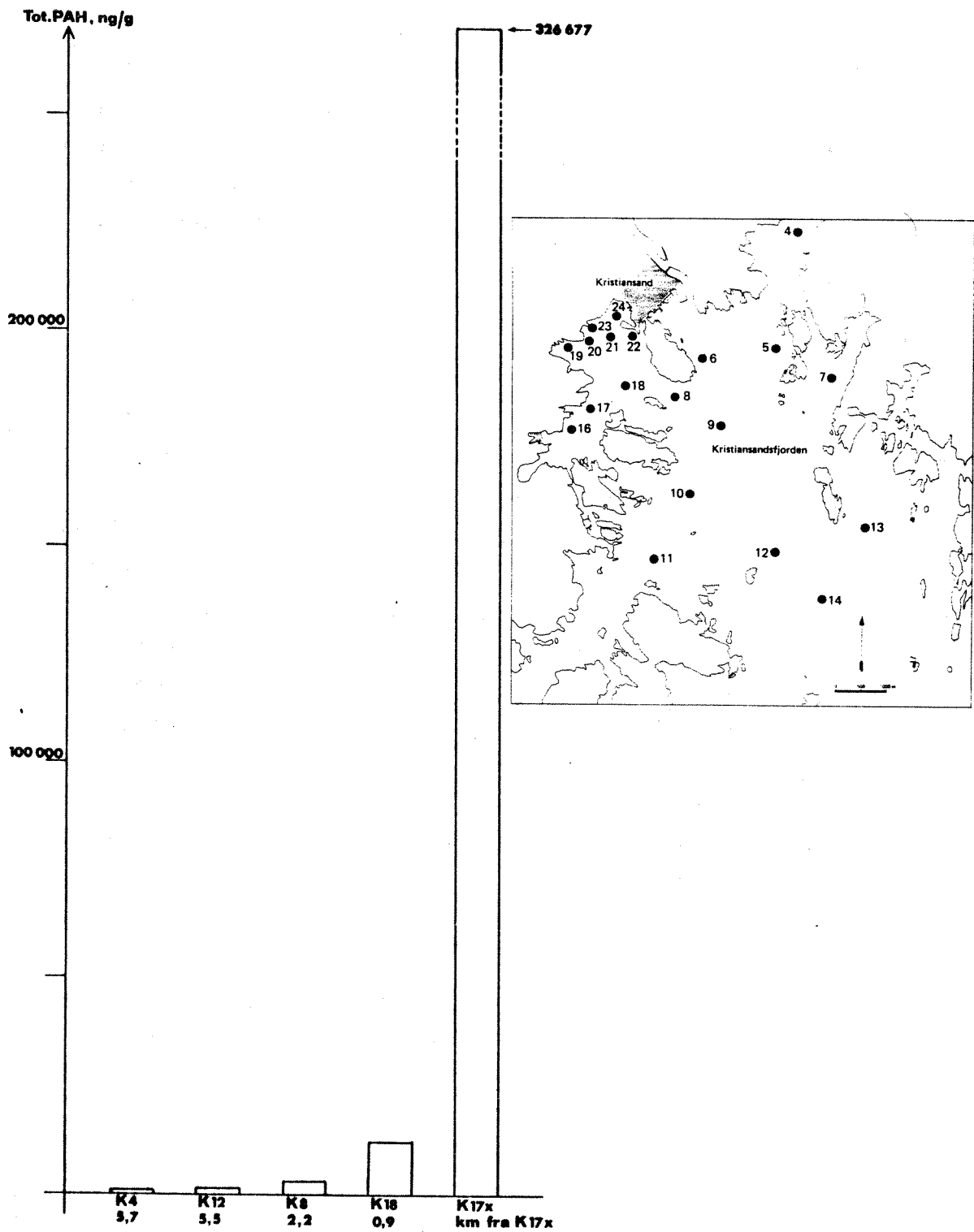
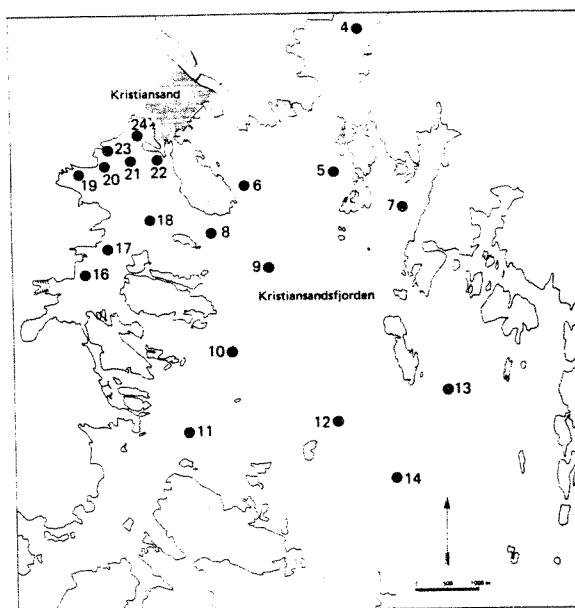


Fig. 8. Konsentrasjon av polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) i overflatesedimentene (0-2 cm) i Kristiansandsfjorden. (K17x ligger i bukt øst for K17.)

*Svært høye konsentrasjoner nær Fiskaa Verk, men raskt avtagende med økende avstand fra verket.*



NIVA: 1985-2 -12

### VERTIKALPROFIL PAH, ng/g

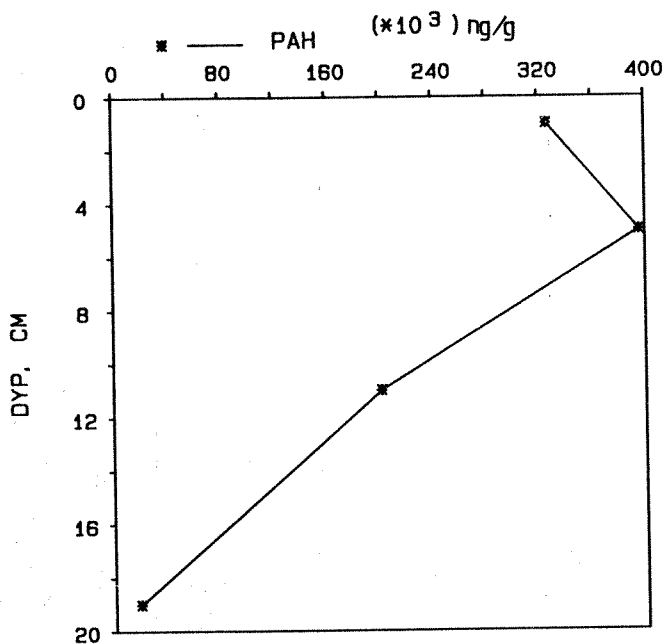




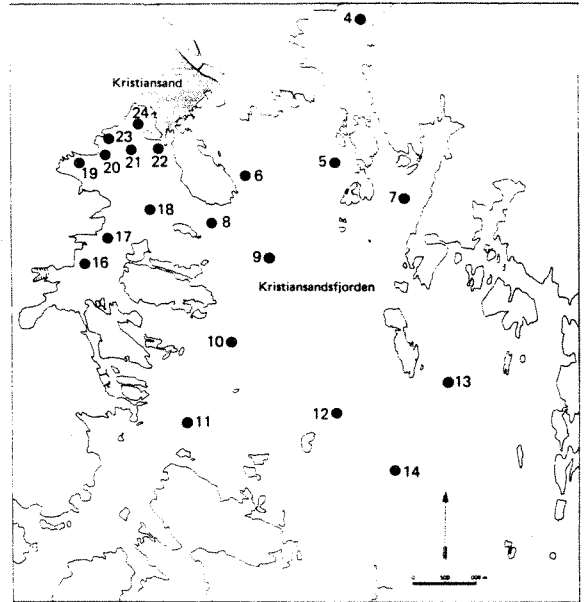


Fig. 9. Vertikalprofil av polisykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) i sedimentet nær Fiskåtangen (K17x). (K17x, i bukta øst av K17.)  
Avtagende konsentrasjon fra ca 6 cm dyp og mot overflaten viser at utslippene er redusert.

Fig. 10.

