

1724



# Statlig program for forurensningsovervåking

## Rapport 184|85

Oppdragsgiver

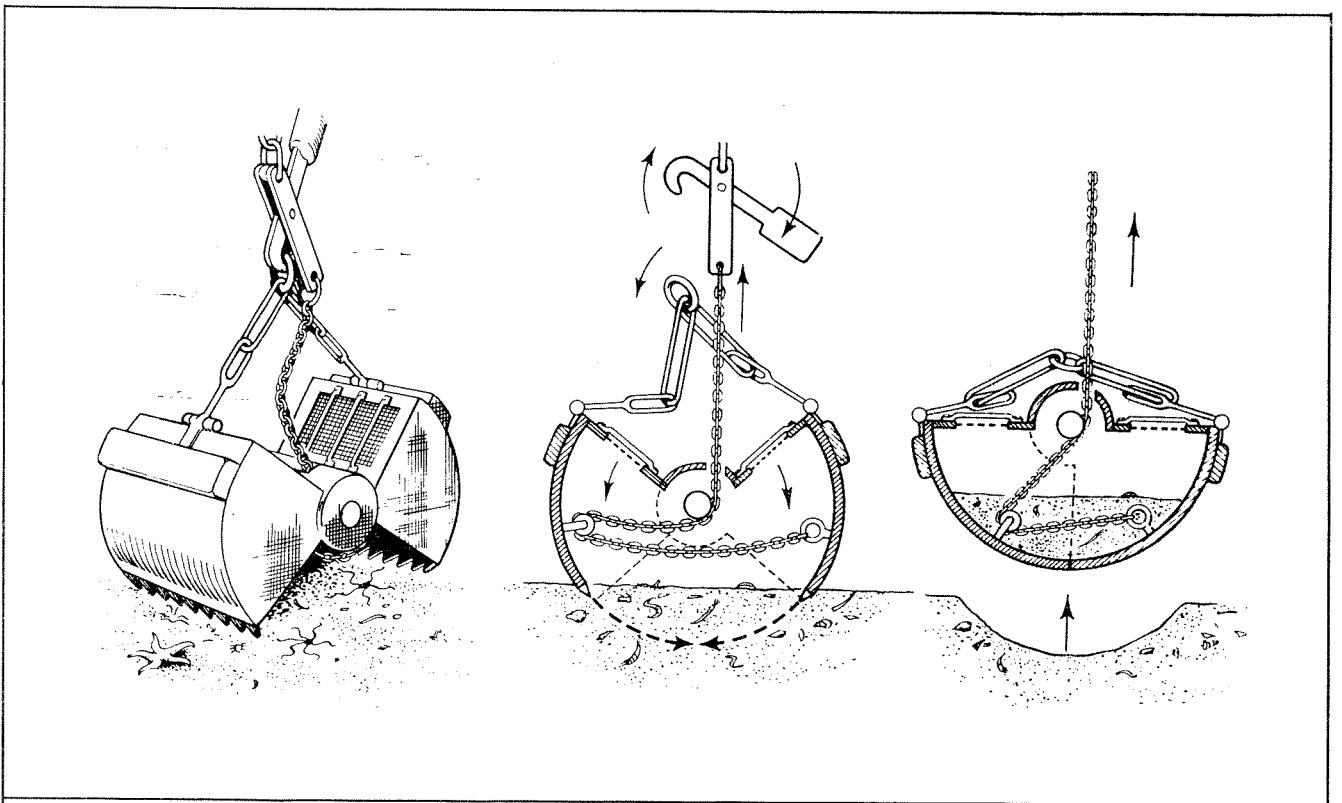
Statens forurensningstilsyn

Deltakende institusjon

NIVA

Bruk av indikatorarter ved  
vurdering av forurensningstilstand

## Sammenheng mellom forureningsgrad og forekomst av utvalgte arter av marin bløtbunn- fauna





## 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.

# NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  
Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd



NIVA

Hovedkontor  
Postadresse:  
Postboks 333  
0314 Oslo 3  
Brekkeveien 19  
Telefon (02)23 52 80

Sørlandsavdelingen  
Postadresse:  
Grooseveien 36  
4890 Grimstad  
Telefon (041)43 033

Østlandsavdelingen  
Postadresse:  
Rute 866, 2312 Ottestad  
Postgiro: 4 07 73 68  
Telefon (065)76 752

Rapportnummer: 85121
Undernummer:
Løpenummer: 1724
Begrenset distribusjon:

Rapportens tittel: Sammenheng mellom forurensningsgrad og forekomst av utvalgte arter av marin bløtbunnfauna. Bruk av indikatorarter ved vurdering av forurensningstilstand. (Overvåkingsrapp. 184/85)	Dato: 22. april 1985
	Prosjektnummer: 85121
Forfatter (e):  Brage Rygg	Faggruppe: Hydroøkologisk
	Geografisk område: Norge
	Antall sider (inkl. bilag): 36

Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn (SFT)	Oppdragsg. ref. (evt. NTNF-nr.):
---	----------------------------------

Ekstrakt:  Databehandling av resultater fra et stort antall bløtbunnfaunaprøver fra norske fjorder med varierende forurensningsgrad har avdekket graden av ømfintlighet eller toleranse hos omkring 100 av de vanligste artene. Klassifikasjonen av artene med hensyn til ømfintlighet overfor (1) samlet forurensningspåvirkning (uttrykt ved nedsatt artsmangfold) og (2) kopperforurensning av sedimentet betyr at ytterligere et hjelpemiddel til å bestemme forurensningsgraden på fjordbunnen er tilgjengelig.
--

4 emneord, norske:
1. Norge
2. Fjorder
3. Bløtbunnfauna
4. Artsmangfold
5. Kopper

6. Forurensningsindikator

Prosjektleder:

*Brage Rygg*  
Divisjonssjef:

*Jon Knudsen*

4 emneord, engelske:
1. Norway
2. Fjords
3. Soft-bottom fauna
4. Diversity
5. Copper

6. Pollution indicators

*R. E. Jensen*

ISBN 82-577-0912-3

*Jan Ovein*



# Statlig program for forurensningsovervåking

0-85121

SAMMENHENG MELLOM FORURENSNINGSGRAD OG FOREKOMST AV UTVALGTE  
ARTER AV MARIN BLØTBUNNFAUNA.

BRUK AV INDIKATORARTER VED VURDERING AV FORURENSNINGSTILSTAND

Oslo, 22. april 1985

Forfatter : Brage Rygg

## FORORD

Foreliggende arbeid er en del av et større prosjekt ved NIVA som har som mål å finne sammenhenger mellom forurensning og bløtbunnfaunasamfunnenes tilstand i marine resipienter.

Prosjektet startet i 1980. Det er tidligere utgitt fem rapporter (Rygg, 1981; 1984a,b; 1985a; Rygg og Skei, 1984a) og fire artikler (Rygg, 1984c; 1985b,c; Rygg og Skei, 1984b). Prosjektet er for en stor del basert på resultater fra Statlig program for forurensningsovervåking, hvor Statens forurensningstilsyn (SFT) var oppdragsgiver og hovedfinansier. SFT har også finansiert arbeidet med foreliggende rapport. Den bygger på resultatene som er presentert i Rygg (1985a,b,c).

De store datamengdene gjorde det nødvendig med utstrakt bruk av EDB. Programmeringen er gjort av Terje Hopen.

Det er forfatterens håp at rapporten kan være til nytte ved vurderingen av resultater fra andre bløtbunnfaunaundersøkelser.

