



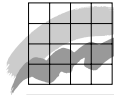
Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Biologiske effekter af råstofindvinding på epifauna

Faglig rapport fra DMU, nr. 391



[Tom side]



Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Biologiske effekter af råstofindvinding på epifauna

*Faglig rapport fra DMU, nr. 391
2002*

Dennis Lisbjerg

Jens Kjerulf Petersen

Karsten Dahl

Afdeling for Marin Økologi

Datablad

Titel:	Biologiske effekter af råstofindvinding på epifauna
Forfattere:	Dennis Lisbjerg, Jens Kjerulf Petersen, Karsten Dahl
Afdeling:	Afdeling for Marin Økologi
Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 391
Udgiver:	Danmarks Miljøundersøgelser© Miljøministeriet
URL:	http://www.dmu.dk
Udgivelsestidspunkt:	Marts 2002
Redaktionen afsluttet:	Marts 2002
Faglig kommentering:	Stig Helmig, Skov- og Naturstyrelsen
Finansiel støtte:	Skov- og Naturstyrelsen
Bedes citeret:	Lisbjerg, D., Petersen, J.K. & Dahl, K. 2002: Biologiske effekter af råstofindvinding på epifauna. Danmarks Miljøundersøgelser. 56 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 391. http://faglige-rapporter.dmu.dk Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.
Sammenfatning:	Undersøgelserne i denne rapport beskriver effekter af suspenderet og sedimenteret uorganisk materiale på udvalgte dyrearter. Der blev gennemført 3 typer undersøgelser: "Katastrofescenarium", hvor et stykke havbund blev dækket med sand og udviklingen i dyrelivet efterfølgende blev fulgt. "Akutte effekter" blev målt ved at bestemme filtreringshastigheder og adfærdsrespons hos forskellige fastsiddende bunddyr. "Sublethale effekter" blev bestemt i længerevarende vækstforsøg. I katastrofescenariet forblev bunden dækket af sand i flere måneder og der var en betydelig effekt på forekomst af forskellige arter i op til 1 år efter udlægning af sandet. Der kunne ikke dokumenteres akut dødelighed i laboratorieforsøg, men såvel aktivitet hos mosdyr som filtrering hos søpunge og hestemusling blev påvirket af stigende koncentrationer af partikulært materiale. Der kunne i vækstforsøg ikke demonstreres effekter af forhøjede koncentrationer af suspenderet uorganisk materiale i vandfasen på hverken mosdyr eller søpunge. Samlet kan det konkluderes at i umiddelbar nærhed af indvinding af råstoffer, vil der være betydelige effekter på bundfaunaen, men at effekten af suspenderet materiale længere fra indvindingsområdet vil være af begrænset varighed og betydning.
Emneord:	råstofindvinding, sediment, suspenderet materiale, effekter, filtration, adfærd, dødelighed, vækst, bundfauna, rekolonisering
Forsidefoto:	Epifauna og flora på Schultz's Grund fotograferet af Karsen Dahl, Afd. for Marin Økologi
Layout:	Dennis Lisbjerg & Anne van Acker
Tegninger:	Dennis Lisbjerg
Korrektur:	Anne van Acker
ISBN:	87-7772-665-0
ISSN (elektronisk):	1600-0048
Sideantal:	56
Internet-version:	Rapporten findes kun som PDF-fil på Danmarks Miljøundersøgelses hjemmeside http://faglige-rapporter.dmu.dk

Indhold

1 Indledning 5

1.1 Formål 5

2 Råstofindvinding i havet 6

2.1 Indvindingsmetoder 6

2.2 Påvirkning af suspenderet bundmateriale fra indvindingsprocessen på epifauna 7

3 Forsøg 8

3.1 Katastrofe scenarium 8

3.1.1 Materialer og metoder 8

3.1.2 Resultater 10

3.1.3 Diskussion 15

3.2 Filtrationsforsøg 18

3.2.1 Materialer og metoder 18

3.2.2 Resultater 20

3.2.3 Diskussion 22

3.3 Dødelighed/adfærd 23

3.3.1 Materialer og metoder 23

3.3.2 Resultater 23

3.3.3 Diskussion 25

3.4 Vækstforsøg 26

3.4.1 Materialer og metoder 26

3.4.2 Resultater 28

3.4.3 Diskussion 34

4 Samlet diskussion 36

4.1 Konklusion 39

5 Litteraturliste 40

Bilag 43

Danmarks Miljøundersøgelser 55

Faglige rapporter fra DMU 56

[Tom side]

1 Indledning

1.1 Formål

Det er projektets formål at belyse og vurdere effekter af suspenderet og sedimenteret materiale på udvalgte faunaarter som følge af råstof-indvinding eller anden graveaktivitet i havbunden. Undersøgelserne er alle centreret om effekter på faunaen knyttet til hårbundshabitater ud fra den antagelse, at denne habitattype generelt ikke er udsat for sedimentpåvirkninger i samme grad som det kendes fra den jævne sandbund - de undersøgte faunaarter antages derfor også for mindre tolerante overfor sedimentpåvirkninger end arterne på den jævne bund.

Der er gennemført tre typer undersøgelser - en sedimentationsundersøgelse og to undersøgelser af effekten af suspenderet sediment.

Det er hensigten at resultaterne fra undersøgelsen vil bidrage til at styrke miljømyndighedernes grundlag for at vurdere effekter af råstofindvinding på den benthiske fauna.

2 Råstofindvinding i havet

Udnyttelse af havets ressourcer har fundet sted i mange år. Råstoffer som sand, grus og ral/sten udgjorde 99% af den samlede indvinding fra havbunden i 1999. Som udgangspunkt skal der ved indvinding tages hensyn til andre interesser, herunder af miljø- og naturbeskyttelsesmæssig art, og det er derfor lagt under Skov- og Naturstyrelsen at udstede tilladelser. I Danmark indvindes ca. 6 mio. m³ om året (1987-1999), som benyttes i alt fra beton og mørtel og vejmaterialer til fyld-sand til kystsikring og opfyldning. De årlige indvindinger har varieret fra 3,6 til 12,8 mio. m³ med de største indvindingsmængder under bygningen af Storebæltsforbindelsen i 1989 til 1991, Øresundsforbindelsen i 1996 og 1997 og udvidelsen af Århus Havn i 1999 (Statistiske Efterretninger 2000).

2.1 Indvindingsmetoder

De to metoder der overvejende benyttes til ral- og sandindvinding er stiksugning og slæbesugning. Ved begge metoder suges bundmateriale og vand op via et rør. Det oppumpede materialet føres i land usorteret eller der foregår en sortering ombord, hvor uønskede fraktioner ledes tilbage i havet med overløbsvandet. Hvor stor en del der bliver ført tilbage afhænger af sammenhængen mellem den ønskede kvalitet og bundmaterialets beskaffenhed. Ved stiksugning ligger sugefartøjet forankret på positionen og der opstår huller i bunden, der er op til 10 meter dybe og 10-50 meter i diameter. Denne metode er den mest benyttede i Danmark og er den eneste brugbare, hvis det øverste af havbunden er dækket af et uanvendeligt lag. Ved slæbesugning er sugefartøjet i fart med 1-2 knob. Røret føres hen over havbunden og efterlader render der er op til 0,5 meter dybe og 2 meter brede. Denne metode er især benyttet hvor det brugbare materiale kun findes i et tyndt lag i større områder.

Tabel 1 Teoretiske faldhastigheder, opholdstider i vandsøjle og horisontal spredning af partikler af forskellig størrelse. Tallene er udregnet på basis af Stokes lov, $V = (2 \times g \times a^2(d_1-d_2))/(9 \times p)$, hvor V er faldhastigheden, g = tyngdeaccelerationen, a = partiklens diameter, d_1 = partiklens vægtfylde, d_2 = vandets vægtfylde, p = viskositeten af vandet. Partikelvægtfylde er sat til 2. Opholdstid er baseret på 12 m's dybde. Horisontal spredning er baseret på 18 m min⁻¹ (fra Kiørboe & Møhlenberg 1982).

Partikel	Faldhastighed	Opholdstid i vandet	Horisontal spredning
Groft sand (1 mm)	2 m sek ⁻¹	6 sek.	1,8 m
Fint sand (0,1 mm)	2 cm sek ⁻¹	10 min	180 m
Silt (0,01 mm)	0,2 mm sek ⁻¹	17 timer	18 km
Ler (0,001 mm)	0,002 mm sek ⁻¹	69 dage	1800 km

2.2 Påvirkning af suspenderet bundmateriale fra indvindingsprocessen på epifauna

Generelt er viden om effekter af råstofindvinding på epifaunaarter og egentlige hårbundsarter meget begrænset (Hygum 1993, Kiørboe & Møhlenberg 1982). Først og fremmest kan det suspenderede materiale i områderne tættest på indvindingsområdet lede til tildækning af faunaen som, afhængig af det sedimenterende lags tykkelse, kan lide alvorlig overlast eller kvæles helt. Derudover vil der være et større område hvor der vil forekomme en ringere og ikke-dødelig tildækning, men hvor forhøjede koncentrationer af suspenderet stof i længere perioder eventuelt kan forstyrre og føre til tilstopning af fødesøgningsapparatet hos suspensionsernærere.

Tidligere studier af effekter af forøgede koncentrationer af opslemmet materiale har primært fokuseret på undersøgelser af muslinger. De fleste af disse undersøgelser viser at voksne muslinger kan tåle meget høje koncentrationer af suspenderet materiale (Kiørboe et al. 1980, Petersen 1993) og at moderat forøgede koncentrationer endog kan have en positiv effekt på muslingernes vækst (Kiørboe et al. 1981). Disse studier har ledt til den alment udbredte opfattelse at biologiske effekter af suspenderet materiale i forbindelse med råstofindvinding er beskedne.

Undersøgelser af muslinger er imidlertid næppe repræsentative for samtlige suspensionsernærere, idet det er dokumenteret at muslinger er i stand til at kompensere for negative effekter af suspenderet materiale gennem partikel-selektion (Kiørboe & Møhlenberg 1981). En sådan partikel-selektion er ikke konstateret hos en række andre suspensionsernærere som fx søpunge, mosdyr, filtrerende orme og svampe. Disse organismer er, i modsætning til mange muslingearter, epifaunale og total immobile og har ikke samme beskyttende skal som muslingerne. Dermed er disse organismer potentielt meget mere følsomme overfor suspenderet materiale end muslinger.

3 Forsøg

Gennem forskellige typer af forsøg i laboratoriet og i felten er det dette projektets formål at demonstrere eventuelle effekter af de forøgede koncentrationer af suspenderet materiale, der opstår i forbindelse med råstofindvinding. Formålet med undersøgelseerne er for søgt nået gennem 3 typer af undersøgelser. Følgerne af et "katastrofe-scenarium", hvor havbunden blev tildækket med et lag af materiale, som det finder sted i umiddelbar nærhed af indvindingsområdet, er blevet undersøgt ved at følge udviklingen i dyresamfundet i et forsøgsområde. Effekter af den øgede mængde af suspenderet materiale som følge af råstofindvinding blev undersøgt på forskellige måder: Akutte effekter blev belyst ved målinger af filtrationsrater med forskellige koncentrationer af suspenderet materiale og ved adfærdsstudier hos suspensionsernærere udsat for suspenderet materiale i 1-2 døgn. Længere tids påvirkning af suspenderet materiale blev belyst ved at bestemme væksthastighed ved forskellige koncentrationer af suspenderet materiale.

3.1 Katastrofe scenarium

Da store partikler synker hurtigst ud af vandet (*Tabel 1*), vil den mængdemæssige langt overvejende del af spildet blive bundfældet i nærheden af kilden, det vil sige indvindingsfartøjet. Disse store mængder af partikler kan i løbet af et par timer dække havbunden med et flere centimeter tykt lag. Der er her tale om en kraftig påvirkning af bundmiljøet, om end på et begrænset bundareal. Effekten af en sådan tildækning på epifaunaarter vil blive belyst i det følgende.

3.1.1 Materialer og metoder

Katastrofescenariet blev startet i juni 1999 hvor 6 rammer á 1 x 2 meter blev udlagt ved Schultz's Grund i Kattegat på ca. 15,5 meters dybde. Havbundens overflade bestod af en blanding af sand, grus og sten i ralfraktionen samt hestemuslinger, *Modiolus modiolus* der sad 2/3 nedgravet i sedimentet. De mest udbredte epifaunagrupper som var synlige for dykkeren, blev optalt *in situ* for hver ramme uden destruktion (*Tabel 2*). Herefter blev tre af felterne valgt som reference og tre felter blev tildækket med et 3-5 cm tykt lag af sand med en gennemsnitlig kornstørrelse på 0,1 – 0,3 mm. Lagtykkelsen var bestemt af den højde som hestemuslingerne sad over bunden således, at muslingerne blev helt dækket. Rundt om rammerne blev en mindre bufferzone etableret med en bredde på 30-40 cm hvor sandet gradvist blev tyndere.

Tabel 2 Arter optalt under projektperioden fra juni 1999 til august 2000.

Latinsk navn	Dansk navn
<i>Sycon</i> sp.	Svamp
<i>Porifera</i> sp.	Svampe
<i>Tealia</i> sp.	Søanemone
<i>Sagartia troglodyte</i>	Søanemone
<i>Metridium senile</i>	Sønellige
<i>Actinaria</i> sp.	Søanemoner
<i>Modiolus modiolus</i>	Hestemusling
<i>Mya</i> sp.	Sandmusling
<i>Strongylocentrotus droebachiensis</i>	Grønt søpindsvin
<i>Dendrodoa grossularia</i>	Stikkelsbørsøpung
<i>Styela rustica</i>	Søpung med toppig
<i>Clavelina lepadiformis</i>	Køllesøpung
<i>Ciona intestinalis</i>	Alm. søpung
<i>Asciacea</i> sp.	Søpunge
<i>Pomatoceros triqueter</i> (fra august 1999)	Kalkrørsorm

Lokaliteten blev genbesøgt i august 1999 samt maj, juni og august 2000. For hver besøg blev felterne videofilmet, og der foreligger derfor visuel dokumentation for udviklingen i faunasammensætningen for alle inspektioner. På grund af vanskelige vejr- og strømforhold blev en reference- og en påvirkningsramme ikke optalt i henholdsvis august 1999 og juni 2000.

Fra august 1999 blev faunaoptællingen udvidet til også at omfatte kalkrørsormen *Pomatoceros triqueter*. Fra maj 2000 blev der desuden differentieret mellem fauna siddende på sten-/sandbunden og fauna på skaller af Hestemuslinger. Det drejer sig i væsentlighed om kalkrørsormen, *Pomatoceros triqueter* og søpindsvinet *Strongylocentrotus droebachiensis*. Disse to arter er let genkendelige og forvekslingsmulighederne små, og det er således muligt at trække de to arter frem og behandle dem særskilt.

Databehandling

Hovedvægten i databehandlingen er lange analyser af ændringer i faunasamfund som funktion af sandpåvirkning i forhold til reference-situation samt udvikling over tid. Derudover er effekten af sandpåvirkningen belyst på mest dominerende arter enkeltvis.

Samfundsanalyserne er foretaget med programpakken PRIMER (Carr 1997). PRIMER er et non-parametrisk multivariat statistikprogram designet til behandling af artssamfund uden krav til specifikke fordelingsmønstre. Sammenligninger mellem prøvesæt er baseret på Bray-Curtis similaritetsindeks (Bray & Curtis 1957) hvor signifikansniveauet beregnes med proceduren ANOSIM (Analysis of similarity), som er en parallel til en almindelig variansanalyse (ANOVAR). Ud over at beregne signifikansniveauer angiver analysen også en Global R-værdi som indikation på hvor ens de testede prøvestørrelser er.

Global R varierer i praksis fra 0 (ingen forskel) til 1 (helt forskellig). Negative Global R-værdier ned til -1 kan også forekomme hvis de enkelte delprøver i et prøvesæt er mere lig delprøver i andre prøvesæt end delprøver i eget sæt.

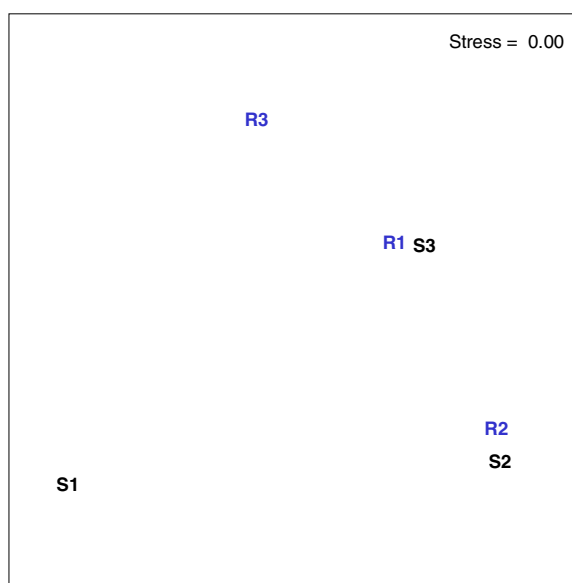
I PRIMER-programmet er det muligt at transformere data således at sjældne arter vægtes højere i analyserne på bekostning af meget hyppige. Sådanne transformationer er almindelige i blødbundsanalyser hvor enkelte arter kan optræde i tusindtal. I denne analyse har vi valgt ikke at transformere data. Vægten i dataanalyserne er derfor lagt på de relativt få dominerende arter, selvom der også vil være et bidrag fra de mindre hyppigt forekommende.