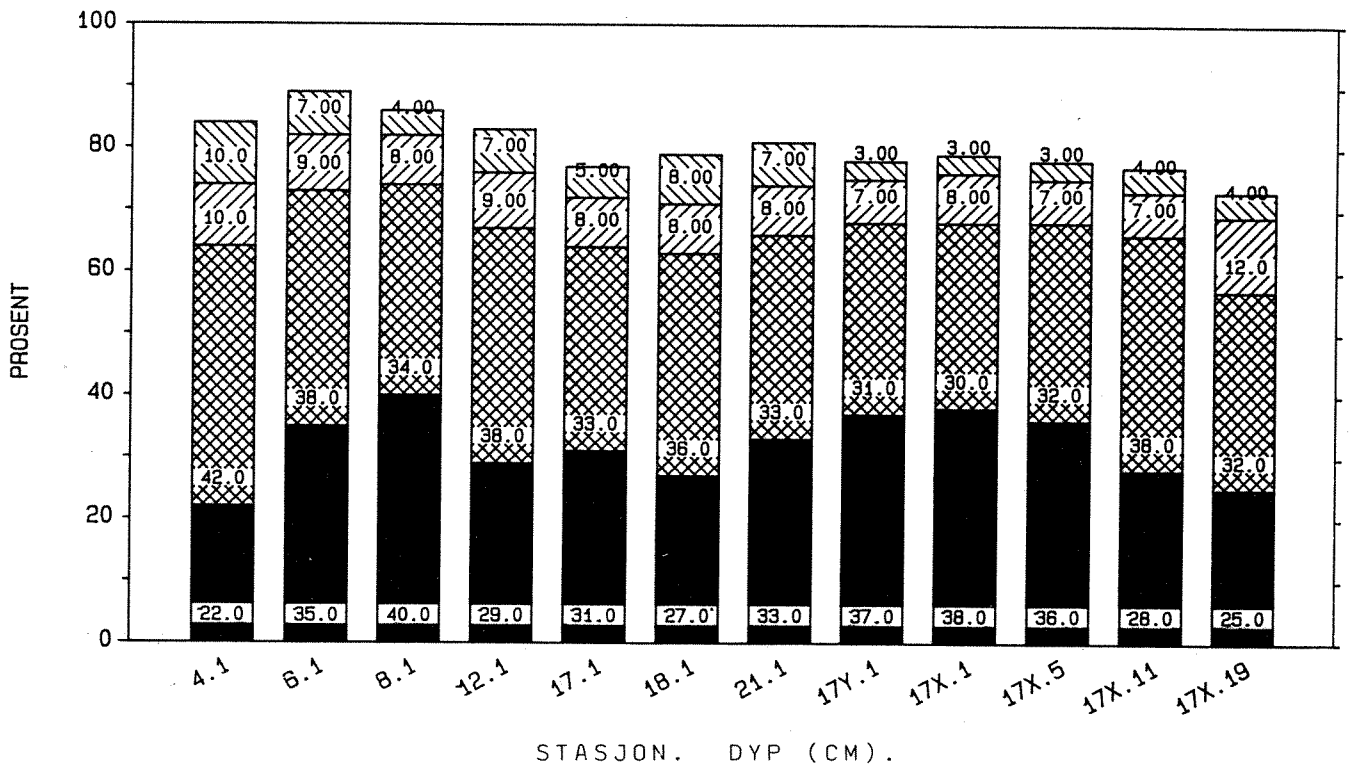
Prosentvis innhold av utvalgte PAH-forbindelser i sedimentene i Kristiansandsfjorden. Betegnelsene på X-aksen angir stasjonsnummer og sedimentdyp, f.eks. 4.1 stasjon 4, 0-2 cm sedimentdyp. Lokalisering av stasjon 17X,Y er vist i Fig. 1.

-  Benzo (g,h,i)perylen
-  Trifenylen/Chrysen
-  Benzo(a)antracen + benzo (b,j,k)fluoranten + benzo (a,e)pyren
-  Fenantren + Fluoranten + pyren



NIVA : 1985 -2-12

PROSENTVIS INNHOLD AV UTVALGTE PAH I SEDIMENTENE.



Tabell 14.

Prosentvis innhold av utvalgte PAH i sedimentene fra Kristiansandsfjorden.

STASJON SEDIMENT-DYP CM	K4	K6	K8	K12	K18	K21	K17	K17Y	K17X	K17X	K17X	K17X
	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	4-6	10-12	18-20
Fenantren	4	3	12	6	7	9	9	10	12	11	6	6
Fluoranten	9	18	15	11	11	13	12	15	15	14	10	10
Pyren	9	14	13	12	9	11	10	12	11	11	12	9
Benzo(a)antracen	6	5	5	5	5	6	6	6	7	6	6	6
Trifenylen/Chrysen	10	9	8	9	8	8	8	7	8	7	7	12
Benzo(b,j,k)fluoranten	18	16	14	18	15	14	13	12	12	13	16	13
Benzo(e)pyren	8	8	7	8	7	6	6	6	5	6	7	8
Benzo(a)pyren	10	9	8	7	9	7	8	7	6	7	9	5
Benzo(g,h,i)perylene	10	7	6	7	8	7	5	3	3	3	4	4
SUM	84	89	88	83	79	80	77	78	79	78	76	73
KPAH *	23	20	17	19	21	19	14	16	15	16	25	17

\* KPAH = potensielt kreftfremkallende PAH, se appendikstabell A4 for definisjon.

#### 4.2.4. Klororganiske forbindelser

---

Innhold av polyklorerte bifenyler, PCB, var relativt lavt, lavere enn f.eks. Oslofjorden. Konsentrasjonene av klorerte benzener og klorerte styrener var svært høye i Vesterhavn og spesielt nær Falconbridge, opptil >10 000 ganger normalt. Verdiene for klorbenzenene var 60 ganger høyere enn verdiene fra innerst i Frierfjorden. Innholdet avtok relativt raskt med avstand fra områder med høyest konsentrasjon, over 6 km avtok verdien med 97-99 %. Hovedkilde må være Falconbridge Nikkelverk A/S.

---

Innhold av polyklorerte bifenyler, PCB, (rådata i appendikstabell A5) varierte fra 2 ng/g i ytre fjordområde (K13) til 270 ng/g nær Falconbridge (tabell 14). Verdiene er relativt lave, sammenlignet med konsentrasjonene i indre Oslofjord (Abdullah et al. 1982), 45 - 575 ng/g, og 18 - 1 800 ng/g i Hvalerområdet (Næs 1983). Det er vanskelig å angi overkonsentrasjoner på grunn av at bakgrunnsverdier er dårlig kjent. Sammenlignet med konsentrasjonene i 8 - 10 cm sedimentdyp midt i Vesterhavn var høyeste verdi nær Falconbridge ca 140x høyere enn dette. En relativt høy verdi ytterst i Topdalsfjorden (K4, 80 ng/g) kan skyldes påvirkning fra en tidligere søppelfyllplass (v/Torsvigen).

I Vesterhavn og spesielt nær Falconbridge var konsentrasjonene av klorerte benzener og klorerte styrener særdeles høye, henholdsvis ~10 000 og ~500 ng/g (tabell 15). Sammenlignet med konsentrasjonene nær Norsk Hydros magnesiumfabrikk innerst i Frierfjorden i 1983 (Kringstad & Carlberg 1983), var verdiene 60 ganger høyere for klorbenzenene og 15 ganger høyere for klorstyrener. Verdiene var imidlertid noe høyere i Frierfjorden i 1975 sammenlignet med Kristiansandsfjorden (Skei 1976).

Det er vanskelig å angi eksakte overkonsentrasjoner fordi disse stoffene ikke forekommer naturlig, men bare som resultat av

industriell aktivitet. Bakgrunnsnivået er derfor det man finner i bare diffust belastede områder, langt fra punktkildene. Antar vi deteksjonsgrensen på 0.1 ng/g som bakgrunn for heksaklorbenzen (HCB) og oktaklorstyren (OCS) var det overkonsentrasjoner i ytre fjordområde utenfor Vesterhavnen i størrelsesordenen 10 - 1000, mens nær Falconbridge er overkonsentrasjoner i størrelsesordenen 10 000 - 100 000.

I overflatesedimentene (0-2 cm) varierte klor bundet til identifiserbare og kvantifiserbare forbindelser mellom 2 og 34 % av den persistente organiske klormengden, hvilket viser den komplekse sammensetningen av utslippene.