INNHOILDSFORTEGNEISE

	Side
FORORD	1
1. KONKLUSJONER OG SAMMENDRAG	3
2. INNLEDNING	5
2.1 Bakgrunn	5
2.2 Problemstilling og målsetting	6
3. MATERIALE OG METODER	8
4. RESULTATER	10
4.1 Utbredelse av arter langs forurensningsinduserte gradienter i artsmangfoldet	10
4.2 Virkning av kopperkonsentrasjoner i sedimentet på forekomsten av arter	15
4.3 Indikatorarter og indikatorkollektiver	15
5. DISKUSJON	19
6. LITTERATURHENVISNINGER	21
VEDLEGG	24-36
Tabellene 1-10	

## 1. KONKLUSJONER OG SAMMENDRAG

Vurderinger av forurensningsgrad bør så langt det er mulig støtte seg på flere forskjellige indikasjoner. Det vil høyne utsagnskraften i resipientvurderingene, slik at de kan bli et mer presist grunnlag for optimalt valg av miljøverntiltak. I marine bløtbunnfaunasamfunn vil forurensningspåvirkning svært ofte medføre bl.a. nedsatt artsmangfold og forandringer i fordelingen av individantall blant arter. Statistiske metoder for å beskrive slike forandringer brukes nå rutinemessig ved vurderinger av forurensningsgrad.

Resultatene som er lagt fram i denne rapporten, som viser graden av ømfintlighet eller toleranse hos 100 vanlige bløtbunnfaunaarter, vil være et godt grunnlag for å bedømme forurensningsgraden i et område ut fra artssammensetningen i prøver fra området. Dermed er ytterligere et hjelpemiddel til å bedømme forurensningsgraden på fjordbunnen tilgjengelig.

Slike biologiske klassifiseringssystemer kan også inngå i vannkvalitetskriterier med tanke på bruksområder og bruksplanlegging for vannforekomstene.

Arter som påvirkes av forurensninger kan brukes som indikatororganismer ved bedømmelse av forurensningsgrad, men det forutsetter at en kjenner til hvilke arter som blir sjeldnere eller forsvinner ved økende forurensning, og hvilke som tåler økende forurensning. Målet med arbeidet som presenteres i denne rapporten, var å finne ut hvilke bunnfauna-arter i norske fjorder som blir sjeldnere eller forsvinner ved økende forurensning.

Før det kan påstås at en art er forurensningsømfintlig, kreves det at arten er observert på et visst antall av ikke forurensete stasjoner,

samtidig som den mangler på de forurensete stasjonene. Ingen enkelt art opptrer med så høy hyppighet, heller ikke i uforurensete områder, at dens fravær alene kan tolkes som indikasjon på forurensning. For å kunne bruke fravær av arter som indikasjon på forurensning, må en derfor sette sammen flere forurensningsømfintlige arter til grupper (artskollektiver). Sammensetningen må være slik at sannsynligheten for at alle artene samtidig skal mangle i en prøve på grunn av naturlige årsaker er liten. Deres kollektive fravær indikerer da at forurensningsgraden ligger over en viss grense.

For å indikere at forurensningsgraden på en stasjon ligger under en viss grense, er det tilstrekkelig at en enkelt av de forurensningsømfintlige artene finnes på stasjonen.

Det er undersøkt korrelasjon mellom enkeltarters forekomst og samlet forurensningspåvirkning, og mellom forekomst og kopperkonsentrasjon i sedimentet. Artsmangfoldet er benyttet som mål på den samlede forurensningspåvirkning.

Av 100 av de vanligste artene var omkring 45 signifikant fraværende på stasjoner med lavt arts mangfold (= mindre enn 8 arter pr. 100 individer). Eksempler er vist i Fig. 1-3.

Av 50 av de vanligste artene var 20 signifikant fraværende på stasjoner med høye kopperkonsentrasjoner (= høyere enn 200 mg pr. kg tørt sediment). Eksempler er vist i Fig. 4-5.

Eksempler på grupper av forurensningsømfintlige arter som ved kollektivt fravær indikerer forurensning, er vist i tabell 10.

For den fulle klassifisering av artene med hensyn til forurensningsømfintlighet henvises det til tabellene 2-8 i Vedlegg.



## 2. INNLEDNING

### 2.1 Bakgrunn

Ved en rekke undersøkelser, særlig i 1970-årene, er det dokumentert at forurensning ofte fører til strukturelle endringer i bunnfaunasamfunnene. Best studert er virkningene av organisk forurensning og eutrofiering (Pearson og Rosenberg, 1978). Forurensning kan forårsake nedsatt artsmangfold (diversitet) eller avvik fra log-normal fordeling av individantall blant arter (Gray og Mirza, 1979; Gray og Pearson, 1982).

Med økende forurensningsbelastning eller annen type påkjenning, vil et begrenset antall opportunistiske arter bli forholdsvis mer tallrike og dominerende i samfunnet, mens mange mindre tolerante arter blir sjeldne eller forsvinner.

Arter som påvirkes av forurensninger kan brukes som indikatororganismer (Leppäkoski, 1975; Pearson og Rosenberg, 1978; Pearson et al., 1983).

Innenfor det statlige programmet for forurensningsovervåking er det gjort undersøkelser av bløtbunnfauna i en rekke norske fjorder med forskjellig forurensningsgrad. Det er funnet en tydelig sammenheng mellom artsmangfold og forurensningsbelastning (Rygg, 1984a,b).

Bløtbunnfaunasamfunnet i en fjord kan bestå av flere hundre arter. Hvis prøver fra en fjord viser f.eks. en halvering av normalt artsmangfold, betyr det at et stort antall arter er blitt sjeldne eller er utryddet på vedkommende sted (Rygg, 1984c)

Ved bruk av artsmangfoldet har det vært mulig å sannsynliggjøre statistisk at kopper er en forurensningskomponent som har ført til økologiske skadevirkninger i det marine miljø (Rygg og Skei, 1984a).

Bryan (1976) hevdet at en økning i konsentrasjonene av enkelte av de mest giftige metallene i sjøvann med en faktor på 10 må forventes å gi nokså klare økologiske effekter. Kopper er det metall som er mest giftig for marine organismer, med unntak av sølv og kvikksølv. Bryan (1976) var opptatt av vanskeligheten med å oppdage mindre klare økologiske effekter og gradvise forandringer, og mente at effekter som følge av metallforurensning har gått upåaktet så fremt de ikke var spesielt iøynefallende.

## 2.2 Problemstilling og målsetting

Arter som finnes på stasjoner med høy forurensningsgrad kan betraktes som forurensningstolerante.

Arter som ikke finnes der kan ikke uten videre betraktes som ømfintlige overfor forurensning. Et stort antall arter opptrer normalt med så lav hyppighet at de ikke så ofte kommer med i prøvene. Arter som er vanlige på en lokalitet kan av helt naturlige årsaker mangle på en annen. Før det kan påstås at en art er forurensningsømfintlig, kreves det at arten er observert på et visst antall av ikke forurensete stasjoner, samtidig som den mangler på de forurensete stasjonene.

Ingen enkelt art opptrer med så høy hyppighet, heller ikke i uforurensete områder, at dens fravær alene kan tolkes som indikasjon på forurensning. For å kunne bruke fravær av arter som indikasjon på forurensning, må en derfor sette sammen flere forurensningsømfintlige arter til grupper (artskollektiver). Sammensetningen må være slik at sannsynligheten for at alle artene samtidig skal mangle i en prøve på grunn av naturlige årsaker er liten. Deres kollektive fravær indikerer da at forurensningsgraden ligger over en viss grense.

For å indikere at forurensningsgraden på en stasjon ligger under en

viss grense, er det tilstrekkelig at en enkelt av de forurensningsømfintlige artene finnes på stasjonen.

Målet med arbeidet som presenteres i denne rapporten, var å finne ut hvilke arter som blir sjeldnere eller forsvinner ved økende forurensning. Resultatene vil gi ytterligere et hjelpemiddel for å bedømme graden av forurensningspåvirkning, idet artssammensetning da kan benyttes som indikasjon.

### 3. MATERIALE OG METODER

Undersøkelsene baserer seg på artslistene fra 165 stasjoner. Artsmangfold er beregnet for 150 av stasjonene. Analyser av kopperkonsentrasjon i sedimentet fantes for 71 av stasjonene.

Nærmere beskrivelse av materialet, fjordene det er hentet fra, og forurensningsbelastning i områdene, finnes i tidligere rapporter (Rygg 1984a, b).

Det finnes flere måter å beregne artsmangfold på. I denne rapporten er artsmangfoldet definert som det forventete antall arter i en prøve på 100 tilfeldig utvalgte individer fra faunasamfunnet. Det beregnes ved en metode av Hurlbert (1971), og er i denne rapporten angitt ved  $E(S_n)$ .

