

O-
83046

1978

O-83046

Bløtbunnsfaunaen i
Tvedestrandsfjorden

Resultatene fra
1983·1984·1986

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Hovedkontor

Postboks 333
0314 Oslo 3
Telefon (02) 23 52 80

Sørlandsavdelingen

Grooseveien 36
4890 Grimstad
Telefon (041) 43 033

Østlandsavdelingen

Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (065) 76 752

Vestlandsavdelingen

Brevikven 2
5035 Bergen - Sandviken
Telefon (05) 25 97 00

Prosjektnr.:

0-83046

Undernummer:

Løpenummer:

1978

Begrenset distribusjon:

FRI

Rapportens tittel: BLØTBUNNSFAUNAEN I TVEDESTRANDSFJORDEN RESULTATENE FRA 1983, 1984 OG 1986	Dato: 20.02.1987
	Prosjektnummer: 0-83046
Forfatter (e): PER BIE WIKANDER	Faggruppe: MARIN ØKOLOGI
	Geografisk område: AUST-AGDER
	Antall sider (inkl. bilag): 72
	Oppdragsgiver: TVEDESTRAND KOMMUNE
Oppdragsg. ref. (evt. NTFN-nr.):	

Ekstrakt: Syv stasjoner er prøvetatt i tre år: 1983, 1984 og 1986. Bunnmiljøet i fjorden til og med Sagesund var sterkt forstyrret, med sulfider i sedimentet alle tre årene. Den dypeste stasjonen var azooisk ved alle prøvetakinger. De øvrige stasjonene innenfor Sagesund var dels azooiske dels med en ekstremt utarmet fauna. Det kunne ikke påvises noen utviklingstendens på disse. På de ytre stasjonene (utenfor Sagesund) viste 1986 en til dels sterk økning i antall arter og individer i forhold til de foregående år. Forklaringen er usikker. Tre forhold styrer miljøet i fjorden: Hemmet vannutskifting, deponert sagflis og kommunale utslipp. Elementer i et tilførselsbudsjett er satt opp. Det er gitt enkelte konkrete anbefalinger.

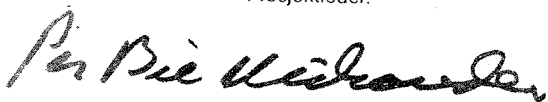
4 emneord, norske:

1. Overvåkning
2. Tvedestrand
3. Kommunalt utslipp
4. Bunnfauna

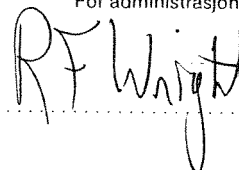
4 emneord, engelske:

1. Monitoring
2. Tvedestrand
3. Municipal sewage
4. Benthos

Prosjektleder:



For administrasjonen:



ISBN 82-577-1217-5

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
SØRLANDSAVDELINGEN
GRIMSTAD

O-83046

BLØTBUNNSFAUNAEN I TVEDESTRANDSFJORDEN
RESULTATENE FRA 1983, 1984 OG 1986

Grimstad, 20. februar 19887

Prosjektleder: Per Bie Wikander

Medarbeidere: Cand. real Brage Rygg
Nat. kand. Pirkko Rygg
Cand. Scient Øystein Stokland
Cand. Scient Per Martin Aakerøy
Stud. real Pål Mortensen

F O R O R D

I forbindelse med behandling av utslippstillatelse for Tvedestrand kommune har forvaltningen stilt krav om innsamling av miljødata fra fjorden. Datatilfanget skulle gi et bedre beslutningsgrunnlag for å vurdere de miljøtekniske tiltak som mest hensiktsmessig burde iverksettes i forbindelse med samling og utslipp av avløpsvannet.

I lokalpolitiske fora er det dessuten blitt uttrykt et sterkt ønske om en mer omfattende resipientundersøkelse.

Under forhandlinger med Tvedestrand kommune og forurensningsmyndigheten (Fylkesmannen) ble det enighet om at prosjektet skulle deles mellom Statens Biologiske Stasjon Flødevigen (SBSF) og NIVA. SBSF skulle forestå den hydrografiske prøvetakingen, mens NIVA skulle forestå bunnprøvetaking og analyse av bløtbunnsamfunnet.

20. oktober 1982 kom en henvendelse fra Fylkesmannen i Aust-Agder om å utarbeide programforslag med budsjett. Saken ble behandlet i Tvedestrand kommunestyre 10. februar 1983.

For benthos-delens vedkommende ble det ansett for tilstrekkelig med en prøvetakningsrunde pr. år, med et behov for tre årsserier for å fange opp eventuelle utviklingstendenser. Prøvetakingen har blitt utført fra F/B "Nuen" av Tvedestrand i november 1983 og desember 1984. Isgang gjorde det umulig å ta prøver i fjorden senhøsten 1985. Siste tokt i fjorden fant sted i juni 1986 fra NIVA's eget fartøy "H.H. Gran".

De foreløpige resultatene etter to års prøvetaking ble rapportert i oktober 1985 (RYGG & WIKANDER 1985). Hydrografidata fra fjorden er rapportert av DAHL, DAHL & DANIELSSEN 1984, 1985 og 1987 (in prep). Fra tidligere år foreligger det også hydrografiske data fra fjorden (DANIELSSEN, 1978, 1979, 1981 og DANNEVIG 1971).

Det innsamlede materiale har blitt identifisert av dels cand. scient Øystein Stokland, Rogalandforskning, dels cand. real. Brage Rygg, Nat. kand. Pirkko Rygg, og cand. scient Per Martin Aakerøy, NIVA. Stud. real. Pål Mortensen har vært assistent på prosjektet i 1986.

Grimstad, 20. februar 1987

Per Bie Wikander

INNHOLDSFORTEGNELSE

	SIDE
FORORD	2
1. KONKLUSJONER OG SAMMENDRAG	6
<u>1.1. Hovedmål</u>	6
<u>1.2. Delmål</u>	6
<u>1.3. Konklusjoner</u>	6
<u>1.4. Sammendrag</u>	7
2. INNLEDNING	12
<u>2.1. <u>Andvendbarhet av bløtbunnsfaunaundersøkelsen</u></u> <u> i resipientvurderinger</u>	12
<u>2.2. Områdebeskrivelse</u>	13
<u>2.3. Bakgrunn for undersøkelsen</u>	14
<u>2.4. Formål</u>	15
<u>2.5. Delmål</u>	15
3. MATERIALE OG METODER	16
<u>3.1. Valg av stasjoner</u>	16
<u>3.2. Materiale</u>	16
<u>3.3. Feltmetodikk</u>	17
<u>3.4. Analyse av sedimenter</u>	18
4. RESULTATER OG DISKUSJON	19
<u>4.1. St. 1, Tvedestrand indre havn</u>	19
<u>4.2. St. 2, Østeråbukta</u>	23
<u>4.3. St. 3, Bjørnevikhalsen</u>	27
<u>4.4. St. 4, Sagesund</u>	29
<u>4.5. St. 5, Nesbukta</u>	32
<u>4.6. St. 6, Bota</u>	38
<u>4.7. St. 7, Gylteskjær (referansestasjon)</u>	41
<u>4.8. Elementer i et forurensingsbudsjett for</u> <u>Tvedestrandsfjorden</u>	48

5.	REFERANSER	51
6.	VEDLEGG	55
	<u>6.1. Analysemetodikk og vurderingskriterier</u>	55
	6.1.1. Sedimentet	55
	6.1.2. Dyresamfunnets artssammensetning	55
	6.1.3. Artsmangfold	58
	6.1.4. Lognormalfordeling av individantall blandt arter	62
	6.1.5. Tilstandsindeks	64
7.	VEDLEGGSTABELLER	67

1. KONKLUSJONER OG SAMMENDRAG

1.1. Hovedmål

Datainnsamlingen har hatt som hovedmål å klarlegge og dokumentere tilstand og eventuelle utviklingstendenser som kan relateres til kloakkutslippene fra Tvedestrand by og tettstedene ved fjorden.

Resultatene skal bidra til et bedre beslutningsgrunnlag for forvaltningen når det gjelder å treffe tiltak for behandling av avløpsvann fra Tvedestrand by.

1.2. Delmål

Foreliggende rapport har som mål å belyse en eventuell utvikling i fjorden vurdert på bakgrunn av bløtbunnsfauna og sedimenter.

1.3. Konklusjoner

Tvedestrandfjordens to innerste bassenger, dvs. ut til Sagesund viser et sterkt forstyrret bunnmiljø preget av generell organisk overbelastning og råtnende sagflis. Sistnevnte forhold er særlig karakteristisk ved Bjørnevikhalsen og bukta ved Østerå. Først utenfor Sagesund finnes forhold som kan sammenlignes med uforstyrrede fjordmiljø. (Fig. 2, s. 15).

Forholdene i de to innerste basseng er fremkalt av markerte terskler og dermed hemmet vannutskifting, deponert sagflis og urensset kloakk i tillegg til tilførsler fra områder. Enkelte konkrete anbefalinger er gitt.

Undersøkelsen har munnet ut i følgende konkrete synspunkter:

1. Lite kan gjøres for å eliminere virkningene av deponert sagflis i fjorden.

2. I indre havn vil miljøet bedres vesentlig dersom det foretas mudring. Mudringsmassene må dumpes i åpent farvann utenfor Tvedestrandsfjorden.
3. På bakgrunn av den varierende hydrografiske situasjon gjennom året bør det beregnes effekter av et dypvannsutslipp. Dette bør dimensjoneres og arrangeres slik at gjennombrudd til overflaten ikke finner sted. Gjennombrudd kan resultere i luktpoblemer, overgjødning og bakterieforurensing av overflatevannet. Riktig dimensjonert kan et dypvannsutslipp bidra til hyppigere vannutskifting i vannlag grunnere enn utslippsdypet.
4. Effektene på vannutskifting av dypvannsutslipp bør overvåkes fordi dette kan begrunne hvilke tiltak som eventuelt må settes iverk på landsiden.
5. For at et dypvannsutslipp skal fungere godt må det foretas en partikkelfjerning.
6. Overløpene må arrangeres og dimensjoneres slik at de leder avløpsvann ut på grunt vann bare i sterke nedbørsperioder, ikke ellers.
7. For å forstå situasjonen i fjorden bør det utarbeides et næringssaltbudsjett som inkorporerer transportene inn og ut av fjorden. Et slikt budsjett vil bedre illustrere bidraget fra befolkning og industri.

1.4. Sammendrag

St. 1. Tvedestrand indre havn

Stasjonen ligger på ca 10 m dyp, like ved det gamle hovedutslippet fra Tvedestrand by.

Ved alle tre prøvetakinger var sedimentet sterkt overbelastet med organiske partikler, svartfarget og med markert lukt av hydrogen-sulfid.

I 1983 og 1986 ble det påvist flercellede organismer på stasjonen. I 1984 var stasjonen azoisk (ingen flercellede organismer).

Til tross for opphør av kloakkutslipp til denne lokaliteten vil sedimentet forbli organisk overbelastet i en lang rekke år.

Mudring bør vurderes.

St. 2. Østerå bukt

Stasjonen ligger på 25 m dyp.

Sedimentet består av fin sand oppblandet med store mengder sagflis og med et markert innhold av hydrogensulfid. Et tynt topplag av sedimentet var oksygenert. Ni dyrearter påvist i 1983, mens en art ble funnet i 1984. Stasjonen var azooisk i 1986. Selv om alle utslipp opphører vil sagflisen prege Østeråbukta over et meget langt tidsrom.

St. 3. Bjørnevikhalsen

Stasjonen ligger på ca 85 m dyp.

Sedimentet består av silt sterkt oppblandet med sagflis.

Ved alle prøvetakinger var et tynt topplag av sedimentet oksygenert. Det ble ikke påvist levende organismer på denne stasjonen noen av årene.

Laget med sagflis var ca 40 cm tykt. Under dette fantes et kalkholdig fint sediment. Overgangslagets alder ble datert til ca år 1700.

St. 4. Sagesund

Stasjonen ligger på 55-57 m dyp.

Sedimentet er mørk grå silt med et tynt oksygenert lag på toppen, og med en markert lukt av hydrogensulfid dypere ned. Innslaget av sagflis var ikke spesielt tydelig.

Stasjonen var azooisk i 1983. En art påvist i 1984, og 5 arter med 25 individer i 1986, altså en tendens til forbedring. I 1983 og 1984 var stasjonene sterkt påvirket, i 1986 betydelig påvirket.

St. 5. Nesbukta

Stasjonen ligger på 51-54,5 m dyp.

Sedimentet var gråbrun silt uten tegn på organisk overbelastning. Først på denne stasjonen opptrådte tilnærmelesvis normal fjordfauna. Det ble registrert en markert økning i antall arter og individer i 1986 i forhold til de to foregående årene. I 1983 må stasjonen karakteriseres som moderat påvirket, i 1986 som upåvirket. Årsakene er uklare.

St. 6. Bota

Stasjonen ligger på 58-64 m dyp.

Sedimentet var grå silt uten tegn til sulfiddannelse.

Organismesamfunnet var fattigere her enn på st. 5, og viste en til dels sterk variasjon gjennom undersøkelsesperioden uten at det synes å være grunnlag for å relatere denne til sivilisatorisk betinget forurensning. I 1986 ble det påvist en sterk økning i antallet arter og individer i forhold til 1983 og 1984. I 1983 må belastningen på stasjonen karakteriseres som moderat, i 1986 som moderat til svak. Årsakene er uklare.

St. 7, Gylteskjær

Området viste seg å være et sedimentasjonsbasseng for organiske partikler fra vannsøylen og er trolig en bakevje i kyststrømbildet. Stasjonen viste tydelige tegn på organisk overbelastning med en utarmet fauna i 1983 og 1984. I 1986 ble det påvist en markert økning i antallet arter og individer i forhold til de to foregående årene. I 1983 må belastningen karakteriseres som betydelig til sterk, i 1986 som moderat til betydelig. Stasjonen var ikke egnet som referansestasjon.

Teoretiske beregninger viser at tilførselene til fjorden gjennom avløpsnettutgjør ca 60 % av de totale tilførsler målt som fosfor. De resterende 40 % kommer fra nedbør på fjorden, arealavrenning fra landskap og tettsted.

Fig. 1 og tabell 1 oppsummerer utviklingen på stasjonene.

Tabell 1. Sammenfatting av essensielle miljøparametre på stasjonene.

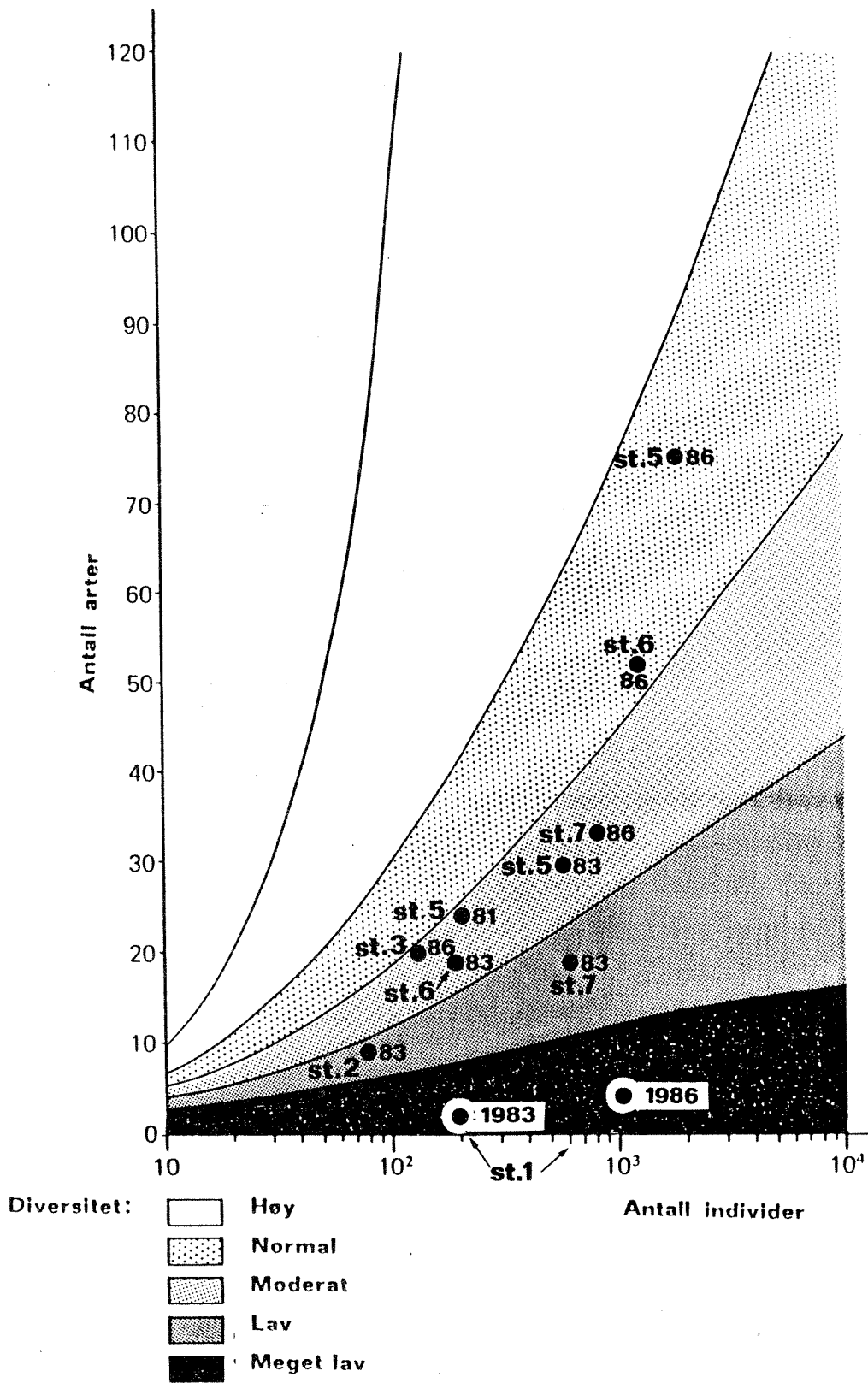
Parameter	St. 1			St. 2			St. 3		
	1983	1984	1986	1983	1984	1986	1983	1984	1986
Sulfider i sediment?	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Antall arter	2	0	4	9	1	0	0	0	0
Antall individer	184	0	1037	73	4	0	0	0	0
Artsmangfold (Hurlb.)	2,00	-	2,54	-*	-*	-	-	-	-
Ømfintlige arter	0%	-	0%	0%	0%	-	-	-	-
Artsindeks	2,00	-	2,00	3,33	2,80	-	-	-	-
Tilstandsindeks	0,48	-	0,48	-*	-*	-	-	-	-
Forurensingsgrad	sterk	sterk	sterk	sterk	sterk	sterk	sterk	sterk	sterk

* = For dårlig statistisk materiale til å kunne beregnes.