Konsentrasjonene avtok hurtig med avstand fra stasjon K23 nær Falconbridge. Ca 6 km fra denne stasjonen var verdiene redusert med 97-99 %, fig. 11. Likeledes avtok også konsentrasjonene hurtig nedover i sedimentdypet til mindre enn 5 % av overflateverdien i 4-6 cm sedimentdyp på stasjonen K18, fig. 12. Mengden av klor bundet til identifiserbare forbindelser økte med dypet (fig. 13).

Summen av klorerte benzener var i gjennomsnitt 15 ganger summen av klorerte styrener (variasjon 5-48), (tabell 15). Mengde heksaklorbenzen i prosent av sum klorerte benzener varierte mellom 31 og 75 i overflatesedimentene. Verdiene i ytre område (K4, 6, 11, 12, 13) var signifikant (Mann-Whitney U-test) lavere enn i Vesterhavnen/Fiskaabukta området, variasjon og gjennomsnitt henholdsvis 31-66, 53 og 67-78, 73. Samme signifikante forskjeller ble observert for oktaklorstyren med variasjon og gjennomsnitt henholdsvis 20-46, 32 og 56-80, 67. Dominansen av heksaklorbenzen over andre benzenforbindelser og av oktaklorstyren over andre styrener avtok med sedimentdypet (tabell 15).

God korrelasjon mellom heksaklorbenzen og oktaklorstyren, fig. 14, viser at stoffene sannsynligvis har samme kilde og opptrer likt i resipienten. Det samme er tilfelle for nikkel og heksaklorbenzen i Vesterhavnen-området, fig. 15, og underbygger at Falconbridge er hovedkilde for utslippet.

Ved utløpet av Otra (K6) var verdiene av ekstraherbart persistent organisk bundet klor (EPOCl, appendikstabell 5) ca 10 ganger (4 000 ng/g) høyere enn ytterst i fjorden (K13), men 1/10 av konsentrasjonene nær Falconbridge. Det er tvilsomt at dette skyldes transport av forurensninger fra Falconbridge. Mengden av identifiserbart klor ved utløpet av Otra var bare 2 % av den persistente organisk bundne klormengden, mens den var 23 % nær Falconbridge. Dette tyder på at klorerte forbindelser tilføres med Otra, sannsynligvis fra treforedling med Hunsfoss fabrikk som hovedkilden i Otra. Dette er i overensstemmelse med analyser av fisk og også vann fra Otra nær Hunsfoss fabrikk (Wright et al. 1983).

Tabell 15. Klororganiske forbindelser i sedimentet i Kristiansandsfjorden (ng/g tørt materiale).

5CB = Pentaklorbenzen, HCB = heksaklorbenzen, OCS = oktaklorstyren, PCB = polyklorete bifenylar, EPO-Cl, -Br = ekstraherbart persistent organisk bundet klor, -brom ID-Cl = identifiserbart klor.

STASJON		K4	K6	K8	K11	K12	K13	K16	K17	K18	K19	K21	K23	K18	K18	K18	K18
DYP (CM)		0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2	2-4	4-6	8-10	8-10
5CB		9	26	32	12	12	38	125	137	367	1430	530	2010	113	46	0,4	
HCB		19	61	105	27	27	71	461	558	2080	4680	3340	8790	555	131	1	
OCS		6	4	6	1	2	1	34	47	111	141	168	288	39	7	0,5	
PCB		80	30	10	6	5	2	50	60	100	90	160	270	50	11	2	
EPOBr		40	100	100	200	100	100	400	200	300	1200	400	1300	100	40	10	
EPOCl		500	4000	1100	900	500	300	4200	5000	14000	20300	13800	38800	4900	600	-	
ID-Cl i																	44
% av EPOCl		20	2	11	6	9	32	6	14	15	24	25	23	26	34	-	
Sum																	
Klorete benzener		62	93	148	42	48	144	689	835	2663	6329	4308	11662	904	224	2	
Sum																	
klorete styrener		13	14	12	3	10	3	61	59	160	228	228	482	59	11	2	
HCB i % av sum																	
klorete benzener		31	66	71	64	56	49	67	67	78	74	78	75	61	58	50	
OCS i % av sum																	
klorete styrener		46	29	50	33	20	33	56	80	69	62	74	60	66	64	25	



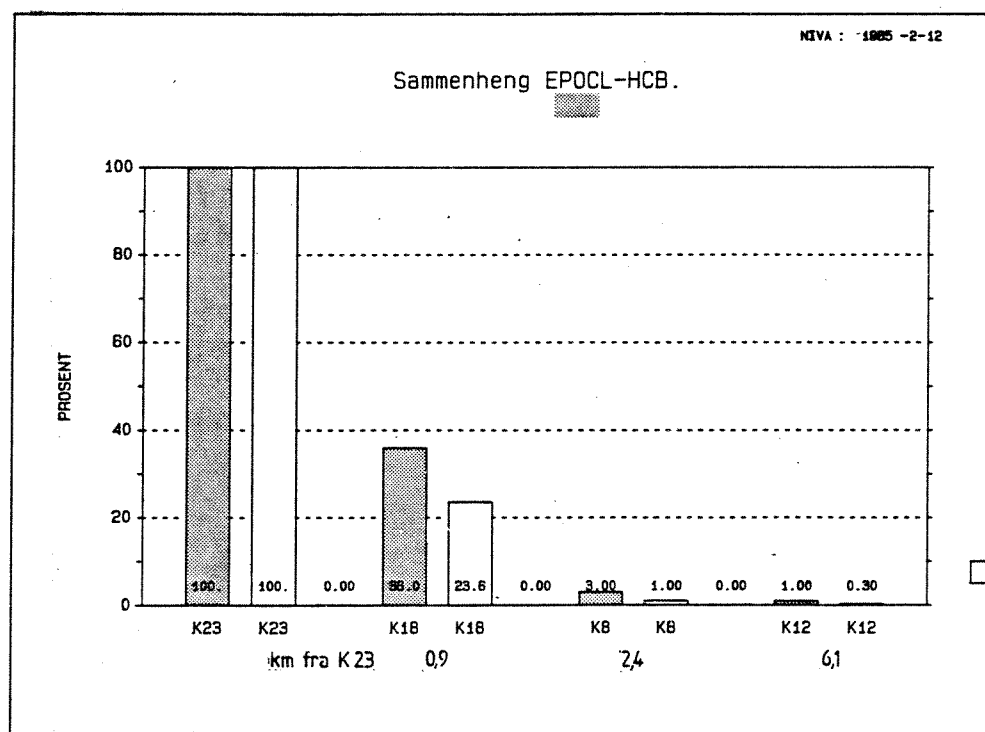
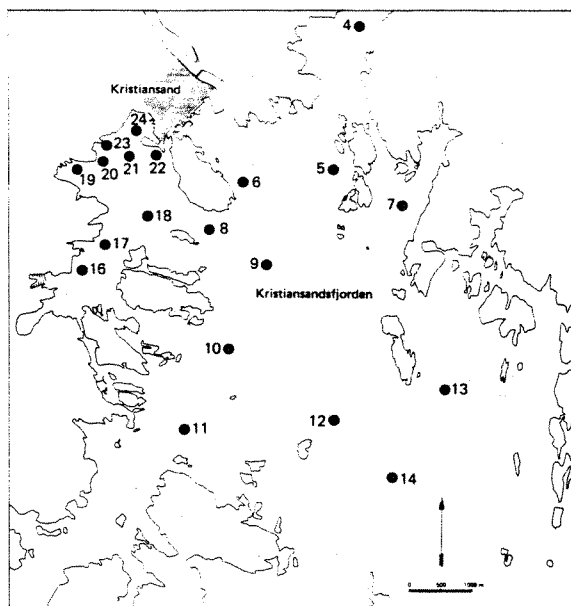
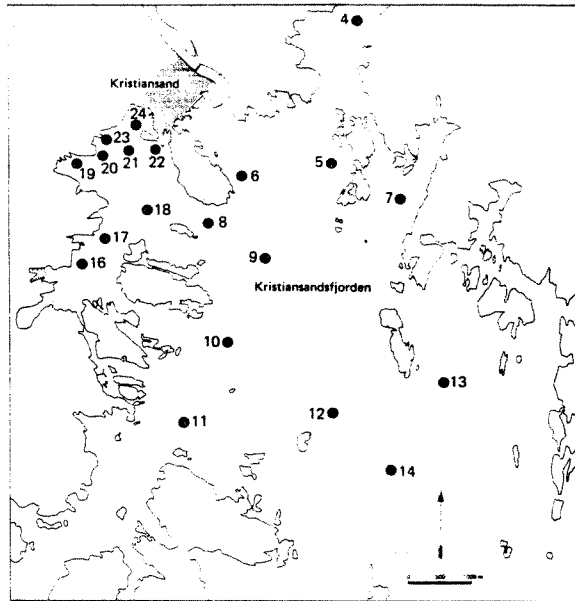


Fig. 11. Innhold av ekstraherbar persistent organisk bundet klor (EPOCL) og heksaklorbenzen (HCB) fra Vesterhavn til ytre fjordområde, relativt til K23 (100 %).