Det er undersøkt korrelasjon mellom enkeltarters forekomst og samlet forurensningspåvirkning, og mellom forekomst og kopperkonsentrasjon i sedimentet. Artsmangfoldet er benyttet som mål på den samlede forurensningspåvirkning. Forutsetningen for å gjøre det, er at økt belastning og nedsatt artsmangfold er rimelig godt korrelert. Selv om dette er vist ved tidligere undersøkelser, vil naturlige faktorer i mange tilfeller påvirke artsmangfoldet. Andre kvantitative uttrykk for samlet forurensningspåvirkning var imidlertid ikke tilgjengelige.

Analysene er for det meste foretatt ved plotting av antall individer (omregnet til antall pr. kvadratmeter) mot artsmangfold ( $E(S_n)$ ) og mot kopperkonsentrasjon (Cu) på de enkelte stasjonene.

I noen tilfeller ble to eller flere arter av samme slekt slått sammen før dataanalysen. Individer som ikke var bestemt til art ble i noen tilfeller utelatt, eller slått sammen med andre representanter for slekten, dersom det syntes berettiget.

Plot av 70 av de vanligste taxa er vist i en tidligere NIVA-rapport (Rygg, 1985a). I foreliggende rapport er det tatt med et begrenset antall plot for å illustrere noen av resultatene.

For den fulle klassifisering av artene med hensyn til forureningsømfintlighet henvises det til tabell 2-8. Bemerk at det først og fremst er tilstedeværelse eller fravær som er brukt som kriterium, og i mindre grad artens variasjon i individantallet, ved bedømmelsen og forureningsømfintlighet eller -toleranse. Bemerk også at et stort antall arter hittil ikke har kunnet bli klassifisert på grunn av at det er for få observasjoner av dem. Etter hver som nye resultater kommer til, kan stadig flere arter oppfylle betingelsene for signifikant klassifisering.

#### 4. RESULTATER

Betydelig forurensningsgrad ble definert som: Artsmangfold lavere enn  $E(Sn) = 8$  og/eller kopperkonsentrasjon høyere enn 200 mg pr. kg (ppm) tørt sediment. Grensen på  $E(Sn) = 8$  er brukt fordi mange arter hadde terskelverdi for sin forekomst omtrent der.

Kopperkonsentrasjonen på 200 ppm er valgt som grense fordi det er anslått at artsmangfoldet er halvert ved denne konsentrasjonen, som er omtrent 10 ganger høyere enn det normale (Rygg og Skei 1984a).

Blant de 165 stasjonene som inngitt i undersøkelsen ble det funnet omtrent 450 taxa (arter eller andre systematiske enheter).

##### 4.1 Utbredelse av arter langs forurensningsinduserte gradienter i artsmangfoldet.

Arter som signifikant manglet på stasjonene med lavt artsmangfold ble betraktet som ikke-tolerante arter. De ble delt i fem grupper, fraværende henholdsvis fra stasjoner med artsmangfold lavere enn  $E(Sn) = d$  ( $d = 12, 11, 10, 9$  eller  $8$ ).  $E(Sn) = 12$  representerer grenseverdien mellom moderat og lavt artsmangfold, som foreslått av Rygg (1984b) for klassifisering av forurensningspåvirkning av bunndyrsamfunn i fjorder. For å teste signifikansen av en arts fravær, var et estimat av dens forekomstfrekvens under normale forhold nødvendig. Den ble definert som forekomstfrekvensen blant stasjoner med artsmangfold høyere enn  $E(Sn) = d$  ( $d = 12, 11, 10, 9$  og  $8$ , henholdsvis) for arter innen hver av de fem gruppene.

Formelen

$$(1 - q / (150 - a))^a < 0,01$$

hvor  $a =$  antall stasjoner med  $E(Sn) < d$ , ble brukt for å beregne det

minimale antall forekomster ( $q$ ) som var nødvendig for å gjøre en arts fravær fra stasjonene med lavt artsmangfold signifikant på 99 %-nivået (Tabell 1).

Blant de 100 vanligst forekommende artene i materialet var omkring 45 signifikant fraværende på stasjonene med lavt artsmangfold (Tabell 2). Fig. 1 viser forekomsten av to av disse artene plottet mot artsmangfold.

En del arter hadde grense for sin forekomst mellom  $E(S_n) = 8$  og  $E(S_n) = 4$ . De ble betraktet som tolerante overfor forurensning (Tabell 3). Arter som opptrådte ved  $E(S_n) < 4$  ble betraktet som svært tolerante overfor forurensning (Tabell 4).

Fig. 2 viser forekomsten av to av de tolerante artene plottet mot artsmangfold. Høy individtetthet av noen av de svært tolerante artene var korrelert med lavt artsmangfold. Dette var mest tydelig for børstemarkene Capitella capitata, Chaetozone setosa, Cirratulus cirratus, Polydora spp. og Tubificoides spp. Dette er opportunistiske arter, og på mange av de forurensete stasjonene har deres tallmessige dominans bidratt til det nedsatte artamangfoldet. Også børstemarkene Anaitides groenlandica og Eteone longa viste noe høyere individtetthet på stasjoner med lavt artsmangfold (Rygg, 1985c).

Forskjellige arter av samme slekt viste stort sett lignende relasjoner mellom forekomst og forurensningsgradient. Den ikke-tolerante Glycera rouxii og den svært tolerante G. alba (børstemark) utgjorde et markert unntak fra denne regelen (Fig. 3).

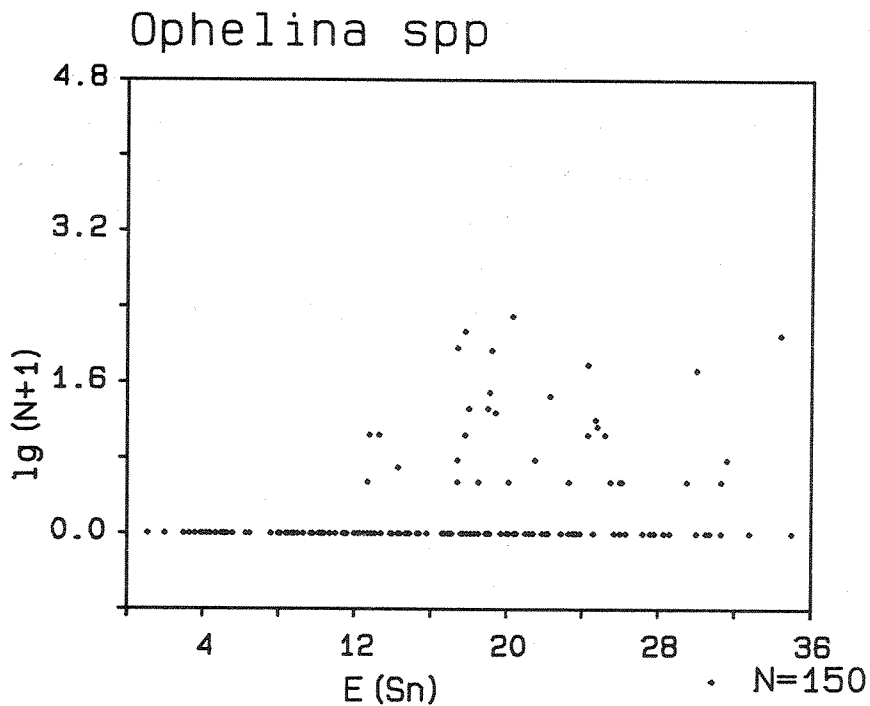
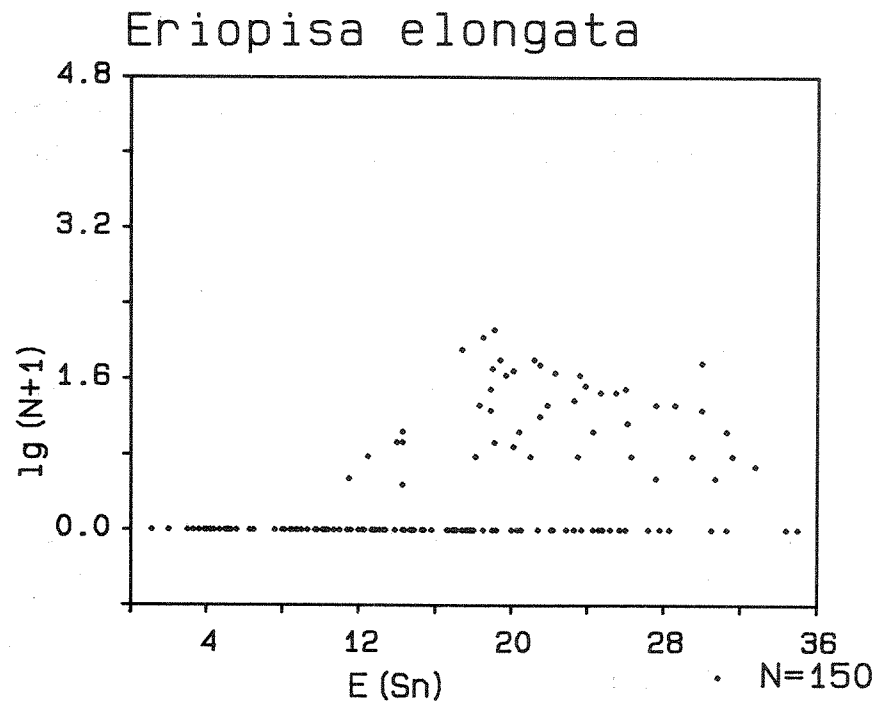