Parameter	St. 4			St. 5			St. 6		
	1983	1984	1986	1983	1984	1986	1983	1984	1986
Sulfider i sediment?	ja	ja	ja	nei	nei	nei	nei	nei	nei
Antall arter	0	1	5	29	24	75	20	9	53
Antall individer	0	1	25	536	108	1745	169	49	1127
Artsmangfold (Hurlb.)	-	0,00	1,37	15,80	17,90	23,92	17,60	-*	18,81
Ømfintlige arter	-	-*	-*	35,0%	62,5%	45,7%	23,1%	28,6%	37,1%
Artsindeks	-	-	5,15	5,83	6,88	6,85	4,72	5,57	5,86
Tilstandsindeks	-	-	-*	0,90	1,00	1,05	0,84	-*	0,93
Forurensingsgrad	sterk	sterk	betydelig	moderat	moderat	ikke på- til liten visbar	moderat	moderat	moderat
								til be- tydelig	til liten

* = For dårlig statistisk materiale til å kunne beregnes.

Parameter	St. 7		
	1983	1984	1986
Sulfider i sediment?	ja	ja	ja
Antall arter	19	5	32
Antall individer	610	98	902
Artsmangfold (Hurlb.)	10,00	5,00	14,98
Ømfintlige arter	16,7%	0,0%	14,3%
Artsindeks	4,56	4,40	4,51
Tilstandsindeks	0,70	0,70	0,80
Forurensingsgrad	Betyde- lig	sterk	moderat til be- tydelig



Figur 1. Samlet plott av artsmangfoldet (Hurlbert) på stasjonene i undersøkelsesperioden.

2. INNLEDNING

2.1. Anvendbarhet av bløtbunnsfaunaundersøkelser i resipient- vurderinger

Organismesamfunnet på bløt bunn (som vi som oftest finner i fjorder og kystfarvann) er sammensatt av en lang rekke arter som ernærer seg av det organiske materiale som produseres eller tilføres vannmassen og sedimenterer.

Fordelen med bunnundersøkelser ligger fremfor alt i det forhold at de aller fleste organismene er gravende eller fastsittende og derfor ikke kan unnsnippe dersom miljøet blir dårlig. Arter går enten til grunne eller overlever. De fleste artene er flerårige, hvorav noen oppnår høy alder, samtidig som de har bestemte krav til miljøet. Hvilke arter som fins, artenes innbyrdes mengde og individtettheten bestemmes i stor grad av faktorer som: nærings-tilgang, sedimentets beskaffenhet, type av sedimenterende organisk materiale, oksygeninnholdet over og under sedimentoverflaten, miljøgifter, nedslamming og andre forstyrrelser.

Normale, balanserte samfunn opptrer når stabile, naturgitte betingelser rå, og fysiske og kjemiske faktorer (f.eks. oksygen-konsentrasjon, saltholdighet, grumsing) ikke er ekstreme. Forurensningspåvirkninger og andre forstyrrelser med kort tidsskala kan føre til avvikende arts- og individsammensetning i faunasamfunnet. Fordi marine bløtbunnsamfunn normalt er artsrike og likeartede over store områder, er det lett å oppdage uregelmessigheter i dem. Derfor er de velegnet som indikatorsamfunn ved bedømmelse av forurensnings-type og -grad.

I de senere årene er det utviklet statistiske bearbeidelsesmetoder som produserer utsagnskraftige grafiske fremstillinger når det gjelder graden av miljøforstyrrelse (PEARSON et al. 1983, RYGG 1984 a, b, 1986 d). Det er disse metoder som er anvendt i den foreliggende rapport.

2.2. Områdebeskrivelse

Tvedestrandsfjorden skjærer seg inn i landmassivet i nordlig retning og er ca 3 km lang i luftlinje. Fjordens forløp er imidlertid kromet, med flere sidefjorder, f.eks. farvannene på innsiden av Borøya og Tverdalsøya, Østeråbukta m.fl. (fig. 2).

Fjorden har tre hovedbasseng og tre terskler med minkende terskeldyp innover. Den innerste terskelen ligger vest for Furøy på 17 m dyp. Den midterste ligger vest for Saltnes og har et dyp på 24 m. Dypeste terskel ligger nær fjordens munning på ca 40 m dyp. Fjordens dypeste basseng ligger innenfor innerste terskel. Største dyp 87 m, er like ved St. 3, Bjørnevikhalsen (fig. 2). Midterste basseng er 55 m dypt og det ytterste har et største dyp på over 60 m.

Urenset spillvann har inntil senhøsten 1985 blitt ledet ut like under kai i indre havn. Høsten 1985 ble gruntvannsutslippet sanert, pumpeledning lagt tvers over havnen til Tangen og dypvannsutslipp (42 m) etablert utenfor Bertnes via grovrist og ledning til ca 300 m fra land.

Det er tidligere samlet inn en del data fra Tvedestrandsfjorden. All informasjon omfatter hydrografiske data (DANNEVIG 1971, DANIELSSEN 1978, 1979, 1981 og DAHL, DAHL & DANIELSSEN 1984, 1985). Rapportene viser en fjord som det meste av året har en skarp lagdeling og hvor dypvannet kan ha oksygensvikt over lengre perioder. Imidlertid viste DAHL, DAHL & DANIELSSEN (1985), at oksygenforholdene, relativt sett, var bedre i 1984 enn tidligere.

Ferskvannstilførslene til Tvedestrandsfjorden er små og kommer hovedsakelig med fra Østeråvann og bekken fra Fjærekjenn som renner gjennom Tvedestrand sentrum. Nedslagsfeltet til fjorden er således lite.

Bebyggelsen er konsentrert innerst i fjorden representert ved Tvedestrand by. To mindre tettsteder ligger lenger ute i fjorden: Sagesund og Bota (fig. 2).

2.3. Bakgrunn for undersøkelsen

Behovet for omfattende data fra Tvedestrandsfjorden har vært påkrevet sett på bakgrunn av at Tvedestrand kommune søker fylkesmannen om utsettelse av bygging av renseanlegg, og ønsker i første omgang å flytte hovedutslippet fra havneområdet til Bertnes på Tangen.

Det fremgikk på møte i Tvedestrand 13. juli 1982 mellom representanter for kommunen, fylkets utbyggingsavdeling og NIVA's sørlandsavdeling at forurensningsmyndigheten (fylkesmannen) stilte krav om bedre innsikt i prosessene i fjorden for å kunne gi søknaden fra kommunen en seriøs behandling. I de lokalpolitiske fora har dessuten sterke ønsker kommet til uttrykk for å iverksette en mer omfattende resipientundersøkelse enn de som hittil er foretatt. På denne bakgrunn ble NIVA's sørlandsavdeling anmodet om å utarbeide et program- og kostnadsoverslag for en slik undersøkelse.

Det heter i den midertidige utslippstillatelse gitt av fylkesmannen i Aust-Agder den 21. februar 1983:

"Denne tillatelse er midlertidig og det skal gjennomføres undersøkelser av resipienten, Tvedestrandsfjorden, for å fastlegge eventuelt behov for rensetiltak. Kommunen har innhentet tilbud på undersøkelser fra Norsk Institutt for Vannforskning (NIVA) og fra Statens Biologiske Stasjon, Flødevigen (SBSF). Utslippstillatelsen er betinget av at undersøkelser, i samsvar med hva som er tilbudt av de to institusjoner, blir gjennomført. Undersøkelsene kan enten utføres av NIVA alene eller ved de to institusjoner i fellesskap. Undersøkelsen skal starte straks og pågå inntil tre år etter at utslippet på Bertnesnes er etablert.

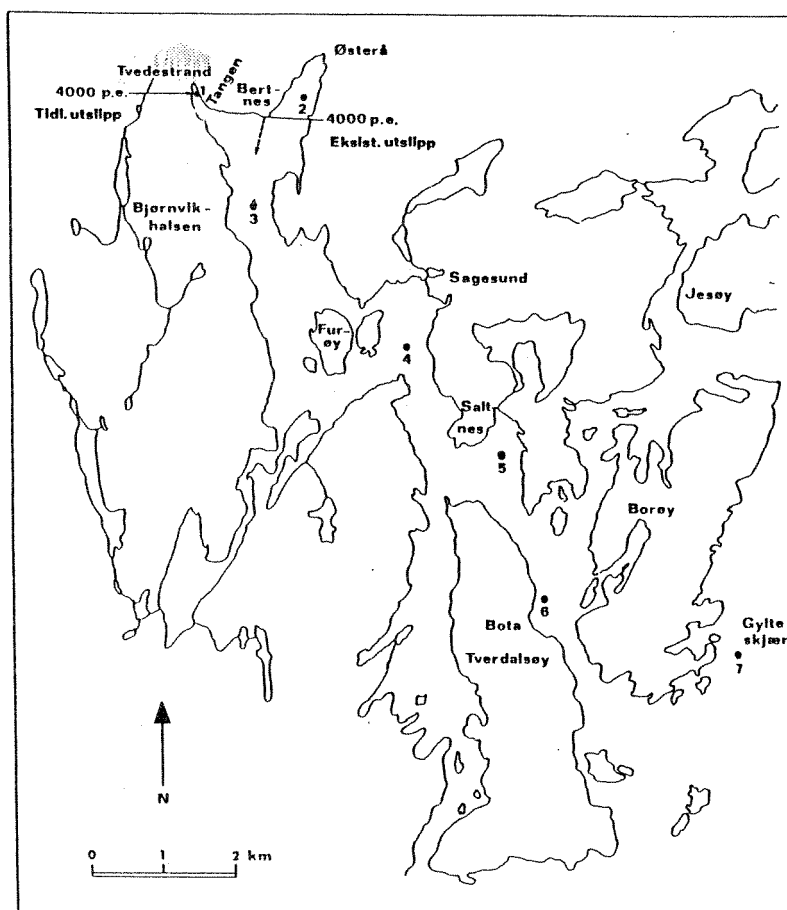
Eventuelle reduksjoner i det årlige undersøkelsesprogram skal godkjennes av fylkesmannen".

2.4. Formål

Datainnsamlingen har hatt som hovedmål å klarlegge og dokumentere tilstand og eventuelle utviklingstendenser som kan relateres til kloakkutslippene fra Tvedestrand by og tettstedene ved fjorden. Resultatene skal bidra til et bedre beslutningsgrunnlag for forvaltningen når det gjelder å treffe tiltak for behandling av avløpsvann fra Tvedestrand by.

2.5. Delmål

Foreliggende rapport har som mål å belyse en eventuell utvikling i fjorden vurdert på bakgrunn av bløtbunnsfauna og sedimenter.



Figur 2. Prøvetakingsstasjonenes beliggenhet.

3. MATERIALE OG METODER

I dette kapitlet redegjøres det for hvilket stasjonsnett og materiale som er lagt til grunn for rapporten og hvilken metodikk som er anvendt under feltarbeidet.

3.1. Valg av stasjoner

Stasjonsnettet fremgår av fig. 2.

Ved utvelgelsen av stasjonene er det lagt vekt på å finne områder som er representative for de fire hovedbassengene i Tvedestrandsfjorden (inkludert Østerå bukt). Dette vil i praksis si at de antatt dypeste deler av hvert basseng er prøvetatt fordi det er i de dypeste områdene at en organisk belastning er tydeligst markert, og hvor signifikante utviklingstendenser lettest kan registreres.

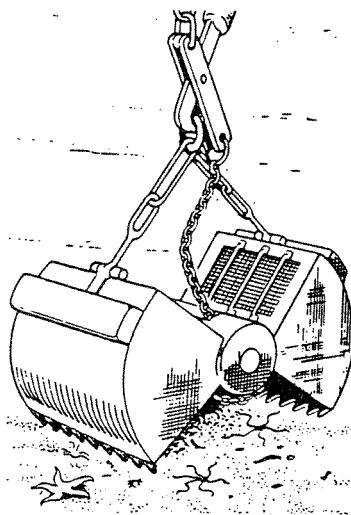
Som et sammenligningsgrunnlag med fjordstasjonene ble det valgt en referansestasjon utenfor fjordmunningen som en kunne anta var upåvirket av situasjonen i primærresipienten og samtidig upåvirket av annen sivilisatorisk forurensning.

Stasjonene ble valgt på grunnlag av kart og ikke som et resultat av forutgående opplodding.

3.2. Materiale

På samtlige fire stasjoner ble det tatt kvantitative bunnprøver. Prøvene ble tatt med en Petersen bunngrabb (fig. 3).

En slik grabb hugger ut 0,1 m² av sjøbunnen og samler således et like stort areal hver gang. Dette muliggjør en direkte sammenligning mellom stasjonene, samt en kvantitativ bearbeidelse av data. Etter som organismene i bunnen ikke er jevnt fordelt, ble det tatt fem gjentatte grabbhugg pr. stasjon (replikater) for å fange opp variasjonen.



Figur 3. Petersen bunngrabb.

I 1983 og 1984 fant prøvetakingen sted fra F/B "Nuen" av Sandøya og i 1986 fra NIVA's eget fartøy F/F "H.H. Gran".

De to første årene fant prøvetakingen sted henholdsvis i november og desember måned. Vintersesongen ble valgt for å unngå å få med eventuelle massenedslag av bunndyrlarver som søker mot bunnen. Dette kan skape fortolkningsproblemer under den statistiske bearbeidelsen. Nedslaget finner vanligvis sted sommer og høst. Vinterprøvetaking kunne imidlertid ikke gjennomføres i 1985 på grunn av islagt fjord. Isen lå til mai 1986 og prøvetakingen ble foretatt i juni dette året.

3.3. Feltmetodikk

På dekk ble innholdet av grabben tømt i et spylebord og vasket gjennom perforerte stålplatesikter med lysåpning h.h.v. 5,0 og 1,0 mm. Sikterestene ble fiksert i 5 % formalin nøytralisert med borax og senere overført til 70 % etanol.

Det biologiske materiale i prøvene ble sortert under binokulære stereoluper. Alle flercellede organismer fra hvert av de fem grabbhuggene ble plukket ut, identifisert og talt. Data fra de fem prøvene ble slått sammen og så bearbeidet statistisk.

Når det gjelder den videre statistiske bearbeidelse av materialet, og vurderingskriteriene for denne, har vi funnet det mest hensiktsmessig å omtale disse metoder i vedleggskapitlet: 6.1: Analysemetodikk og vurderingskriterier, side 55.

3.4. Analyse av sedimenter

Det er ikke blitt foretatt andre sedimentologiske analyser enn datering av ulike nivåer av en bunnpropp fra Bjørnevikhalsen. Datering ble gjort ved hjelp av radioaktivt bly (Pb 210-metoden). Den øvrige informasjon om sedimentet foreligger på grunnlag av utseende og lukt (tilstedeværelse/fravær av hydrogensulfid).

4. RESULTATER OG DISKUSJON

I dette kapitlet er hver stasjon behandlet for seg. Omtalen av hver stasjon innledes med en kort karakteristikk av tilstand og eventuelle utviklingstendenser.

4.1. St. 1, Tvedestrand indre havn

Stasjonen viste alle årene en ekstrem grad av organisk overbelastning. Sedimentet var sterkt hydrogensulfidholdig.

Selv etter opphør av kloakkutslipp til nærområdet for stasjonen vil den organiske overbelastning prege området i mange år.

Mudring er anbefalt.

Tabell 3. Nøkkelparametre for st. 1, Tvedestrand indre havn.