*Konsentrasjonene avtar raskt med økende avstand fra st. 23.*



### VERTIKALPROFIL K18

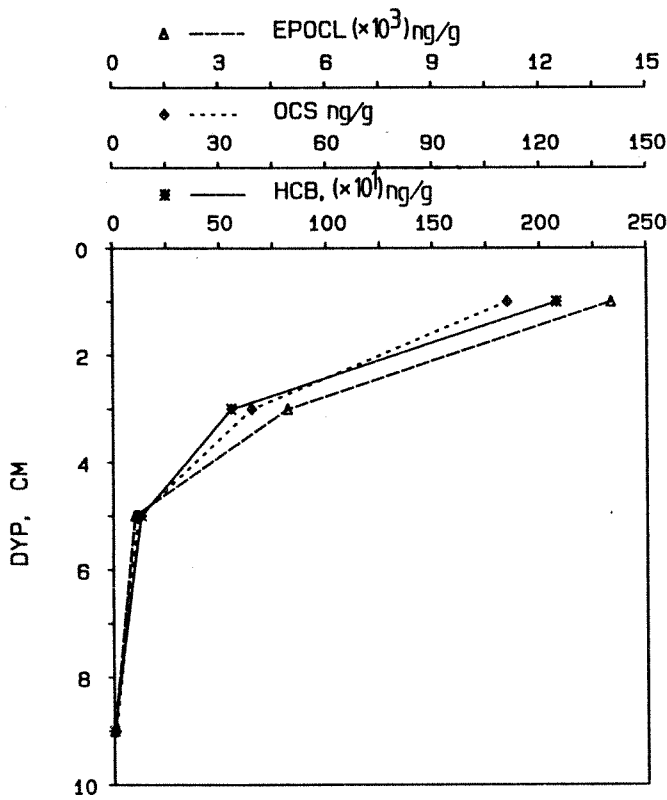
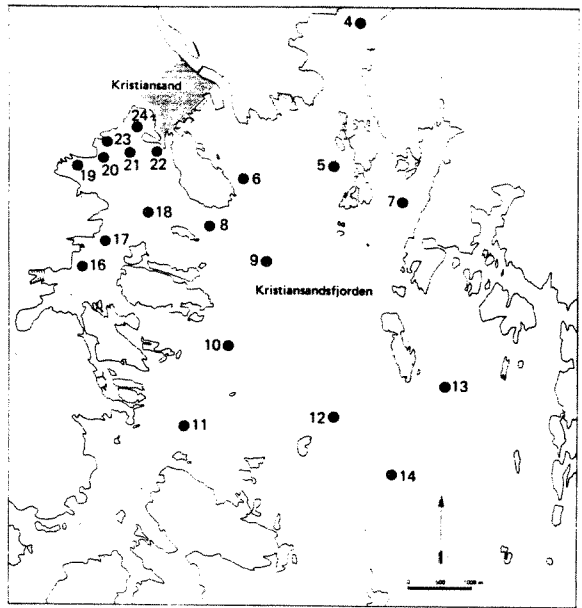


Fig. 12. Vertikalprofil av ekstraherbar persistent organisk bundet klor (EPOCL), oktaklorstyren (OCS) og heksaklorbenzen (HCB) i sedimentet i Vesterhavn (K18).

*Øking i konsentrasjon fra ca 3 cm dyp i sedimentet og mot overflaten. Se også fig. 6.*



### VERTIKALPROFIL K18

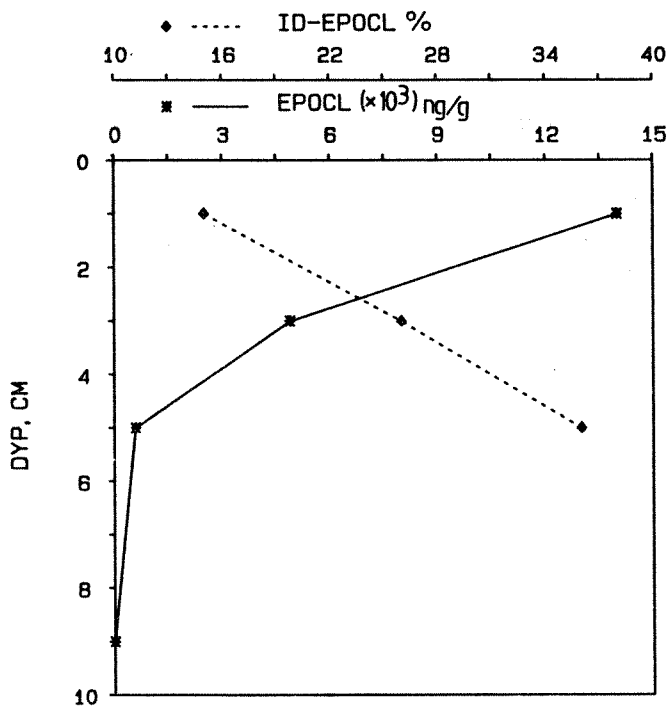
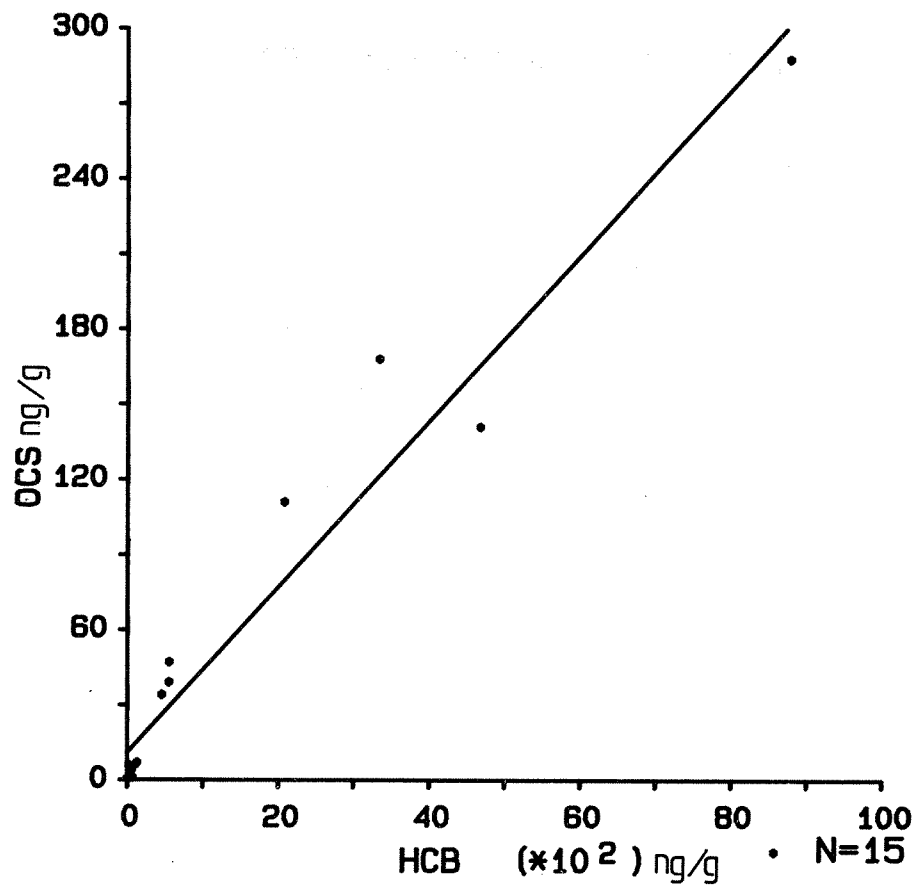


Fig. 13. Vertikalprofil i sedimentet av ekstraherbart persistent organisk bundet klor (EPOCl) og klor bundet til identifiserbare og kvantifiserbare forbindelser i prosent av EPOCl.