Fig. 1. Av de 100 vanligste bløtbunnfaunaartene var nesten halvparten ømfintlige overfor forurensningspåvirkning som tilsvarte et artsmangfold lavere enn  $E(S_n) = 8$ . Figuren viser forekomsten av amfipoden *Eriopisa elongata* og arter av børstemarkslekten *Ophelina* blant 150 stasjoner med artsmangfold som spenner fra 1,1 til 35,0. N = antall individer pr. kvadratmeter, (fra Rygg, 1985c).



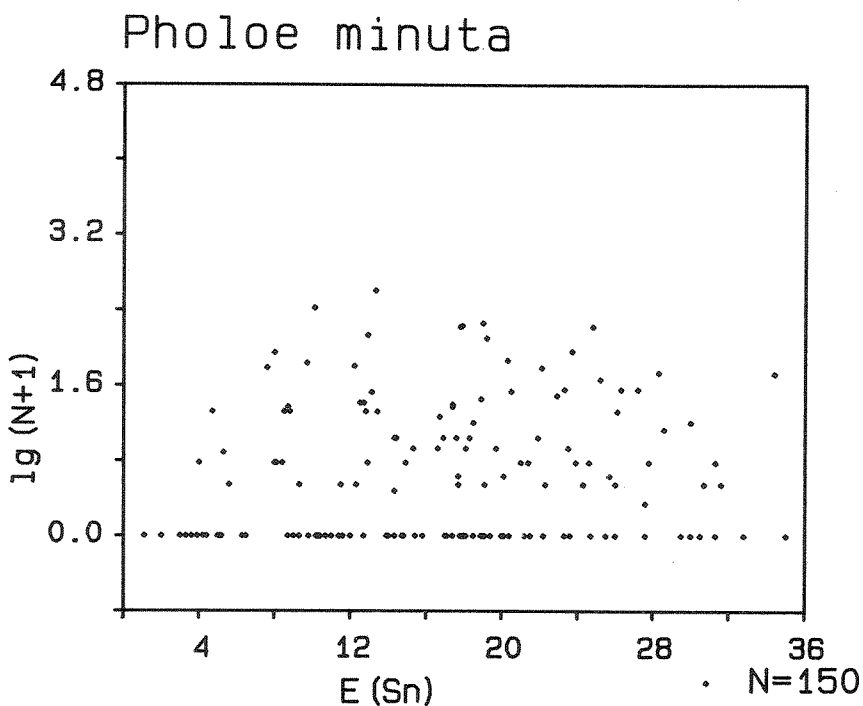
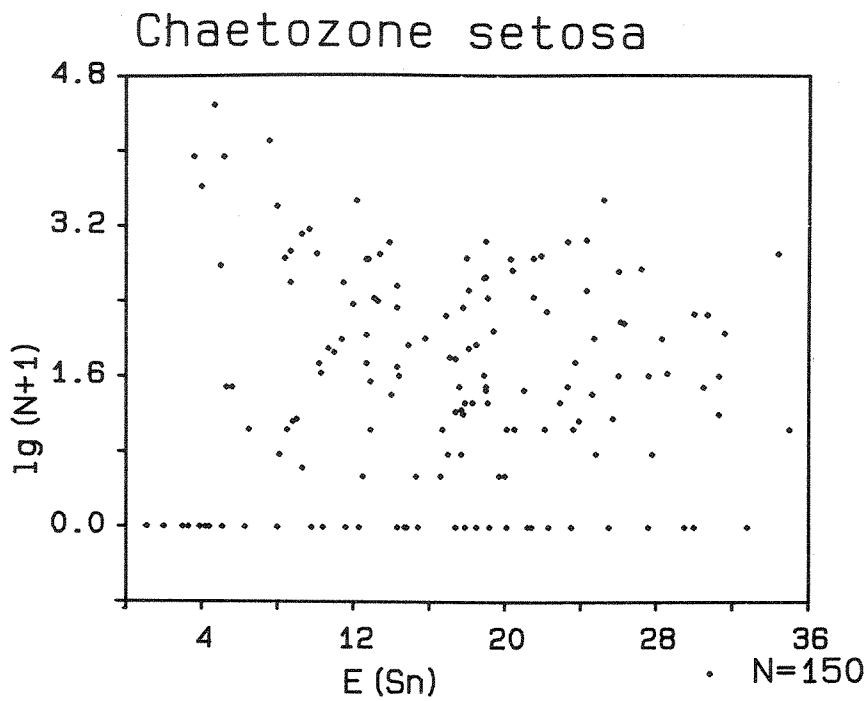


Fig. 2. Arter som forekom på stasjoner der forurensningspåvirkning hadde ført til at artsmangfoldet var lavere enn  $E(S_n) = 8$ , er betraktet som forurensningstolerante. Figuren viser forekomsten av børstemarkene *Chaetozone setosa* og *Pholoe minuta* blant 150 stasjoner med artsmangfold som spenner fra 1,1 til 35,0. N = antall individer pr. kvadratmeter, (fra Rygg, 1985c).