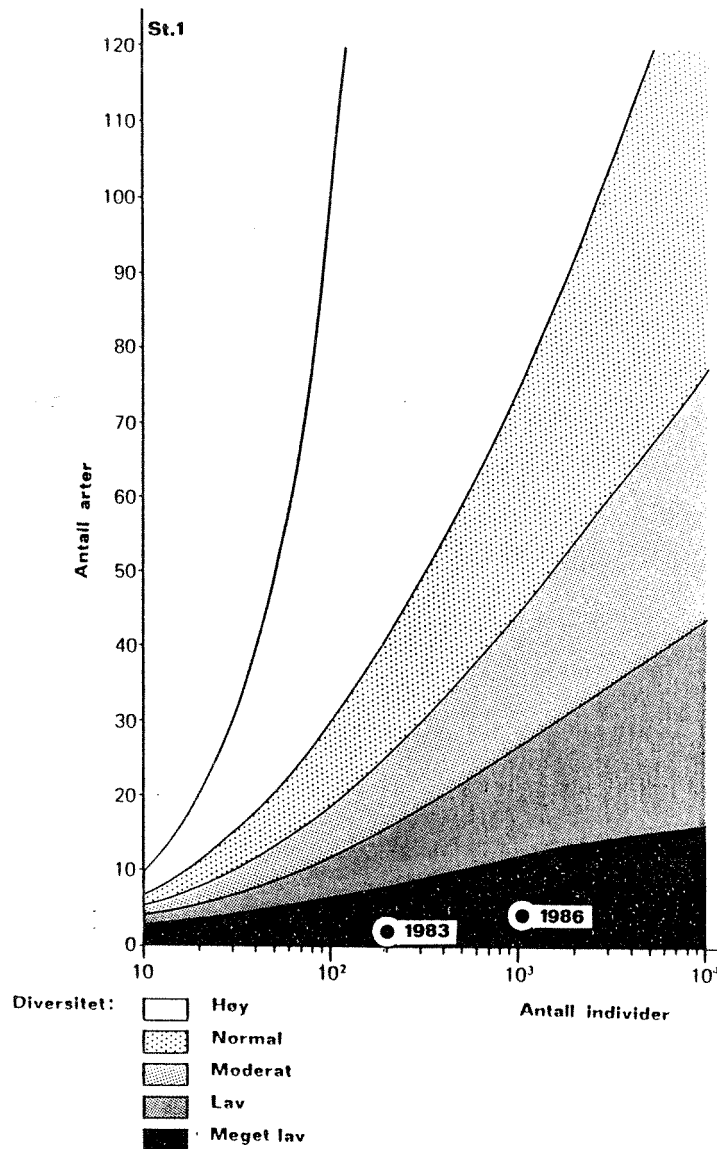
Parameter	1983	1984	1986
Bunntype	fin sand, kloakkslam	fin sand, kloakkslam	fin sand, kloakkslam
Farge	svart	svart	svart
H ₂ S i sediment?	sterkt	sterkt	sterkt
Oksydert topplag?	nei	nei	nei
Antall arter	2	0	4
Antall individer	184	0	1037
Artsmangfold (Sh.w.)	0,59	-	0,25
Artsmangfold (Hurlb)	2,00	-	2,54
Ømfintlige arter	0%	-	0%
Tolerante arter	100%	-	100%
Artsindeks	2,00	-	2,00
Tilstandsindeks	0,48	-	0,48
Forurensningsgrad	sterk	sterk	sterk
Dyp	11 m	10 m	11 m
Posisjon	58° 37,25'N - 08° 56,5'Ø		

Stasjonen ligger i den dypeste delen av det indre havneområdet (ca 10 m) utenfor rådhuset. Urenset spillvann har inntil nå gått ut like under rådhuskaien. Det har bygget seg opp en stor voll av kloakkslam hvor overflaten er hvit av heterotrof begroing (sopp og bakterier). Denne slamvollen preget i høy grad sedimentet på stasjonen hvor fragmenter av toilettpapir utgjorde et tydelig innslag ved alle tre prøvetakingene, sammen med fin mineralsand og organisk slam. Lukten av hydrogensulfid var meget sterk og fargen som ventet sort. I et så sterkt hydrogensulfidholdig sediment var det ikke ventet å finne flercellet organismeliv. Analysene viste imidlertid at det i 1983 fantes levende rundormer (nematoder). Det kan her være tale om flere arter, men å bestemme disse til art er tidkrevende spesialistarbeide som ikke vil tilføre prosjektet relevant informasjon. Det er tilstrekkelig å vite at mange nematode-arter kan overleve i perioder i anaerobt miljø. I 1983 ble det også påvist den ekstremt forurensningstolerante børstemarken Capitella capitata. I 1984 var stasjonen azoisk (ingen flercellede organismer), mens det i 1986 opptrådte fire arter (nematodene er oppfattet som en art).

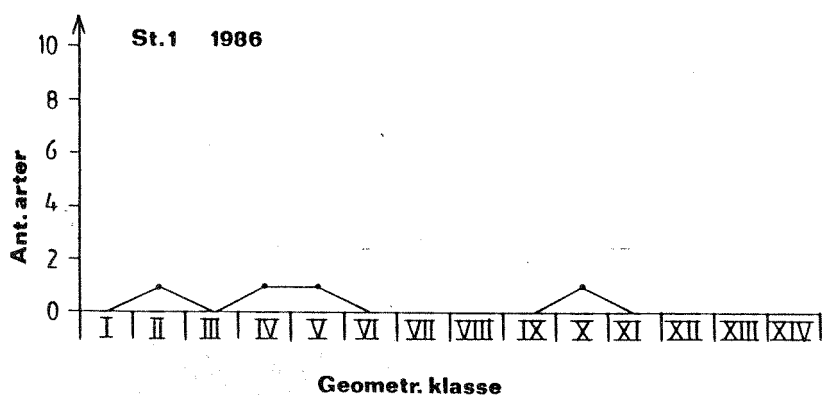
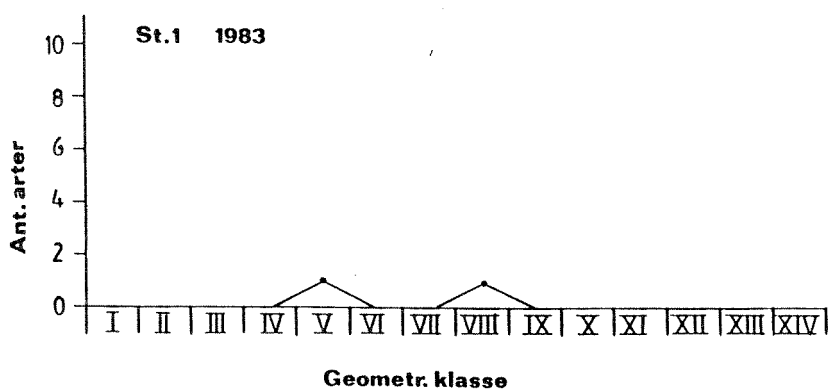
Ved en slik ekstrem faunafattigdom har det liten mening å behandle data statistisk som f.eks. log-normalplotting (det bør være minst 16 arter for at dette ansees hensiktssmessig - se kap. 6.1). Når log-normalplotting allikevel er foretatt for denne stasjonen er det for at data skal bli visuelt sammenlignbare med de øvrige stasjonene som hadde bunnfauna.

Tabell 3 oppsummerer viktige parametre for stasjonen. Disse viser tydelig en tilstand av meget sterk miljøforstyrrelse. Fig. 4 viser en sterkt forstyrret biotop - en tilstand som komplett-eres av fig. 5.

Selv om kloakkutslippet bringes til opphør, er det ikke grunn til å håpe at situasjonen i indre havn vil endres raskt. Den organiske overbelastningen er så massiv at den vil gi opphav til ekstrem faunafattigdom, lukt og heterotrof begroing i mange år og dermed en sterk forringelse av miljøet.



Figur 4. Plott av artsantall mot individantall på st. 1, indre havn, 1983 og 1986 (ingen organismer påvist i 1985). Figuren viser en sterkt forstyrret biotop.



Figur 5. Faunaens tilpassing til log-normalfordelingen på st. 1, indre havn. Materialet er egentlig for lite for en slik behandling, men er allikevel presentert for sammenligningens skyld (se forøvrig teksten). I 1984 var stasjonen azoisk.

Den beste investering i miljøforbedring i indre havn, i tillegg til å stoppe kloakkutslippet, vil være å renovere området ved mudring og dumping av massene i åpent farvann.

4.2. St. 2, Østeråbukta

Bukta er sterkt preget av deponert sagflis som bidrar til utvikling av hydrogensulfid i sedimentet som forøvrig var silt og fin sand.

En utarmet fauna ble påvist i 1983 kun en art i 1984 azzoisk i 1986. Dette behøver ikke å reflektere en forverring, men kan vise en forstyrret biotop med et forstyrret og flekkvis utbredt organismesamfunn.

Tabell 4. Essensielle parametre for st. 2, Østeråbukta.

Parameter	1983	1984	1986
Bunntype	fin sand, silt, sagflis	fin sand, silt, sagflis	fin sand, silt, sagflis
Farge	gråsvart	gråsvart	gråsvart
H ₂ S i sediment?	ja	ja	ja
Oksydert topplag?	ja	ja	ja
Antall arter	9	1	0
Antall individer	73	4	0
Artsmangfold (Sh.w.)	1,66	-*	-
Artsmangfold (Hurlb)	-*	-*	-
Ømfintlige arter	0%	0%	-
Tolerante arter	100%	100%	-
Artsindeks	3,33	2,80	-
Tilstandsindeks	-*	-*	-
Forurensningsgrad	sterk	sterk	sterk
Dyp	25 m	25 m	26 m
Posisjon	58° 37,25'N - 08° 57,7'Ø		

* For dårlig materiale til å kunne beregnes statistisk.

Stasjonen ligger omtrent midt i Østeråbukta, innenfor skjær (fig. 2). Bukta har ingen terskler og kommunikasjonen mellom vannmassene her og i de øvre lag av Tvedestrandsfjorden må være god.

Bunnsedimentet som naturlig har bestått av fin sand og silt er sterkt oppblandet av sagflis som utgjorde nær 100 % av sikterestten etter at prøvene var vasket. Mengden sagflis kunne variere en del fra den ene grabbprøven til den andre. Dette kan tyde på at sagflisen fordeler seg ujevnt i bukta. Fargen viste at de øverste 3-5 mm av sedimentet var oksydert. Dypere ned var prøvene svartfarget av sulfider. Det syntes ikke å være noen utvikling med hensyn på sedimentets kvalitet gjennom undersøkelsesperioden.

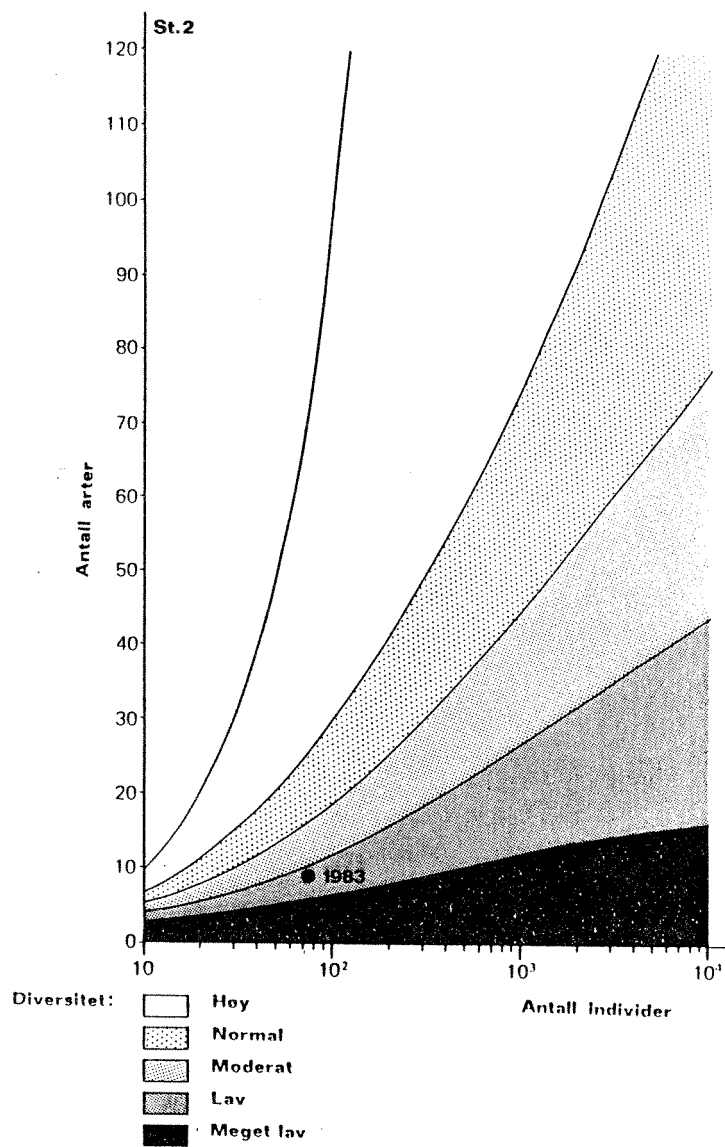
Artsmangfoldet på stasjonen fremgår dels av tabell 4, dels av fig. 6.

Når det gjelder Hurlbert's indeks for arts mangfold var det foreliggende materiale tallmessig for sparsomt til at denne indeksen kunne regnes ut. Dette gjaldt alle tre årene. I 1983 ble det påvist et sterkt redusert organismesamfunn på stasjonen (9 arter og 73 individer). I 1984 fantes bare en art med 4 individer, mens materialet fra 1986 var azooisk.

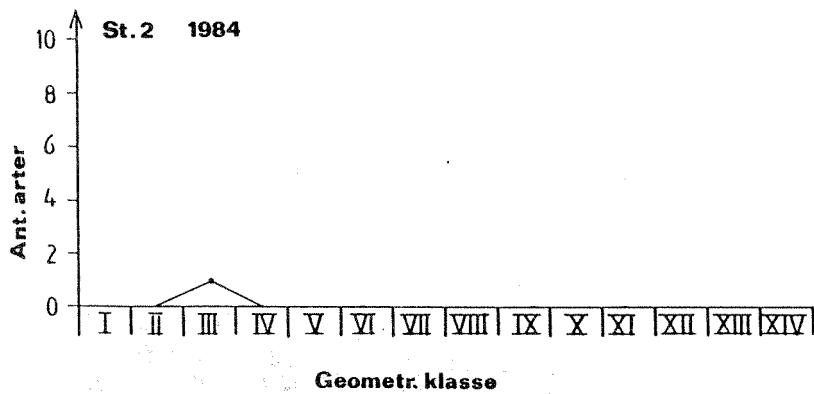
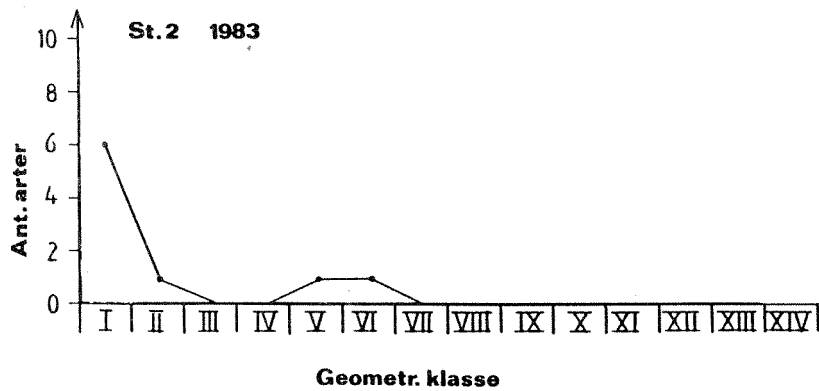
Endringene i organismesamfunnet gjennom undersøkelsesperioden behøver ikke nødvendigvis å reflektere noen utviklingstendens. Biotopen er så ekstremt påvirket av sagflis at det flekkvis ikke er mulig for et organismesamfunn å etablere seg, mens det enkelte andre steder er mulig for svært forurensningstolerante arter å leve i lavere tettheter.

Faunaens tilpassing til log-normalfordelingen er vist i fig. 7. Egentlig er materialet som ligger til grunn tallmessig for fattig til at en slik fremstilling gir grunnlag for konklusjoner (som er bedre enn det tilgrunneliggende tallmateriale). Fig. 7 er allikevel presentert for å gi et visuelt sammenligningsgrunnlag med de andre stasjonene.

Som avsluttende konklusjon kan det slås fast at de dypere deler av Østeråbukta er sterkt forstyrret. Årsaken til dette er fremfor alt store deponier av sagflis som er et så fremmedartet



Figur 6. Plott av artsantall mot individantall på st. 2 i 1983. Materialet i 1984 og 1986 var for fattig til at en slik plotting kunne gjøres for de to årene.



Figur 7. Faunaens tilpassing til log-normalfordelingen på st. 2, Østeråbukt i 1983 og 1984 (ingen organismer ble påvist i 1986 og kunne følgelig ikke plottes).

element i miljøet at de færreste marine organismer vil finne sine miljøkrav tilfredsstillt. Etersom trespon brytes ned meget langsomt, vil Østeråbukta i et stort antall år fremover være negativt preget av den deponering som har vært gjort.

4.3. St. 3, Bjørnevikhalsen

Deponert sagflis preger denne stasjonen i opptil 40 cm tykkelse enkelte steder. Grabbhuggene tyder på at tykkelsen på dette laget varierer. Biotopen må karakteriseres som sterkt forstyrret på grunn av sagflis og årlig langvarig oksygensvikt. Ingen levende organismer ble påvist noen av årene.

Tabell 5. Essensielle parametre for st. 3, Bjørnevikhalsen.

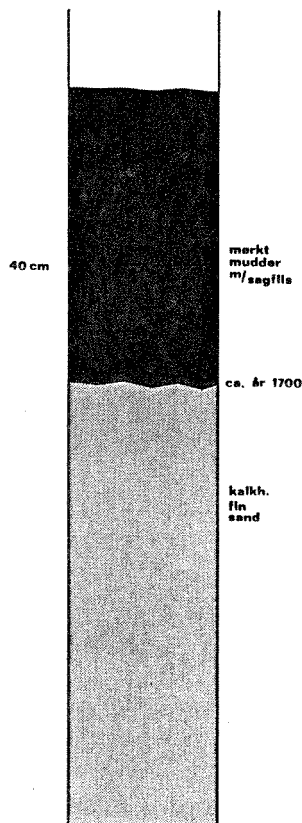
Parameter	1983	1984	1986
Bunntype	silt, mye sagflis	silt, sagflis	silt, noe sagflis
Farge	gråsvart	gråsvart	gråsvart
H ₂ S i sediment?	ja	ja	ja
Oksydert topplag?	nei	nei	nei
Antall arter	0	0	0
Antall individer	0	0	0
Artsmangfold (Sh.w.)	-	-	-
Artsmangfold (Hurlb)	-	-	-
Ømfintlige arter	-	-	-
Tolerante arter	-	-	-
Artsindeks	-	-	-
Tilstandsindeks	-	-	-
Forurensningsgrad	sterk	sterk	sterk
Dyp	84 m	84 m	82 m
Posisjon	58° 36,7'N - 08° 57,1'ØØ		

Stasjonen ligger kloss i land og utgjør Tvedestrandsfjordens dypeste punkt (87 m er loddet). Dette dype partiet synes å utgjøre et relativt lite areal og kan nærmest være å betrakte som en bratt forsenkning av fjordbunnen.