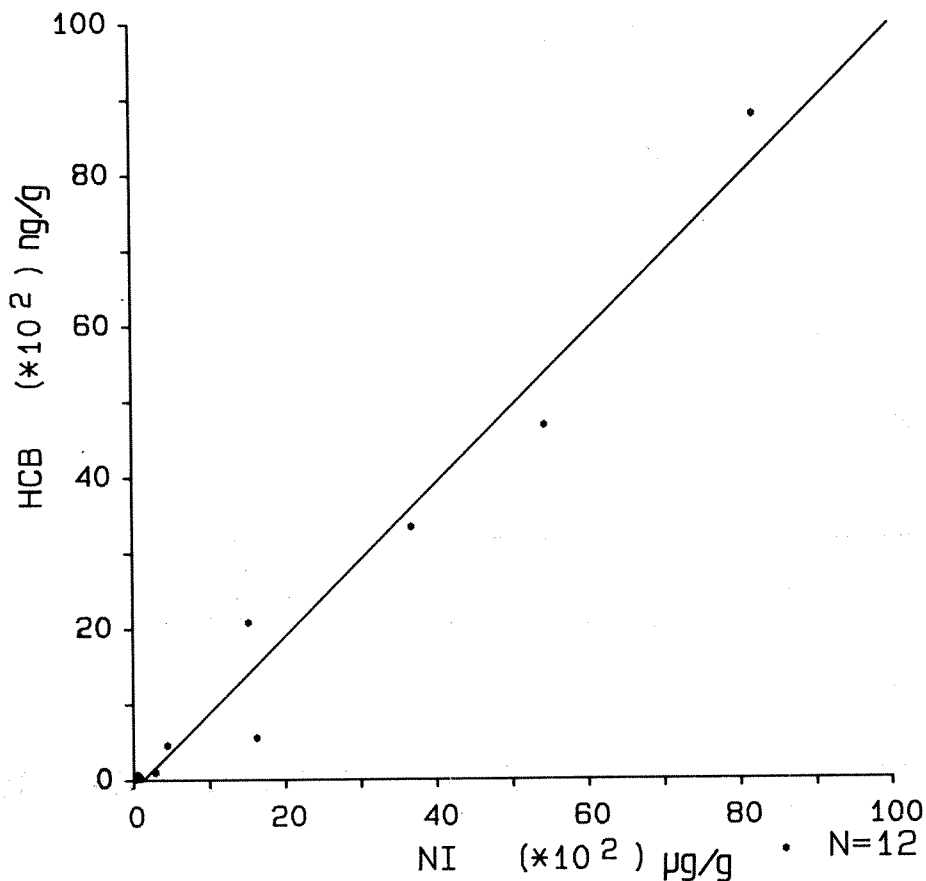


$$Y = 0.03X + 10.94 \quad R=0.97 \quad P_{\leq} 0.001 \quad SD=0.01$$

Fig. 14. Korrelasjon mellom heksaklorbenzen (HCB) og oktaklorstyren (OCS) i overflatesedimentene (0-2 cm) i Kristiansandsfjorden.

*Klar sammenheng mellom heksaklorbenzen og oktaklorstyren tyder på samme kilde.*

KORRELASJON NI-HCB, OVERFLATESEDIMENTENTER.



$$Y = 1.01 X - 124.88 \quad R=0.99 \quad P \leq 0.001 \quad SD=0.25$$

Fig. 15. Korrelasjon mellom nikkell (Ni) og heksaklorbenzen (HCB) i overflatesedimentene (0-1 cm: Ni, 0-2 cm: HCB) i Kristiansandsfjorden.

*Klar sammenheng mellom nikkell og heksaklorbenzen tyder på samme kilde.*

## 5. AVSLUTTENDE KOMMENTAR

Konsekvensene av de høye miljøgiftkonsentrasjonene i sedimentet lar seg ikke fullt ut konkretisere, idet utløsning og transport fra bunnavløiringer er mangelfullt kjent. Imidlertid er skadelige effekter på bunnfauna av høye metallkonsentrasjoner, særlig kobber, klart dokumentert, både i sin alminnelighet (Rygg og Skei 1984) og i dette spesielle tilfelle (Rygg 1985).

Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) er generelt lite løslige og synes ikke å ha særlig høy akutt giftighet. På den annen side er enkelte av disse stoffene potensielt kreftfremkallende. Det er også påvist økt hyppighet av sår og svulster hos fisk fra PAH-forurensede områder (Malins et al. 1983 a,b, Krahn et al. 1984).

Risikoen forbundet med det høye innholdet av klororganiske forbindelser er sannsynligvis primært at stoffene vil tas opp i organismer knyttet til bunnen, herunder krabbe og bunnfisk. Inntil sedimentene er blitt overdekket/fortynnet med nye avløiringer, må man regne med at særlig flyndrearter og ål, men også i noen grad annen fisk vil inneholde forhøyede konsentrasjoner av disse stoffene. Nedbrytbarheten av de enkelte komponentene vil sannsynligvis være forskjellig, men dette er forhold som foreløpig er lite kjent.

## 5. LITTERATUR

Abdullah, M.I., O. Ringstad and N.J. Kveseth 1982.

Polychlorinated biphenyls in the sediments of the inner Oslofjord. *Water, Air and Soil Poll.*, 18:485-497.

Baalsrud, K., N. Green, J. Knutzen, K. Næs og B. Rygg 1985 (in prep.) Overvåkning av Årdalsfjorden 1983.

Hansen, B. og K.R. Vågsholm 1978. Tungmetaller i sedimenter. Analyse av sedimentprøver fra Kristiansands havn. Seminaroppgave Agder Distriktshøyskole, 56 s.

Haugen, I., L. Kirkerud, J. Knutzen, K. Kvalvågnæs, J. Magnusson, B. Rygg og Jens Skei 1981. Vefsnfjorden som resipient for avfall fra Mosjøen Aluminiumsverk. Rapport 1. Undersøkelser 1978-1980. 0-76146. NIVA, Oslo, 1753.

Hovland, G.E. og E. Olsen 1980. AAS-bestemmelse av tungmetaller i sjøvann. En undersøkelse fra Kristiansandsfjorden. Seminaroppgave ved Agder Distriktshøyskole, 72 s.

Krahn, M.M., Myers, M.s., Burrows, D.G. and Malins D.C. 1984. Determination of metabolites of xenobiotics in bile of fish from polluted waterways. Xenobiotica (In press).

Kringstad, A. og G.E. Carlberg 1983. Identifikasjon av klorstyrenforbindelser i Frierfjordprøver og testing av klorstyreneer i giftighet, mutagenitet og bioakkumuleringspotensial. SI-rapp. nr. 830130-1, 28 s.

Magnusson, B. and L. Rasmussen 1982. Trace metal levels in coastal sea water. Investigation of Danish waters. *Mar. Poll. Bull.*, 13:81-84.

- Malins, D.C., Myers, M.S. and Roubal, W.T. 1983a. Organic free radicals associated with idiopathic liver lesions of English sole (Parophrys vetulus) from polluted marine environments. Environ. Sci. Technol. 17:679-685.
- Malins, D.C., Myers, M.S., MacLeod, W.D. and Roubal, W.T. 1983b. Presented at the Second International Symposium on Responses of Marine Organisms to Pollutants, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods, Hole, MA. (Unpublished results).
- Molvær, J. 1981. Resipientundersøkelse av Kristiansandsfjorden. Litteraturoversikt over tidligere undersøkelser. NIVA-rapp. nr. O-8003-13, 18 s.
- Niemistö, L. 1974. A gravity corer for studies of soft sediments. Havforskningsinst. Skr. Helsinki, 238 : 33-38.
- Næs, K. 1983. Basisundersøkelse i Hvalerområdet og Singlefjorden. Løste metaller, suspendert materiale og sedimenter. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapp. 70/83, 100 s. SFT/NIVA, Oslo.
- Olafson, J. 1982. An international intercalibration for mercury in sea water. Mar. Chem., 11:129-142.
- Riley, J.P. and R. Chester 1971. Introduction to marine chemistry. Academic Press. London, New York, 465 s.
- Rygg, B. 1985. Basisundersøkelse av Kristiansandsfjorden. Delrapport 1. Bløtbunnsfaunaundersøkelser 1983. Statlig program for forurensningsovervåking. Rapp. 176/85, 60 s. SFT, NIVA, Oslo.
- Rygg, B. og J. Skei 1984. Sammenheng mellom marine bløtbunnsfaunasamfunns artsdiversitet og sedimentets miljøgiftinnhold. NIVA-rapp. nr. OF-80612, 8 s + fig.