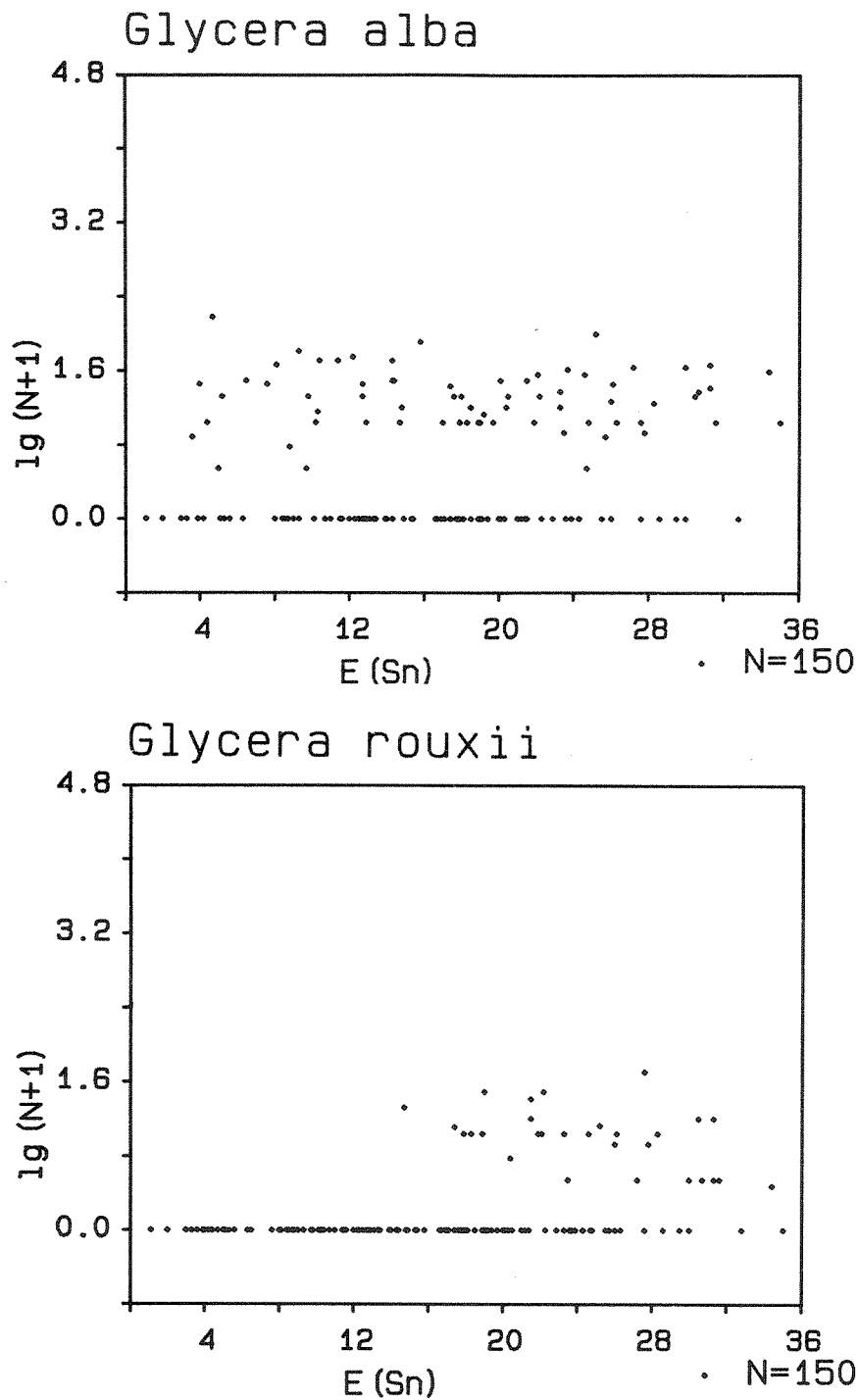


Fig. 3. *Forskjellige arter av samme slekt viste som regel en lignende korrelasjon mellom forekomst og forurensningspåvirkning. Et påfallende unntak fra denne regelen viste to arter av børstemarkslekten Glycera. Figuren viser forekomsten av Glycera alba og G. rouxii blant 150 stasjoner med artsmangfold som spenner fra 1,1 til 35,0. N = antall individer pr. kvadratmeter, (fra Rygg, 1985c).*

#### 4.2 Virkning av kopperkonsentrasjoner i sedimentet på forekomsten av arter

Arter som ikke fantes på noen av stasjonene med kopperkonsentrasjoner (Cu) høyere enn 200 mg pr. kg (ppm) tørt sediment ble betraktet som lite tolerante overfor kopperforurensning. For at en arts fravær på de 12 stasjonene med Cu > 200 ppm skulle være signifikant på 95 %-nivå, måtte den forekomme på minst 13 av de 59 øvrige stasjonene.

I alt 20 av de 50 vanligst forekommende artene var signifikant fraværende på stasjoner med Cu > 200 ppm (Tabell 5). Fig. 4 viser forekomsten av to av disse artene plottet mot kopperkonsentrasjon. De andre var til stede på en eller flere av de kopperforurensete stasjonene. Enkelte av dem var bare unntaksvis til stede på stasjoner med Cu > 200 ppm, og kan neppe klassifiseres som tolerante (Tabell 6).

Noen arter ble betraktet som moderat tolerante (Tabell 7). Arter som var vanlige på de mest kopperforurensete stasjonene ble betraktet som svært tolerante (Tabell 8). Fig. 5 viser forekomsten av to tolerante arter plottet mot kopperkonsentrasjon.

Proporsjonen av kopperømfintlige arter blant de 50 vanligste artene overensstemmer bemerkelsesverdig godt med den 50 % reduksjon i artsmangfoldet ved Cu = 200 ppm som ble anslått av Rygg og Skei (1984a).

#### 4.3 Indikatorarter og indikatorkollektiver

Tilstedeværelse av en eller flere arter som ble funnet å ha sin utbredelse begrenset til stasjoner med  $E(\text{Sn}) > d$  (Tabell 2) indikerer at artsmangfoldet er høyere enn  $E(\text{Sn}) = d$  og en tilsvarende liten forurensningspåvirkning. Disse artene er positive indikatorer på moderat, lav eller ingen forurensningspåvirkning.

Det lot seg gjøre å etablere negative forurensningsindikatorer ved å gruppere flere ømfintlige arter i kollektiver. Disse artenes kollektive fravær vil indikere at artsmangfoldet er lavere, og forurensningspåvirkningen således høyere enn en viss grense. Flere slike kollektiver, med forskjellig artssammensetning, var mulige. To eksempler er vist i Tabell 10. Oppstillingen i Tabell 9 er brukt som grunnlag for å komme fram til slike artskollektiver. Tabell 9 inneholder de taxa som er vist i Tabell 2 (ømfintlige arter), med tilstedeværelse/fravær plottet mot artsmangfold. Tilstedeværelse av flere enkeltarter utfyller hverandre mer eller mindre, slik at en under normale forhold kan forvente at minst en av dem er til stede på en stasjon.

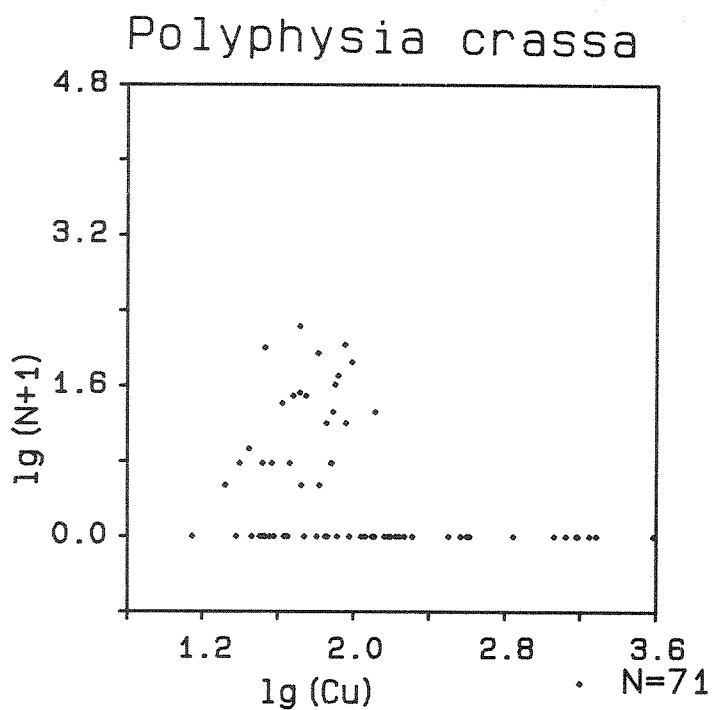
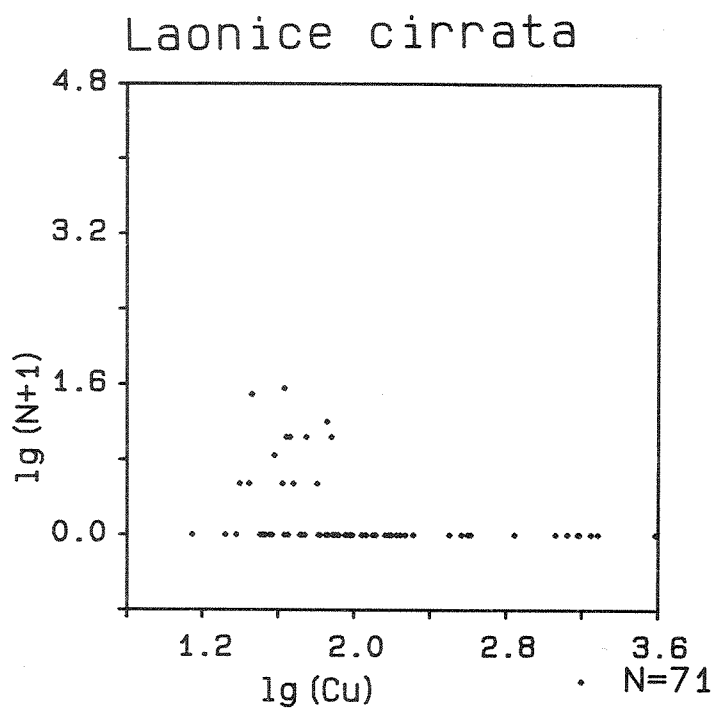