Analyserne af effekten af sandpålejring på faunasamfundene er gennemført efter et hierarkisk system. Samfundsanalyserne er først foretaget på basis af de arter der har indgået i hele undersøgelsesperioden, dvs. *P. triqueter* er udeladt. Herefter er de samme analyser gennemført på en reduceret artsliste idet én åbenlys upåvirket art er udeladt. Endelig er analyser gennemført for en reduceret tidsperiode med *P. triqueter* inkluderet.

3.1.2 Resultater

Analyser på den oprindelige faunaliste

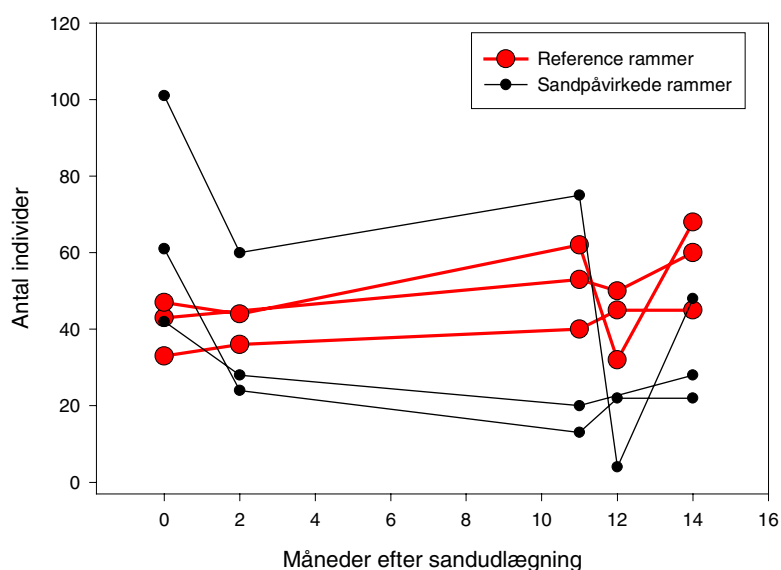
Figur 1 viser et MDS-plot af artsfordelingen af de 6 rammer før udlægning af sand. Et såkaldt ANOSIM-test viste at artssammensætningen i de udvalgte reference- og påvirkningsrammer ikke var forskellig ved forsøgets start. H_0 hypotesen at der ikke var forskel, havde således en sandsynlighed (p) på 70%.



Figur 1 MDS plot af faunasammensætning i reference- (R1-3) og påvirkningsrammer (S1-3) før sandudlægning.

Artssammensætningen i reference- og påvirkningsrammer efter udlægning af sandet er testet med en Two Way Crossed ANOSIM-test som tager hensyn til både påvirkning/ikke påvirkning af sand som den ene parameter og tid som den anden. Testen viste at der samlet set over hele undersøgelsesperioden var en meget markant effekt af tid ($p = 1,4\%$ og Global R = 0,264), hvorimod effekten af sandpåvirkningen var mindre markant ($p = 5,7\%$ og Global R = 0,250).

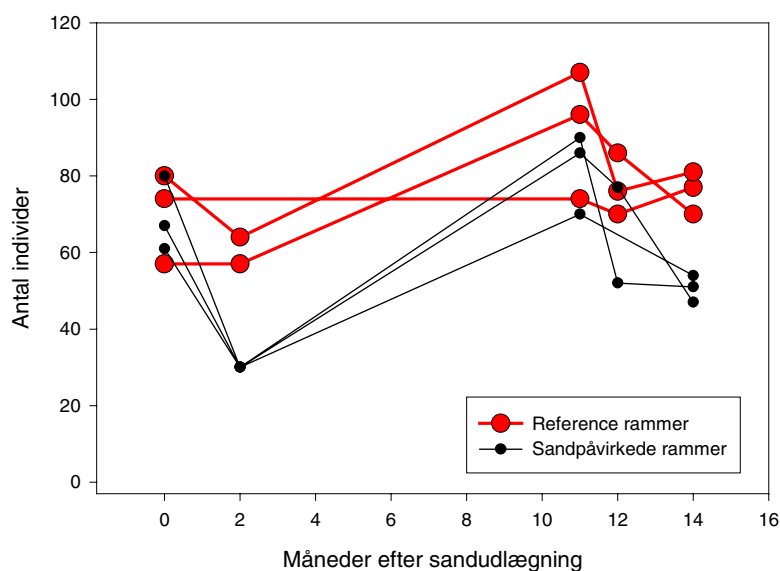
Figur 2, 3 og 4 viser effekten af sandpålejring og udvikling over tid for de tre mest dominerende arter der indgår i hele analyseperioden, Hestemusling (*Modiolus modiolus*), det grønne søpindsvin (*Strongyloventrotus droebachiensis*) og hule-søanemonen (*Sagatia troglodytes*).



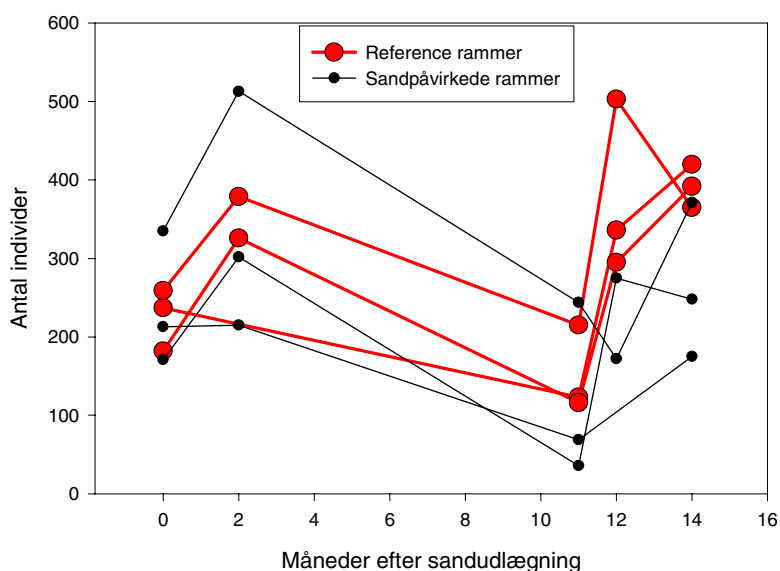
Figur 2 Effekten af sandpålejring på individantallet af Hestemuslingen *Modiolus modiolus* i antal måneder efter hændelsen.

Antallet af optalte hestemuslinger for de tre referencerammer holdt sig nogenlunde konstant igennem perioden. Variationerne på de enkelte rammer må tillægges en dykkereffekt idet bestanden af de langsomvoksende, store muslinger ikke kan forøges i løbet af undersøgelsesperioden. Det tilførte sand havde derimod en tydelig negativ påvirkning på bestanden af hestemuslinger (Figur 2) Antallet af hestemuslinger i påvirkningsrammerne faldt markant med ca. 45% fra tidsrummet umiddelbart før sandtilførslen og frem til den efterfølgende inspektion i august.

Søpindsvinet responderede også markant på belastningen med sand i påvirkningsfelterne, som det fremgår af Figur 3. Effekten synes i mindre omfang at holde sig også efter at sandet blev skyllet bort.



Figur 3 Effekten af sandpålejrning på individantallet af Sjøpindsvinet *Stron-gylocentrotus droebachiensis* i antal måneder efter hændelsen.



Figur 4 Effekten af sandpålejrning på individantallet af Hule-søanemonen *Sagartia troglodytes* i antal måneder efter hændelsen.

Den mest talrige art var Hule-søanemonen *Sagartia troglodytes*. Som det fremgår af Figur 4, var der ingen markant forskel mellem hyppigheden af *S. troglodytes* i referencerammer og påvirkede rammer, i det mindste i de første 11-12 mdr. I den periode følger bestanden det samme mønster med stigende antal optalte individer hen over sommeren og et markant fald i populationen frem til foråret.

Samfundsanalyser uden *Sagartia troglodytes*

Da *S. troglodytes* var så hyppig og da vi ikke har brugt transformation af data for at vægte de mindre hyppige arter, bidrager søanemonerne med en meget væsentlig komponent i de statistiske analyser. Da arten tilsyneladende ikke umiddelbart bliver påvirket af sandet, er ANOSIM

testene for forskel mellem reference- og påvirkningsrammerne før og efter sandudlægning gennemført uden *S. troglodytes*. En One-Way ANOSIM-test viste at der var en stor sandsynlighed for, at der ikke var forskel mellem reference- og påvirkningsrammerne før sandpåvirkning ($p = 50\%$). Efter påvirkningen viste en Two-Way Crossed ANOSIM-test derimod at der både var en markant effekt af tid og sandpåvirkning (Tabel 3) og at effekten af tid i parvise tests var signifikant forskellig fra august 1999 til alle øvrige tidspunkter.

Tabel 3 Two-Way Crossed ANOSIM-test for forskel i faunasammensætningen mellem sandpåvirkede og reference felter samt over tid. Søanemonen *Sagartia troglodyte* er udeladt af datasættet.

		Global R	p-værdi
Test for forskel mellem påvirknings- og referencefelter			
Global test		0,550	0,2%
Test for forskel mellem indsamlingstider			
Global test:	Prøvetidspunkter (måned-år)	0,356	0,4%
Parvis test:	8-1999 og 5-2000	0,811	2,0%
	8-1999 og 6-2000	0,875	1,0%
	8-1999 og 8-2000	0,444	6,0%
	5-2000 og 6-2000	-0,099	62,0%
	5-2000 og 8-2000	0,259	15,0%
	6-2000 og 8-2000	0,077	35,0%

Artssammensætningen i henholdsvis reference- og påvirkningsrammerne er herefter analyseret med en One Way ANOSIM-test for den sidste optælling i august. Formålet var at påvise om den gennemsnitlige forskel som var påvist i Two Way Crossed ANOSIM-analysen for perioden august 1999-august 2000, var udlignet ved forsøgsperiodens afslutning. Testen gav en p-værdi på 10% hvilket er den mindst opnåelige værdi med kun 2 • 3 delprøver. Global R var 0,778 hvilket er højt, og det er derfor sandsynligt at antage at forskellene ikke er udlignet.

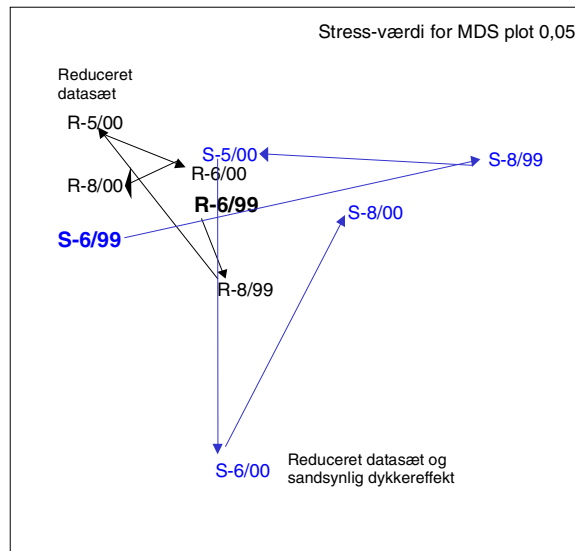
MDS-plottet i Figur 5 viser udviklingen i de gennemsnitlige artssamfund, uden *Sagartia troglodytes*, på henholdsvis reference- og påvirkningsfelterne. Det fremgår at faunasamfundet i referencerammerne blev ændret over tid, men også at artssammensætningen i juni 1999 mindede meget om samfundet i juni 2000. Artssammensætningen i påvirkningsrammernes ændrede sig også over tid, men forskellene var mere markante.

Samfundsanalyser med *Pomatoceros triqueter*

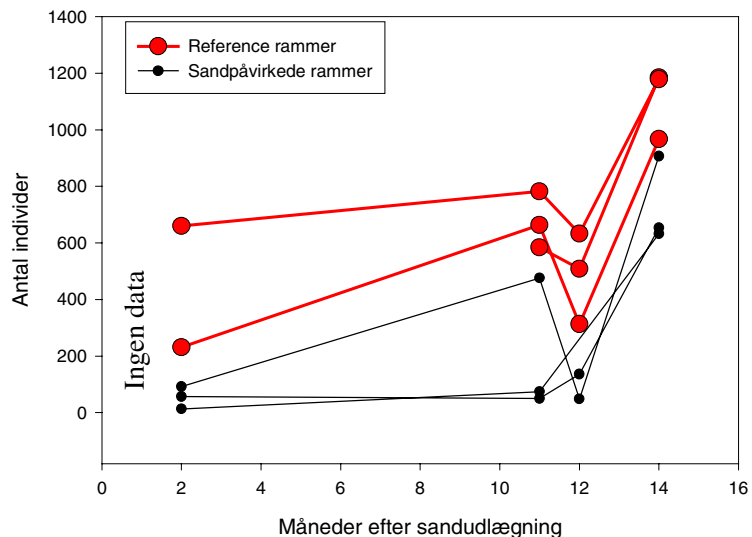
Som tidligere omtalt indgik *Pomatoceros triqueter* ikke i observationerne før udlægningen af sand. Af den grund er det ikke muligt at afgøre om reference- og påvirkningsfelternes bestand af denne polychaet var den samme før belastningen med sand. At *P. triqueter* synes tydeligt påvirket af sedimentet fremgår imidlertid af Figur 6. *P. triqueter* forplanter sig typisk i juli og trochophora-larverne opholder sig i de frie vandmasser i ca. 3 uger inden de bundfælder (Kirkegaard 1996). I august 2000 blev der registreret en kraftig kolonisering med nye indi-

vider på sten og på skaller af levende og døde hestemuslinger. Der var tydeligvis tale om nye individer ud fra størrelsen af ormenes kalkrør, og den fandt sted både i reference- og påvirkningsfelterne.

Med *P. triqueter* inkluderet i data viser Two-Way Crossed ANOSIM-test signifikante forskelle i faunasammensætningen efter sandpåvirkning, både hvor søanemonen *Sagartia troglodytes* indgår i dataanalyserne og hvor den er udelukket (Figur 5) (global test for tid $p = 0,0\%$ og global test for sediment $p = 0,0\%$).



Figur 5 Faunaudvikling i referencerammer og påvirkningsrammer uden *Sagartia troglodytes*. R refererer til referencerammer og det efterfølgende tal til indsamlingstidspunktet (måned/år).



Figur 6 Effekten af sandpålejring på individantallet af *Pomatoceros triqueter* i antal måneder efter hændelsen.

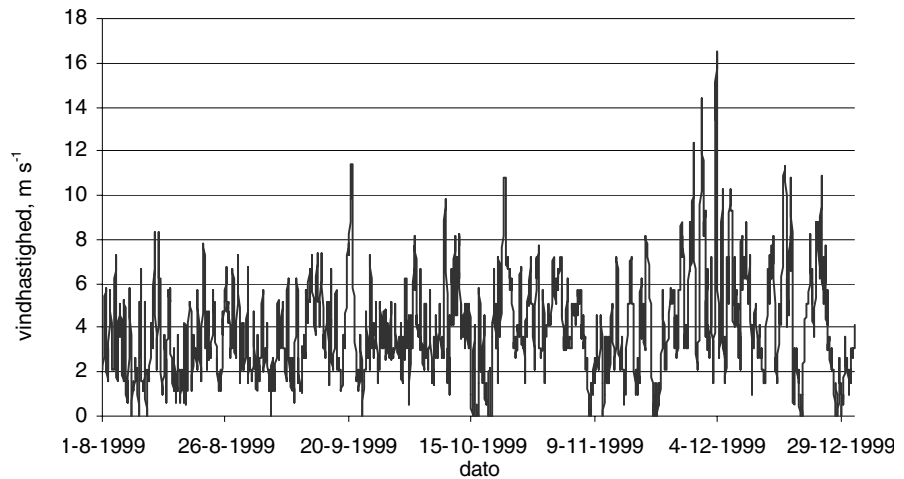
Tabel 4 Two-Way Crossed ANOSIM-test for forskel i faunasammensætningen mellem sandpåvirkede og upåvirkede prøvefelter samt over tid. Testen er gennemført med *Pomatoceros triqueter* inkluderet i det datasæt der ligger til grund for analysen i Tabel 3.