Også på denne lokaliteten er innslag av sagflis i sedimentet sterkt. Når de tre årenes prøvetaking sammenlignes med hensyn

til innslaget av sagflis, ble det påvist mest i 1983, mindre i 1984 og minst i 1986. Denne tendens har ikke sammenheng med nedbryting, men snarere med det faktum at sagflisen også her er ujevnt fordelt på bunnen.

Foranlediget av inntrykket av sagflispåvirkning i 1983, ble det tatt en sedimentpropp (corer) på st. 3. Proppen hadde et meget karakteristisk utseende: De øverste ca 40 cm besto av mørk grå silt med et tydelig inslag av sagflis. Under dette laget endret sedimentet brått karakter og gikk over til en kalkholdig fin sand. Det var tydelig at sedimenteringsmiljøet i indre deler av Tvedestrandsfjorden på et gitt tidspunkt hadde blitt radikalt forandret. Ulike nivåer av proppen ble datert ved hjelp av radioaktivt bly (Pb 210). Overgangen mellom de to sedimentlagene daterer seg tilbake til ca år 1700 (se fig. 8).



Figur 8. Skisse av sedimentpropp fra Bjørnevikhalsen som viser to distinkt forskjellige sedimentlag.

Fra andre kilder er det kjent at trelastindustrien på Sørlandet tok seg opp først helt mot slutten av 1600-tallet. Det kan derfor ikke utelukkes at den organiske belastning på fjordsystemet satte inn for meget lenge siden og som, kombinert med en serie terskler, har bidradd sterkt til å prege fjordens dypvannsmiljø slik det er i dag.

Både i 1983, 1984 og 1986 var prøvene på stasjonen azoiske. Ut fra hva som var kjent om oksygenregimet i fjorden var dette ikke overraskende. Det som fremfor alt karakteriserer dette dypbassenget er fullstendig oksygensvikt med utvikling av H_2S store deler av - eller hele året. 1984 synes å ha utgjort et unntak i så måte. Da ble det påvist oksygen i dyplaget fra april til og med desember (DAHL, DAHL & DANIELSSEN 1985). Med de lange stagnasjonsperioder som dypvannet gjennomgår, sammen med deponert sagflis, må oksygensvikt på denne lokaliteten betraktes som den mest typiske situasjonen.

4.4. St. 4, Sagesund

Stasjonen er preget av sulfidholdig silt med et tynt oksydert topplag. Sagflis syntes ikke å være fremtredende her. Ingen organismer ble påvist i 1983. I 1986 fantes fem arter med til sammen 25 individer. Forurensningsgraden var betydelig til sterk.

Stasjonens beliggenhet er vist på fig. 2. Den ligger i den dypeste delen av Sagesundbassenget, og innenfor en terskel på ca 20 m som ligger litt lenger sør i fjorden i forhold til Sagesund (ved Knutsvik). Sagesundbassenget er med andre ord sterkt avstengt fra vannmassene utenfor. Avstengtheten reflekteres i sedimentet som er mørk grå silt med tydelig lukt av H_2S . Topplaget (få mm) av sedimentet er grått, noe som tyder på en viss tilgang på oksygen. De viktigste parametrene for stasjonen er vist i tabell 6. Her fremgår det at det ikke ble påvist fauna i 1983. I 1984 ble det påvist kun en art (krepsdyr), med ett

Tabell 6. Essensielle parametre for st. 4, Sagesund.

Parameter	1983	1984	1986
Bunntype	silt	silt	silt
Farge	mørk grå til svart	mørk grå til svart	mørk grå til svart
H ₂ S i sediment?	ja	ja	ja
Oksydert topplag?	ja	ja	ja
Antall arter	0	1	5
Antall individer	0	1	25
Artsmangfold (Sh.w.)	-	0,00	1,37
Artsmangfold (Hurlb)	-	-*	-*
Ømfintlige arter	-	-	25%
Tolerante arter	-	-	75%
Artsindeks	-	-	5,15
Tilstandsindeks	-	-	-*
Forurensningsgrad	sterk	sterk	betydelig
Dyp	57 m	56 m	55 m
Posisjon	56° 5,9'N - 08° 58,6'Ø		

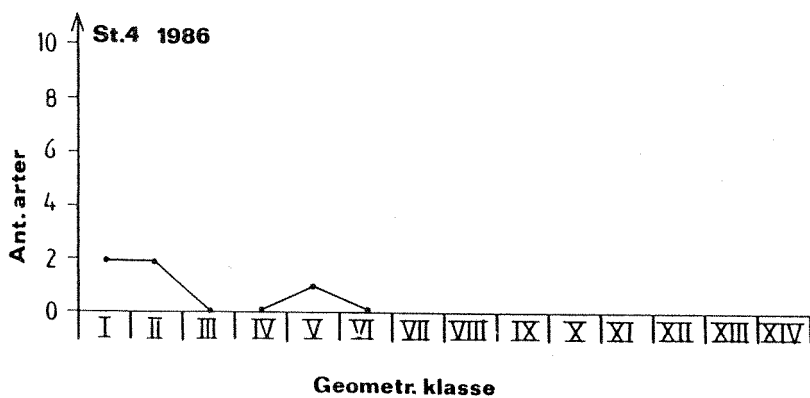
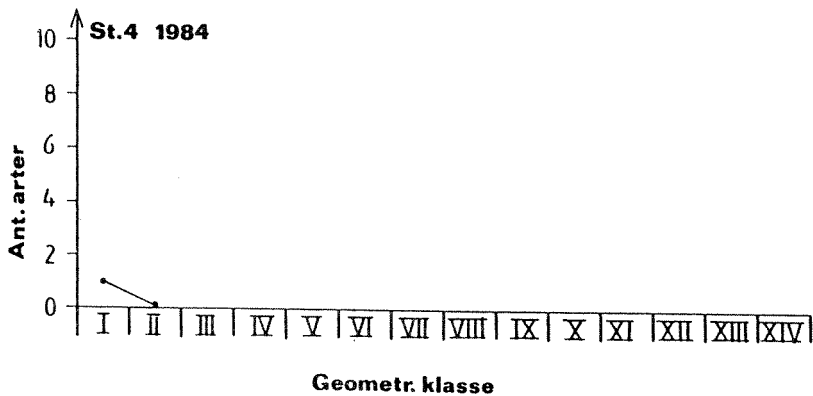
* = For dårlig statistisk materiale til å kunne beregnes.

individ. Dette var sannsynligvis mest beroende på en tilfeldighet enn at det kan oppfattes som en nyetablering av fauna. I 1986 kunne det imidlertid spores konturene av et organismsamfunn ved at fem arter var etablert med tilsammen 25 individer. Det fremgår av tabell 6 at materialet samlet på stasjonen var så fattig at flere parametre ikke kunne beregnes på grunn av for svakt statistisk grunnlag.

Rapportene fra SBSF viser at dypet av Sagesundbassesnet aldri har vært helt oksygenfritt, men at innholdet har variert sterkt over tid, med metningsgrader mellom 10 og 80 %. Disse store variasjonene er en stressfaktor som sammen med bunnsedimentets antatt store oksygenkonsum gjør det problematisk for mange arter å etablere seg. At det ble funnet et sterkt redusert organisme-

samfunn i 1986 kan tyde på en bedring i forholdene, men konklusjonen er meget usikker. Forklaringen kan ligge i en flekkvis fordeling av en svært sparsom fauna som ikke ble fanget i de foregående årene.

Fig. 9 viser log-normalplott av materialet fra 1984 og 1986. Statistisk sett er data tallmessig for svakt til at slik plotting egentlig har noen hensikt. Tallmaterialet alene gjør det umiddelbart mulig å karakterisere biotopen som så sterkt forstyrret. Materialet er allikevel vist på figur for å gjøre en visuell sammenligning med de andre stasjonene mulig.



Figur 9. Faunaens tilpassing til log-normalfordelingen på st. 4, Sagesund i 1984 og 1986 (ingen organismer ble påvist i 1983 og kunne følgelig ikke plottes).

4.5. Stasjon 5, Nesbukta

Stasjonen har gjennomgått en påfallende utvikling i retning av høyere artsmangfold og en bedre tilpassing til log-normalfordelingen. I 1986 må belastningstilstanden karakteriseres som "ikke påvisbar". Årsakene til denne utvikling er vanskelig å finne i de parametre de pågående undersøkelser har omfattet.

Stasjonen ligger på ca 52 m dyp øst for Saltnes og rett nord for Tverdalsøya (se fig. 2). Området omfatter det ytterste av de tre dypbassengene i Tvedestrandsfjorden. Bassenget er ca 70 m dypt og har et terskeldyp på ca 40 m. Med andre ord er området langt svakere avstengt fra Skagerrak enn de øvrige bassengene både på grunn av den ytre beliggenhet og den dype terskelen.

De viktigste stasjonsparametrene er tatt med i tabell 7. Det fremgår av tabellen at sedimentet var grå silt som ikke på noe tidspunkt inneholdt synlige innslag av sulfider. Oksygentilgangen må her være permanent tilfredsstillende. Hydrografistasjonen til SBSF som riktignok ligger litt lenger ute i fjorden (mellom Bukkholmen og Tverdalsøya), men på same dyp som benthosstasjonen, hadde ikke på noe tidspunkt lavere oksygenmetning enn ca 60 % og varierte mellom 60 og 90 %.

Når det gjelder faunaen på stasjonen viser tabell 7 en ganske markert utvikling gjennom undersøkelsesperioden. I 1983 ble det påvist 29 arter og 536 individer. Dette ga en indeks for artsmangfold (Hurlbert) på 15,80 som er moderat. I 1984 ble det funnet færre arter, men samtidig færre individer, noe som bidro til at indeksen for artsmanfold gikk opp til 17,90, noe som fremdeles må karakteriseres som moderat. Prøven i 1986 viste en dramatisk økning i antall arter såvel som individer, henholdsvis 75 og 1745, noe som også gav en sterk økning i indeksen for artsmangfold som gikk opp til 23,92, med andre ord et nivå som er normalt for uforstyrrede områder.

Tabell 7. Essensielle parametre for st. 5, Nesbukta.

Parameter	1983	1984	1986
Bunntype	silt	silt	silt
Farge	grå	grå	grå
H ₂ S i sediment?	nei	nei	nei
Oksydert topplag?	ja	ja	ja
Antall arter	29	24	75
Antall individer	536	188	1745
Artsmangfold (Sh.w.)	2,87	3,30	3,92
Artsmangfold (Hurlb)	15,80	17,90	23,92
Ømfintlige arter	35%	62,5%	45,7%
Tolerante arter	65%	37,5%	54,3%
Artsindeks	5,83	6,88	6,85
Tilstandsindeks	0,90	1,00	1,05
Forurensningsgrad	moderat	moderat til liten	ikke på- visbar
Dyp	54,5 m	51 m	53 m
Posisjon	58° 35,3'N - 08° 59,1'Ø		

Innslaget av ømfintlige arter gikk opp fra 35 til 62,5 % fra 1983 til 1984 og så ned til 45,7 % i 1986. Dette gjenspeiler en variasjon i artssammensetningen. Det samme gjelder artsindeksen. Tilstandsindeksen - som integrerer artsmangfold og artsindeks viste en klart stigende tendens fra 1983 frem til 1986. En samlet vurdering av parametrene berettiger til å karakterisere påvirkningen på stasjonen som moderat i 1983 og liten (ikke påvisbar) i 1986.

Fig. 10 illustrerer utviklingen i artsmangfold fra undersøkelsens start. Fig. 11 som viser organismesamfunnets tilpassing til log-normalfordelingen fra 1983 til 1986 illustrerer kanskje tydeligere enn fig. 10 at endringene på stasjonen er karakteristiske. I 1983 var fallet på kurven forholdsvis slakt (dårlig tilpassing) og karakterisert av flere topper (ved geometrisk klasse III, VI og IX). Variasjoner i de laveste geometriske klassene beror som oftest på tilfeldige variasjoner snarere enn opptreden av

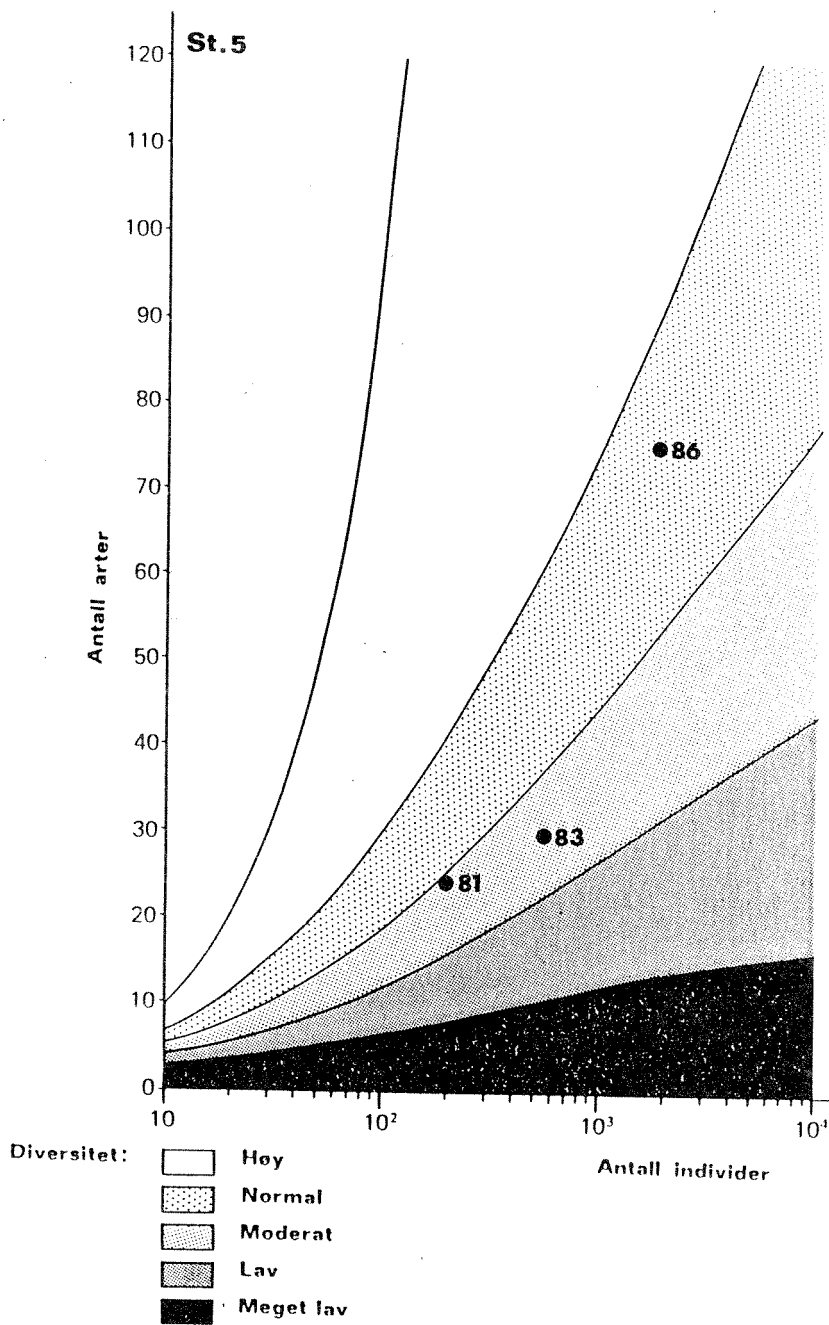
forurensingstolerante opportunister. At geometrisk klasse II var underrepresentert i 1983 skyldes trolig slike variasjoner. Geometrisk klasse VI besto bare av muslinger (fire arter). Tre av artene er forholdsvis forurensingstolerante, men ingen kan sies å være indikatorer på forurensing/organisk belastning med et mulig unntak av artskomplekset Thyasira sarsi/flexuosa. Geometrisk klasse IX i 1983 besto av en art: børstemarken Heteromastus filiformis. Denne er svært forurensingstolerant og kan oppfattes som en opportunist.

I 1984 viste kurven bratt fall fra geometrisk klasse I. En liten topp forekom ved klasse V (tre arter). To av disse artene er forurensingsømfintlige. Den tredje var muslingen Thyasira flexuosa/sarsi. Denne kan som nevnt tåle en betydelig organisk belastning. Sammen med de to andre artene kan imidlertid ikke denne toppen i diagrammet tolkes som tegn på en forstyrret biotop.