Seip, K.L. og A. Melhuus, 1980. Tungmetallundersøkelse i Kristiansandsfjorden. SI-rapp. nr. 791001-1.

Skei, J. 1975. Resipientvurderinger av nedre Skienselva, Frierfjorden og tiliggende fjordområder. Rapport 3. Fremdriftsrapport fra de sedimentgeokjemiske undersøkelserne i juli 1975. NIVA-rapp. nr. O-111/70.

Wright, R.F., M. Grande, P. Brettum, J.E. Løvik, R. Romstad, K. Martinsen 1983. Otra 1982. Rutineovervåking. (Overvåkningsrapport 89/83). Statlig program for forurensningsovervåking. SFT/NIVA, Oslo. 66 s.

6. A P P E N D I K S

Tabell A1. Konsentrasjoner av løst arsen (As), kobber (Cu), jern (Fe), kvikksølv (Hg), nikkel (Ni) og bly (Pb) i µg/l.

STA-KODE	DATO	DYP	AS	CU	FE	HG	NI	PB
KRIS-KS1	830418	0-1	0.2	4.7	65.	<0.04	2.8	1.5
KRIS-KS2	830418	0-1	0.2	2.8	45.	<0.04	2.2	0.7
KRIS-KS4	830418	0-1	0.3	2.2	39.	<0.04	1.7	0.5
KRIS-KS4	830418	4	0.9	1.9	5.7	<0.04	2.2	<0.5
KRIS-KS4	830418	20	1.1	1.4	2.5	<0.04	1.3	<0.5
KRIS-KS4	830418	30	1.1	1.5	4.2	<0.04	1.5	<0.5
KRIS-KS5	830418	0-1	0.4	1.0	19.	<0.04	1.4	<0.5
KRIS-KS6	830418	0-1	0.7	1.8	12.	<0.04	1.9	<0.5
KRIS-KS6	830418	8	1.0	1.5	3.7	<0.04	2.4	<0.5
KRIS-KS6	830418	20	1.2	0.7	3.1	<0.04	1.7	<0.5
KRIS-KS6	830418	50	1.3	1.0	1.8	<0.04	1.0	<0.5
KRIS-KS7	830418	0-1	0.6	1.3	14.	<0.04	2.1	<0.5
KRIS-KS8	830418	0-1	0.6	1.7	15.	<0.04	4.7	<0.5
KRIS-KS8	830418	8	1.0	1.1	3.3	<0.04	2.1	<0.5
KRIS-KS8	830418	20	1.0	0.7	2.0	<0.04	2.1	<0.5
KRIS-KS8	830418	50	1.4	0.7	2.3	<0.04	1.2	<0.5
KRIS-KS9	830418	0-1	0.8	0.9	4.3	<0.04	2.0	<0.5
KRIS-KS10	830418	0-1	1.3	4.5	16.	<0.04	17.	0.8
KRIS-KS11	830418	0-1	0.7	1.2	4.2	<0.04	2.1	<0.5
KRIS-KS12	830418	0-1	0.8	1.0	2.1	<0.04	2.2	<0.5
KRIS-KS12	830418	8	0.9	1.2	2.0	<0.04	1.1	<0.5
KRIS-KS12	830418	20	1.1	0.7	2.0	<0.04	1.1	<0.5
KRIS-KS12	830418	50	1.1	0.8	1.2	0.04	1.0	<0.5
KRIS-KS13	830418	0-1	0.8	1.2	2.7	<0.04	1.1	<0.5
KRIS-KS14	830418	0-1	0.8	1.3	4.0	<0.04	3.3	<0.5
KRIS-KS15	830418	0-1	0.8	1.6	5.6	<0.04	2.2	<0.5
KRIS-KS16	830418	0-1	0.8	3.0	17.	<0.04	11.	<0.5
KRIS-KS17	830418	0-1	0.8	2.7	16.	<0.04	12.	<0.5
KRIS-KS18	830418	0-1	1.0	3.9	16.	<0.04	19.	<0.5
KRIS-KS18	830418	8	0.9	1.7	2.4	<0.04	6.2	0.5
KRIS-KS18	830418	20	1.0	1.5	3.2	<0.04	7.1	0.5
KRIS-KS18	830418	40	1.2	1.0	3.3	<0.04	6.0	0.5
KRIS-KS19	830418	0-1	1.2	6.2	15.	<0.04	31.	0.8
KRIS-KS19	830418	8	1.3	2.2	5.0	<0.04	16.	0.8
KRIS-KS19	830418	20	1.0	1.1	2.6	<0.04	7.5	<0.5
KRIS-KS20	830418	0-1	1.3	8.6	12.	<0.04	85.	<0.5
KRIS-KS21	830418	0-1	1.6	4.1	9.0	<0.04	24.	0.5
KRIS-KS23	830418	0-1	2.8	8.6	15.	<0.04	45.	1.7
KRIS-KS24	830418	0-1	1.2	3.8	10.	<0.04	20.	1.5

Tabell A1 forts.

STA-KODE	DATO	DYP	AS	CU	FE	HG	NI	PB
KRIS-KS1	831122	0-1	1.1	0.5	3.9	0.07	<1.	<0.5
KRIS-KS2	831122	0-1	1.4	1.0	4.6	0.06	<1.	<0.5
KRIS-KS4	831122	0-1	1.4	0.9	3.7	0.09	<1.	<0.5
KRIS-KS4	831122	8	1.2	4.6	3.0	0.15	<1.	<0.5
KRIS-KS4	831122	20	1.2	0.5	2.3	0.08	<1.	<0.5
KRIS-KS4	831122	30	1.4	0.5	1.7	<0.04	<1.	<0.5
KRIS-KS5	831122	0-1	1.2	2.1	6.7	0.06	<1.	<0.5
KRIS-KS6	831122	0-1	1.1	1.4	6.3	0.09	2.4	<0.5
KRIS-KS6	831122	8	1.2	0.4	1.7	<0.04	<1.	<0.5
KRIS-KS6	831122	20	1.1	0.7	2.1	<0.04	<1.	<0.5
KRIS-KS6	831122	50	1.3	0.8	1.9	<0.04	<1.	<0.5
KRIS-KS7	831122	0-1	1.1	0.6	3.6	0.08	<1.	<0.5
KRIS-KS8	831122	0-1	1.3	1.0	3.0	<0.04	<1.	0.42
KRIS-KS8	831122	8	1.3	0.2	2.0	0.08	<1.	0.42
KRIS-KS8	831122	20	1.0	0.6	1.4	0.07	<1.	0.42
KRIS-KS8	831122	50	1.4	0.3	8.9	0.06	<1.	0.42
KRIS-KS9	831122	0-1	1.2	0.7	5.7	<0.04	<1.	0.42
KRIS-KS10	831122	0-1	1.1	0.8	4.8	0.08	<1.	0.42
KRIS-KS11	831122	0-1	1.1	1.2	4.7	<0.04	<1.	0.42
KRIS-KS12	831122	0-1	1.3	1.1	4.1	<0.04	<1.	0.42
KRIS-KS12	831122	8	1.1	2.6	2.9	0.08	<1.	0.42
KRIS-KS12	831122	20	1.4	1.0	2.7	<0.04	<1.	0.42
KRIS-KS12	831122	50	1.4	0.6	4.4	<0.04	<1.	0.42
KRIS-KS13	831122	0-1	1.2	5.4	7.6	0.06	<1.	0.42
KRIS-KS14	831122	0-1	1.2	0.8	5.0	<0.04	<1.	0.42
KRIS-KS15	831122	0-1	1.2	1.1	6.9	<0.04	<1.	0.42
KRIS-KS16	831122	0-1	1.4	1.2	2.0	<0.04	<1.	0.42
KRIS-KS17	831122	0-1	1.1	4.4	4.3	0.17	<1.	<0.5
KRIS-KS18	831122	0-1	1.4	1.5	5.2	0.2	4.1	<0.5
KRIS-KS18	831122	8	1.5	1.5	3.2	0.17	5.8	<0.5
KRIS-KS18	831122	20	1.5	1.2	2.3	<0.04	2.4	<0.5
KRIS-KS18	831122	40	1.8	2.3	3.1	0.04	6.0	<0.5
KRIS-KS19	831122	0-1	1.5	1.3	2.1	0.08	16.	<0.5
KRIS-KS19	831122	8	1.5	1.1	2.3	1.6	3.5	<0.5
KRIS-KS19	831122	20	1.7	0.9	7.9	1.8	13.	<0.5
KRIS-KS20	831122	0-1	2.8	5.7	2.5	1.4	82.	25.
KRIS-KS21	831122	0-1	1.9	2.5	3.0	2.2	8.6	<0.5
KRIS-KS23	831122	0-1	1.4	1.6	3.3	1.8	5.3	<0.5
KRIS-KS24	831122	0-1	1.5	1.7	3.0	2.2	3.0	<0.5