		Global R	p-værdi
Test for forskel mellem indsamlingstider			
Global test:		0,604	0,0%
Parvis test:	8-1999 og 5-2000	0,555	1,0%
	8-1999 og 6-2000	-0,167	74,0%
	8-1999 og 8-2000	0,901	1,0%
	5-2000 og 6-2000	0,446	5,0%
	5-2000 og 8-2000	0,741	1,0%
	6-2000 og 8-2000	0,888	1,0%
Test for forskel mellem påvirknings og referencefelter			
Global test		0,622	0,0%

3.1.3 Diskussion

Da katastrofescenariet blev planlagt, var det forventet at de store mængder sand ville være resuspenderet i løbet af et par uger pga. vind- og bølgeenergi. Ved inspektionen i august 1999 var der et ca. 4 cm tykt og temmelig konsolideret lag sand tilbage indenfor felterne. Som følge af disse overraskende iagttagelser blev der derfor planlagt et ekstra besøg i vintermånederne med henblik på at se, om sandet var blevet flyttet og for at få en optælling af faunaen i rammerne inden den nye vækstsæson. Af praktiske årsager blev undersøgelsen imidlertid først gennemført i maj 2000 hvor det udlagte sand ikke længere kunne registreres.

Generelt kan sedimenttransport finde sted pga. af bølger eller strøms virke eller en kombination af de to. Af de to er bølgebevægelsen mest effektiv til at resuspendere materiale på bunden af Kattegat (Skov- og Naturstyrelsen 1991). Bølgernes nettobevægelse er dog næsten 0, og det er derfor kun i kombination med strøm at der foregår en netto materialetransport. Der er to hovedtyper af bølger: vindgenererede bølger og dønningsbølger. I danske farvande er den dominerende type vindbølger. I forbindelse med vestenstorme i Kattegat vil bølger kunne påvirke bunden i op til 12-15 meters dybde. Vinden vil også påvirke dannelsen af vindinducerede strømme. Ved en vestenvind vil vand strømme ind fra Nordsøen og Skagerrak og staves op i Kattegat og Østersøen. Vindinducerede strømme og gradientstrømme, der opstår pga. atmosfæriske trykforskelle eller densitetsforskelle i vandet, er de væsentligste strømme i Kattegat. Bølger og strøm er således hovedsageligt vindgenererede og hvornår sandet blev flyttet fra Schultz's Grund vil derfor være afhængig af hvornår et kraftigt blæsevejr satte ind efter besøget i august 1999. Vinddata fra 1999 viser at der først i slutningen af november/starten af december var kraftig vind i flere dage i træk med vindhastigheder op til 16,5 m s⁻¹ som eventuelt kunne flytte sandet (Figur 7).



Figur 7 Vindhastighed fra Karup, august-december 1999.

Som udgangspunkt for undersøgelsen havde vi håbet at kunne registrere flere epifaunaarter. Da dykkeroptællingerne blev gennemført, viste arbejdet sig imidlertid meget tidskrævende, og dybden begrænsede arbejdstiden for dykkerne.

Som det fremgår af resultaterne er der metodiske problemer knyttet til en visuel optælling af faunaen. Der kan være forskel fra dykker til dykker på hvilke arter der identificeres. Det er fx tydeligt ved indsamlingen i juni 2000 hvor en større andel af hestemuslinger utvivlsomt er forvekslet med sten i en af rammerne. En sådan forveksling er let for den i det tilfælde ikke rutinerede dykker, idet muslingerne sædvanligvis er helt dækket af rødalgen *Phycodrus rubens*. Sigtforholdene skifter også betydeligt fra gang til gang. Ved flere optællinger befandt der sig et springlag umiddelbart over bunden hvilket fører til stærkt flimrende syn hos dykkeren. Størrelsen af de organismer der registreres, kan også variere mellem dykkerne og mellem besøgene. Resultater fra et andet igangværende samarbejdsprojekt med Skov- og Naturstyrelsen (Dahl et al. in prep) viser således at det for mange arter kun er en mindre del af populationen på stedet, der registreres. Mindre individer af fx hestemuslinger ses slet ikke af dykkeren.

De metodiske problemer kan forklare noget af den variation i faunaforekomsterne der observeres mellem de enkelte rammer og mellem de enkelte besøg.

De faunaorganismer som er inkluderet i denne undersøgelse, spænder over meget mobile dyr som søpindsvinet (*Strongylocentrotus droebachiensis*) til fasthæftede dyr som søanemoner og hestemuslingen der forventes at kunne flytte sig i mindre omfang, og så endelig til kalkrørsormen der efter larvestadiet er helt fasthæftet og immobilt.

En betydelig del af hestemuslingerne gik til som følge af sandpåvirkningen. Ved inspektionen umiddelbart efter udlægningen af sandet kunne det iagttages at enkelte muslinger allerede havde været i stand til at pumpe det overlejrrede sand væk. Hvorvidt de øvrige overle-

vende hestemuslinger har haft det samme held, eller har måtte vente til sandet konsoliderede sig, hvilket kan have givet en sænkning af det udlagte sedimentlag, eller om muslingerne slet og ret har været i stand til at bevæge sig opad igennem sedimentet er uklart.

Sandpåvirkningen havde også en negativ effekt på søpindsvinet *S. droebachiensis* som blev fundet med lavere tæthed, specielt mens rammerne stadig var sanddækkede i august 1999. Umiddelbart efter udlægningen af sandet kunne enkelte søpindsvin iagttages på vej ud af felterne efter at have gravet sig fri af sandet. Undersøgelser af to amerikanske *Strongylocentrotus* arter har vist at hårdt substrat foretrækkes frem for sand og at den ene art tilmed havde svært ved at bevæge sig over en sandflade (Laur et al. 1986). Ved undersøgelsens afslutning var antallet af søpindsvin fortsat lavere i påvirkningsrammerne end i referencerammerne på trods af at sedimentstrukturen umiddelbart syntes ens. En sandsynlig forklaring er at fødegrundlaget for søpindsvinene i form af alger og belægninger på stenene fortsat ikke var reableret i påvirkningsfelterne.

Antallet af kalkrørsormen var markant lavere i påvirkningsrammerne end i referencerammerne, også efter koloniseringen af nye individer i august 2000. Skønt det er meget sandsynligt at den store forskel kan tilskrives sandpålejringen, kan det ikke med sikkerhed konkluderes, da polychaeten ikke blev optalt, før sandet blev lagt ud.

Søanemonen *Sagartia troglodyte* så derimod umiddelbart ud til fuldt ud at kunne adaptere sig til en hurtig pålejring af ca. 5 cm sand. De voksne individer af søanemonen sidder fæstnet ca. 10 cm nede i sedimentet og strækker deres tentakelkrone ud over bunden. Hvorvidt de tildækkede søanemoner har flyttet sig op i sedimentlaget eller har adapteret sig til det nye sedimentlag ved at strække sig yderligere vides ikke. Det er dog værd at bemærke at bestanden i de sidste to optællinger er væsentlig mindre i påvirkningsrammerne end i referencerammerne. En mulig forklaring kan være at mindre individer som ikke har været synlig for dykkeren det første år, er gået tabt ved overlejringen og at dele af denne generation mangler det efterfølgende år.

Hestemuslingen *M. modiolus* er kendt for at være substrat for en række mindre immobile epifaunaarter. På Schultz's Grund var *P. triquetra* den helt dominerende faunaart på muslingen. Selv om muslingerne overlevede sandpåvirkningen, er det overvejende sandsynligt at langt hovedparten af kalkrørsormene gik til grunde, dog mangler data for kalkrørsormen på skaller af hestemuslingerne i 1999 før udlægningen af sand.

Vi havde håbet at kunne registrere flere epifaunaarter, men da dykkerindsamlingsarbejdet er tidskrævende og da samme felter skulle genbesøges flere gange, måtte vi koncentrere os om relative store arter, som dykkerne med størst sikkerhed var i stand til at identificere uden at påvirke eller indsamle organismene.

På trods af usikkerheder med optælling af de udvalgte arters antal, kan det konkluderes at der var signifikante effekter af sanddækning på artssammensætningen. Forskellen synes at holde helt frem til un-

dersøgelsens afslutning, om end vi ikke kan udtale os med mere end 10% sikkerhed pga. det begrænsede prøveantal.

3.2 Filtrationsforsøg

De mindste partikelfraktioner i spildet fra sugeaktiviteter holdes i suspension i timer/dage efter arbejdet er udført. Dette resuspenderede bundmateriale kan, alt efter strømforholdene, føres til andre områder og potentielt have en effekt på epifauna, specielt suspensionsnærere. Resuspenderede partikler vil hovedsageligt bestå af uorganiske partikler med et lavt kulstofindhold. For suspensionsnærere vil næringsværdien af de indfangede partikler være mindre. Høje koncentrationer af opslæmmet bundmateriale har derfor en fortyndende effekt på føden. Hvilken konsekvens dette har for suspensionsnærere er sandsynligvis forskellig fra taxa til taxa og afhænger bl.a. af deres evne til at sortere indfangede partikler. Filtrerende muslinger er i stand til at sortere, men nogle arter er mere effektive end andre, og det afhænger af størrelsen af deres palper. Efter sorteringsprocessen føres frasorterede partikler ud som pseudofæces (Kiørboe & Møhlenberg 1981). For blåmuslinger menes en lav koncentration af suspenderet materiale (ca. 3,5 mg l⁻¹) endog at kunne medvirke til øget filtrationsrate og en netto højere fødeabsorptionsrate (Kiørboe et al. 1980). Andre filtratorer, som fx svampe og søpunge, har et finmasket filtrationsapparat til indfangning af partikler og har ikke et system til efterfølgende sortering. For disse organismer kan opslæmmet materiale forventes at have en effekt ved at de nedsætter filtrationsraten, enten som en direkte reaktion på at filtrationsapparatet bliver stoppet til af mange partikler på kort tid, eller som reaktion på at tarmsystemet fyldes op. Det er vist for flere taxa at de nedsætter deres filtration ved stigende fødekonzentration (Lisbjerg & Petersen 2001, Petersen et al. 1999). Om de reagerer på forhøjet koncentration af fødepartikler eller den samlede partikelkoncentration, der rammer filtrationsapparatet (alger og uorganiske partikler), diskuteres i litteraturen. Med disse forsøg ville vi derfor se om der var effekt på svampe og søpunges filtrationsrate, når algefraktionen holdes på et konstant lavt niveau, og koncentrationen af opslæmmet materiale varieres.

3.2.1 Materialer og metoder

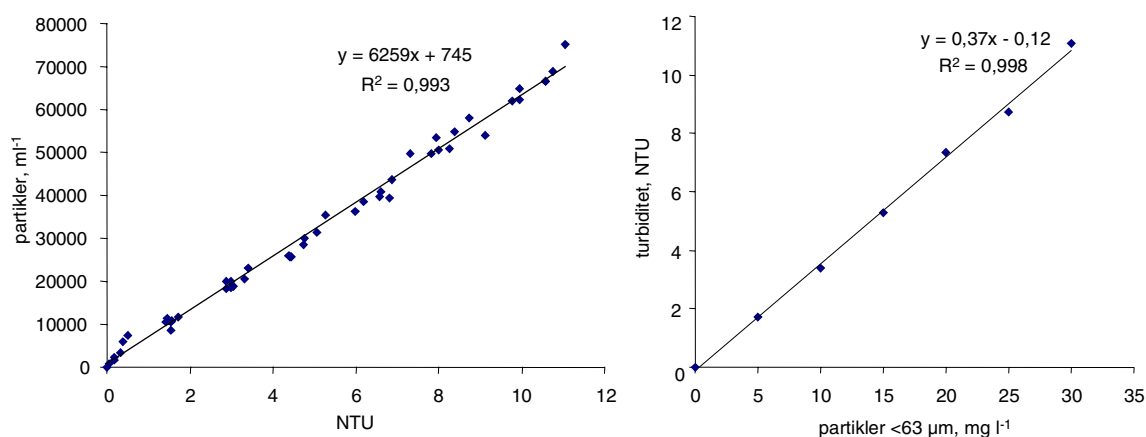
Der blev benyttet samme metode til at måle filtration hos svampen *Haliclona urceolus*, søpungen *Ciona intestinalis* og muslingen *Modiolus modiolus*. Til forsøgene blev der anvendt en gængs opstilling (Petersen & Riisgård 1992) dog modificeret således at der blev taget hensyn til den store mængde partikler, som skulle holdes i suspension i et samlet vandvolumen, der ikke måtte være for stort til at et signifikant fald i partikelkoncentration kunne detekteres. Slangere blev monteret i toppen på flasker, der kunne indeholde henholdsvis 100, 250, 500 og 1.000 ml. Flaskerne blev skåret op i bunden og vendt på hovedet. Slangerne ledte ned til cirkulationspumper og tilbage til flaskerne i den opskårede bund. Dyrene blev placeret på net midt i flaskerne.

Til forsøgsflaskerne blev der tilsat en blanding af alger (*Rhodomonas* sp.) og silt (<63 µm) der løbende blev målt uafhængigt af hinanden

ved en kombination af turbiditets- og fluorescensmålinger. Vandets turbiditet blev målt med et HACH 2100 AN Turbidimeter i enheden NTU (Nephelometric Turbidity Units). For at kunne bruge turbiditet som udtryk for partikkelkoncentration, blev der lavet en korrelation mellem partikkelkoncentration og turbiditet baseret på de partikler som benyttes i forsøgene.

Siltpartikler i forsøgene stammede fra Øresund. Indsamlet bundmateriale (<1 mm) blev tørret ved 60° C, knust i en kuglemølle, og sigtet gennem et sigtetårn, hvorfra fraktionerne <63 µm (organisk indhold: 11%) og 63-125 µm (organisk indhold: 6%) blev opsamlet. I filtrationsforsøgene blev der kun brugt partikler fra den mindste fraktion (<63 µm). I denne fraktion udgør partikler der er under 14,3 µm, 90% af volumen.

Før hver forsøgsrække blandedes en stamopløsning, hvor en afmålt mængde partikler blev opløst i filtreret vand og behandlet i 2-3 minutter i ultralydsbad for at slå partiklerne fra hinanden. Fra stamopløsningen blev suspenderet materiale tilført forsøgsopstillingerne inden hvert forsøg. Filtrationsforsøgene blev udført med koncentrationer fra 0-30 mg l⁻¹ (0-11 NTU, se *Figur 8*). Kontrollforsøg viste, at der i løbet af 50 minutter skete enten en mindre sedimentation eller en samling af partikler, idet turbiditeten faldt svarende til en omregnet filtrationshastighed på 2 ml min⁻¹, hvilket alle filtrationsberegninger er korrigeret for.



Figur 8 Til venstre: Antal siltpartikler (<63 µm) målt på partikeltæller (2,6-43 µm) som funktion af turbiditet. Til højre: Turbiditet som funktion af partikkelkoncentration.

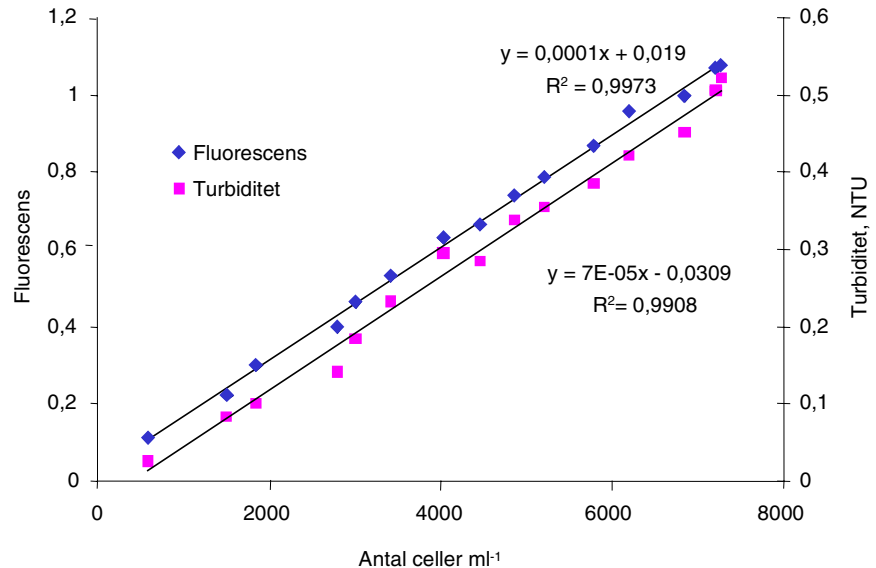
Algekoncentrationen blev i alle filtrationsforsøg holdt på et lavt niveau (max. 5.000-6.000 celler ml⁻¹), og i det interval påvirkes turbiditeten stort set ikke af algekoncentrationen (*Figur 9*). Koncentrationen blev fulgt på et Turner Fluorometer, og ved målinger af fluorescens ved samme algekoncentration, og med siltkoncentrationen varierende fra 0 til 30 mg l⁻¹ (partikler <63 µm), varierede fluorescensmålingerne med gennemsnitlig 0,011 (± 0,002) (95% konfidensinterval). I kontrolforsøg ændrede fluorescensen sig ikke væsentligt (0,2 ml min⁻¹) hvilket skyldes, at algerne er lettere og mobile og derfor ikke sedimentere så hurtigt ud.