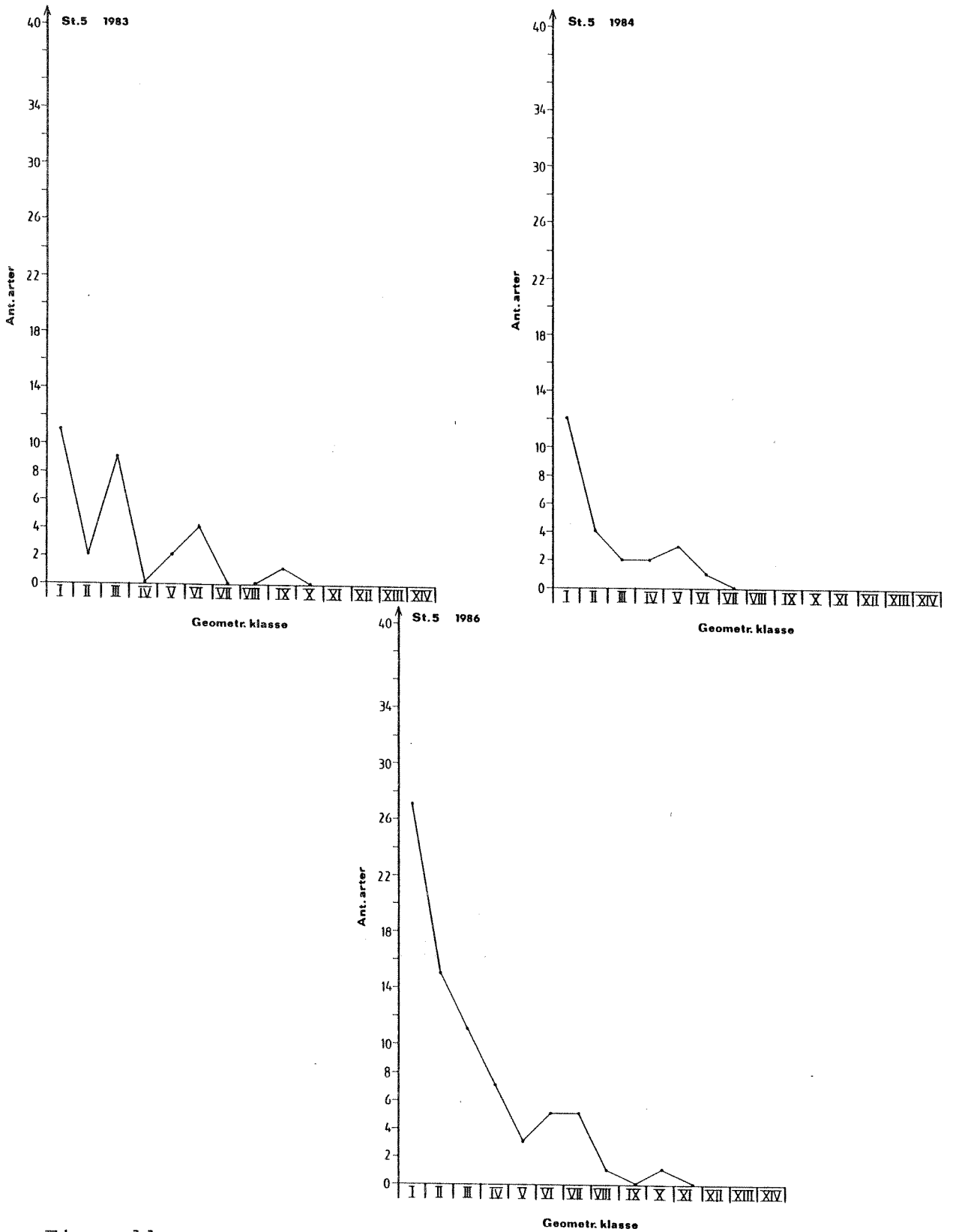
Kurven for 1986 synes å bestå av tre overlappende normalfordelinger hvorav den første har et forløp som karakteriserer en god log-normaltilpassing med mange sjeldne arter (gruppe I og II). Klasse VI og VII synes å utgjøre toppen på en ny normalfordeling som består av tilsammen 10 arter. Av disse er tre arter uklassifisert med hensyn på forurensningstoleranse (appendikstabell 1). Kun tre arter er klassifisert som forurensningstolerante, mens fire av artene er forurensingsømfintlige. Denne toppen på kurven kan derfor ikke tas som et tegn på miljøforstyrrelse. De to høyeste geometriske klassene (VIII og X) utgjøres imidlertid av forurensingstolerante arter.

Påviste variasjoner i et bløtbunnssamfunn kan ha mange årsaker. Fem vanlige skal nevnes:

1. endring i forurensingssituasjon inkl. oksygenforholdene.
2. varierende dyp ved gjentatt prøvetaking.
3. varierende sedimenttype.
4. flekkvis fordeling av fauna.
5. prøver tatt til ulike årstider.



Figur 10. Plott av artsantall mot individantall på st. 5, Nesbukta, i undersøkelsesperioden. Diagrammet viser en klar utvikling mot høyere artsmangfold fra 1983 til 1986.



Figur 11. Faunaens tilpassing til log-normalfordelingen på st. 5, Nesbukta, fra 198 til 1986. Figuren viser en gradvis bedret tilpassing gjennom undersøkelsesperioden.

Når det gjelder punkt 1 ovenfor så har ikke området vært resipient for utslipp som er brakt til opphør i løpet av undersøkelsesperioden. SBSF's rapporter viser ingen endringer i de parametre som er rapportert (som f.eks. oksygen) som skulle ha noen innvirkning på faunabildet.

Når det gjelder variasjon i dyp ved prøvetaking (pkt. 2 ovenfor), så varierte denne fra 51 til 54,4 m. Tatt i betraktning at sedimenttypen var den samme alle tre årene, er denne dybdevariasjonen for ubetydelig til å forklare slike endringer som er beskrevet.

Ang. pkt. 3 ovenfor så kunne det som nevnt ikke påvises variasjoner i sedimentets kvalitet ved de ulike prøvetakingene. Sedimentet besto ved alle tre anledninger av grå silt.

Med hensyn til flekkvis fordeling av fauna, er dette et godt kjent fenomen. Og nettopp dette forhold er det som nødvendiggjør replikate grabbhugg på hver stasjon. Tre replikate hugg ansees for tilstrekkelig til å fange opp de viktigste variasjonene. Ved foreliggende undersøkelse er det tatt fem replikater, noe som skulle gi en enda bedre garanti for representativitet.

Visse tider av året, fortrinnsvis i perioden juni-oktober er dyreplanktonet sterkt preget av larver av bunndyr, som på et gitt modningsstadium vil søke mot bunnen. I denne tiden kan en ofte finne massenedslag (massesettling) av enkelte arter, og disse kan forekomme i svært store individantall. Ettersom det til et hvert tidspunkt som oftest er et fåtall arter det dreier seg om, vil disse - ved log-normalanalyse -, fremtre som topper langt ute til høyre på den vannrette aksene og kan da fortone seg som en innvandring av opportunister uten å være det. Det kan med sikkerhet slås fast at det ikke er en slik situasjon som rådet på st. 5 i 1986, selv om feltarbeidet da ble gjort om sommeren. Innslaget av ungformer (juveniler) var ikke spesielt markert, derimot var økningen i de to laveste geometriske klassene svært markert i 1986 sammenlignet med de to foregående årene.

På det foreliggende grunnlag kan det ikke trekkes annen konklusjon enn at utviklingen er et sunnhetstegn og at den trolig skyldes parametre som ikke er fanget opp av de undersøkelsene som er foretatt.

Ett forhold er imidlertid helt klart: Faunaen er kommet til lokaliteten som larver via utskiftende vannmasser, men det foreligger ikke noe datatilfang som i detalj beskriver vanntransporten i dypet i det aktuelle tidsrom.

4.6. St. 6, Bota

Organismesamfunnets sammensetning viste sterk variasjon gjennom undersøkelsesperioden. Prøvene fra 1986 viste en markert økning i antallet arter og individer i forhold til de to foregående årene. Forklaringen kan ikke finnes i de foreliggende parametre.

Stasjonen ligger i det samme (ytterste) dypbasseng i Tvedestrandsfjorden, som foregående stasjon, og på omtrent samme dyp (fig. 2). Sedimentet viste heller ikke her tegn til anoksiske tilstander, men besto av grå til gråbrun silt med tydelig oksydert topplag.

Essensielle miljøparametre er fremstilt i tabell 8.

Gjennom hele undersøkelsesperioden besto sedimentet av grå silt som ikke på noe tidspunkt inneholdt synlige innslag av sulfider. Sedimentet gav visuelt inntrykk av å ha et relativt høyt innhold av organisk stoff. Kvantitative data foreligger ikke. Av sedimentets utseende kan en slutte at oksygentilgangen til dypbassenget må være tilfredsstillende. SBSF's stasjon 4 ligger litt nord for benthos-stasjonen, men omfatter samme dyp i det samme basseng og kan derfor oppfattes som representativ for denne. Under de hydrografiske undersøkelsene ble det ikke på noe tidspunkt målt lavere oksygeninnhold enn 60 % metning. Metnings-

graden varierte mellom 60 og 90 %.

Med hensyn til faunaen viser tabell 8 at det også på denne stasjonen har funnet sted en utvikling i retning av et mer artsmangfoldig organismesamfunn. I 1983 ble det påvist 20 arter med til sammen 169 individer. Det lave individantallet i forhold til artsantallet gav en indeks for artsmangfold på 17,60, (Hurlbert's indeks). Denne må klassifiseres som moderat.

Tabell 8. Essensielle parametre for st. 6, Bota.

Parameter	1983	1984	1986
Bunntype	silt	silt	silt
Farge	gråbrun	gråbrun	gråbrun
H ₂ S i sediment?	nei	nei	nei
Oksydert topplag?	ja	ja	ja
Antall arter	20	9	53
Antall individer	169	49	1127
Artsmangfold (Sh.w.)	3,49	2,64	3,45
Artsmangfold (Hurlb)	17,60	-*	18,81
Ømfintlige arter	23,1%	28,6%	37,1%
Tolerante arter	76,9%	71,4%	62,9%
Artsindeks	4,72	5,57	5,86
Tilstandsindeks	0,84	-*	0,93
Forurensningsgrad	moderat	moderat til betydelig	moderat til liten
Dyp	56,5 m	62 m	58 m
Posisjon	58° 4,5'N - 08° 59,9'Ø		

* = for svakt statistisk materiale til å kunne beregnes.

I 1984 ble det påvist en markert fattigere fauna med kun 9 arter og 49 individer. Dette var et for dårlig tallmateriale til å regne ut Hurlbert's indeks for artsmangfold. Fra 1983 til 1984 gikk Shannon Wiener's indeks ned fra 3,49 til 2,64, men denne berettiger fremdeles til betegnelsen moderat belastet. Prøvene i 1986 viste en tilsvarende markert utvikling som på foregående stasjon: en relativt sett sterk økning i antall arter og individer (henholdsvis 53 og 1127). Indeksen for artsmangfold gikk opp til 18,81. Dette er en indeksverdi som en kan finne i uforstyrrede bløtbunnsbiotoper.

Innslaget av forurensningsømfintlige arter må karakteriseres som lavt alle prøvetakingsårene, men viste en klart stigende tendens gjennom perioden fra 23,1 % i 1983 til 37,1 % i 1986. Det relativt sterke innslaget av forurensningstolerante arter gir et tydelig utslag på artsindeksen som også viste en stigende tendens (fra 4,72 til 5,86), men var hele tiden så lav at den er karakteristisk for betydelig påvirkede biotoper.

Tilstandsindeksen som integrerer artsindeks og artsmangfold viste også en stigende tendens, rimeligvis, ettersom de tilgrunnliggende parametre også øket i tallverdi.

En samlet vurdering av parameterverdiene i tabell 8 gir grunnlag for å karakterisere stasjon 6 som moderat påvirket i 1983, moderat til betydelig påvirket i 1984 og moderat til svakt påvirket i 1986.

Fig. 12 illustrerer utviklingen i artsmangfoldet i undersøkelsesperioden. Fig. 13 viser faunaens tilpassing til log-normalfordelingen. Både i 1983 og 1984 var tilpassingen dårlig. I 1984 var dessuten materialet tallmessig så svakt at det er unødvendig å plotte det på denne måten for å være istand til å trekke noen konklusjon. Figuren er vist for sammenligningens skyld.

I 1983 gav materialet to topper. Den første toppen over geometrisk klasse II kan være toppen på det log-normalfordelte samfunn (se under omtale av metoden kap. 6.1). Den andre toppen (over

klasse V) besto hovedsakelig av forurensingstolerante arter, mens en av artene er ømfintlig. Dette kan reflektere et stresset miljø på biotopen. I 1986 var imidlertid situasjonen vesentlig forskjellig sammenlignet med 1983 og 1984. Kurven er til å begynne med godt tilpasset log-normalfordelingen, men to topper forekommer lenger mot høyre på den vannrette aksene (klasse V og klasse VI, VII og VIV). Disse geometriske klassene utgjøres helt overveiende av forurensingstolerante arter og kan således indikere et visst miljøstress på stasjonen også i 1986.

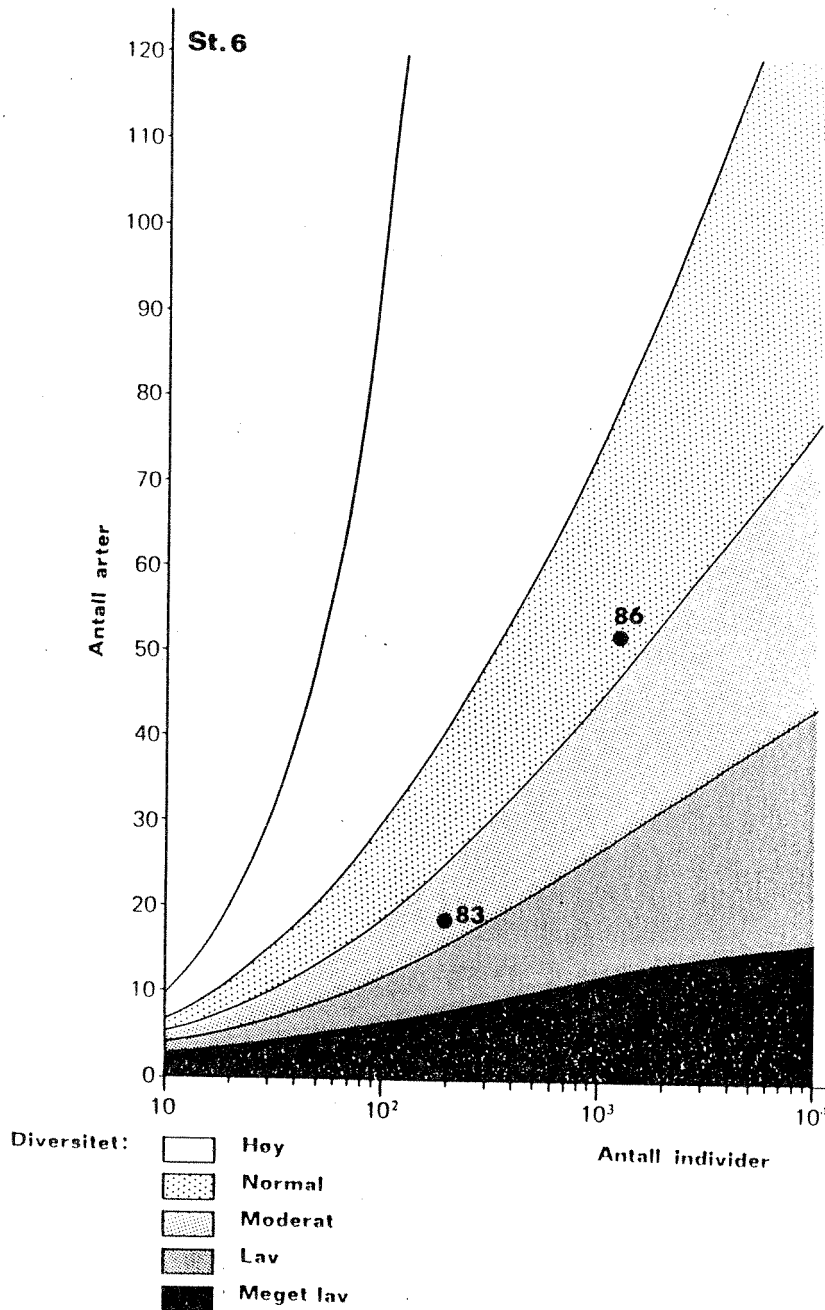
Utviklingen på st. 6 er med andre ord temmelig parallell med st. 5 og tilsvarende vanskelig å forklare. Stasjonen ligger trolig i den aller dypeste delen av det ytre bassenget, ettersom det i 1984 ble tatt prøver på 62 m dyp som er dypere enn sjøkartet viser. Nær bunnen i et slikt dypbasseng kan det være markerte gradienter m.h.t. flere parametre, f.eks. oksygen. Dette er en mulig forklaring på den markerte faunafattigdommen i 1984 fordi prøvene ble tatt på større dyp enn i 1983 (56,5 m) og 1986 (58 m).

4.7. St. 7. Gylteskjær (referansestasjon)

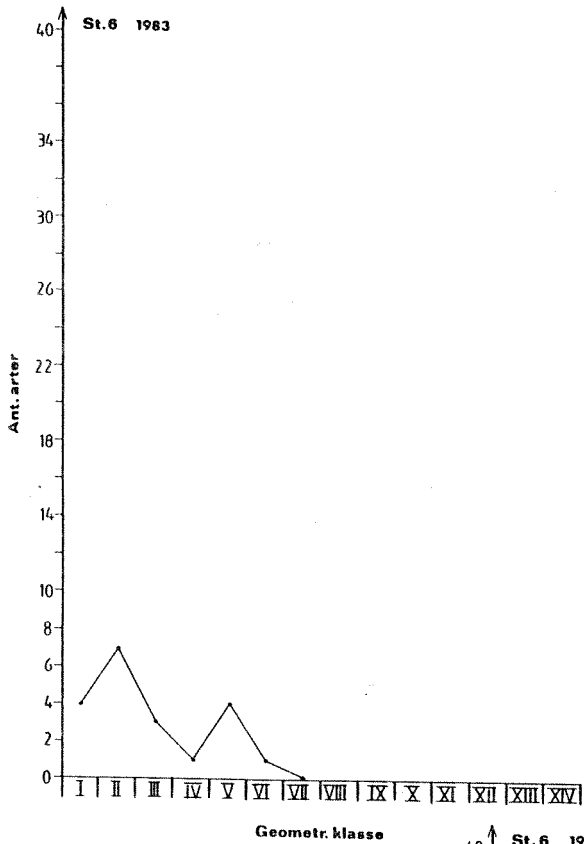
Stasjonen var egentlig uegnet som referansestasjon fordi den er et sedimentasjonsbasseng for partikler fra vannsøylen. Stasjonen viste tegn til å være overbelastet, men av naturlige årsaker.