Tabell A2. Konsentrasjoner av partikulært metall ( $\mu\text{g/l}$ ) i vann fra Kristiansandsfjorden 18/4-83. Vannprøvene er filtrert gjennom  $0,4 \mu\text{m}$  Nuclepore membranfilter.

<u>Stasjon</u>	<u>Dyp (m)</u>	<u>Ni</u>	<u>Cu</u>	<u>Fe</u>
K8	0-1	<0,5	0,3	27
K9	0-1	<0,5	0,3	9
K14	0-1	<0,5	0,3	8
K17	0-1	<0,5	1,2	31
K19	20	<0,5	2,4	34
K20	0-1	1	8,7	66

---

Tabell A3. Sedimentkonsentrasjoner av nikkel (Ni), kobolt (Co), bly (Pb), kadmium (Cd), krom (Cr), kvikksølv (Hg), kobber (Cu), arsen (As) i µg/g og jern (Fe), totalt nitrogen (Tot-N), totalt organisk karbon (TOC) i % (<63 µm fraksjon, tørt sediment).

STA-KODE	DATA	DYP-SED	NI-SED	CO-SED	PB-SED	CD-SED	ZN-SED	CR-SED	FE-SED	HG-SED	CU-SED	AS-SED	TOT-N-SED	TOC-SED	C/N-SED
KRIS-1	830418	0-1	65	23	100	0.25	151	42	2.2		48		0.42	4.2	9.93
KRIS-2	830418	0-1	77	11	202	0.03	289	64	2.8		69		0.42	4.1	9.74
KRIS-4	830418	0-1	32	5	88		168	20	1.4		28		0.1	1.1	11.0
KRIS-5	830418	0-1	45	11	36		50	18	1.4		25		0.08	0.9	11.6
KRIS-6	830418	0-1	72	7	74	0.19	204	38	1.8		64		0.29	4.4	15.1
KRIS-7	830418	0-1	83	19	71		97	34	2.2		42		0.21	2.5	11.9
KRIS-8	830418	0-1	290	13	138	0.07	106	71	2.3		186		0.21	2.9	13.9
KRIS-9	830418	0-1	100	10	124	0.1	175	54	2.7	0.14	66	23	0.24		
KRIS-9	830418	1-2	98	10	90	0.11	112	52	2.6		66		0.23	2.8	12.0
KRIS-9	830418	2-3	90	8	88	0.12	110	50	2.5		58		0.22	2.8	12.7
KRIS-9	830418	3-4	88	10	84	0.07	114	52	2.7		60		0.23	3.0	13.2
KRIS-9	830418	4-5	99	10	77	0.07	109	52	2.5		60		0.23	2.9	12.5
KRIS-10	830418	0-1	114	22	86		113	47	2.6		62		0.23	3.0	12.9
KRIS-11	830418	0-1	90	10	262	0.07	1700	30	2.1		48		0.17	1.9	11.1
KRIS-11	830418	1-2	97	18	67		93	34	2.1		51		0.19	2.6	13.6
KRIS-11	830418	2-3	97	17	64		90	32	2.0		53		0.2	2.5	12.7
KRIS-12	830418	0-1	55	19	67		94	34	2.4		33		0.19	2.5	13.1
KRIS-13	830418	0-1	48	8	184	0.12	900	33	2.3		36		0.21	2.4	11.4
KRIS-14	830418	0-1	59	20	75		106	37	2.6		32		0.17	2.1	12.5
KRIS-16	830418	0-1	445	19	100	0.36	178	44	2.6	0.1	367	82			
KRIS-17	830418	0-1	1620	64	415	0.16	267	114	4.4		1515		0.44	6.2	14.0
KRIS-18	830418	0-1	1520	68	668	0.13	228	446	6.0	0.41	1539	2700	0.31	4.8	15.4
KRIS-18	830418	1-2	1540	50	600	0.11	134	328	3.7		1156		0.22	2.9	13.0
KRIS-18	830418	2-3	770	21	258	0.07	112	104	2.2		484		0.14	2.1	15.3
KRIS-18	830418	3-4	295	12	138	0.08	94	50	2.0		214		0.12	1.7	14.2
KRIS-18	830418	4-5	155	8	120	0.08	88	28	1.8		94		0.1	1.4	14.3
KRIS-18	830418	6-7	93	12	74		78	21	1.6		62		0.09	1.4	15.9
KRIS-18	830418	8-10	36	11	89		75	17	1.6		29		0.08	1.3	16.6
KRIS-18	830418	14-16	11	4	20	0.05	54	16	1.6		10		0.06	0.8	13.2
KRIS-19	830418	0-1	5440	360	706	0.76	138	318	30.6		3940	7900	0.11	1.0	9.1
KRIS-20	830418	0-1	6480	472	1070	0.3	56	242	36.2		3238		0.35	3.6	10.1
KRIS-21	830418	0-1	3680	168	488	0.5	208	118	11.2		3857		0.35	4.1	11.7
KRIS-22	830418	0-1	1815	78	405	0.19	168	108	6.7		1928		0.32	3.3	10.2
KRIS-23	830418	0-1	8200	354	366	0.5	232	74	14.0		5778		0.32	3.9	14.3
KRIS-24	830418	0-1	1160	52	274	0.26	206	50	4.1		1153		0.27	3.9	14.3

Tabell A4. Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) i sedimentet.  
KPAH = kreftfremkallende PAH. Konsentrasjoner  
i ng/g tørt materiale, <63 µ fraksjon.

PAH	Stasjon	K4 0-2	K6 0-2	K8 0-2	K12 0-2	K17 0-2	K18 0-2	K21 0-2
Naftalen								
2-Metylnaftalen								
1-Metylnaftalen								
Bifenyli								
Acenaflylen								
Acenaften						471		
4-Metylbifenyli								
Dibenzofuran						214		
Fluoren						371		
9-Metylfuoren								
9,10-Dihydroantracen								
2-Metylfuoren								
1-Metylfuoren								
Dibenzothiophen						240		46
Fenantren	46	98	426	94	3974	910	1423	
Antracen			136	39	1085	210	350	
Carbazole								
3-Metylfenantren								
2-Metylfenantren	10				708	200	180	
2-Metylantracen			13) 36	20				
4,5-Metylenfenantren								
4- og/eller 9-Metylfenantren								
1-Metylfenantren					313	77	80	
Fluoranten	109	577	539	184	5305	1409	2188	
Fyren	105	434	446	194	4380	1120	1790	
Benzo(a)fluoren	7	46	82	22	1365	82	125	
Benzo(b)fluoren					160		71	
4-Metyipyren								
2-Metyipyren og/eller Metylfuoranten								
1-Metyipyren								
Benzo(ghi)fluoranten								
Benzo(c)fenantren ***	1) 9				514	118	172	
Benzo(a)antracen *	71	163	209	82	2773	670	912	
Trifenylen/Chrysen *	114	282	363	151	3344	984	1212	
Benzo(b)fluoranten **	214	507	489	296	4534	1901	2352	
Benzo(j,k)fluoranten ** 1)					1306			
Benzo(e)pyren *	95	253	202	131	2543	840	989	
Benzo(a)pyren ***	116	277	266	112	3450	1044	1203	
Perylen	34	61	79	33	886	325	360	
Indeno(1,2,3-cd)pyren *	110	196	162	136	2293	890	933	
Dibenz(a,h og/eller a,c)antracen *** 1)	34	38			633	295	269	
Picen								
Benzo(g,h,i)perylen	120	220	77	118	2396	927	1099	
Anthanthrene					685	243	325	
Coronen								
Sum		1194	3152	3512	1612	43913	12277	16425
Derav KPAH		276	634	592	309	6235	2577	3090
* KPAH		23	20	17	19	14	21	19
* Torrstoff								

1)  
KPAH er summen av moderat (\*\*) og sterkt kreftfremkallende (\*\*\*) PAH i henhold til U.S. National Academy of Science (NAS, 1972). I summen \*\* + \*\*\* er det medregnet 50 % av benzo(j,k)fluoranten og dibenz(a,h/a,c)antracen, idet bare B<sub>(j)</sub>F og DB(a,h)A er kreftfremkallende. Når PAH-innholdet i alle benzofluorantener er gitt som en sum, er 2/3 regnet som KPAH

Tabell A4 forts.