Under hver forsøg blev turbiditet og fluorescens målt og et fald i koncentration blev omregnet til et udtryk for filtrationen (F):

$$F = \frac{V \cdot \ln(C_0 / C_t)}{t}$$

hvor V er volumen, C_0 og C_t er koncentrationen til tiden 0 og t. Filtrationen blev udregnet både på baggrund af faldet i turbiditet og faldet i fluorescens. Hvert forsøg varede ca. 30 minutter og efter hvert forsøg blev der tilsat en mængde silt og alger for at nå op på den ønskede startkoncentration til næste forsøg.

Figur 9 Turbiditet og fluorescens som funktion af antal *Rhodomonas* sp.

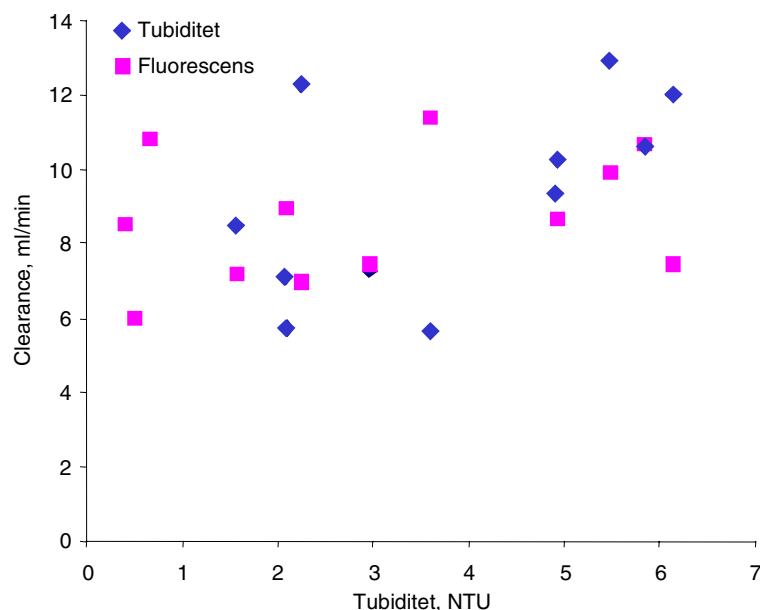


3.2.2 Resultater

Haliclona urceolus

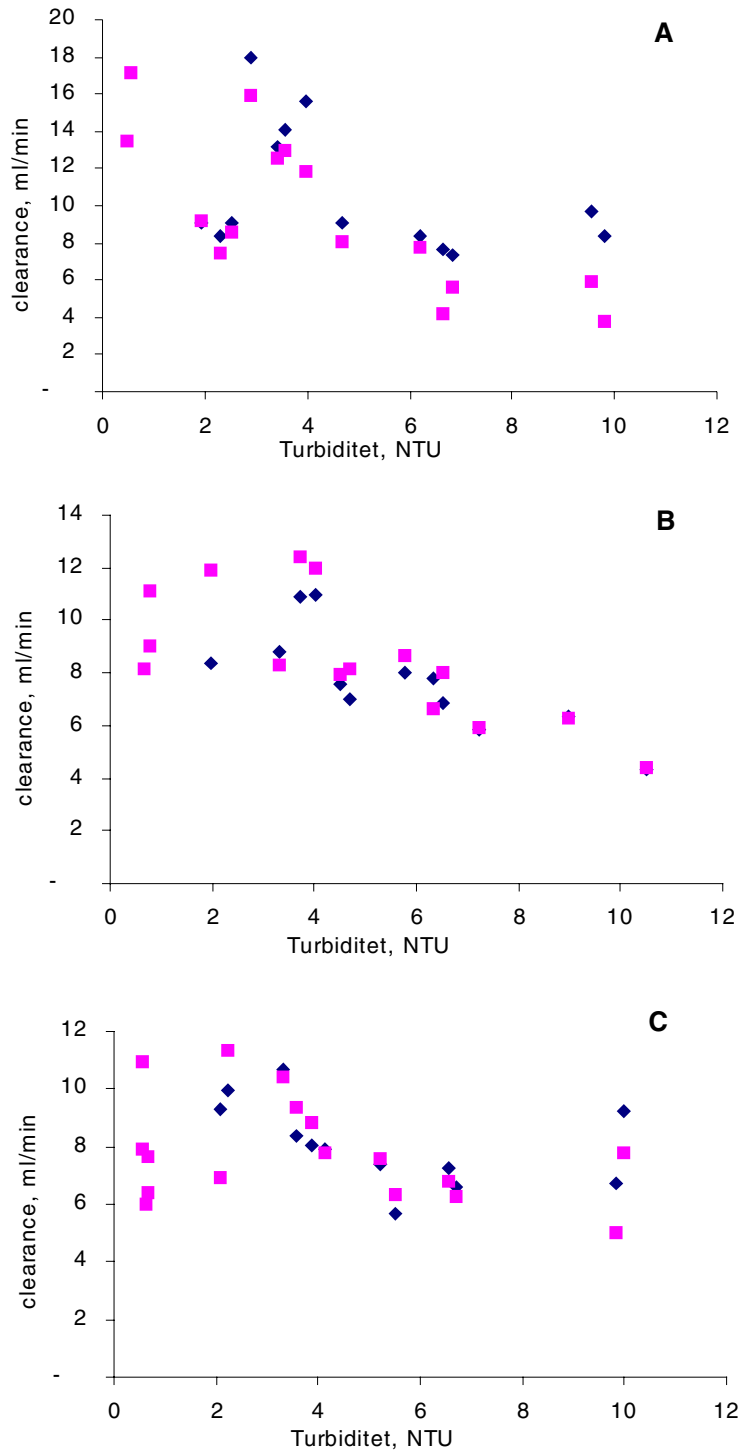
Filtrationsforsøg er udført med et individ. I hele spektret fra 0 til 6,15 NTU opretholder *Haliclona* tilsyneladende samme filtrationsrate og er ikke påvirket af den tilsatte silt i løbet af forsøgsperioden på 6 timer (Figur 10). Ratioen mellem filtrationsraten beregnet på fluorescens og turbiditet er 1,03 og der er således ikke forskel på de to filtrationsrater.

Figur 10 Filtration hos *Haliclona* af totalpartikler (turbiditet) og af alger alene (fluorescens).



Ciona intestinalis

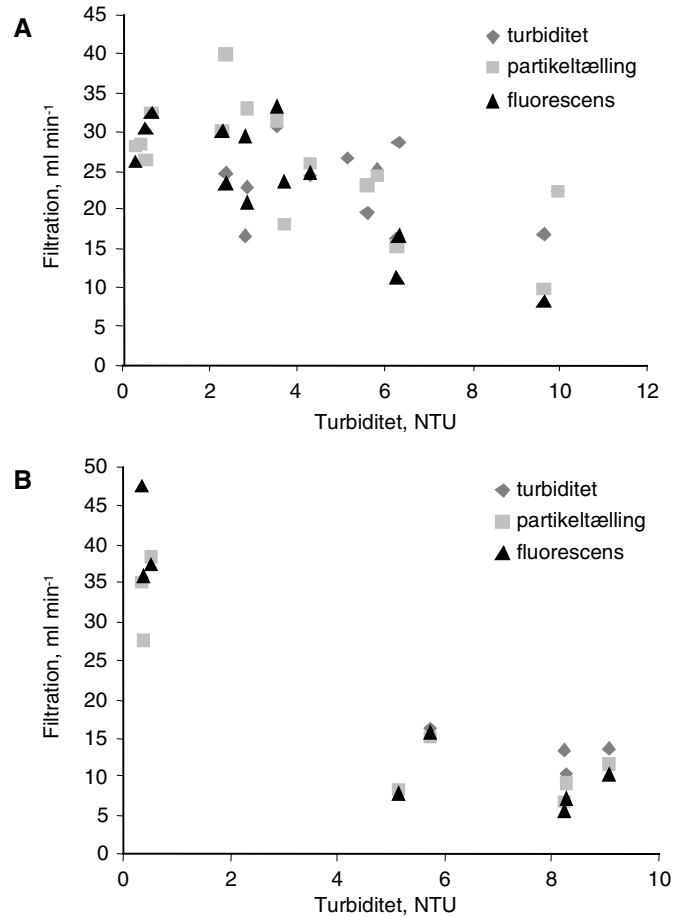
Forsøg blev udført med 2 dyr i hver forsøg og der blev udført 3 forsøgsrækker. Filtrationsraten er faldende med stigende turbiditet op til 10 NTU (Figur 11) med en gennemsnitlig ratio på ca. 1 (0,81; 1,08; 0,98) mellem filtrationsraten baseret på fluorescens og turbiditetsmålinger.



Figur 11 Filtration hos *Ciona intestinalis*. A, B, og C er 3 forskellige forsøgsrækker med hver 2 individer.

Modiolus modiolus

Forsøg blev udført med 1 dyr i hver forsøg, og der blev udført 2 forsøgsrækker. Filtrationsraten er faldende med stigende turbiditet (Figur 12). Ratioen mellem filtrationsraten målt som fald i turbiditet og som fald i fluorescens er A: 0,94 B: 0,75.



Figur 12 Filtration hos *Modiolus modiolus*. A og B er forskellige forsøgsserier med hver et individ.

3.2.3 Diskussion

For hestemuslingerne og søpungene er det her vist at deres filtration er faldende med stigende partikelkoncentration. Da algekoncentrationen i forsøgene var relativ ens, skyldes faldet i filtrationsrate en tilsætning af siltpartikler. Det var ventet at svampen ville vise samme mønster som søpungene, da de to grupper har et fintmasket filtersystem og er ikke kendt for at kunne foretage nogen form for adskillelse af indfangede partikler. For begge grupper var en ratio på ca. 1 mellem filtrationsrate målt på fald i silt- og algekoncentrationer. Det var ventet at filtrationsraten målt som fald i turbiditet og fald i algekoncentration ville være ens. Fald i filtrationsraten ved høje partikelkoncentrationer er tidligere vist for søpungen *Ciona intestinalis* og mosdyret *Electra crustulenta*. I disse forsøg bestod de høje partikelkoncentrationer dog udelukkende af *Rhodomonas* sp., og ved nedsættelse af filtrationsraten opnåede organismene en konstant ingestion rate (Lisbjerg & Petersen 2001, Petersen & Riisgård 1992). Da næringsind-

holdet i silt er lavere (hér ca. 11% organisk indhold) end i algeceller, vil en nedsættelse af filtrationsraten som følge af resuspenderet materiale give filtratorerne et ringere fødegrundlag. Hvis eksponeringen til store mængder af resuspenderet materiale finder sted over længere tid, kan det resultere i nedsat vækstrate og i det hele taget nedsat fitness. For gravearbejdet ved Øresund viste modelkørsler at $>10 \text{ mg l}^{-1}$ kunne forekomme indenfor en radius af ca. 2 km i løbet af en 14 dages arbejdsperiode (DHI 1990).

3.3 Dødelighed/adfærd

Små partikler er i suspension i timer/døgn før de fælder ud. Med dette forsøg var det hensigten at undersøge effekter på suspensionsnærere ved påvirkning med suspenderet materiale i vandfasen i 1-2 døgn. I første omgang vil partiklerne forstyrre dyrene ved at tilstoppe filtrationsapparatet, men efterhånden som partiklerne bundfældes, ophobes en mængde på overfladen af dyrene. Denne tildækning kunne have en effekt på dyrene. Evt. kunne der forekomme dødelighed blandt filtratorerne.

3.3.1 Materialer og metoder

Det blev valgt at benytte RUC's flume på Søminestationen i Dragerup skov. Denne opstilling indeholder ca. 1.000 liter vand der tilstadighed føres hen over dyrene med en fastsat hastighed (hér sat til 4 cm s^{-1}). Dyrenes egen filtration ville være af ubetydelig størrelse i forhold til vandvolumenet, og koncentrationen af partikler og alger skulle derfor kun korrigeres for bundfældede partikler.

Der blev observeret for om der opstod dødelighed hos mosdyret *Electra crustulenta* og søpungen *Ciona intestinalis*.

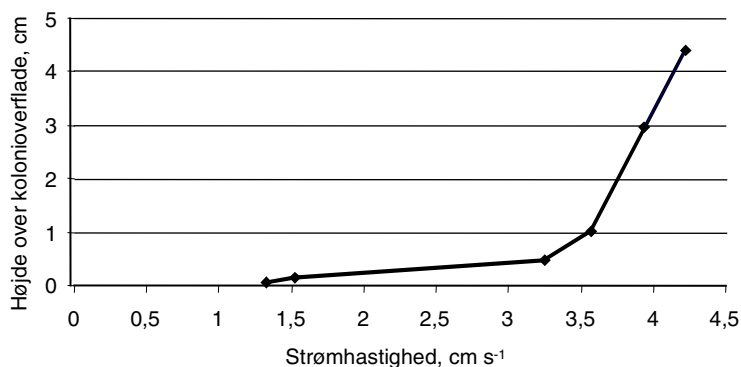
Der blev lavet forsøg med partikler i to størrelsesintervaller, $<63 \mu\text{m}$ og $63\text{-}125 \mu\text{m}$. Adfærden hos kolonier af *E. crustulenta* blev registreret på video og efterfølgende analyseret. To kolonier blev fulgt. Én med et kamera der optog kontinuert, og én med et kamera hvor der blev optaget 0,5 sekunder pr. 30. sekund.

Adfærden hos mosdyr er simpel idet zooiderne enten er inaktive, dvs. trukket ned i kalkskelettet (zoociet), eller aktive, dvs. har tentakelkronen oppe i vandet. Adfærden blev derfor registreret som aktiv (oppe) og inaktiv (nede) og udtrykt i samlet tid i aktivfase og inaktivfase. Hvor hyppigt de trak sig ned i zoociet blev registreret som antal op/ned t^{-1} .

3.3.2 Resultater

I et forsøg blev partikkelkoncentration holdt på ca. 8 NTU ($63\text{-}125 \mu\text{m}$, vandhastighed 4 cm s^{-1} , se Figur 13). I løbet af 48 timer var ingen dødelighed hos mosdyret *Electra crustulenta* og søpungen *Ciona intestinalis*.

Som det fremgår af *Tabel 5*, er der tilsyneladende ingen effekt på zooidernes adfærd hos *Electra crustulenta* ved høje koncentrationer af partikler på $<63 \mu\text{m}$. I lighed med tidligere arbejde af Lisbjerg & Petersen (2001), hvor kolonierne var udsat for rene algekulturer, oprettholdt zooiderne en aktivitet på ca. 98% kun afbrudt af få og korte inaktive perioder.



Figur 13 Vertikal profil i flumen ved Søminestationen, når strømhastigheden er sat til 4 cm s^{-1} .

Tabel 5 Aktivitet hos zooider af mosdyret *Electra crustulenta*.

Partikler $<63 \mu\text{m}$		Koloni C			Turbiditet	Strømhastighed
		zoo id a	zoo id b	zoo id c		
aktivitet	0-7 timer	99%	98%	98%	9,3	4 cm/s
	15-19 timer	98%	95%	96%	7,0	4 cm/s
	23-27 timer	98%	97%	94%	3,4	10 cm/s
op/ned t^{-1}	0-7 timer	2,7	2,7	4,0		
	15-19 timer	2,3	4,7	4,8		
	23-27 timer	4,7	3,8	6,4		

Derimod så der ud til at være indflydelse på zooidernes adfærd når kolonierne blev udsat for større partikler ($63\text{-}125 \mu\text{m}$). I *Tabel 6* ses at aktiviteten faldt til 60-70% umiddelbart efter tilsætningen af partikler. Efter 29 timers forløb steg aktiviteten igen, dog med forhøjet frekvens af inaktive perioder.

Tabel 6 Aktivitet hos zooider af mosdyret *Electra crustulenta*.