Fig. 4. Av de 50 vanligste bløtbunnfaunaartene var halvparten ømfintlige overfor kopperkonsentrasjoner høyere enn 200 mg pr. kg (ppm) tørt sediment. Figuren viser forekomsten av børstemarkene *Laonice cirrata* og *Polyphysia crassa* blant 71 stasjoner med kopperkonsentrasjoner som spenner fra 14 til 3860 ppm. Cu = kopperkonsentrasjon.  $\lg(\text{Cu}) = 2,3$  tilsvarer 200 ppm. N = antall individer pr. kvadratmeter, (fra Rygg, 1985b).

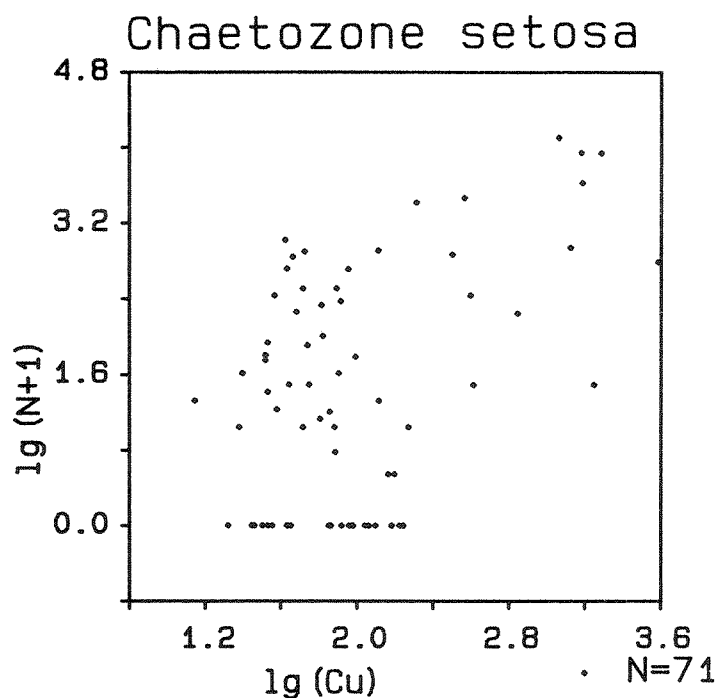
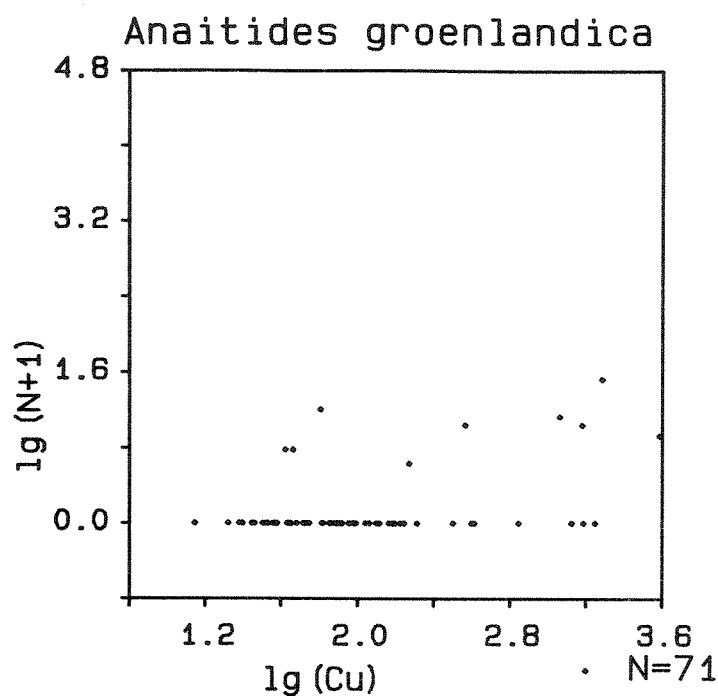


Fig. 5. Arter som forekom på stasjoner der kopperforurensningen var betydelig ( $Cu > 200$  ppm), er betraktet som tolerante overfor kopper. Figuren viser forekomsten av børstemarkene *Anaitides groenlandica* og *Chaetozone setosa* blant 71 stasjoner med kopperkonsentrasjoner som varierte fra 14 til 3860 ppm.  $Cu$  = kopperkonsentrasjon.  $Lg(Cu) = 2,3$  tilsvarer 200 ppm.  $N$  = antall individer pr. kvadratmeter, (fra Rygg, 1985b).

## 5. DISKUSJON

Tidligere publiserte resultater om ømfintligheten av bunnfaunaarter overfor forurensning er for det meste basert på forekomst langs tids- og stedsgradienter i organisk forurensningsbelastning (Pearson og Rosenberg, 1978). Grundigst studert er bløtbunnfaunasamfunnene i Loch Linnhe og Loch Eil, Skotland (Pearson, 1975) og Saltkällefjord, Sveriges vestkyst, (Bagge, 1969). I Norge har Mirza og Gray (1981) undersøkt faunaen i den organiske forurensete Oslofjorden.

En betydelig del av den foreliggende undersøkelsen angikk områder som var påvirket av utslipp fra industri, og det ble påvist en signifikant negativ korrelasjon mellom artsmangfold og kopperkonsentrasjonen i sedimentet (Rygg og Skei, 1984a). Dette kunne indikere at mange arter har lignende forekomst langs artsmangfoldgradienten som langs koppergradienten. Det var også tilfelle.

Av 23 arter som var tolerante overfor høye kopperkonsentrasjoner ble 22 også funnet på stasjoner med artsmangfold lavere enn  $E(Sn) = 8$ . Den eneste unntagelsen var børstemarken Ceratocephale loveni. Den fantes ikke på stasjoner med  $E(Sn) < 8$ , men fantes på to stasjoner med høy kopperkonsentrasjon. Av 29 arter som var ømfintlige overfor høye kopperkonsentrasjoner ble 26 funnet bare på stasjoner med  $E(Sn) > 8$ . Tre arter ble funnet på enkelte stasjoner med  $E(Sn) < 8$ , men ikke på kopperforurensete stasjoner. Det var børstemarkene Polyphysia crassa, Scalibregma inflatum og Sosane gracilis (Rygg, 1985b,c).

Klassifikasjonen av artene i den foreliggende undersøkelsen med hensyn til forurensningstoleranse (Tabell 2-4) overensstemmer i stor grad med resultatene til Bagge (1969), Pearson (1975) og Mirza og Gray (1981). For en diskusjon av dette, se Rygg (1985c).

Artssekvensen fra ekstremt ømfintlig til ekstremt tolerant, definert

ved forekomst langs artsmangfoldgradienten, kan tenkes å være foreskjellig, avhengig av hvilke faktorer som har forårsaket gradienten i artsmangfold. Hvis så er tilfelle, kan den generelle gyldigheten av sammenhengen artssekvens/artsmangfold bli svekket. Selv om slike forskjeller ikke ville være uventet, tyder undersøkelser hittil på at f.eks. ensidig organisk forurensning stort sett fører til dominans hhv. fravær av de samme artene som kopperforurensning gjør (Rygg, 1985c).