Faunaen på stasjonen varierte sterkt, men hadde en markert større artsrikdom i 1986 sammenlignet med de foregående årene. Årsaken til dette er vanskelig å finne i de parametre som foreligger, men må skyldes vannutskifting.

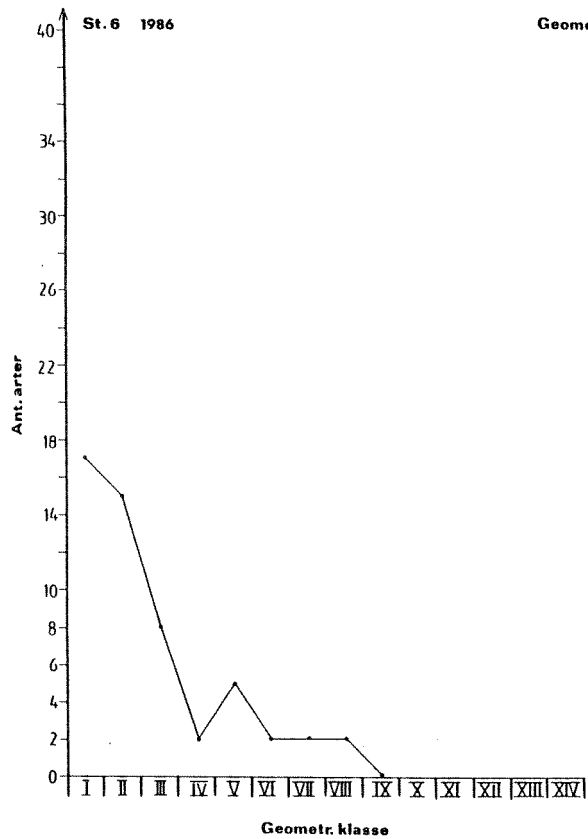
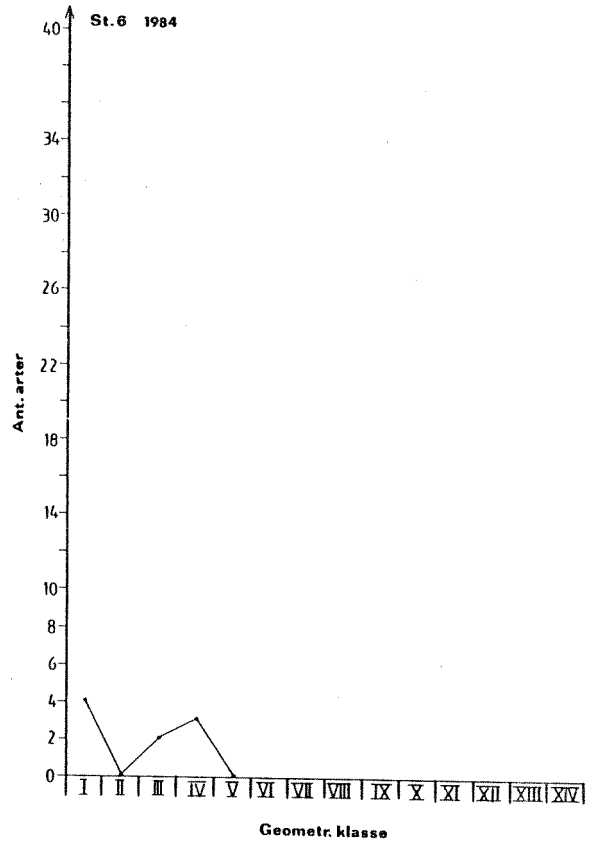
Hensikten med en referansestasjon er at den er ment som en bakgrunn mot hvilken de øvrige stasjonene vurderes. Det er av denne grunn viktig at referansestasjonen ikke er utsatt for de samme påvirkninger som preger hovedstasjonene. Referansestasjonen må derfor ligge utenfor det primære influensområde for - i



Figur 12. Plott av artsantall mot individantall på st. 6 i undersøkelsesperioden. I 1984 var tallmaterialet for lite til at det kunne plottes i diagrammet. Forøvrig viser figuren en markert stigning i artsmangfoldet fra 1983 til 1986.



43



Figur 13. Faunaens tilpassing til log-normalfordelingen på st. 6 fra 1983 til 1986. Situasjonen i 1986 viser en markert forbedret tilpassing i forhold til 1983. Materialet i 1984 var så fattig at den kun er vist i diagrammet for sammenligningsdel.

dette konkrete tilfellet - avløpsvannet fra Tvedestrand by. Referansestasjonen ble derfor lagt til et område utenfor Tvedestrandfjordens munning, ved Gylteskjær (se fig. 2). Som det vil fremgå av det følgende, var valget av referansestasjon for denne undersøkelsen ikke heldig. Dette forhold er diskutert avslutningsvis i dette kapitlet. De viktigste miljøparametrene for st. 7 er vist i tabell 9.

Tabell 9. Essensielle parametre for st. 7, Gylteskjær (referansestasjon).

Parameter	1983	1984	1986
Bunntype	silt	silt	silt
Farge	mørk grå	mørk grå	mørk grå
H ₂ S i sediment?	svak lukt	svak lukt	nei
Oksydert topplag?	ja	ja	ja
Antall arter	19	5	32
Antall individer	610	98	902
Artsmangfold (Sh.w.)	2,54	1,72	2,97
Artsmangfold (Hurlb)	10,00	5,00	14,98
Ømfintlige arter	16,7%	0,0%	14,3%
Tolerante arter	83,3%	100,0%	85,7%
Artsindeks	4,56	4,40	4,51
Tilstandsindeks	0,76	0,70	0,80
Forurensningsgrad	betydelig til sterk	sterk	moderat til betydelig
Dyp	63,5 m	65 m	66 m
Posisjon	58° 34,2'N - 09° 2,0'Ø		

Det fremgår av tabell 9 at sedimentet besto overveiende av silt som var mørkt grått på farge, noe som antyder et høyt organisk innhold. I 1983 og 1984 kunne det spores en svak lukt av hydrogensulfid. Slik lukt kunne ikke registreres i 1986. Alle tre årene kunne det sees et tynt gråbrunt oksydert lag på toppen av grabbprøvene.

Også på denne stasjonen viste materialet en utvikling gjennom

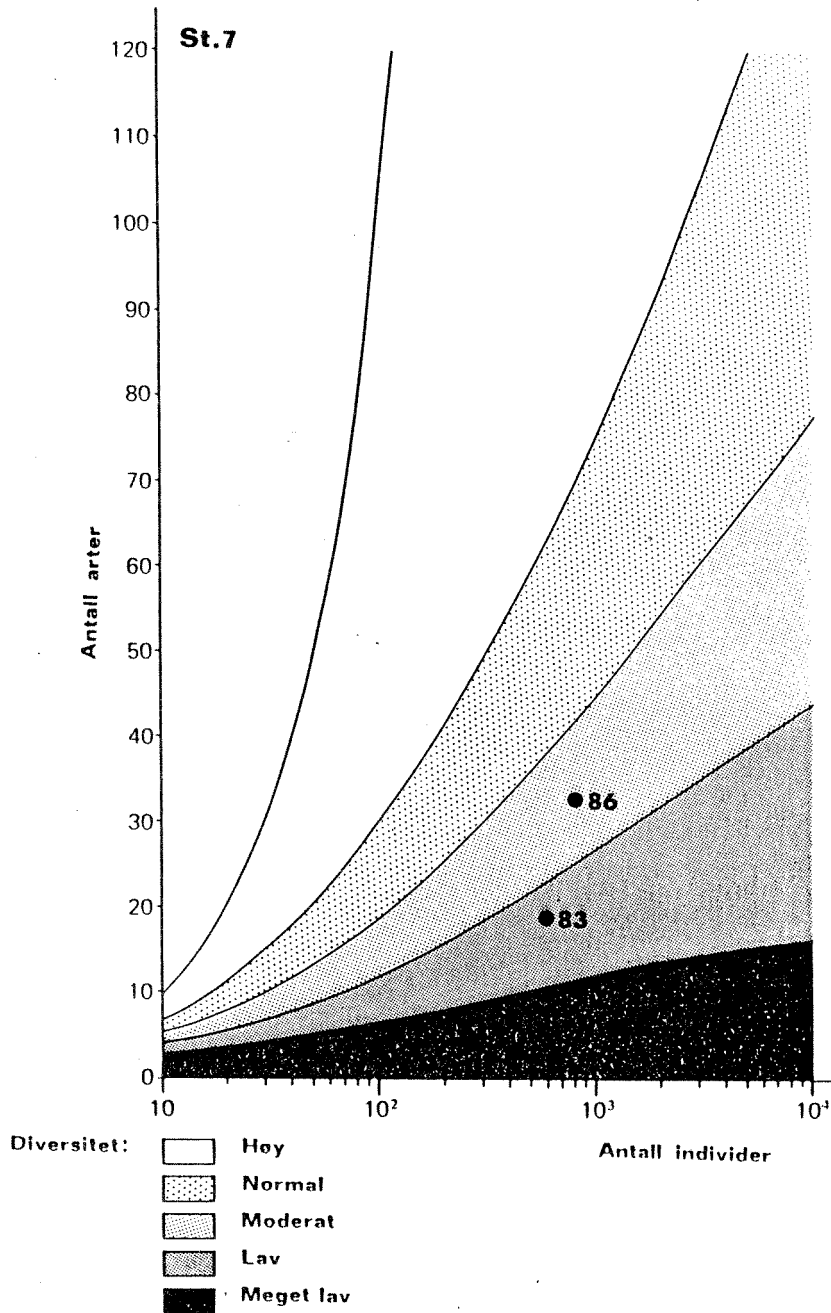
prøvetakingsperioden som var overraskende, men fullt sammenlignbar med den på de to foregående stasjonene. I 1983 ble det påvist en utarmet fauna med tilsammen 19 arter og 610 individer. Materialet fra 1984 viste en sterk reduksjon i forhold til året før, og det ble påvist bare 5 arter med tilsammen 98 individer. Helt parallelt med situasjonen på st. 5 og 6, viste prøvene fra 1986 en sterk økning i antall arter og individer, henholdsvis 32 og 902. Disse varierende resultatene reflekteres også i variasjonene i artsmangfold, som altså over prøvetakingstiden totalt sett, viste en markert økning selv om den ikke kan betegnes som høy, selv i 1986.

Innslaget av forurensningstolerante arter var meget høyt alle tre årene (henholdsvis 83,3 %, 100% og 85,7%) og viser at biotopen ikke kan karakteriseres som et normalt uforstyrret bløtbunnssamfunn, som også tydelig understrekes av de lave verdiene for arts- og tilstandsindeks (tabell 9).

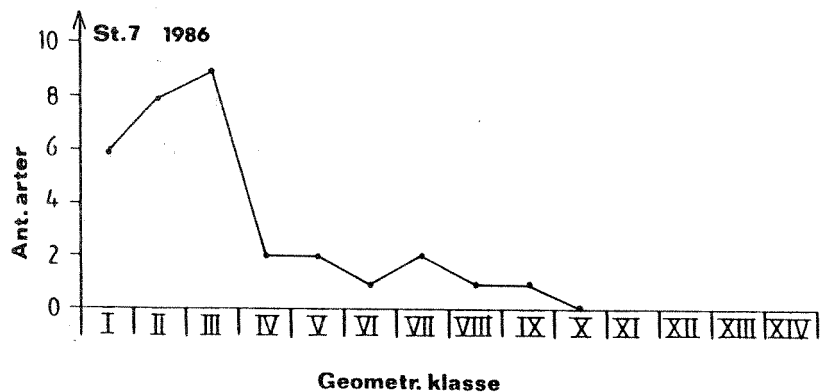
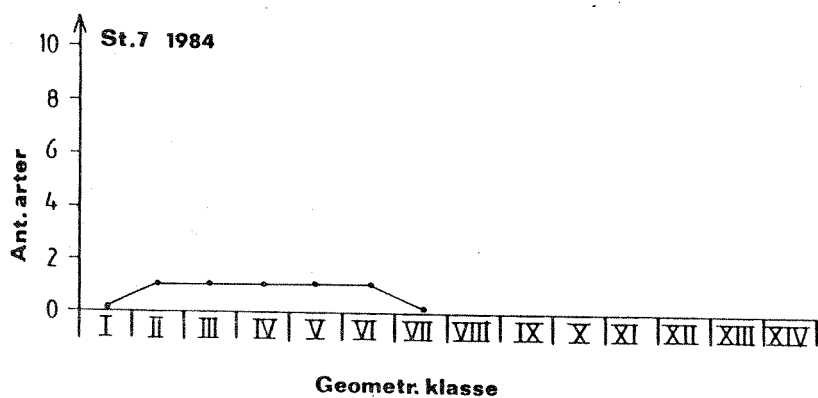
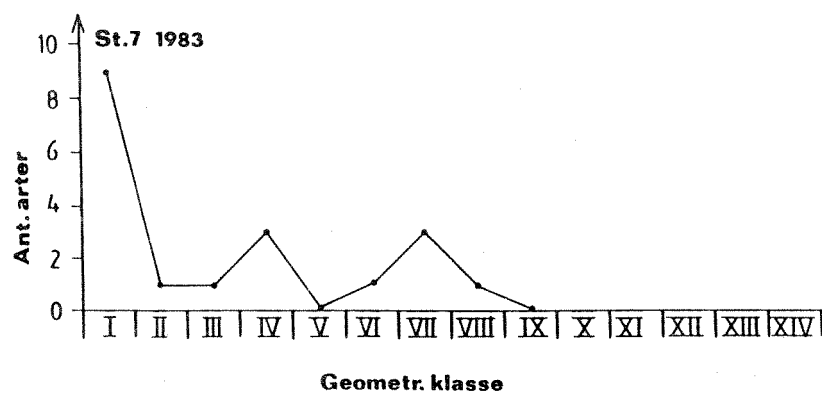
Fig. 14 illustrerer utviklingen i artsmangfold fra 1983 til 1986. Materialet fra 1984 var tallmessig for lite til at det kunne plottes i fig. 14. Økningen i artsmangfold er markert og beveget seg fra lavt til moderat.

Fig. 15 viser organismesamfunnets tilpassing til log-normalfordelingen. Tilpassingen var dårlig alle tre årene. I 1983 hadde kurven to markerte topper over geometrisk klasse IV og VII. I geometrisk klasse IV finner vi børstemarken Ophiodromus flexuosus og Pectinaria koreni. Begge er svært forurensningstolerante. I klasse VII og VIII finner vi børstemarken Spiochaetopterus typicus og Maldane sarsi i tillegg til muslingen Thyasira flexuosa/sarsi. Alle tre er forurensningstolerante og deres tallmessige representasjon må tas som et tegn på en forstyrret biotop.

I 1984 var materialet så fattig at det knapt var hensiktsmessig å fremstille det i diagram som i fig. 15 for å tolke det. Plottet er allikevel vist av hensyn til sammenligningen med de to andre årene.



Figur 14. Plott av artsantall mot individantall på st. 7 i undersøkelsesperioden. Materialet i 1984 var tallmessig for fattig til at det kunne plottes i diagrammet. Forøvrig sees en markert økning i artsmangfoldet i 1986 i forhold til 1983.



Figur 15. Faunaens tilpassing til log-normalfordelingen på st. 7 fra 1983 til 1986. Materialet fra 1984 er vist av hensyn til den visuelle sammenligningen. Tilpassingen var dårlig samtlige år.

I 1986 synes toppen på normalfordelingskurven å komme frem på diagrammet, men etter geometrisk klasse IV er avviket fra normalfordelingen sterk, og samtlige av artene her er betydelig forurensingstolerante.

Også på denne stasjonen er det vanskelig å søke forklaring på den påviste utviklingstendensen i de informasjoner som er samlet inn. Problemet er diskutert under behandlingen av st. 5 Nesbukta (side 32).

Det spesielle med st. 7 er at den ligger godt utenfor selve Tvedestrandsfjorden og må antas å være fullstendig upåvirket av situasjonen i indre del av fjorden. Dette var også grunnen til at en valgte dette området til referansestasjon. Desto mer overraskende var det derfor å finne en biotop som hadde flere typiske tegn på å være sterkt organisk belastet. Forklaringen på dette forhold må ligge, dels, i bunntopografien, dels i lokale strømforhold i dypet - forhold som gjør at stasjonen fungerer som et sedimentasjonsbasseng for organiske partikler fra vannsøylen. Å finne organisk belastede områder i åpent farvann er ikke ukjent og det finnes slike lokaliteter langs hele kysten, men ut fra en kartmessig vurdering som man som oftest gjør ved valg av stasjonsnett, er ikke mulig å se hvor det finnes slike områder. Egnethetsundersøkelsene for havbruk, som ble gjort i 1985, påviste en lignende lokalitet ytterst i Sandøyfjorden (WIKANDER 1986). Slike biotoper er selvsagt ikke egnede som referansestasjoner.

4.8. Elementer i et forurensingsbudsjett for Tvedestrandsfjorden

For å sette sivilisatoriske tilførsler til en resipient i et riktig perspektiv er det nødvendig å anslå hva som tilføres fra andre kilder.

Nedenfor er det gjort et forsøk på å sette opp et slikt regnskap for Tvedestrandsfjorden. Det er viktig å understreke at feilkildene er store og nøyaktige tall vil aldri kunne frembringes.

I regnestykket er det brukt erfaringstall fra litteraturen (særlig VENNERØD 1984 og ROGNERUD & al 1979).

Oppstillingen bygger på følgende forutsetninger: (som tilførsler er det kun regnet med fosfor).