63-125 μm	Koloni A		Koloni B		Turbiditet
	zooid a	zooid b	zooid c	zooid d	
aktivitet	0-2 timer før		88%	90%	0,8
	0,5-1 time efter		70%	59%	15,0
	29-33 timer efter		87%	96%	7,3
	4-8 timer + 29-34 timer efter	81%	72%		8,2
op/ned t^{-1}	0-2 timer før		13	7	
	0,5-1 time efter		30	25	
	29-33 timer efter		13	16	
	3-25 timer efter	7	5		

3.3.3 Diskussion

Der var ingen umiddelbar dødelighed hverken hos de oprette søpunge *Ciona intestinalis* eller de krybende kolonier af mosdyr *Electra crustulenta*. Ud fra videooptagelser af mosdyrenes adfærd, var der tilsyneladende ikke nogen effekt af partikler $<63 \mu\text{m}$ idet zooiderne havde samme aktivitetsniveau som fundet i tidligere undersøgelser uden silt i vandet (Lisbjerg & Petersen 2001). *E. crustulenta* blev dog synligt påvirket af partikler på 63-125 μm . De var inaktive i længere perioder og trak sig hyppigere ned i zoociet. Det er tidligere observeret at zooider bliver generet af partikler, der er større end deres mundåbning (ca. 30 μm i diameter). Når en indfanget partikel blokerer mundåbningen, forsøger zooiden at "spytte" partiklen væk, hvis det ikke lykkes trækker den sig ind i zoociet. Idet partikelfractionen $<63 \mu\text{m}$ hovedsageligt bestod af partikler $<14,3 \mu\text{m}$, kunne de ikke udløse en sådan adfærd og det kan være en forklaring på den observerede forskel ved påvirkning af de to partikelfraktioner.

Ud fra disse forsøg vil der således være en effekt hos kolonier der befinder sig i områder med partikler større end ca. 30 μm , mens der ikke vil være særlig effekt på dyr der sidder langt fra en kilde til suspension.

Det kan være at en dødelighedseffekt ville optræde for nogle taxa, også de her benyttede, ved længere tids eksponering for suspenderet materiale. For kammuslingen *Placopecten magellanicus* opstod umiddelbart en nedsættelse i filtrationsraten (som målt for hestemuslinger og søpunge), og efter ca. 10 dage begyndte muslingerne at dø, og efter 34 dage var 60% af dyrene døde ved en koncentration på 10 mg bentonite dm^{-3} (Cranford & Gordon 1992). Da forsøgene i dette projekt skal ses i relation til et typisk råstofindvindingsarbejde, vil det dog ikke være relevant at se efter dødelighedseffekter over så lang tidshorisont.

3.4 Vækstforsøg

Vækstforsøg var en del af de videre undersøgelser af effekter ved længere tids påvirkning af resuspenderet materiale. Det var undersøgt at der ikke forekom dødelighed blandt filtratorerne efter 1-2 døgn påvirkning af suspenderet materiale. Ved længere tids påvirkning vil der eventuelt være en effekt på grund af tilstopning af filtrationsapparatet fra det suspenderede materiale i vandfasen, men eventuelt kunne der også være en effekt af materiale der aflejres på overfladen af organismene. Den samlede effekt vil komme til udtryk i en ændring af organismernes vækst. I disse forsøg blev der lavet forsøg hvor organismene blev udsat for resuspenderet materiale i 7 døgn.

Det blev valgt at arbejde med to små koloniale organismer hvor et tydeligt vækstrespons kan erkendes i løbet af få dage. Mosdyret *Electra crustulenta* og søpungen *Botryllus schlosseri* blev valgt. Som for andre organismer vil deres vækstrate afhænge af fødekonzentrationen ved lave fødekonzentrationer, hvorefter deres vækstrate vil nå et maksimum og ikke stige ved yderligere stigning af fødekonzentrationen. Det er relativt sparsomt hvad der er beskrevet af vækstforsøg i litteraturen for de to organismer og det blev derfor valgt at lave en række vækstforsøg ved forskellige fødekonzentrationer uden tilsætning af resuspenderet materiale. Disse forsøg dannede sammenligningsgrundlag for forsøg med tilsætning af resuspenderet materiale. Tidligere forsøg med muslinger viser en højere vækstrate ved tilsætning af resuspenderet materiale i forhold til forsøg med rene algekulturer (Kiørboe et al. 1981). Vi fandt det derfor nødvendigt at forsøg med tilsætning af resuspenderet materiale fandt sted ved algekonzentrationer, der ville give submaksimale vækstrater, således at en eventuel positiv effekt kunne registreres.

3.4.1 Materialer og metoder

Der blev lavet vækstforsøg med mosdyret *Electra crustulenta* på skaller af *Mytilus edulis* og søpungen *Botryllus schlosseri* voksende på acrylplader. Disse vækstforsøg blev foretaget i akvarier med ca. 20 liter hvor luft- og cirkulationspumper sørgede for iltning og opblanding. Hvert akvarium blev tilført en konstant mængde *Rhodomonas* sp. Koncentrationerne i akvarierne varierede mellem 135 og 14.090 celler ml^{-1} i forsøgene med *E. crustulenta* (et forsøg med >100.000 celler ml^{-1}). I forsøgene med *B. schlosseri* var koncentrationer mellem 133 og 14.293 celler ml^{-1} . Algerne blev tilført kontinuerligt sammen med filteret havvand (18‰ S, 15°C) fra store hovedtanke. Der var således en stadig til- og fraførsel af vand til akvarierne. Algekonzentrationerne blev fulgt ved to daglige prøver taget midt i akvarierne samt af til- og fraløbsvand. Hver prøve blev talt på partikeltæller (Elzone® 5380) og taget som gennemsnittet af 3 målinger.

Hvert akvarium indeholdt 3-7 kolonier af *E. crustulenta* og 9-10 kolonier af *B. schlosseri* der blev filmet før og efter forsøgsperioden og 2-3 gange i løbet af forsøget, således at hver koloni blev filmet med 4-12 dages mellemrum. Disse optagelser blev foretaget med et SONY digital DCR-VX1000E videokamera og overført til computer. Ved hjælp

af Adobe Photoshop 5.5 blev arealet af kolonierne målt op og for søpungenes vedkommende blev antallet af zooider i kolonien talt.

For *E. crustulenta* blev vækstraten, r , bestemt som bedste fit til areal af kolonierne med formlen:

$$\frac{\ln(A_0 / A_d)}{d}$$

hvor A_0 er arealet ved forsøgsstart, A_d arealet ved dag d og d antallet af dage fra forsøgsstart. Til bestemmelse af bedste fit, indgik start og slut areal samt areal af kolonierne ca. midt i forsøgsperioden.

For *B. schlosseri* blev vækstraten beregnet både som areal-vækst og som zooid-vækst beregnet ved ovenstående formel.

Efter forsøgene blev 14 kolonier af *E. crustulenta* fra 4 akvarier tørret ved 60°C (>48 timer) og tørvægten bestemt.

I RUC's flumeopstillingen ved Søminestationen i Holbæk blev ligeledes foretaget vækstforsøg af *E. crustulenta* og *B. schlosseri* kolonier. Flumen indeholder ca. 1.000 liter vand der kontinuerligt føres rundt med en fastsat hastighed. Til disse forsøg blev strømhastigheden sat til 4 cm s⁻¹ (se dødelighed og adfærdsforsøgene). Som i akvarievækstforsøgene blev der ligeledes benyttet *Rhodomonas* sp. som føde. Da algekoncentrationen ikke kunne måles med partikeltæller ved tilsætning af suspenderet materiale blev der, til forskel fra akvarieforsøgene, benyttet et Haardt 1101 No. 4010 fluorometer indbygget i en CTD fra Meerestechnik Elektronik. Målingerne blev gemt for hver 5. minut på en computer, udtrykt som mg chl. a m⁻³, og for at kunne sammenligne disse koncentrationer med partikeltællinger, blev der lavet en korrelation mellem fluorometeret og partikeltælleren.

Flumeforsøget varede i syv dage ved en gennemsnitlig koncentration på 2,2 mg chl. a m⁻³ svarende til ca. 5.200 *Rhodomonas* sp. celler ml⁻¹. Vandets turbiditet blev målt med et HACH 2100 AN Turbidimeter to gange i døgnet.

Sammen med akvarieforsøgene dannede dette flumeforsøg grundlag for at foretage vækstforsøg med *Rhodomonas* og tilsætning af silt (<63 µm, som benyttet under filtrationsforsøgene) i flumen for at undersøge effekten af langtidspåvirkning af silt. Der blev til stadighed tilført opslæmmet silt og *Rhodomonas* sp. til vandsøjlen for at kompensere for udsynket silt og alger. Forsøget varede i 7 dage ved en koncentration på 1,8 mg chl. a m⁻³ (ca. 3.600 celler ml⁻¹). Som i foregående forsøg fulgtes algekoncentrationen hvert 5. minut, mens turbiditeten blev målt ca. 30 gange i døgnet. Turbiditet er omregnet til mg l⁻¹ suspenderet materiale, efter relationen beskrevet under filtrationsforsøgene.

I begge flumeforsøg blev kolonier af *E. crustulenta* og *B. schlosseri* filmet umiddelbart før forsøgsstart og efter afslutningen.

På kolonier af *E. crustulenta* under vækst kan det ses at de yderste zooider ikke er færdigdannede, idet de ikke tager føde til sig. Dette område betegnes vækstzonen. For at undersøge om fødekoncentrationen og silt eventuelt kunne have indflydelse på vækstzonens størrelse,

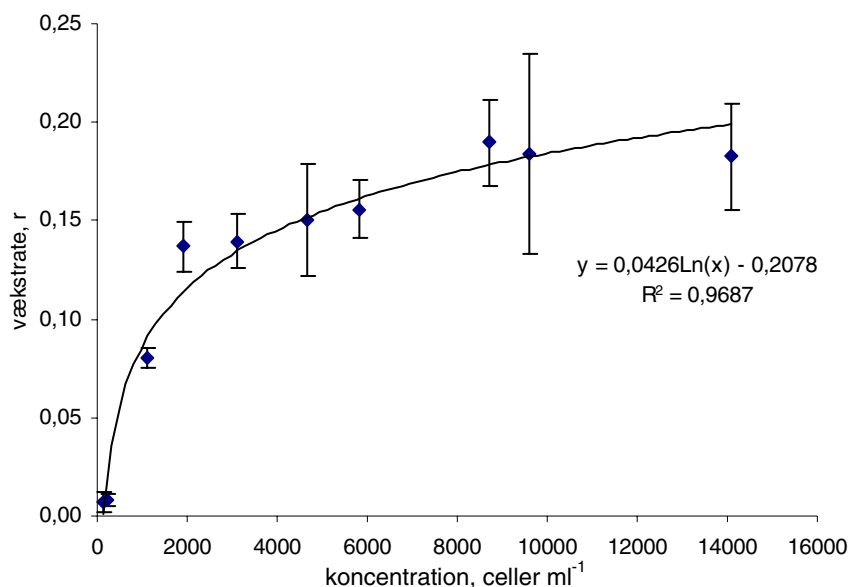
blev bredden af vækstzonen undersøgt på billeder af samtlige kolonier.

3.4.2 Resultater

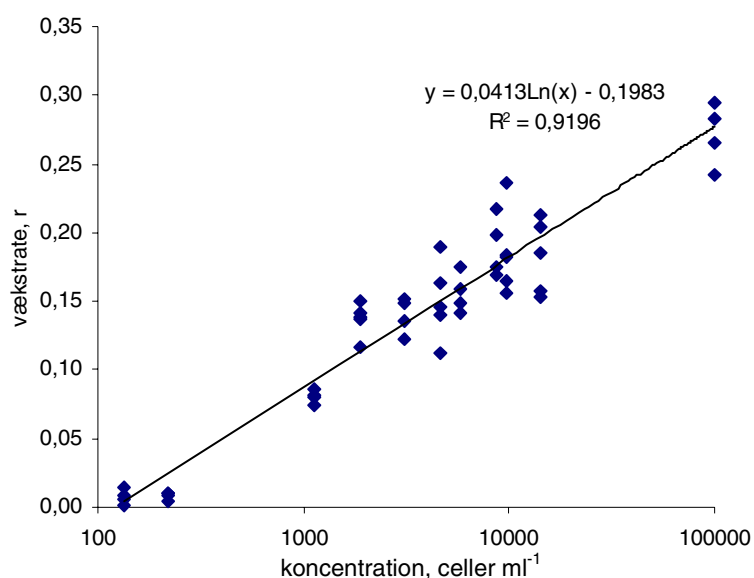
Akvarievækstforsøg - *Electra crustulenta*

For skorpedannende mosdyr som *E. crustulenta* har der i litteraturen været diskussion om væksten er lineær eller eksponentiel (Riisgård & Goldson 1997, Wass & Vail 1978). En gennemgang af resultaterne angav tydeligt at væksten for *E. crustulenta* er eksponentiel. Væksten blev beregnet som bedste fit til tre punkter. Bedste fit gav $r^2 = 0,937 \pm 0,036$ baseret på lineær vækst og $r^2 = 0,996 \pm 0,004$ baseret på eksponentiel vækst (se bilag).

Electra crustulenta blev fulgt i 11 akvarier ved *Rhodomonas* sp. koncentrationer på: 135, 221, 1.116, 1.905, 3.109, 4.665, 5.837, 8.700, 9.599, 14.090 og >100.000 celler ml^{-1} . Som det fremgår af *Figur 14* steg vækstraten som funktion af algekoncentrationen logaritmisk. Dvs. at vækstraten steg hurtigt op til ca. 0,14 ved koncentrationer på over ca. 2.000 celler ml^{-1} . Ved højere algekoncentrationer var vækstraten langsomt stigende og nåede ca. 0,2 ved 14.000 celler ml^{-1} . Forsøget med >100.000 celler ml^{-1} viste at vækstraten kunne stige op til 0,27 ved høje algekoncentrationer. Dette forsøg er afbilledet som 100.000 celler ml^{-1} og ligger faktisk godt i forlængelse af de andre resultater på en logaritmisk skala (*Figur 15*). Eksakte værdier og antal af kolonier der indgik i forsøgene, er angivet i *Tabel 7*.



Figur 14 *Electra crustulenta*. Angiver vækstrate som funktion af *Rhodomonas* sp. koncentration. Gennemsnitsværdier er angivet med standardafvigelse og uden forsøget med >100.000 celler ml^{-1} .

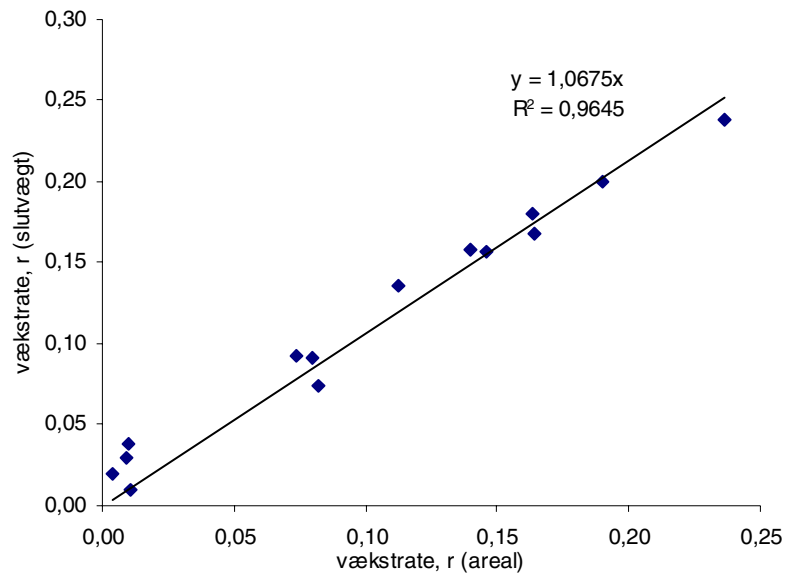


Figur 15 *Electra crustulenta*. Angiver vækstrate som funktion af log-*Rhodomonas* sp. koncentration. Forsøg med >100.000 celler ml⁻¹ er afsat som værende udført ved 100.000 celler ml⁻¹.

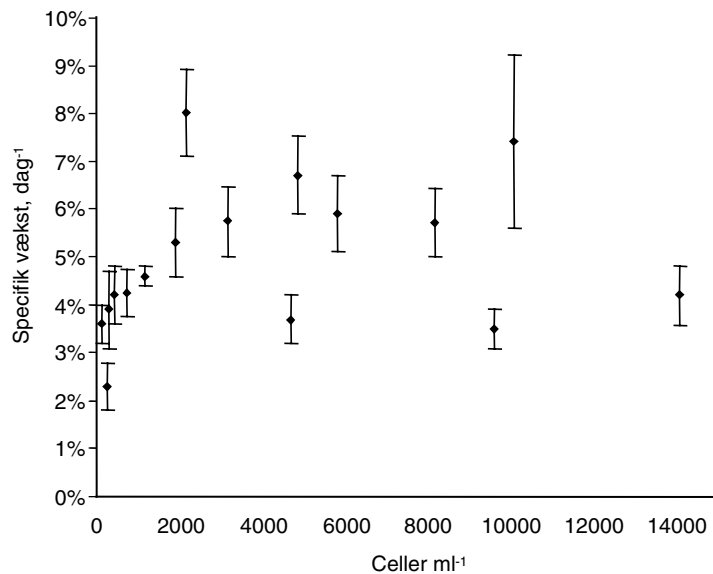
Tabel 7 *Electra crustulenta*. Angiver gennemsnitlig vækstrate for forskellige *Rhodomonas* sp. koncentrationer. *n* angiver antallet af kolonier i hver forsøg.