Det finnes en betydelig mengde litteratur om den biologiske betydningen av kopper i det marine miljø (Lewis og Cave, 1982). Men med svært få unntak er alle effektstudier relatert til metallkonsentrasjonen i vannet, og inkluderer ikke arter som ble funnet i bløtbunnfaunaprøvene fra norske fjorder. For evertebrater som er testet spente LC50 -verdiene over fire størrelsesordener (10potenser).

Ved et oljeraffineri fant Oyenekan (1983) negativ korrelasjon mellom kopper i sedimentet og antall bunnfaunaarter. Konsentrasjonene varierte der fra 150 til 800 ppm.

Kopperholdig avgang har påvirket evertebrater i ferskvann. I Lake Superior ble den ellers vanlige amfipoden Pontoporeia hoyi ikke funnet i områder der kopperkonsentrasjonen i sedimentet var 395-1310 ppm, men fantes i områder med 14-298 ppm. Individtettheten viste negativ korrelasjon med kopper (Kraft, 1979). Kraft og Sypniewski (1981) undersøkte bunnfauna og kopper i sedimentet i to områder av Keweenaw Waterway, Lake Superior. Det nordlige området, medstrøms deponier av kopperholdig avgang, hadde et gjennomsnittlig kopperinnhold i sedimentet på 589 ppm. Det sørlige området hadde et gjennomsnittlig kopperinnhold i sedimentet på 33 ppm. Antall evertebrater var 4,3 ganger høyere i det sørlige området. Gjennomsnittlig antall taxa var 20 i sør og 8 i nord. Den sannsynlige årsak til den reduserte faunaen i nord var det høye kopperinnholdet. Resultatene fra Lake Superior samsvarer bra med resultatene fra norske fjorder og indikerer at en lignende årsak-virkning sammenheng kan eksistere i marint og limnisk miljø.



LITTERATURHENVISNINGER

- Bagge, P.(1969). Effects of pollution on estuarine ecosystems. I. Effects of effluents from wood-processing industries on the hydrography, bottom and fauna of Saltkällefjord (W. Sweden). Meerentutkimuslait. julk. 228: 3-118
- Bryan, G.W.(1976). Heavy metal contamination in the sea. In: Johnston, R. (ed.) Marine Pollution, Acad. Press, London, pp. 185-302
- Gray, J.S., Mirza, F.B.(1979). A possible method for the detection of pollution-induced disturbance on marine benthic communities. Mar. Pollut. Bull. 10: 142-146
- Gray, J.S., Pearson, T.H.(1982). Objective selection of sensitive species indicative of pollution-induced change in benthic communities. I. Comparative methodology. Mar. Ecol. Prog. Ser. 9: 111-119
- Hurlbert, S.N.(1971). The non-concept of species diversity. Ecology 53: 577-586
- Kraft, K.L.(1979). Pontoporeia distribution along the Keweenaw shore of Lake Superior affected by copper tailings. J. Great Lakes Res. 5: 28-35
- Kraft, K.L., Sypniewski, R.H.(1981). Effect of sediment copper on the distribution of benthic macroinvertebrates in the Keweenaw Waterway. J. Great Lakes Res. 7: 258-263
- Leppäkoski, E.(1975). Assessment of degree of pollution on the basis of macrozoobenthos in marine and brackish-water environments. Acta Acad. Abo. Ser. B, 35: 1-90
- Lewis, A.G., Cave, W.R.(1982). The biological importance of copper in oceans and estuaries. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 20: 471-695
- Mirza, F.B., Gray, J.S.(1981). The fauna of benthic sediments from the organically enriched Oslofjord, Norway. J. exp. mar. Biol. Ecol. 54: 181-207
- Oyenekan, J.A.(1983). Production and population dynamics of Capitella capitata. Arch. Hydrobiol. 98: 115-126

- Pearson, T.H.(1975). The benthic ecology of Loch Linnhe and Loch Eil, a sea-loch system on the west coast of Scotland. IV. Changes in the benthic fauna attributable to organic enrichment. J. exp. mar. Biol. Ecol. 20: 1-41
- Pearson, T.H., Gray, J.S., Johannessen, P.J.(1983). Objective selection of sensitive species indicative of pollution-induced change in benthic communities. 2. Data analysis. Mar. Ecol. Prog. Ser. 12: 237-255
- Pearson, T.H., Rosenberg, R.(1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 16: 229-311
- Rygg, B.(1981). Bløtbunnsfauna som indikatorsystem på miljøkvalitet i fjorder. Den mulige bruk av manglebørstemarkene Prionospio cirrifera og P. malmgreni som negative indikatorer på lavt oksygeninnhold. Norsk Institutt for Vannforskning, Oslo. 80612, 17 s
- Rygg, B.(1984a). Bløtbunnfauna som indikatorsystem på miljøkvalitet i fjorder. Bruk av diversitetskurver til å beskrive faunasamfunn og anslå forurensningspåvirkning. Norsk Institutt for Vannforskning, Oslo. 80612, 39 s
- Rygg, B.(1984b). Bløtbunnfaunaundersøkelser. Et godt verktøy ved marine resipientvurderinger. Norsk Institutt for Vannforskning, Oslo. 80612, 29 s
- Rygg, B.(1984c). Økologiske skadevirkninger av kopperforurensning i det marine miljø. Vann 1984: 464-474
- Rygg, B.(1985a). Sammenheng mellom forurensningsgrad og forekomst av utvalgte arter av marin bløtbunnfauna. Norsk Institutt for Vannforskning, Oslo. 80612, 158 s
- Rygg, B.(1985b). Effect of sediment copper on benthic fauna. Mar. Ecol. Prog. Ser. (in press)
- Rygg, B.(1985c). Distribution of species along pollution-induced diversity gradients in Norwegian fjords. Mar. Pollut. Bull. (in prep.)

- Rygg, B., Skei, J. (1984a). Sammenheng mellom marine bløtbunnfaunasamfunns artsdiversitet og sedimentets miljøgiftinnhold. Norsk Institutt for Vannforskning, Oslo.. 80612, 14 s
- Rygg, B., Skei, J. (1984b). Correlation between pollutant load and the diversity of marine soft-bottom fauna communities. In: Proceedings of the International Workshop on Biological Testing of Effluents (and Related Receiving Waters). OECD/U.S.EPA/Environ. Canada, pp. 153-183

V E D L E G G

Tabell 1. Fordeling av artsmangfoldverdier blant de 150 stasjonene, og det minimale antall forekomster (q) som var nødvendig ved  $E(S_n) > d$  for å gjøre en arts fravær på stasjonene med  $E(S_n) < d$  signifikant på 99%-nivået, i : q ikke beregnet (fra Rygg, 1985c)

E(Sn) verdi (d)	Antall stasjoner med E(Sn) < d (a)	Nødvendig antall forekomster (q)
36	150	i
24	121	i
12	41	12
11	37	14
10	32	16
9	27	20
8	19	29
4	7	i

Tabell 2. Forurensningsømfintlige arter, signifikant fraværende på stasjonene med arts mangfold lavere enn  $E(S_n) = d$  og deres antall forekomster (Q) blant de 150 stasjonene. Ophelina spp = O. acuminata, O. cylindricaudata, O. modesta og O. norvegica. Rhodine spp = R. gracilior og O. loveni. Lumbrineris spp = L. fragilis, L. gracilis, L. latreilli, L. scopa, L. tetraura og uidentifiserte individer, (fra Rygg, 1985c)

	d	Q
<u>Amphilepis norvegica</u>	12	14
<u>Asychis biceps</u>	12	16
<u>Brada villosa</u>	12	15
<u>Brissopsis lyrifera</u>	12	18
<u>Glycera rouxii</u>	12	29
<u>Harpinia</u> spp	12	24
<u>Kelliella miliaris</u>	12	13
<u>Notomastus latericeus</u>	12	22
<u>Ophelina</u> spp	12	34
<u>Paraonis lyra</u>	12	22
<u>Pectinaria auricoma</u>	12	15
<u>Streblosoma bairdi</u>	12	13
<u>Westwoodilla caecula</u>	12	17
<u>Yoldiella lucida</u>	12	18
<u>Drilonereis filum</u>	11	23
<u>Eriopisa elongata</u>	11	47
<u>Phylo norvegica</u>	11	25
<u>Harmothoe</u> spp	10	25
<u>Nucula sulcata</u>	10	47
<u>Rhodine</u> spp	10	36
<u>Samythella vanelli</u>	10	18
<u>Melinna cristata</u>	9	34
<u>Synelmis klatti</u>	9	25
<u>Abra nitida</u>	8	63
<u>Amphiura chiajei</u>	8	46
<u>Amphiura filiformis</u>	8	44
<u>Calocaris macandreae</u>	8	29
<u>Ceratocephale loveni</u>	8	37
<u>Diplocirrus glaucus</u>	8	61