PAH	Stasjon	K17Y	K17X	K17X	K17X	K17X			
		0-2	0-2	4-6	10-12	18-20			
Naftalen		57	1099	2290	795	60			
2-Metylnaftalen		38	300	609	270	30			
1-Metylnaftalen		32	252	480	242	735			
Bifenyl		30	119	168	81	19			
Acenaftalen					116	15			
Acenaften		475	3625	5813	1815	71			
4-Metylbifenyli									
Dibenzofuran		163	1652	2234	877				
Fluoren		439	3575	4356	1343	138			
9-Metylfuoren		55	352	686	350	30			
9,10-Dihydroantracen				560		27			
2-Metylfuoren		88	457		402				
1-Metylfuoren		47	200	288	262	30			
Dibenzothiophen		16			196	108			
Fenantren		4992	38152	41949	12311	1167			
Antracen		1217	9408	18529	15224	280			
Carbazole									
3-Metylfenantren									
2-Metylfenantren			25928						
2-Metylantracen		976		7294	3280	114			
4,5-Metylfenantren									
4- og/eller 9-Metylfenantren					506				
1-Metylfenantren		323	1694	2650	777	92			
Fluoranten		7287	47642	55593	20836	1955			
Pyren		5877	37122	45167	24986	1736			
Benzo(a)fluoren		1573	9647	11986	4167	977			
Benzo(b)fluoren		1383	9039	11202	6410	877			
4-Metyipyren									
2-Metyipyren og/eller Metylfuoranten									
1-Metyipyren		639	3415	3779	2849	128			
Benzo(ghi)fluoranten									
Benzo(c)fenantren ***		181	1613	2306	1190	185			
Benzo(a)antracen *		3057	21486	22678	11289	1121			
Trifenyl/Chrysen *		3596	24827	28617	13507	2377			
Benzo(b)fluoranten **		66141	38762	51149	25977	1668			
Benzo(j,k)fluoranten ** 1)					6566	740			
Benzo(e)pyren *		2974	16122	23092	13459	1509			
Benzo(a)pyren ***		3367	20508	28177	18998	879			
Perylen		854			4252	222			
Indeno(1,2,3-cd)pyren *		1710	11472	14301	8651	867			
Dibenz(a,h og/eller a,c)antracen *** 1)		90	3440	392	815	464			
Picen									
Benzo(g,h,i)perylene		1513	10857	12115	8575	857			
Anthanthrene		386	3912	5068		348			
Coronen									
Sum		49564	326677	395459	201374	19126			
Derav KPAH		7681	49682	64778	49856	3334			
% KPAH		16	15	16	25	17			
% Torrstoff									

1)  
KPAH er summen av moderat (\*\*) og sterkt kreftfremkallende (\*\*\*) PAH i henhold til U.S. National Academy of Science (NAS, 1972). I summen \*\* + \*\*\* er det medregnet 50 % av benzo(j,k)fluoranten og dibenz(a,h/a,c)antracen, idet bare B<sub>(j)</sub>F og DB(a,h)A er kreftfremkallende. Når PAH-innholdet i alle benzofluorantener er gitt som en sum, er 2/3 regnet som KPAH



Tabell A5. Sedimentkonsentrasjoner av klorerte benzener, klorerte styrener, polyklorerte bifenylar (PCB) og ekstraherbart persistent organisk bundet klor og brom (EPOCl,-Br) i ng/g tørt materiale.

Stasjon	Dyp (cm)	KLOERTE BENZENER										HCB (6CB)	10CB
		1,2,3-3CB	1,2,4-3CB	1,3,5-3CB	1,2,3,4-4CB	1,2,3,5-4CB	5CB	6CB	7CB	8CB	9CB		
K 4	0-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	19	34
K 6	0-2	-	-	-	4	-	-	-	-	-	26	61	2
K 8	0-2	-	-	-	8	-	-	-	-	-	32	105	2
K 11	0-2	1	-	-	2	-	-	-	-	-	10	27	1
K 12	0-2	3	-	-	5	-	-	-	-	-	12	27	0,5
K 13	0-2	7	9	1	23	-	-	-	-	-	38	71	0,5
K 16	0-2	47	9	-	31	-	-	-	-	-	125	461	10
K 17	0-2	35	24	24	65	-	-	-	-	-	137	558	11
K 18	0-2	62	25	-	63	-	-	-	-	-	367	2080	18
K 18	2-4	75	42	2	66	-	-	-	-	-	113	555	12
K 18	4-6	2,5	15	1	25	-	-	-	-	-	46	131	2
K 18	8-10	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	1	0,01
K 19	0-2	36	24	7	107	-	-	-	-	-	1430	4680	16
K 21	0-2	1800	70	3	1370	-	-	-	-	-	5300	3340	40
K 23	0-2	1580	2280	4	4310	-	-	-	-	-	2010	8790	39

Stasjon	Dyp (cm)	KLOERTE STYRENER									
		OCS	5CIS	Trans-6CIS	Trans-7CIS	β-P-7CIS	cis-7CIS				
K 4	0-2	6	-	-	0,6	6	-				
K 6	0-2	4	-	-	0,8	9	-				
K 8	0-2	6	-	-	0,6	5	-				
K 11	0-2	1	-	-	0,3	2	-				
K 12	0-2	2	-	-	0,3	2	-				
K 13	0-2	1	-	-	0,4	2	-				
K 16	0-2	34	2,7	1,3	3,5	8	6				
K 17	0-2	47	2,2	0,4	3,9	4	1				
K 18	0-2	111	7,4	-	11,9	18	12				
K 18	2-4	39	2,2	7,6	5,3	5	7				
K 18	4-6	7	-	0,6	2,0	1	-				
K 18	8-10	0,5	-	-	-	-	-				
K 19	0-2	141	35	1,8	17	15	18				
K 21	0-2	168	6	4	17	19	14				
K 23	0-2	288	32	29	61	24	48				

Tabell A5 forts.

Stasjon	Dyp (cm)	PCB	EPOCl	EPOBr	Cl bundet til identifiserte forbindelser i % av EPOCl
K 4	0-2	80	500	40	20
K 6	0-2	30	4000	100	2
K 8	0-2	10	1100	100	11
K 11	0-2	6	900	200	6
K 12	0-2	5	500	100	9
K 13	0-2	2	300	100	32
K 16	0-2	50	4200	400	6
K 17	0-2	60	5000	200	14
K 18	0-2	100	14000	300	15
K 18	2-4	50	4900	100	15(+11) b)
K 18	4-6	11	600	400	34
K 18	8-10	2	-	100	-
K 19	0-2	90	20300	1200	24
K 21	0-2	160	13800	400	25
K 23	0-2	270	38800	1300	23

Stasjon	DYP (cm)	Cl <sub>4-5</sub> naftalen a)	Cl <sub>2-3-C<sub>3-4</sub></sub> alkylbenzen a)	Br <sub>1-2-C<sub>3-4</sub></sub> alkylbenzen
K 18	2-4	-	1	-

- ikke påvist

a) Analyisert med GC/MS

b) Bidrag fra kloralkylbenzener med GC/MS