Koncentration	Vækstrate	Standardafvigelse	<i>n</i>
135	0,007	0,005	4
221	0,008	0,003	4
1116	0,080	0,005	4
1905	0,137	0,012	5
3109	0,140	0,014	4
4665	0,150	0,029	5
5837	0,156	0,015	4
8700	0,190	0,022	4
9599	0,184	0,051	5
14090	0,183	0,027	5
>100000	0,271	0,028	4

For 14 kolonier blev slutareal og slutvægt bestemt. Udfra vægten blev arealet beregnet som vægt/0,0039 (Lisbjerg & Petersen 2001) og vækstraterne baseret på de to bestemmelser af kolonistørrelsen blev korreleret (Figur 16). Der er god overensstemmelse mellem de fundne resultater. Denne sammenligning blev foretaget for at sikre at arealbestemmelserne af kolonier på muslingeskaller var tilfredsstillende på trods af den let buede overflade.



Figur 16 *Electra crustulenta*. Angiver vækstraten af 14 kolonier baseret på målinger af areal ved forsøgsstart og vægt ved forsøgs slutning som funktion af vækstrate baseret på målinger af areal før og efter forsøget.



Figur 17 *Botryllus schlosseri*. Angiver vækstrate som funktion af *Rhodomonas* sp. koncentration.

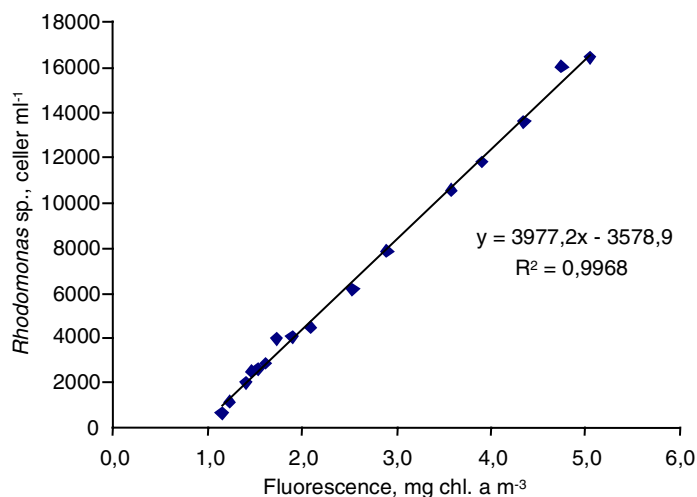
Akvarievækstforsøg – *Botryllus schlosseri*

Botryllus schlosseri blev fulgt i 10 akvarier ved *Rhodomonas* sp. koncentrationer på: 135, 221, 1.116, 1.905, 3.109, 4.665, 5.837, 8.700, 9.599 og 14.090 celler ml⁻¹. Som det fremgår af Figur 17 steg vækstraten som funktion af algekoncentrationen op til 6-8%.

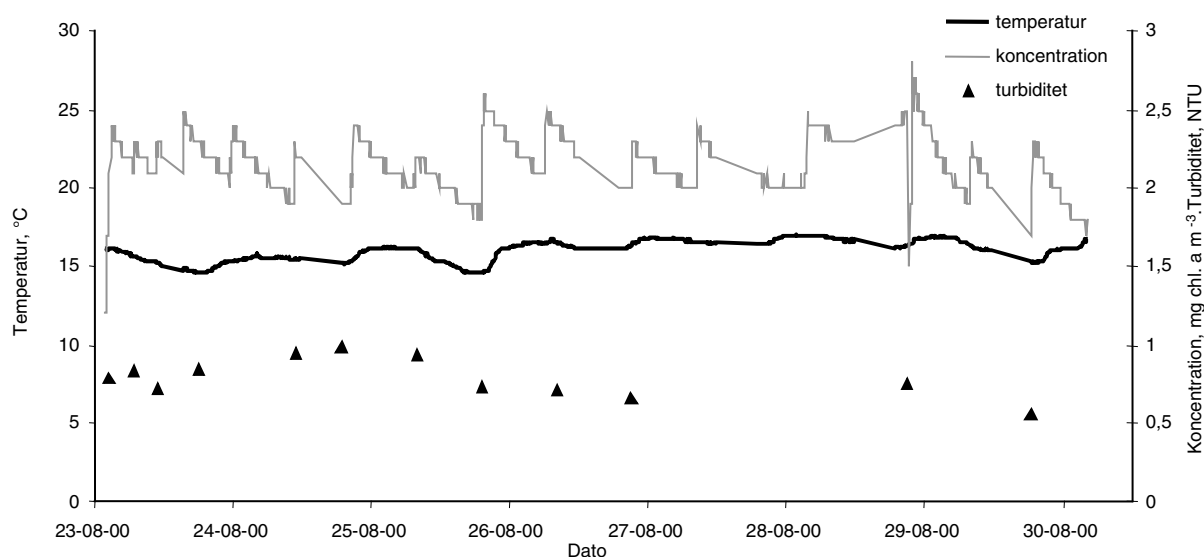
Flumevækstforsøg

Korrelation mellem partikeltællinger og fluorometermålinger

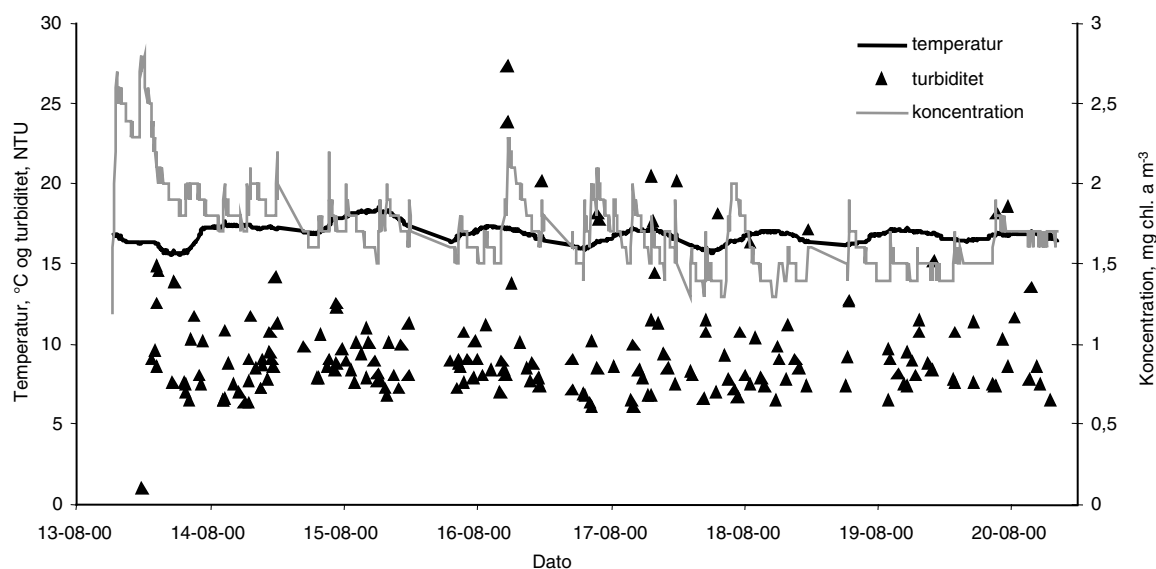
Som det fremgår af Figur 18 var der en fin lineær sammenhæng mellem *Rhodomonas* sp. koncentrationsmålinger ved hjælp af Elzone partikeltælleren og CTD fluorometeret. Værdierne i den fundne sammenhæng er ikke generelle og gælder kun for denne *Rhodomonas* sp. kultur. Korrelationen vil ændre sig med algernes chl. a indhold hvilket varierer alt efter hvilke lys-, temperatur- og salinitetsforhold algerne er groet ved.



Figur 18 *Rhodomonas* sp. Korrelation mellem koncentrationsmålinger målt på et Haardt 1101 No. 4010 fluorometer (mg chl. a m⁻³) og en Elzone® 5380 partikeltæller (celler ml⁻¹).



Figur 19 Flumeforsøg. Angiver temperatur, turbiditet og *Rhodomonas* sp. koncentration i vækstforsøg i løbet af 7 dage (kl. 12:00), hvor der kun blev tilsat *Rhodomonas* sp.



Figur 20 Flumeforsøg. Angiver temperatur, turbiditet og *Rhodomonas* sp. koncentration i vækstforsøg i løbet af 7 dage (kl. 12:00), hvor der tilsættes *Rhodomonas* sp. og siltpartikler (<63µm).

Flumevækst – *Electra crustulenta*

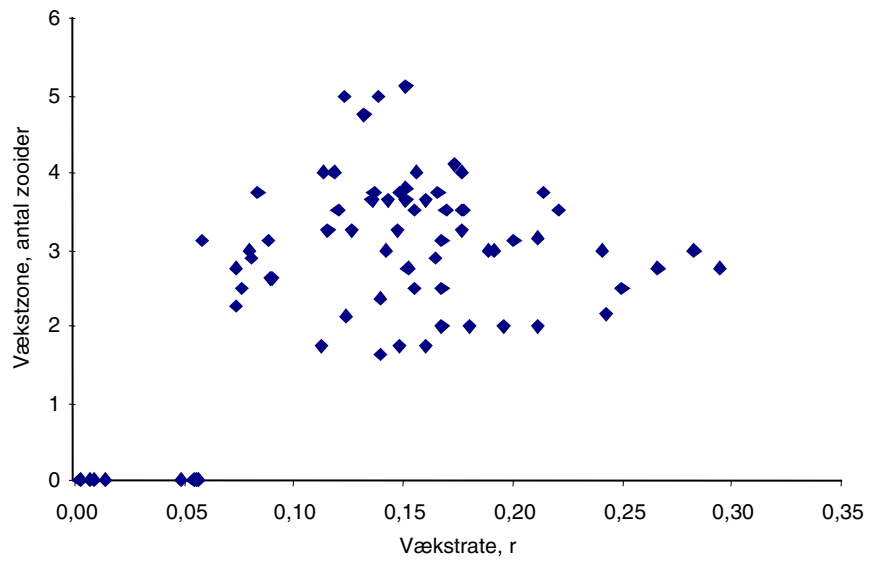
Tabel 8 viser at vækstraten hos *E. crustulenta* var meget høj under de to flumeforsøg på henholdsvis 0,22 og 0,26 – og størst ved tilsætning af ca. 26 mg l⁻¹ silt (<63 µm) til vandsøjlen (9,7 NTU). De to forsøg blev udført ved *Rhodomonas*-koncentrationer på henholdsvis 5.200 celler ml⁻¹ (Figur 19) og 3.600 celler ml⁻¹ (Figur 20) og sammenlignet med akvarievækstforsøgene er disse vækstrater utrolig høje.

Tabel 8 *Electra crustulenta*. Vækstraten i to flumeforsøg.

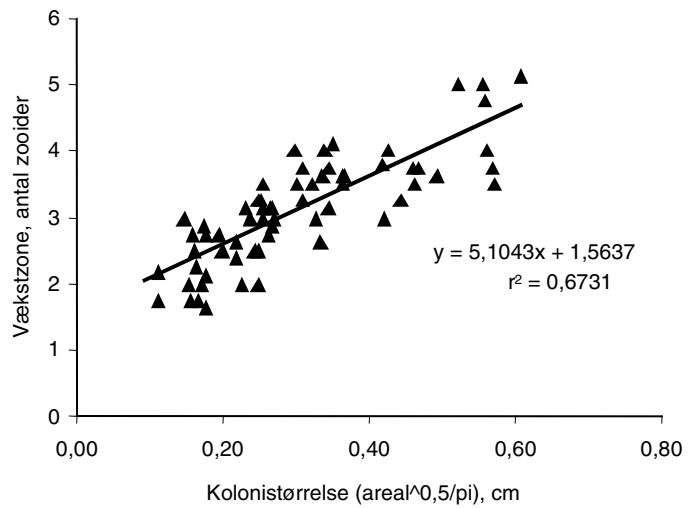
Koncentration celler ml ⁻¹	Vækstrate R	Standard- afvigelse	Forsøg	n	Siltkoncentration NTU	Temperatur (°C)	Varighed dage
5.200	0,22	0,02	kontrol	5	0,79	16,1	7,1
3.600	0,26	0,02	+silt	5	9,7	16,9	7,3

Vækstzone hos *E. crustulenta*

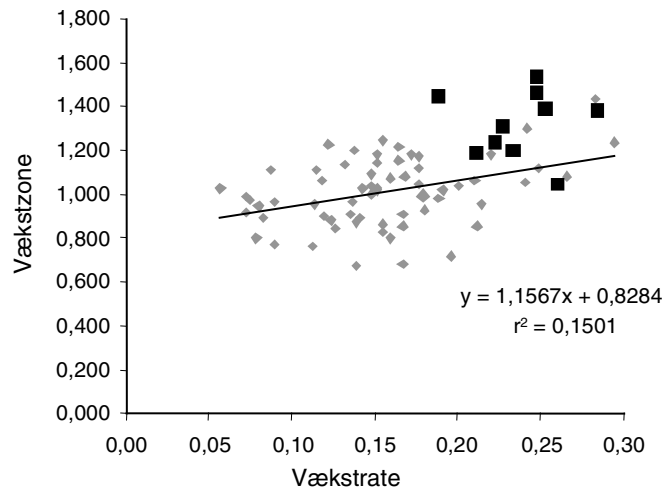
Vækstzonen af *E. crustulenta*-kolonier havde ikke umiddelbart nogen sammenhæng med hverken fødekonzentration eller vækstrate (Figur 21). En nærmere gennemgang viste derimod at vækstzonen i høj grad var afhængig af kolonistørrelsen (Figur 22). Som det ses af figuren er der en sammenhæng mellem vækstzonen og koloniareal ^{0,5}/pi, som 5,1x + 1,56 (kolonier med vækstzone på 0 er udeladt). Vækstzonen for de enkelte kolonier blev sammenlignet med denne sammenhæng. Herved blev en relativ vækstzone beregnet. Den relative vækstzone blev afbilledet som funktion af vækstraten (Figur 23). Det ses at der er en tendens til, at kolonier med en høj vækstrate også har en større vækstzone, selvom denne sammenhæng ikke er udpræget.



Figur 21 *Electra crustulenta*. Bredden af vækstzonen som funktion af vækstrate.



Figur 22 *Electra crustulenta*. Vækstzone som funktion af kolonistørrelse. Kolonistørrelsen er her regnet om til $\text{areal}^{0,5} / \pi$.



Figur 23 *Electra crustulenta*. Relativ vækstzone som funktion af vækstrate. Vækstzonen er relateret til koloniens størrelse, og fx relativ vækstzone >1 angiver at vækstzonen for en given koloni er større end den gennemsnitligt er for en koloni af den størrelse. (■) angiver kolonier fra flumevækstforsøg. De indgår ikke i regressionsligningen. Hvis de er inkluderet, er $r^2 = 0,30$ og $y = 1,7954x + 0,7515$.

Kolonier fra flumevækstforsøgene havde høje vækstrater og havde alle en relativ større vækstzone (1,05-1,54) i forhold til kolonier fra akvarievækstforsøgene. Indsat i Figur 23 styrker de sammenhængen mellem vækstrate og størrelsen af koloniernes vækstzone.

Flumevækst – *Botryllus Schlosseri*

Som det fremgår af Tabel 9 var der, ligesom hos *Electra crustulenta*, høj vækstrate hos *Botryllus schlosseri* i flumeforsøgene. Dog er standardafvigelsen stor, da der var stor forskel mellem koloniene.

Tabel 9 *Botryllus schlosseri*. Vækstraten i to flumeforsøg.

Koncentration	Vækstrate	Standardafvigelse	Forsøg	n	Siltkoncentration	Temperatur	Varighed
celler ml ⁻¹	R				NTU	(°C)	dage
5.200	0,13	0,13	Kontrol	6	0,79	16,1	7,1
3.600	0,13	0,13	+silt	6	9,7	16,9	7,3

3.4.3 Diskussion

Det ses at vækstraten for *Electra crustulenta* i høj grad er afhængig af fødekonzentrationen og kan stige op til ca. 0,27 hvilket er en utrolig høj vækstrate sammenlignet med andre epifaunagrupper. Typisk er mosdyr enårige og de vokser hurtigt frem i løbet af vækstsæsonen. De når maksimum udbredelse i sensommermånederne hvorefter langt de fleste af koloniene går til grunde. De overlevende individer sidder ofte beskyttede på undersiden af sten, muslinger eller andet hårdt substrat.

Forsøgene i flumen viste at selv ved lave koncentrationer opnår *E. crustulenta*-kolonier højere vækstrater end i akvarieforsøgene. Det

kunne tyde på at der var forskelle i de to metoder. I flumeforsøgene var der konstant og jævn tilførsel af føde mens strømretning og hastighed var vilkårlig i akvarierne. Dette kan eventuelt være en del af forklaringen på den observerede forskel.