forts. neste side

forts. fra foregående side

<u>Ennucula tenuis</u>	8	42
<u>Eudorella emarginata</u>	8	45
<u>Labidoplax buskii</u>	8	29
<u>Laonice cirrata</u>	8	26
<u>Lumbrineris spp</u>	8	109
<u>Maldane sarsi</u>	8	34
<u>Mysella bidentata</u>	8	31
<u>Paramphinome jeffreysii</u>	8	61
<u>Paraonis gracilis</u>	8	46
<u>Prionospio cirrifera</u>	8	79
<u>Spiophanes kroeyeri</u>	8	66
<u>Terebellides stroemi</u>	8	48
<u>Thyasira equalis</u>	8	40

Tabell 3. Tolerante arter, funnet på stasjoner med artsmangfold mellom  $E(S_n) = 4$  og  $E(S_n) = 8$ , men ikke lavere enn  $E(S_n) = 4$ , og deres antall forekomster (Q) blant de 150 stasjonene. Sosane gracilis fantes bare unntaksvis på en stasjon med  $E(S_n) < 8$ , men var vanlig ellers. Den kan derfor neppe klassifiseres som forurensningstolerant. Oweniidae = Myriochele spp og Owenia fusiformis, (fra Rygg, 1985c)

	Q
<u>Arctica islandica</u>	12
<u>Arrhis phyllonx</u>	11
<u>Chone</u> spp	15
<u>Euchone</u> spp	29
<u>Gattyana cirrosa</u>	12
<u>Glycera capitata</u>	13
<u>Leanira tetragona</u>	22
Lysianassidae spp indet	24
<u>Nephtys ciliata</u>	24
<u>Nephtys paradoxa</u>	34
<u>Nereimyra punctata</u>	15
Oweniidae spp	86
<u>Philine scabra</u>	23
<u>Polyphysia crassa</u>	53
<u>Scalibregma inflatum</u>	48
<u>Scoloplos armiger</u>	35
<u>Sosane gracilis</u>	37
<u>Sphaerodorum flavum</u>	11
<u>Tharyx marioni</u>	32
<u>Thyasira flexuosa/sarsi</u>	59
<u>Trocochaeta multisetosa</u>	20



Tabell 4. Svært tolerante arter, funnet på stasjoner med E(Sn) < 4, og deres antall forekomster (Q) blant de 150 stasjonene, (fra Rygg, 1985c)

	Q
<u>Ampelisca</u> spp	9
<u>Anaitides groenlandica</u>	22
<u>Capitella capitata</u>	27
<u>Chaetozone setosa</u>	123
<u>Cirratulus cirratus</u>	19
<u>Corbula gibba</u>	50
<u>Cossura longocirrata</u>	48
<u>Eteone flava</u>	10
<u>Eteone longa</u>	20
<u>Glycera alba</u>	71
<u>Goniada maculata</u>	68
<u>Heteromastus filiformis</u>	138
<u>Jasmineira elegans</u>	3
<u>Mya arenaria</u>	4
Nemertinea spp indet	113
<u>Ophiodromus flexuosus</u>	70
<u>Pholoe minuta</u>	87
<u>Polydora</u> spp	79
<u>Prionospio malmgreni</u>	46
<u>Spio filicornis</u>	6
<u>Tubificoides</u> spp	17

Tabell 5. Kopperømfintlige arter, fraværende på stasjoner med kopperkonsentrasjoner i sedimentet høyere enn 200 ppm, (fra Rygg, 1985b)

Abra nitida  
Calocaris macandreae  
Diplocirrus glaucus  
Ennucula tenuis  
Eriopisa elongata  
Eudorella emarginata  
Glycera rouxii  
Laonice cirrata  
Nucula sulcata  
Ophelina acuminata  
Ophelina cylindricaudata  
Ophelina modesta  
Ophelina norvegica  
Phylo norvegica  
Polyphysia crassa  
Rhodine gracilior  
Rhodine loveni  
Scalibregma inflatum  
Sosane gracilis  
Terebellides stroemi

Tabell 6. Kopperømfintlige arter, bare unntaksvis funnet på en stasjon med kopperkonsentrasjon i sedimentet høyere enn 200 ppm, men vanlig forekommende på mindre forurensete stasjoner, (fra Rygg, 1985b)

Amphiura chiajei  
Amphiura filiformis  
Lumbrineris spp  
Melinna cristata  
Paramphinome jeffreysii  
Paraonis gracilis  
Prionospio cirrifera  
Spiophanes kroeyeri  
Thyasira equalis

Tabell 7. Moderat koppertolerante arter, funnet på noen av stasjonene med kopperkonsentrasjoner i sedimentet høyere enn 200 ppm, (fra Rygg, 1985b)

Ceratocephale loveni  
Corbula gibba  
Nephtys ciliata  
Nephtys paradoxa  
Prionospio malmgreni  
Tharyx marioni  
Thyasira flexuosa  
Thyasira sarsi

Tabell 8. Svært koppertolerante arter, vanlig forekommende på de mest kopperforurensete stasjonene, (fra Rygg, 1985b)

Anaitides groenlandica  
Capitella capitata  
Chaetozone setosa  
Cirratulus cirratus  
Cossura longocirrata  
Eteone longa  
Glycera alba  
Goniada maculata  
Heteromastus filiformis  
Nereimyra punctata  
Ophiodromus flexuosus  
Pholoe minuta  
Polydora spp  
Scoloplos armiger  
Tubificoides spp

Tabell 9. Kandidater til artskollektiver som ved fravær kan indikere forurensning. Tabellen viser forekomst (+) eller fravær (.) av arter eller slekter blant stasjoner med liten til moderat forurensningsgrad (  $E(S_n)=8.0$  eller høyere). De 131 stasjonene er rangert etter avtakende artsmangfold fra øverst til nederst. Artene er identiske med dem i Tabell 2 (ekskl. Laonice cirrata) og er satt i samme rekkefølge. Artsnavnene er forkortet og leses vertikalt

(3 neste sider, s. 33, 34, 35)







Tabell 10. Eksempler på indikatorkollektiver. Ved fravær av alle sine medlemmer vil kollektivet indikere at artsmangfoldet er lavere enn  $E(S_n) = d$  og at graden av forurensningspåvirkning er tilsvarende stor. På grunnlag av Tabell 9 kan det lages mange varianter av artskollektiver som ved fravær indikerer lavt artsmangfold. Det har liten hensikt å liste opp flere her. Artssammensetningen i aktuelle prøver kan heller sammenholdes direkte med Tabell 9

a) Artskollektiv som ved fravær av alle sine medlemmer vil indikere et artsmangfold lavere enn  $E(S_n) = 12$ . På hvilken som helst av de 109 stasjonene med  $E(S_n) > 12$  var minst ett av kollektivets medlemmer til stede

Enhver art begrenset til  $E(S_n) > 12$  (Tabell 2), samt  
Ceratocephale loveni  
Harmothoe spp  
Lumbrineris spp  
Nucula sulcata  
Paramphinome jeffreysii

b) Artskollektiv som ved fravær av alle sine medlemmer vil indikere et artsmangfold lavere enn  $E(S_n) = 10$ . På hvilken som helst av de 118 stasjonene med  $E(S_n) > 10$  var minst ett av kollektivets medlemmer til stede

Enhver art begrenset til  $E(S_n) > 10$  (Tabell 2), samt  
Abra nitida  
Ceratocephale loveni  
Lumbrineris spp  
Paramphinome jeffreysii  
Thyasira equalis