Nedbørsmengde, årsmiddel	1000 mm
Fosforinnhold i nedbør	40 ug/l
Tilførsler fra Tvedestrand by	4500 pe
Fosfortilførsel fra 1 pe pr døgn	2,5 g
Nedslagsfelt	63,2 km ²
Fjordens overflate	7,6 km ²
Tettstedsareal	1 km ²

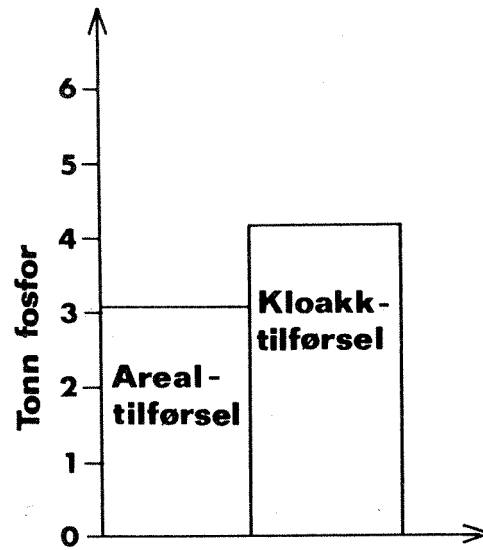
Nedbørfeltet er regnet som skogsareal. Avrenning fra skogsareal pr år 6,5 P kg/km².

Resultatene er vist i tabell 10.

 Tabell 10. Forsøk på et forurensningsbudsjett for Tvedestrands fjorden (transporter med havstrøm ikke tatt med).
 Tallene må ikke oppfattes som eksakte størrelser.

<u>Bidragstende prosess</u>	<u>Totalt fosfor</u>
Nedbør på fjordoverflate	2528 kg pr år
Avrenning fra nedslagsfelt	410 kg pr år
Avrenning fra tettstedsareal	75 kg pr år
Tilførsler fra kloakk	410 kg pr år

Fra tabell 10 fremgår det at urensede utslipp fra Tvedestrand by utgjør i underkant av 60 % av de totale tilførsler til systemet, angitt i fosformengder, overflatetilførsler og terrengavrenning følgelig ca 40 %. Dette forholdet er illustrert i fig. 16.



Figur 16. Teoretisk beregnede tilførsler pr år av total-fosfor til Tvedestrandsfjorden fra henholdsvis kloakkutslippet og fra landskapet.

5. REFERANSER

- Dahl, E., Dahl, F.E., & Danielssen, D.S. 1984. Resipientundersøkelser i Tvedestrandsfjorden 1983. Flødevigen meldinger 5, 1984: 1-45.
- Dahl, E., Dahl, F.E., & Danielssen, D.S. 1985. Resipientundersøkelser i Tvedestrandsfjorden 1984. Flødevigen meldinger 4, 1985: 1-80.
- Dahl, E., Dahl, F.E., & Danielssen, D.S. 1987. Resipientundersøkelser i Tvedestrandsfjorden 1985. Flødevigen meldinger (in prep.).
- Danielsen, D.S. 1978. Rapport angående resipientundersøkelser i Risør/Tvedestrandsområdet 1976-77. Rapport fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen mai 1978. 48 pp.
- Danielsen, D.S. 1979. Rapport angående resipientundersøkelser i Risør/Tvedestrandsområdet i 1978. Rapport fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen oktober 1979. 46 pp.
- Danielsen, D. 1981. Rapport angående resipientundersøkelser i Risør/Tvedestrandområdet i 1979. Fiskeridirektoratets havforskningsinstitutt. Statens Biologiske stasjon Flødevigen. 43 s.
- Dannevig, G. 1971. Resipientundersøkelser på Skagerrakkysten. Delrapport for Tvedestrandsområdet. Rapport fra Statens Biologiske Stasjon Flødevigen 27. februar 1971. 31 s.
- Gray, J. S. 1982. Effects of pollutants on marine ecosystems. Neth. J. Sea Res. 16: 424-443.
- 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. 1. Comparative methodology. Mar. Ecol. Prog. Ser. 9:
- Hurlbert, S. N. 1971. The non-concept of species diversity. Ecology 5: 577-586.
- Krebs, C. J. 1978. Ecology. The experimental analysis of Distribution and Abundance. Harper & Son, Publ. 678 pp.
- Pearson, T.M., Gray, J. & Johannessen, P.J. 1983. Objective selection of sensitive species indicative of pollution-induced changes in benthic communities. 2. Data analysis. Mar. Ecol. Prog. Ser. 12: 237-255.
- Platt, H. M., Lamshead, P. J. D. 1985. Neutral model analysis of patterns of marine benthic species diversity. Mar. Ecol. Prog. Ser. 24: 75-81.
- Renkonen, O. 1938. Statistisch-ökologische Untersuchungen über die terrestrische käferwelt der finnischen Bruch-moore. An Zool. Soc. Zol. -Bot. Fenn. Vanamo 6: 1-231.
- Rognerud, S., Berge, D. & Johannessen, M. 1979. Telemarksvassdraget. Hovedrapport fra undersøkelsene i perioden 1975-1979. Telemark Distriktshøgskole, Bø. ISBN 82-7206-039-6.
- Rygg, B. 1984(a). 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. 1984(b). Bløtbunnfaunaundersøkelser. Et godt verktøy ved marine resipientvurderinger. Norsk Institutt for Vannforskning, Oslo. 80612, 29 s.

- Rygg, B. 1986 (a). Heavy metal pollution and log-normal distribution of individuals among species in benthic communities. Mar. Pollut. Bull. 17: 31-36.
- Rygg, B. 1986 (b). Bløtbunnfauna som indikatorsystem på miljøkvalitet i fjorder. En ny forurensningsindeks basert på artssammensetning. Norsk Institutt for Vannforskning, Oslo. 20 s.
- Rygg, B. 1986 (c). Bløtbunnfauna som indikatorsystem på miljøkvalitet i fjorder. Bruk av ømfintlige arters forekomst til påvisning av gode miljøforhold. Norsk Institutt for Vannforskning, Oslo. 10 s.
- Rygg, B. 1986 (d). Miljøkvalitetskriterier for marine områder. Rapport 2. Forurensningsvirkninger på bløtbunnfaunasamfunn. Norsk Institutt for vannforskning, Oslo. 42 s.
- Rygg, B. & Wikander, P.B. Bunnfaunaundersøkelser i Tvedestrandsfjorden. Norsk Institutt for Vannforskning, Sørlandsavdelingen. 33 s.
- Shannon, C. E., Weaver, W. 1963. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana, 117 pp.
- Shaw, K. M., Lamshead, P. J. D. & Platt, H. M. 1983. Detection of pollution-induced disturbance in marine benthic assemblages with special reference to nematodes. Mar. Ecol. Prog. Ser. 11: 195-202.
- Vennerød, K. 1984. Handbok i innsamling av data om forurensningstilførsler til vassdrag og fjorder. Norsk Institutt for Vannforskning, Oslo. 48 s.
- Wikander, P.B. 1986. Egnethetsundersøkelser for havbruk i Aust-Agder fylke. Norsk Institutt for Vannforskning, Sørlandsavdelingen, O-85260, 154 s.

6. VEDLEGG

6.1. Analysemetodikk og vurderingskriterier

Dette kapitlet definerer mer presist hvilke analysemetoder som er anvendt, hvilke definisjoner som er brukt samt hvilke vurderings-skalaer som har ligget til grunn for evaluering av tilstand og utvikling i sedimenter og organismsamfunn.

6.1.1. Sedimentet

Det er ikke foretatt noen kornfordelingsanalyser av sedimentet. Sedimentene er beskrevet ut fra visuelt inntrykk. Sedimenttype og utseende reflekterer strømforhold og organisk belastning på bunnen. Der hvor bunnstrømmen er meget svak, vil fine partikler akkumuleres. Grove sedimenter indikerer at bunnstrømmen er så sterk at finstoff ikke bunnfeller.

Med hensyn til minkende bunnstrøm og økende organisk belastning kan løsmassebunnen klassifiseres som følger (fra god til dårlig):

1. Grov sand og skjellsand, brunaktig til grå. Frisk lukt.
2. Sand, brunaktig til grå. Frisk lukt.
3. Grå - til gråbrun silt/fin sand. Frisk lukt.
4. Mørk grå silt, ofte med svak lukt av H₂S.
5. Svart gyttje. Sterk lukt av H₂S.

6.1.2. Dyresamfunnets artssammensetning

Hvilke arter som finnes på den enkelte stasjon er bl.a. en funksjon av det gjennomsnittlige miljøet på stasjonen over tid. Viktige elementer i miljøet er naturgitte (f.eks. sedimentenes beskaffenhet), andre er betinget av sivilisatoriske situasjoner på land; industriutslipp, kommunale utslipp, havbruksinstallasjoner osv.

Toleranse overfor forurensning kan variere svært fra art til art og man snakker om forurensningstolerante og forurensningsømfintlige arter. Ved en tiltagende forurensning vil de ømfintlige slås ut og de tolerante kan da ta deres plass. Ved tiltagende forurensning er det derfor vanlig å påvise økt tetthet blant de forurensningstolerante artene. Dette betyr at artsmangfoldet eller diversiteten har en tendens til å gå ned. Et annet aspekt er at enkelte av livsformene på bløtbunn kan oppnå en svært høy alder, 15 - 20 år; særlig blant muslingene. Dersom slike arter påvises samtidig som man vet at disse er forurensningsømfintlige, kan man slutte at miljøet på stasjonen har vært tilfredsstillende over meget lang tid.

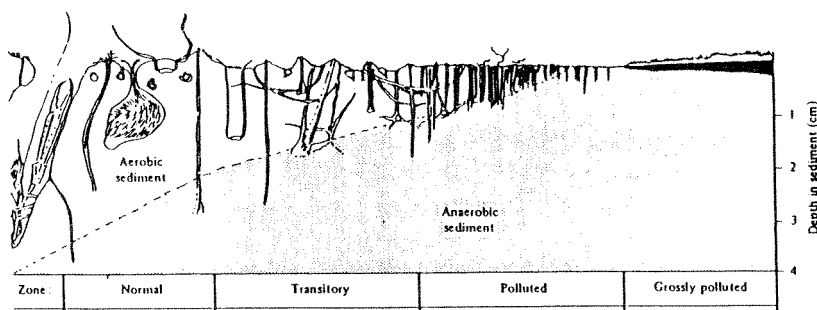
Ved bunnfaunaundersøkelser vil det videre være mulig å påvise omfanget av influensområdene fra større utslipp. En slik situasjon er skjematisk illustrert i fig. I.

Når det gjelder en del vanlig forekommende arter, så vet man pr. idag så mye om deres økologiske krav og forekomst at man kan klassifisere dem som enten forurensningstolerante eller ømfintlige. En slik klassifikasjon er blitt foretatt av RYGG (1986 a, b). Han baserte sin analyse på 193 bløtbunnsstasjoner fra fjorder i hele landet. Et mål for hver arts toleranse er det laveste artsmangfold (kalt ES-min), den enkelte art er påvist ved på de nevnte 193 stasjoner. Disse artene er listet i vedleggstabell 1 med deres korresponderende ES-min-verdi.

Grensen mellom forurensningstolerant og -ømfintlig er satt ved ES-min-verdien 7. Følgelig:

Forurensningstolerante:	ES-MIN <7
Forurensningsømfintlige:	ES-MIN >7

Vedleggstabell 1 har blitt brukt til å regne ut en artsindeks for hver stasjon (RYGG 1986 a, c). Artsindeksen ble regnet ut på følgende måte:



Figur I. Fremstilling av hvordan bunnfaunaen endrer seg med avstand fra utslipp (etter PEARSON & ROSENBERG 1978).

Hver art på hver stasjon som er klassifisert med angitt toleransegrense (altså med i vedleggstabell 1) ble notert for sin ES-min-verdi, og gjennomsnittsverdien for disse artene ble beregnet. Denne verdien er benevnt artsindeks i det følgende.

I foreliggende rapport er artsindeksen klassifisert i overensstemmelse med tabell I.

Tabell I. Bruk av artsindeksen til klassifikasjon av påvirkningsgrad.

<u>artsindeks</u>	<u>Klassifikasjon</u>
>6,85	Liten (ikke påvisbar)
5,90-6,85	Moderat
5,10-5,90	Betydelig
>5,10	Sterk

Det er også blitt beregnet den prosentvise andel av forureningsømfintlige og -tolerante arter. Andelene er beregnet i prosent av totalt antall klassifiserte arter (fra vedleggstabell 1) på den enkelte stasjon.

Dersom f.eks. totalt antall klassifiserte arter var 37- og 20 av disse forurensningsømfintlige, blir andel ømfintlige arter 54,1 % og andel tolerante følgelig 45,9 % (17 av 37).

Andelen av forurensningsømfintlige arter er klassifisert i overensstemmelse med tabell II.

Tabell II. Klassifikasjon av andel forurensningsømfintlige arter.

<u>Andel ømfintlige arter</u>	<u>Klassifikasjon</u>
< 40 %	lav andel
40 - 50 %	middels andel
> 50 %	høy andel

Det at andelen ømfintlige arter er høy eller artsindeksen er høy på en stasjon, er en sikker indikasjon på uforstyrrede forhold.

Det forhold at forurensningstolerante arter forekommer på samme stasjon er mindre interessant fordi disse artene vil finne tilfredsstillende forhold både ved en tilstand av belastning og ved en upåvirket situasjon.

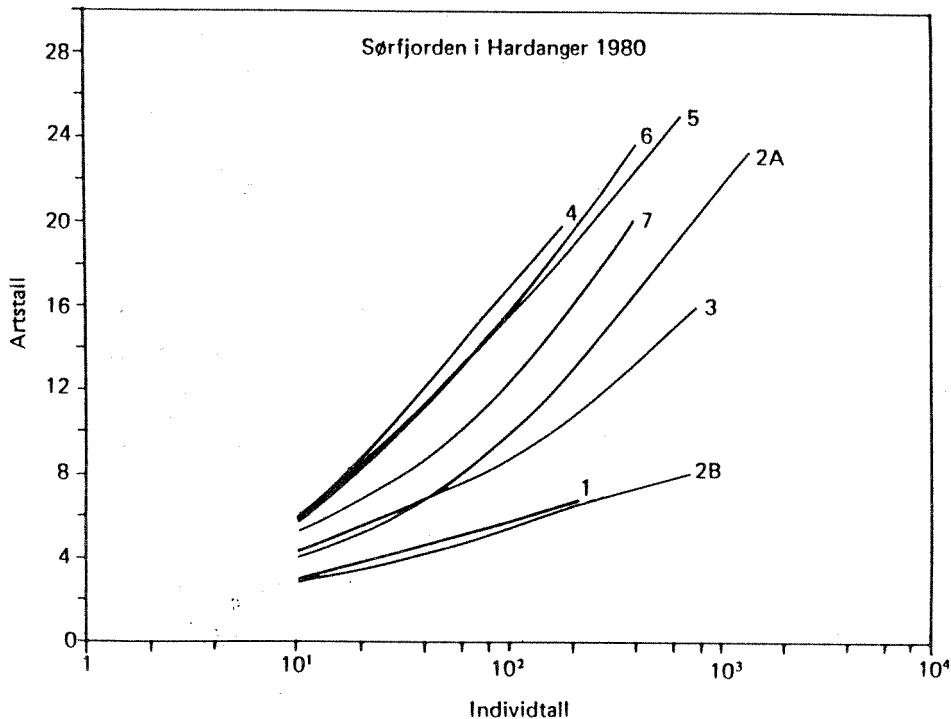
6.1.3. Artsmangfold

Høyt artsmangfold (diversitet) henger bl.a. sammen med normale miljøforhold. Organisk belastning og fysiske og kjemiske stressfaktorer fører til at opportunistiske arter øker sine individantall og blir dominerende i samfunnet, mens mer ømfintlige arter slås ut. Resultatet er at artsmangfoldet blir lavere.

Artsmangfoldet er definert som artsantall som funksjon av individantall og kan fremstilles som en kurve i et diagram med

individantallet langs x-aksen og artsantallet langs y-aksen. Fig. II er et eksempel på slike diversitetskurver.

Generelt øker individantallet i takt med prøvestørrelsen, mens artsantallet ikke øker i samme grad. Stigningen på kurven avtar derfor etter hvert som individantallet øker. Høyt artsantall i forhold til individantall betyr høyt artsmangfold. Dette gir brattere kurver enn ved lavt artsmangfold. Vi bruker en logaritmisk x-akse for å få en god fremstilling av kurven.



Figur II. Kurver for artsantall som funksjon av individantall (artsmangfold). RYGG(1984 a). Tallene ved endepunktene er stasjonsnr.

Kurvene beregnes etter formelen (permutasjon): (HURLBERT 1971).

Hvor:

$$E(S_n) = \sum_i \left[1 - \frac{\binom{N - N_i}{n}}{\binom{N}{n}} \right]$$

N_i = antall individer av i'te art
 N = det samlede antall individer i prøven
 $E(S_n)$ = det forventede antall arter i en delprøve på n individer fra en prøve som totalt inneholder N individer og S arter.

$E(S_n)$ er altså et tallmessig uttrykk for det antall arter man statistisk kan forvente å finne i en delprøve av en gitt størrelse (=n individer) når n alltid er mindre enn N.

$E(S_n)$ kan således beregnes for alle verdier mindre enn N.

Diversiteten vil da fremkomme som en kurve. Kurven beskriver artsantallet som en funksjon av individantallet.

Det er vanlig bare å plotte endepunktene for diversitetskurvene.

En klassifisering av artsmangfoldet etter et system foreslått av RYGG (1984 b) er vist i fig. III. Klassifiseringen er angitt ved ulike typer skravering som symboliserer forhold fra meget høyt artsmangfold til meget lavt. Forstyrrede områder vil ha endepunktene for sine diversitetskurver i sonene for "moderat", "lavt" eller "meget lavt" artsmangfold.