I flumeforsøget hvor der blev tilført silt, blev der ikke demonstreret negative effekter på mosdyrene ved lang tids påvirkning af høje koncentrationer af små siltpartikler. Kolonierne var placeret horisontalt, således ophobedes et lag af partikler på kolonioverfladen hvilket ikke havde betydning for deres vækst.

En antagelse om at det ville være muligt at bruge størrelsen af vækstzonen som udtryk for vækstraten i en forudgående periode, viste sig ikke at være særlig brugbar. Der var dog en tendens til størst vækstzone hos kolonier med størst vækstrate. Kolonierne der havde vokset i flumen og opnåede de maksimalt målte rater, havde også de største vækstzoner.

Ud fra de her udførte vækstforsøg, er der således ikke negativ effekt på mosdyr ved lang tids påvirkning af silt $<63 \mu\text{m}$, hverken beregnet som vækstrate eller som størrelsen af vækstzonen.

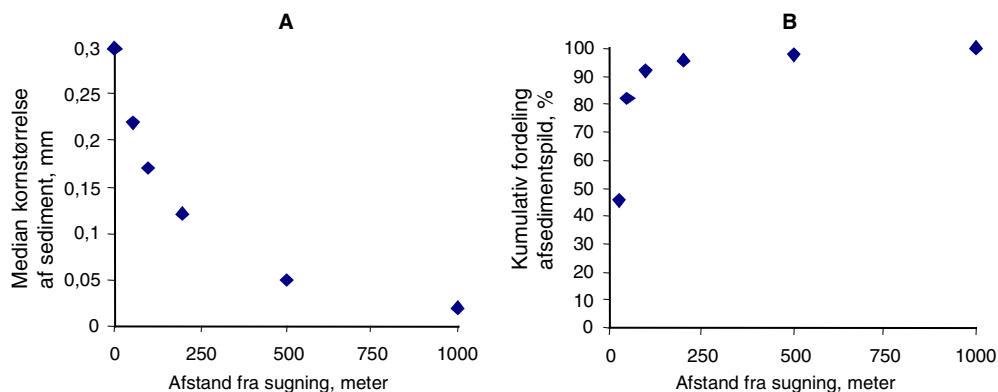
Både akvarievækstforsøgene og flumeforsøgene gav ikke overbevisende resultater for *Botryllus schlosseri*. Hvad der ligger til grund for de meget variable vækstrater er uvist, og det er derfor valgt ikke at ligge for stor vægt på disse resultater.

4 Samlet diskussion

I dette projekt er der lavet forskellige typer af forsøg for at undersøge mulige effekter på særligt epifaunale suspensionsernærere men også andre faunaorganismer som kan forekomme ved råstofindvinding i havet. Organismerne blev i forsøgene udsat for varierende koncentrationer af suspenderet materiale og eksponeret for disse koncentrationer i varierende tidsintervaller. Største koncentrationer og største partikelstørrelser blev benyttet ved katastrofescenariet hvor $3 \times 2 \text{ m}^2$ havbund blev dækket af et 5 cm tykt lag sand med en partikelstørrelse på 0,1-0,3 mm. Dette lag var tykt nok til at dække mindre sten og hestemuslinger og dermed alt hvad der sad af epifauna. Sandet blev liggende i flere måneder, og selvom hestemuslingerne og søanemonerne var i stand til at arbejde sig igennem laget, gik flere af hestemuslingerne og deres tilknyttede fauna til grunde. Et år efter udlægningen af sandet var det væk igen, men der var stadig forskel i faunasammensætningen i påvirkningsområderne i forhold til omgivelserne. I laboratoriet blev knap så drastiske forsøg udført med silt af en mindre partikelstørrelse og i mindre koncentrationer. Dette materiale holder sig i suspension i længere tid før det bundfælder og kan dermed påvirke faunaen i et større område. I et dødeligheds-/adfærdsforsøg med partikler med en diameter på 63-125 μm viste der sig ingen dødelighed blandt søpunge og mosdyr ved en turbiditet på 8-15 NTU i løbet af 48 timer. Derimod reagerede mosdyrene ved at trække sig ind i zoociet oftere (15x mod ca. 2x) og var dermed inaktive i længere tid (70% aktivitet mod 98%), noget tilsvarende er så vidt vides ikke registreret for andre taxa. I et lignende forsøg med partikler der var $<63\mu\text{m}$, var der ingen synlig effekt på mosdyrenes aktivitet.

Den mindste partikelfraktion blev også benyttet i filtrationsforsøg med svampe, søpunge og hestemuslinger. Søpunge og hestemuslinger viste nedsat filtrationsrate ved en turbiditet på 6-10 NTU. Hvilket var ventet for suspensionsernærere der ikke er i stand til at foretage selektion af indtagede partikler. For at se om denne nedsatte filtration havde langtidseffekter blev der udført 7 døgn vækstforsøg med mosdyr og koloniale søpunge. På trods af aflejringerne på koloni-overfladerne voksede dyrene fint ved en turbiditet på ca. 10 NTU.

Hver især belyser forsøgene nogle af de ventede effekter ved råstofindvindingsaktiviteter. For at få et billede over det samlede omfang af råstofindvinding for epifaunaorganismer, skal disse resultater sammenholdes med mængder af spild der forekommer ved sugning. Et samarbejde mellem SNS, DMU og GEUS gennemførte i 1996 en række målinger af spildfraktionen i overløbsvandet og koncentrationer af resuspenderet materiale i vandsøjlen i forskellige afstande fra et sugefartøj under ralsugning ved Læsø Trindel. Udfra disse data blev opstillet en model der angav koncentration og kornstørrelse af pålejret sediment ved forskellige afstande fra indvindingsområdet (Skov- og Naturstyrelsen 1996, Møhlenberg & Jensen 1997). Modellen viste at langt hovedparten af spildet sedimenterede indenfor de første 200 m, og kun suspenderede partikler under 0,15 mm når længere væk (Figur 24).



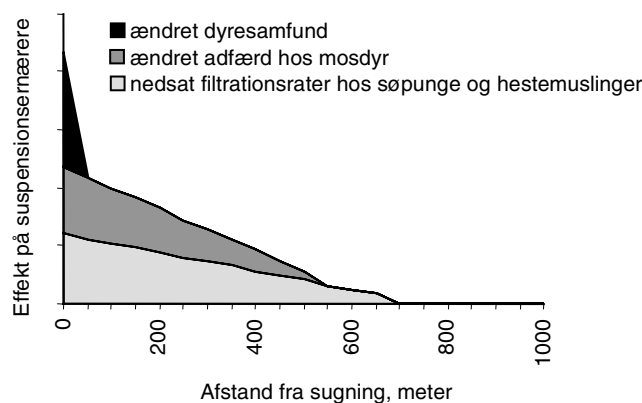
Figur 24 Grafer baseret på resultater fra modelleringer af sugninger ved Læsø Trindel, maj 1996 (Møhlenberg & Jensen 1997). A: Median kornstørrelse af pålejret materiale. B: Kumulativ sedimentation af spild langs sedimentationsfanen.

I filtrations-, dødeligheds- og vækstofforsøgene har vi opereret med et koncentrationsmaksimum på ca. 10 NTU, svarende til ca. 30 mg tørstof l^{-1} . I sugningerne ved Læsø fandtes disse koncentrationer 100-300 m fra sugefartøjet. Ved denne afstand vil suspensionsernærer som søpunge og hestemuslinger blive påvirket i deres filtration. Medianpartiklerne er i denne afstand ca. 0,125 mm og vil således også påvirke adfærden hos mosdyr.

Ud til ca. 600 m fra sugefartøjet er der målt koncentrationer af de mindste partikelfraktioner (1,5-50 μm) på ca. 5 $mm^3 l^{-1}$. Under forudsætning af en nogenlunde ens størrelsesfordeling mellem siltpartiklerne brugt i disse forsøg og målingerne fra Læsø Trindel, svarer det til 7-8 $mg l^{-1}$. Ved denne koncentration ses stadig effekt på filtrationsraterne hos søpunge og hestemuslingerne. Partiklerne i denne afstand fra sugefartøjet er nede i de mindste fraktioner. Umiddelbart vil disse mindste partikler ikke have den store effekt på mosdyrs adfærd, og hvis de bliver udsat for disse koncentrationer i længere tid, har det heller ikke negativ effekt på deres vækst. Spørgsmålet er dog hvor store partiklerne 600 m fra sugefartøjet var. Mikkelsen & Pejrup (2000) har vist at i Øresund dannede 9 μm -partikler flokkulater på 41 μm , nedenstrøms for et udgravningsfartøj. 1500 m længere nede var de steget til 109 μm i middeldiameter. Samtidig faldt densiteten af partiklerne fra 2,390 $kg m^{-3}$ til 1,501 $kg m^{-3}$, således blev faldhastigheden kun ændret en faktor 1,5 på trods af den store ændring i partikeldiameter, og flokkulaterne var derfor stadig i vandsøjlen. Flokkuleringen ved Øresund blev registreret som forskellen i partikelstørrelse ved to målinger 1,500 m fra hinanden hvilket svarede til, at partiklerne havde været undervejs i ca. 50 minutter under den givne strømhastighed. Ved Læsø var strømmen svagere, og partiklerne var ca. 75 minutter om at nå 600 m fra sugefartøjet. Det er vist at tællinger foretaget på en Coulter partikeltæller destruerer flokkulater med en diameter større end 7-25% af røråbningen (se i Mikkelsen & Pejrup 2000). Hvis det samme gør sig gældende for en Elzone partikeltæller, kan partiklerne i prøverne fra Læsø også have været flokkulater, og dermed større end angivet. De mindste partikelfraktioner blev målt på en Elzone partikeltæller med en røråbning på 76 μm eller 95 μm diameter. Hvis flokkulering fandt sted, var partiklerne og partikel-

volumen større end angivet i Møhlenberg & Jensen (1997). Dermed kunne suspensionen i denne afstand have en effekt på adfærden hos mosdyr.

600 m fra sugefartøjet ved Læsø Trindel befandt de største partikelkoncentrationer af 1,5-50 µm partikler sig i 5-7 meters dybde. I området var der 12 m til bunden og partiklerne ville derfor kunne nå at komme yderligere ca. 600 m, inden de sedimenterede ud. Det er dog svært at generalisere hvor langt væk de mindste partikelfraktioner vil kunne påvirke suspensionsernærere. Det vil i høj grad afhænge af strømhastigheden og dybden i råstofindvindingsområdet.



Figur 25 Undersøgte effekter på suspensionsernærere sammenholdt med model for spild fra Læsø Trindel.

De forskellige forsøg med epifaunale suspensionsernærere viser at der er målbare korttidseffekter (timer) op til ca. 1,2 km fra et indvindingsfartøj og langtidseffekter (måneder/år) på faunaen i umiddelbart nærhed af fartøjet, hvor store dele af spildet vil bundfældes (Figur 25). I områder hvor der suges efter sand, vil nærområdet sandsynligvis ikke indeholde meget epifauna, hvorimod det vil være tilfældet ved ralindvinding. Omfanget af langtidseffekter på epifaunaen i nærheden af ralindvindingsfartøjer vil i høj grad afhænge af sugetiden. Ved Læsø Trindel faldt 80% af spildet indenfor de første 50 m fra skibet i en fane der var ca. 30 m bred (Møhlenberg & Jensen 1997). Tørstofindholdet i spildet var mellem 27 og 45 g l⁻¹ (Skov- og Naturstyrelsen 1996). Med et tørstofindhold på 36 g l⁻¹ og pumperate på ca. 2.500 m³ time⁻¹ vil der i løbet af en time være spildt 90 tons materiale. 80% af dette fordelt på (50 m x 30 m) 1.500 m² vil give et ca. 2 cm tykt lag aflejret materiale i løbet af en time (vægtfylde sat til 2.600 kg m⁻³), hvilket svarer godt til dykkerobservationer foretaget umiddelbart efter sugningen ved Læsø Trindel. I katastrofescenariet blev der udlagt et ca. 5 cm tykt lag sand. Dvs. at hvis pumpeaktiviteten havde varet 2-3 timer ville der være opstået effekter svarende til katastrofescenariet i et 1.500 m²-område. Ved Læsø blev foretaget 3 sugninger i løbet af sammenlagt 3 timer hvilket gav 120 m³ opsamlet sediment. Dvs. at hvis disse 3 sugninger var foretaget i samme område, ville der for hver 1 m³ indsamlet sediment blev dækket ca. 10 m² havbund med spild, som ved Schultz's Grund stadig ville være påvirket af dette et år efter. Hvor længe partiklerne generelt bliver liggende i nærområdet af et råstofindvindingsarbejde, og dermed hvor stor effekt det vil have

på faunaen, afhænger dog af om/hvornår et kraftigt blæsevejr vil være i stand til at resuspendere det sedimenterede materiale. Den mængde energi der overføres fra vind til bølger og strøm, er i høj grad afhængig af den strækning vinden har mulighed for at påvirke havoverfladen. For et lille farvand som Kattegat vil vindretningen have stor betydning for hvor store bølger der bygges op og dermed hvor langt ned bølgebevægelsen kan lede til resuspension. Floderus (1988) har opstillet en model og inddelt Kattegat i kvadrater á 5 x 5,5 sømil og udregnet hvor stor en del af året, at hver kvadrat i princippet påvirkes til resuspension på baggrund af vindretning og -styrke, samt dybde til bunden. For området omkring Schultz's Grund er det 0,1-2% (0,5-7 dage år⁻¹) og i området omkring Læsø Trindel er det 40-100% (146-365 dage år⁻¹). Det skal dog understreges at det er svært at opstille gode modeller for hvor ofte og hvilke partikelstørrelser, der resuspendes og flyttes (Floderus 1988, Møhlenberg & Jensen 1997, Skov- og Naturstyrelsen 1991). Derudover bliver det yderligere kompliceret af at selv store sten kan flyttes, hvis der sidder makroalger fast, fx en *Laminaria*, der kan virke som "strømsejl".

4.1 Konklusion

Der er kort- og langtidseffekter på epifaunale suspensionsernærere når der foregår råstofindvinding. Det er i nærområdet (<100 m) under direkte påvirkningen fra sugefartøjet eller hvor størsteparten af spildet sedimenterer, at effekten er størst. I dette område vil det tage måneder/år før at faunaen vender tilbage til sin oprindelige tilstand, medmindre habitatet er irreversibelt ændret. Katastrofeforsøget i kombination med modellen opstillet for indvindingen ved Læsø Trindel viser at der ca. påvirkes 10 m² for hver 1 m³ der indvindes. Regenereringen af nærområdet vil til dels afhænge af vanddybde og eksponering for vind og dermed bølger og strøm.

Suspensionsernærere der befinder sig ca. 1-1,5 km nedstrøms for et indvindingsområde, vil blive påvirket af korttidseffekter som ændret adfærd i form af lavere aktivitet og nedsat filtrationsrate, mens der ikke ser ud til at være nogen langtidseffekter i denne afstand.

5 Litteraturliste

- Bray, J.R. & Curtis, J.T. 1957: An ordination of upland forest communities of southern Wisconsin. - *Ecological Monographs* 27: 325-349.
- Carr, M.R. 1997: PRIMER User Manual. Plymouth Marine Laboratory.
- Cranford, P.J. & Gordon, D.C. 1992: The influence of dilute clay suspensions on sea scallop (*Plactopecten magellanicus*) feeding activity and tissue growth. - *Netherlands Journal of Sea Research* 30: 107-120.
- DHI 1990: Øresundsforbindelsen. Miljøhydraulik – del 4. Modelberegninger N- og M-området. Sedimentspredning, MIKE 21-TD. Dokument 6432-E.
- Floderus, S. 1988: On the spatial distribution of wave impact at the Kattegat seabed. - *Geographical Annals* 70A: 269-272.
- Hygum, B. 1993: Miljøpåvirkninger ved ral- og sandsugning. – Et litteraturstudie om de biologiske effekter af råstofindvinding i havet. Danmarks Miljøundersøgelser. - Faglig rapport fra DMU nr. 81.
- Kirkegaard, J.B. 1996: Havbørsteorme. II. Danmarks Fauna bd. 86. Danmarks Naturhistoriske Forening, København. 451 pp.
- Kjørboe, T. & Møhlenberg, F. 1981: Particle selection in suspension-feeding bivalves. – *Marine Ecology Progress Series* 5: 291-296.
- Kjørboe, T. & Møhlenberg, F. 1982: Sletter havet sporene? – En biologisk undersøgelse af miljøpåvirkninger ved ral- og sandsugning. Miljøministeriet, Fredningsstyrelsen. 95 pp.
- Kjørboe, T., Møhlenberg, F. & Nøhr, O. 1980: Feeding, particle selection and carbon absorption in *Mytilus edulis* in different mixtures of algae and resuspended bottom material. - *Ophelia* 19(2): 193-205.
- Kjørboe, T., Møhlenberg, F. & Nøhr, O. 1981: Effect of suspended bottom material on growth and energetics in *Mytilus edulis*. – *Marine Biology* 61: 283-288.
- Laur, D.R., Ebeling, A.W. & Reed, D.C. 1986: Experimental evaluations of substrate types as barriers to sea urchin (*Strongylocentrotus* spp.) movement. *Marine Biology* 93: 209-215.
- Lisbjerg, D. & Petersen, J.K. 2001: Feeding activity, retention efficiency, and effects of temperature and particle concentration on clearance rate in the marine bryozoan *Electra crustulenta*. - *Marine Ecology Progress Series* 215: 133-141.
- Mikkelsen, O. & Pejrup, M. 2000: In situ particle size spectra and density of particle aggregates in a dredging plume. - *Marine Geology* 170: 439-455.
- Møhlenberg, F. & Jensen, J.N. 1997: Spredning og sedimentation af partikulært materiale under råstofindvinding ved Læsø Trindel. Del-

rapport 2. Undersøgelse og effektvurdering, maj 1996. 19 s. - Arbejdsrapport fra DMU nr. 61.