For lettere å kunne sammenligne stasjonene direkte i rom og tid, er det vanlig å regne ut verdiene for $E(S)$ når $n = 100$ for samtlige stasjoner, altså $ES (n = 100)$. Da kommer plottene rett under hverandre i diagrammet og man kan sammenligne stasjonene direkte, med y-aksen som skala.

På grunnlag av materiale fra en rekke fjordområder i Norge kan en klassifisere artsmangfoldet som vist i tabell III.

Tabell III. Klassifikasjon av artsmangfold uttrykt som det beregnede antall arter pr. 100 individer i en prøve $ES (n = 100)$.

<u>Verdi for artsmangfold $ES (n = 100)$</u>	<u>Klassifikasjon</u>
< 7	svært lavt
7-12	lavt
12-18	moderat
18-30	normalt
30-35	høyt
>35	svært høyt

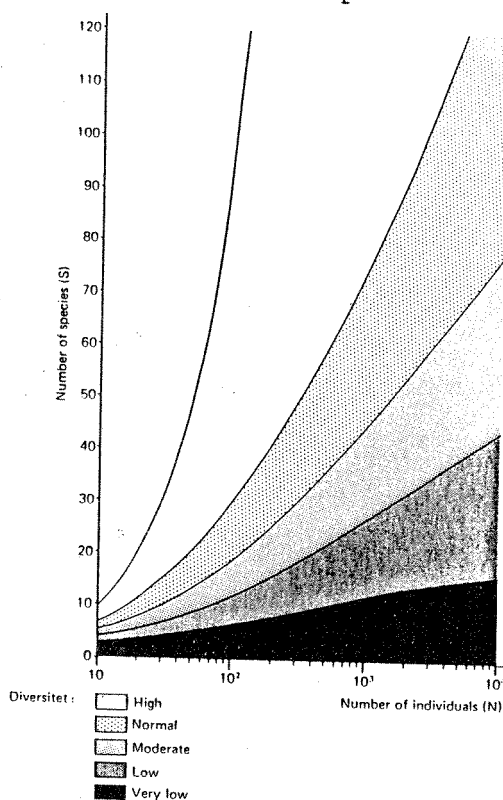
Artsmangfoldet er også blitt regnet ut etter den mest anvendte metoden: Shannon-Wienerindeksen H, (SHANNON & WEAVER 1963). Formelen for denne ser slik ut:

$$H = - \sum \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

hvor:

n_i = antall individer av arten i

N = totalt antall individer i prøven



Figur III. Eksempel på klassifikasjon av artsmangfold foreslått av RYGG 1984 b.

På lignende måte som for øvrige faunaparametre, kan Shannon-Wiener's indeks for artsmangfold klassifiseres som i tabell IV:

6.1.4. Log-normalfordeling av individantall blant arter

Ved prøvetaking av et organismesamfunn er det vanlig at man identifiserer alle artene og teller dem. Man kan sortere de ulike artene i mengdegrupper etter en såkalt geometrisk mengdeskala (se tabell V). Ved plotting av disse data i et aksekors,

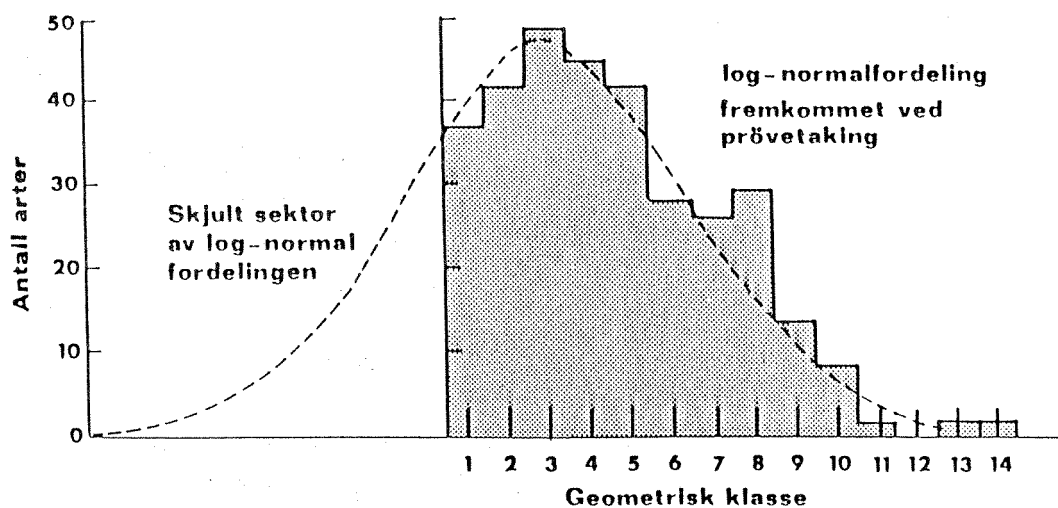
Tabell IV. Klassifikasjon av artsmangfold uttrykt som Shannon-Wiener's indeks H.

<u>H'</u>	<u>Klassifikasjon</u>
<1,3	svært lav
1,3-2,1	lavt
2,1-3,1	moderat
3,1-4,3	normalt
4,3-4,8	høyt
>4,8	svært høyt

hvor de geometriske klasser er angitt på x-aksen og antall arter innenfor de ulike klasser på y-aksen, vil det, når prøvestørrelsen er tilstrekkelig, fremkomme en kurve som er tilnærmet normalfordelt (klokkekurve). Etter som x-aksen i virkeligheten er en logaritmisk skala (når geometriske klasser brukes) kalles en slik kurve for en log-normalfordeling.

Ved de prøvestørrelser som er vanlige ved resipientundersøkelser vil imidlertid ikke hele normalfordelingen fremkomme til høyre for y-aksen, men bare en del av den. Dersom man øker prøvestørrelsen til det uendelige (omfattende hele samfunnet) vil også hele klokkekurven fremkomme. Dette betyr i praksis at i et fullstendig organismsamfunn er det få arter som er meget sjeldne og få arter som er meget tallrike. De fleste ligger "midt på treet". Dette forhold er forsøkt illustrert i fig. IV.

I stabile og artsrike organismsamfunn observeres som regel en tilnærmet log-normal frekvensfordeling av individantall blant artene. Avvik fra log-normalfordeling kan tyde på forandringer i samfunnet, f.eks. som følge av forurensningspåvirkning (GRAY & MIRZA 1979). Avvik fra den log-normale fordeling kan oppdages ved plotting som vist på fig. IV.



Figur IV. Forholdet mellom log-normalfordelingskurven og innsamlet/ikke-innsamlet materiale (etter KREBS 1978).

Tabell V. Definisjon av de geometriske klasser som er brukt i foreliggende undersøkelse.

<u>Antall individer</u>	<u>Tilsv. Geom. klasse</u>
1	I
2-3	II
4-7	III
8-15	IV
16-31	V
32-63	VI
64-127	VII
128-255	VIII
256-511	IX
512-1023	X
1024-2047	XI
2048-4096	XII
osv.	osv.

PEARSON & al.(1983) foreslo å benytte metoden til å registrere biologiske forandringer forårsaket av forurensninger. Ved moderat organisk belastning vil det fremkomme grupper av arter med høye individtall. Disse vil manifestere seg som ekstra toppler på kurven mer eller mindre langt ute til høyre på x-aksen. Dette forklares ved at de artene som er i stand til å trekke fordeler av den endrede situasjon, blir mer tallrike (opportunistene). (Se også GRAY & MIRZA 1979, GRAY & PEARSON 1982, GRAY 1982).

For at metoden skal være pålitelig, kreves det artstrike og store prøver (GRAY og MIRZA 1979). Ved små og artsfattige prøver kan det opptre tilfeldige avvik som ikke er signifikante. Det er derfor nødvendig å bruke et kritisk skjønn ved tolkningen av log-normale plott og eventuelt utelukke små prøver fra analysen. RYGG (1986 b) valgte 16 arter som minimum for at prøven skulle inngå i en log-normal analyse. Enkelte forfattere (SHAW et al. 1983; PLATT og LAMBSHEAD 1985) har forkastet log-normal metoden.

6.1.5. Tilstandsindeks

Tilstandsindeksen (kalt egnethetsindeks i WIKANDER (1986)) er en parameter som utgjør en syntese mellom artsindeks og ES (n = 100). (Hurlbert's indeks.).

Klassifiseringen av tilstandsindeksen er empirisk. Tallverdien er beregnet som en veid middelvei mellom artsindeksen (AI) og artsmangfoldet ES (n = 100). (Dette er nærmere forklart hos RYGG (1986 d)).

Formelen for tilstandsindeksen ser slik ut:

$$TI = 0,073 AI + 0,009 ES(n=100) + 0,333$$

Verdiene for tilstandsindeksen TI kan klassifiseres som i tabell VI.

Tabell VI. Klassifikasjon av tilstandsindeksen TI i relasjon til organisk belastning.

<u>TI</u>	<u>Klassifikasjon</u>
<0,76	sterkt påvirket
0,76-0,87	betydelig påvirket
0,87-1,0	moderat påvirket
>1,0	normalt, eller lite påvirket

7. VEDLEGGSTABELLER

Vedleggstabell 1. Alfabetisk fortegnelse over utvalgte (klassifiserte) arter som er så vanlige at man kan si noe om deres toleranse overfor organisk forurensing. Den midterste tallkolonnen angir arters nedre toleransegrense (dvs. ved det laveste artsmangfold - ES-min) artene er påvist, ved undersøkelse av 193 bløtbunnstasjoner. Q angir antall stasjoner den enkelte art er funnet på blant de 193. Data i tabellen er brukt til å beregne tilstandsindeks og artsindeks. (Etter RYGG, 1986 d).

N: Nesledyr; P: Pølseorm; FB: Fåbørstemark; MB: Mangebørstemark; SN: Snegl; M: Musling; KR: Krepssdyr; SF: Sjøsterne; K: Kråkebolle; SP: Sjøpølse; S: Slangestjerne.

	Q	ES min	Gr.
ABRA ALBA (W. WOOD 1802)	27	2,8	M
ABRA NITIDA (MUELLER 1789)	73	8,5	M
AMPHARETE FINMARCHICA (M.-SARS 1864)	11	17,9	MB
AMPHICTEIS GUNNERI (M. SARS 1864)	16	6,1	MB
AMPHILEPIS NORVEGICA LJUNGMAN	21	12,5	MB
AMPHIURA CHIAJEI FORBES	52	8,5	S
AMPHIURA FILIFORMIS (O.F.MUELLER)	50	8,5	S
ANAITIDES GROENLANDICA (OERSTED 1842)	31	2,8	MB
ASYCHIS BICEPS (M. SARS 1861)	17	12,2	MB
BRADA VILLOSA (RATHKE 1983)	18	15,8	MB
BRISASTER FRAGILIS (DUEBEN & KOREN)	12	12,7	K
BRISSOPSIS LYRIFERA (FORBES)	23	12,3	K
CALOCARIS MACANDREAE BELL 1846	31	8,8	KR
CAPITELLA CAPITATA (FABRICIUS 2780)	37	2,0	MB
CERATOCEPHALE LOVENI MALMGREN 1867	42	8,7	MB
CHAETOZONE SETOSA MALMGREN 1867	146	3,6	MB
CHEIROCRATUS SPP	10	6,1	MB
CIRRATULUS CIRRATUS (O.F.MUELLER 1776)	18	4,0	MB
CORBULA GIBBA (OLIVI 1792)	68	2,0	M
COSSURA LONGOCIRRATA			
WEBSTER & BENEDICT 18	52	3,6	MB

Vedleggstabell 1 forts.

CTENODISCUS CRISPATUS (BRUZ.)	26	8,5	SJ
DIPLOCIRRUS GLAUCUS (MALMGREN 1867)	72	8,2	MB
DRILONEREIS FILUM (CLAPAREDE 1868)	23	11,5	MB
EDWARDSIA SPP	23	8,4	N
ERIOPIISA ELONGATA BRUZELIUS	58	11,5	KR
ETEONE FLAVA (FABRICIUS 1780)	10	4,0	MB
ETEONE LONGA (FABRICIUS 1780)	21	3,6	MB
EUCHONE SPP	33	4,7	MB
EUDORELLA EMARGINATA KROEYER	52	8,5	KR
EUMIDA SPP	11	12,7	MB
GATTYANA CIRROSA (PALLAS)	17	2,8	MB
GLYCERA ALBA (O.F.MUELLER 1776)	89	2,8	MB
GLYCERA ROUXII AUDOUIN & MILNE EDWARDS	29	14,7	MB
GONIADA MACULATA OERSTED 1843	82	3,6	MB
HARMOHOE SPP	36	10,3	MB
HARPINIA SPP	25	14,3	K
HETEROMASTUS FILIFORMIS (CLAPAREDE 1864)	161	2,8	MB
KELLIELLA MILIARIS (PHILIPPI 1844)	19	13,3	M
LABIDOPLAX BUSKI (MCINTOSH)	35	8,5	SP
LAONICE CIRRATA (M.SARS 1851)	29	8,5	MB
LEANIRA TETRAGONA (OERSTED 1844)	25	8,0	MB
LEUCON NASICA (KROEYER)	26	8,5	KR
LUMBRINERIS FRAGILIS (O.F. MUELLER 1766)	17	6,1	MB
LUMBRINERIS SCOPA FAUCHALD 1974	16	13,3	MB
MACOMA CALCAREA (GMELIN 1790)	17	5,0	M
MALDANE SANSI MALMGREN 1865	39	5,0	MB
MELINNA CRISTATA (M.SARS 1851)	42	9,7	MB
MYRIOCHELE OCULATA ZAKS 1922	102	4,7	MB
MYSELLA BIDENTATA (MONTAGU 1803)	45	2,8	M
NEPHTYS CILIATA (O.F.MUELLER 1776)	30	7,6	MB
NEPHTYS PARADOXA MALM 1874	38	8,0	MB
NEREIMYRA PUNCTATA (O.F.MUELLER 1788)	22	5,6	MB
NEREIS SPP	20	1,1	MB
NOTOMASTUS LATERICEUS SANS 1851	26	12,2	MB

Vedleggstabell 1 forts.

NUCULA SULCATA (BRONN 1831)	27	10,4	M
NUCULOMA TENUIS (MONTAGU 1808)	53	5,0	M
OPHELINA ACUMINATA OERSTED 1843	16	5,0	MB
OPHIODROMUS FLEXUOSUS			
(DELLE CHIAJE 1822)	81	3,0	MB
OPHIURA ALBIDA FORBES	23	10,2	S
PARAMPHINOME JEFFREYSII			
(MACINTOSH 1868)	59	8,4	MB
PARAONIS GRACILIS (TAUBER 1879)	50	8,4	MB
PARAONIS LYRA (SOUTHERN 1914)	33	12,9	MB
PARVICARDIUM MINIMUM (PHILIPPI 1836)	24	8,5	M
PECTINARIA AURICOMA (O.F.MUELLER 1776)	20	12,5	MB
PECTINARIA KORENI MALMGREN 1865	32	2,8	MB
PHERUSA SPP	10	12,9	MB
PHILINE SCABRA (O.F.MUELLER 1776)	32	8,0	SN
PHOLOE MINUTA (FABRICIUS 1780)	104	2,8	MB
PHYLO NORVEGICA (M.SARS 1872)	34	11,6	MB
PISTA CRISTATA (O.F.MUELLER 1776)	19	8,8	MB
POLYCIRRUS PLUMOSUS (WOLLEBAEK 1912)	12	14,4	MB
POLYDORA SPP	84	2,0	MB
POLYPHYSLIA CRASSA (OERSTED 1843)	56	4,7	MB
PRIAPULUS CAUDATUS LAMARCK 1816	12	4,7	P
PRINOSPIO CIRRIFERA WIREN 1883	93	8,4	MB
PRINOSPIO MALMGRENI CLAPAREDE 1868	59	2,8	MB
RHODINE GRACILIOR TAUBER 1879	14	14,2	MB
RHODINE LOVENI MALMGREN 1865	31	10,2	MB
SABELLIDES OCTOCIRRATA (M.SARS 1835)	11	13,3	MB
SAMYTHELLA VANELLI (FAUVEL 1936)	20	10,2	MB
SCALIBREGMA INFLATUM RATHKE 1843	65	4,7	MB
SCOLOPLOS ARMIGER (O.F.MUELLER 1776)	37	5,3	MB
SOSANE GRACILIS (MALMGREN 1865)	44	4,7	MB
SOSANE SULCATA MALMGREN 1865	18	10,2	MB
SPHAERODORUM FLAVUM OERSTED 1843	14	4,7	MB
SPIOCHAETOPTERUS TYPICUS M.SARS 1856	18	5,0	MB
SPIOPHANES KROEYREI GRUBE 1860	79	8,0	MB
STREBLOSOMA BAIRDI (MALMGREN 1865)	15	12,5	MB
SYNELMIS KLATTI (GRIEDRICH 1950)	29	9,0	MB

Vedleggstabell 1 forts.

TEREBELLIDES STROEMI M.SARS 1835	63	8,5	MB
THARYX MARIONI (SAINT-JOSEPH 1894)	42	4,7	MB
THYASIRA EQUALIS (VERRILL & BUSH)	40	8,0	M
THYASIRA FLEXUOSA/SARSI	89	5,0	M
TRICHOBRANCHUS GLACIALIS MALMGREN 1865	11	13,7	MB
TROCOCHAETA MULTISETOSA (OERSTED 1843)	26	4,4	MB
TUBIFICOIDES SPP	24	1,1	FB
TYPOSYLLIS CORNUTA (RATHKE 1843)	22	8,8	MB
WESWOODILLA CAECULA (SP. BATE)	22	12,2	K
YOLDIELLA FRATERNA VERRILL & BUSH	10	14,0	M
YOLDIELLA LUCIDA (LOVEN 1846)	18	12,9	M