Petersen, A.H. 1993: Effekter af suspenderet kalkmateriale på blåmuslingers vækst, kondition og klorofylindhold. Intern rapport fra Danmarks Miljøundersøgelser. 25 s. Afd. For Havmiljø og Mikrobiologi.

Petersen, J.K. & Riisgård, H.U. 1992: Filtration capacity of the ascidian *Ciona intestinalis* and its grazing impact in a shallow fjord. - Marine Ecology Progress Series 88: 9-17.

Petersen, J.K., Mayer, S. & Knudsen, M.Å. 1999: Beat frequency of cilia in the branchial basket in the ascidian, *Ciona intestinalis*, in relation to temperature and algal cell concentration. - Marine Biology 133: 185-192.

Riisgård, H.U. & Goldson, A. 1997: Minimal scaling of the lophophore filter-pump in ectoprocts (Bryozoa) excludes physiological regulation of filtration rate of nutritional needs. Test of hypothesis, - Marine Ecology Progress Series 156: 109-120.

Skov- og Naturstyrelsen 1991: Sandsugning og det fysiske miljø. Havserien nr. 1. Miljøministeriet. 56 s.

Skov- og Naturstyrelsen 1996: Spildmålinger ved Læsø Trindel. Delrapport 1. Prøveindsamling og analyseresultater. J. nr. 1996-714-0011.

Statistiske Efterretninger 2000: Råstofindvindingen i Danmark i 1999. Statistiske Efterretninger. - Miljø 2000:19.

Wass, R.E. & Vail, L.L. 1978: Encrusting Bryozoa Exhibit Linear Growth. - Search 9(1-2): 42-44.

Bilag

Dykkerobservationer ved Schultz's Grund 1999 – 2000

Stationsnumre referere til samme stationer som foregående tabel.

Polychaeten *Pomatoceros triquetter* og søpindsvinet *Strongylocentrosus droebachiensis* opgjort som siddende på henholdsvis skaller af hestemuslingen *Modiolus modiolus* og anden bund (sten/sand).

rubin Art	Sted	R0103	R0104	R0105	R0203	R0204	R0205	R0303	R0304	R0305	S1003	S1004	S1005	S1103	S1104	S1105	S1203	S1205
4 <i>Pomatoceros triquetter</i>	modiolus	171	187	374	255	117	326	160	160	251	231	11	494	10	47	224	25	292
4 <i>Pomatoceros triquetter</i>	sten/sand	413	321	811	408	196	641	622	473	928	245	37	413	40	89	429	49	340
9 <i>Strongylocentrosus droebachiensis</i>	modiolus	4	7	13	14	1	12	11	3	10	15	0	8	5	0	1	1	1
9 <i>Strongylocentrosus droebachiensis</i>	sten/sand	70	63	64	93	75	69	85	83	60	75	52	43	81	77	46	69	53
8 <i>Modiolus modiolus</i>		53	50	60	62	45	68	40	32	45	75	4	48	13	22	22	20	28

(fil: insitu1999-2000.xls)

Flumevækstforsøg august 2000 – vækstrater og vækstzone

Udført i RUC's flumelaboratorium ved Søminestationen i Dragerup Skov, Holbæk.

Electra crustulenta

koncentration	vækstrate	koloni	dage	forsøg	vækstzone	pix dag 0	pix dag-slut	grid dag 0	grid dag-slut	cm ² dag 0	cm ² slut
1,8	0,253	1	7,3	+silt	4,0	18254	62385	5,56E-06	1,03E-05	0,101	0,643
1,8	0,284	3	7,3	+silt	3,3	5254	22546	5,56E-06	1,03E-05	0,029	0,232
1,8	0,260	5	7,3	+silt	3,0	17302	62302	5,56E-06	1,03E-05	0,096	0,642
1,8	0,248	6	7,3	+silt	4,1	17469	57624	5,56E-06	1,03E-05	0,097	0,594
1,8	0,233	7	7,3	+silt	3,3	17571	51931	5,56E-06	1,03E-05	0,098	0,535
2,2	0,228	3	7,1	Kontrol	3,0	13531	36413	2,92E-06	5,48E-06	0,040	0,199
2,2	0,189	6	7,1	Kontrol	3,9	42123	86045	2,92E-06	5,48E-06	0,123	0,471
2,2	0,212	10	7,1	Kontrol	3,1	32569	77982	2,92E-06	5,48E-06	0,095	0,427
2,2	0,248	13	7,1	Kontrol	4,0	23702	73757	2,92E-06	5,48E-06	0,069	0,404
2,2	0,223	16	7,1	Kontrol	2,9	15677	40702	2,92E-06	5,48E-06	0,046	0,223

(fil: flumevækst2000.xls)

Botryllus schlosseri

koncentration	vækst-rate	zoid-vækst	koloni	dage	forsøg	tunica	pix dag 0	pix dag-slut	grid dag 0	grid dag-slut	cm ² dag 0	cm ² slut	zoider dag 0	zoider dag slut
1,8	0,090	0,100	4a	7,3	+silt	lidt	58767	54584	4,40E-06	9,11E-06	0,258	0,497	14	29
1,8	0,156	0,067	4c	7,3	+silt	meget til sidst	30874	46476	4,40E-06	9,11E-06	0,136	0,423	8	13
1,8	0,195	0,064	4d	7,3	+silt	til sidst	42477	84998	4,40E-06	9,11E-06	0,187	0,774	10	16
1,8	0,266	0,049	7b	7,3	+silt	meget til sidst	14400	48520	4,40E-06	9,11E-06	0,063	0,442	7	10
1,8	0,026	0,021	11	6,0	+silt	nej	149199	155238	8,10E-06	9,11E-06	1,209	1,414	84	95
1,8	0,021	0,053	13b	6,0	+silt	nej	19089	19306	8,10E-06	9,11E-06	0,155	0,176	8	11
2,2	0,114	0,195	7c	7,1	Kontrol	ikke meget	13183	39057	1,01E-05	7,64E-06	0,133	0,298	2	8
2,2	0,141	0,098	7d(i)	7,1	Kontrol	nej	9528	34104	1,01E-05	7,64E-06	0,096	0,260	2	4
2,2	0,125	0,047	7d(ii)	7,1	Kontrol	nej	13863	44423	1,01E-05	7,64E-06	0,140	0,339	5	7
2,2	0,185	0,064	11	7,1	Kontrol	meget til sidst	109747	539143	1,01E-05	7,64E-06	1,105	4,118	56	88
2,2	0,161	0,188	17a	7,1	Kontrol	ikke meget	38582	159252	1,01E-05	7,64E-06	0,388	1,216	20	76
2,2	0,060	0,077	18b	7,1	Kontrol	ikke meget	57315	116024	1,01E-05	7,64E-06	0,577	0,886	37	64

(fil: flumevækst2000.xls)

Flumevækstforsøg august 2000 – målte parametre

	silt forsøg (<63µm)	kontrollforsøg
forsøgsvarighed (dage)	7,3	7,1
rumtemperatur (°C)	16,9	16,1
stdafv	0,6	0,7
chla koncentration (mg/m ³)	1,8	2,2
stdafv	0,2	0,2
siltkoncentration (NTU)	9,7	0,79
stdafv	3,3	0,13

(fil: flumevækst2000.xls)

Akvarievækstforsøg december 1999 - juli 2000, vækstrater

Electra crustulenta

koncentration	vækstrate	koloni	dag 0	midt	dage	forsøg	vækstzone	pix dag 0	pix midt	pix dag-slut	grid dag 0	grid midt	grid dag-slut	cm ² dag 0	cm ² dag midt	cm ² slut	vækst (ln)	r2	r2 lineær
135	0,014	50	0		21	jul	0	43216		21993	3,79E-06		1,00E-05	0,164	0,000	0,220	0,014		
135	0,008	52	0		21	jul	0	18633		8394	3,79E-06		1,00E-05	0,071	0,000	0,084	0,008		
135	0,002	51	0		21	jul	0	20650		8078	3,79E-06		1,00E-05	0,078	0,000	0,081	0,002		
135	0,006	53	0		21	jul	0	29782		12814	3,79E-06		1,00E-05	0,113	0,000	0,128	0,006		
221	0,011	16	0		17	dec	0	184862		179207	2,98E-06		3,69E-06	0,551	0,000	0,660	0,011		
221	0,004	17	0		17	dec	0	80119		69055	2,98E-06		3,69E-06	0,239	0,000	0,254	0,004		
221	0,010	18	0		17	dec	0	205326		197272	2,98E-06		3,69E-06	0,612	0,000	0,727	0,010		
221	0,009	4a	0		17	dec	0	57225		53688	2,98E-06		3,69E-06	0,170	0,000	0,198	0,009		
1116	0,079	7	0	12	17	dec	3,125	63100	94106	90102	2,98E-06	5,70E-06	7,92E-06	0,188	0,537	0,714	0,080	0,993	0,998
1116	0,083	8	0	12	17	dec	2,625	91057	124360	139626	2,98E-06	5,70E-06	7,92E-06	0,271	0,709	1,106	0,082	0,999	0,958
1116	0,074	1a	0	12	17	dec	2,5	37310	46855	49190	2,98E-06	5,70E-06	7,92E-06	0,111	0,267	0,390	0,074	1,000	0,973
1116	0,085	1b1+2	0	12	17	dec	2,75	53538	82258	85302	2,98E-06	5,70E-06	7,92E-06	0,159	0,469	0,676	0,086	0,998	0,986
1905	0,116	58	0	12	21	jul	4	41466	118459	180307	3,79E-06	5,26E-06	1,00E-05	0,157	0,623	1,806	0,116	1,000	0,896
1905	0,149	59	0	12	21	jul	5	31434	171453	270314	3,79E-06	5,26E-06	1,00E-05	0,119	0,902	2,707	0,150	0,992	0,909
1905	0,138	60	0	12	21	jul	kan ikke ses	45820	224813	315055	3,79E-06	5,26E-06	1,00E-05	0,174	1,183	3,156	0,139	0,990	0,931
1905	0,140	61	0	12	21	jul	4	43396	212456	310575	3,79E-06	5,26E-06	1,00E-05	0,165	1,118	3,111	0,141	0,992	0,922
1905	0,137	62	0	12	21	jul	kan ikke ses	53030	225145	355120	3,79E-06	5,26E-06	1,00E-05	0,201	1,185	3,557	0,137	0,997	0,903
3109	0,150	41	0	6	10	mar	2,5	30237	106781	73442	4,54E-06	2,95E-06	8,38E-06	0,137	0,315	0,615	0,149	0,997	0,933
3109	0,123	38c	0	6	10	mar	2,375	30723	92620	56894	4,54E-06	2,95E-06	8,38E-06	0,139	0,273	0,477	0,122	0,996	0,947
3109	0,153	38	0	6	10	mar	1,75	11451	42731	28525	4,54E-06	2,95E-06	8,38E-06	0,052	0,126	0,239	0,152	1,000	0,946
3109	0,136	36	0	6	10	mar	2,5	33283	107283	70224	4,54E-06	2,95E-06	8,38E-06	0,151	0,317	0,588	0,135	0,996	0,937
4665	0,140	12b	0	12	17	dec	3,75	65248	185937	264654	2,98E-06	5,70E-06	7,92E-06	0,194	1,060	2,097	0,140	1,000	0,921
4665	0,188	2a	0	7	12	dec	3,625	46108	112534	164897	2,98E-06	5,70E-06	7,92E-06	0,137	0,642	1,307	0,190	0,987	0,970
4665	0,111	13a	0	12	17	dec	3,75	167807	370685	414261	2,98E-06	5,70E-06	7,92E-06	0,500	2,113	3,282	0,112	0,996	0,980
4665	0,141	13b	0	12	17	dec	3	53653	207910	222175	2,98E-06	5,70E-06	7,92E-06	0,160	1,185	1,760	0,146	0,982	0,995
4665	0,162	14	0	12	17	dec	3,625	51923	214412	304024	2,98E-06	5,70E-06	7,92E-06	0,155	1,222	2,409	0,163	0,997	0,932
5837	0,141	63	0	12	21	jul	4,75	42525	179288	308316	3,79E-06	5,26E-06	1,00E-05	0,161	0,944	3,088	0,141	0,999	0,886
5837	0,159	64	0	12	21	jul	5,125	34245	178849	364817	3,79E-06	5,26E-06	1,00E-05	0,130	0,941	3,654	0,159	0,999	0,859
5837	0,175	65	0	12	21	jul		40089		235154	3,79E-06		5,26E-06	0,152	0,000	1,238	0,175		
5837	0,148	66	0	12	21	jul	5	36216	168404	305718	3,79E-06	5,26E-06	1,00E-05	0,137	0,886	3,062	0,148	0,999	0,878
8700	0,197	30	0	6	10	mar	3,5	39957	219551	155795	4,54E-06	2,92E-06	8,38E-06	0,181	0,642	1,305	0,198	0,998	0,953
8700	0,169	31	0	6	10	mar	3,25	24737	102791	72787	4,54E-06	2,92E-06	8,38E-06	0,112	0,301	0,610	0,169	1,000	0,937
8700	0,173	31b	0	6	10	mar	3,625	51720	248375	158713	4,54E-06	2,92E-06	8,38E-06	0,235	0,726	1,329	0,175	0,997	0,970
8700	0,215	40	0	6	10	mar	4	29402	192728	136217	4,54E-06	2,92E-06	8,38E-06	0,133	0,564	1,141	0,217	0,994	0,961
9599	0,233	6a	0	12	17	dec	3,125	4320	44965	85582	2,98E-06	5,70E-06	7,92E-06	0,013	0,256	0,678	0,236	0,997	0,858
9599	0,161	6b	0	12	17	dec	3,25	42131	182336	246547	2,98E-06	5,70E-06	7,92E-06	0,125	1,040	1,954	0,164	0,995	0,947
9599	0,155	11				dec	baseret på slutvægt										0,155		
9599	0,182	15a				dec	baseret på slutvægt										0,182		
9599	0,183	15b				dec	baseret på slutvægt										0,183		
14090	0,203	32b	0	6	10	mar	3	18344	100120	75786	4,54E-06	2,95E-06	8,38E-06	0,083	0,296	0,635	0,204	0,999	0,940
14090	0,153	32	0	6	10	mar	3,5	155268	591158	386978	4,54E-06	2,95E-06	8,38E-06	0,704	1,745	3,242	0,153	1,000	0,953
14090	0,214	37	0	10	10	mar	3,75	56556		259216	4,54E-06		8,38E-06	0,257	0,000	2,171	0,214		
14090	0,158	35b	0	6	10	mar	2,75	27829	106131	72972	4,54E-06	2,95E-06	8,38E-06	0,126	0,313	0,611	0,157	0,999	0,941
14090	0,186	35	0	6	10	mar	2	17408	78663	60698	4,54E-06	2,95E-06	8,38E-06	0,079	0,232	0,508	0,186	0,999	0,924
100000	0,266	b	0	5	aug	2,75	24815		47981	4,03E-06		7,89E-06	0,100	0,000	0,378	0,266			
100000	0,295	c	0	5	aug	2,75	14335		31976	4,03E-06		7,89E-06	0,058	0,000	0,252	0,295			
100000	0,242	d	0	5	aug	2,17	9210		15797	4,03E-06		7,89E-06	0,037	0,000	0,125	0,242			
100000	0,283	e	0	5	aug	3	12834		26982	4,03E-06		7,89E-06	0,052	0,000	0,213	0,283			

gennemsnit: 0,996 0,937
stdafv.: 0,004 0,036

(fil: VækstFraAlleForsøgene.xls)

Akvarievækstforsøg december 1999 - juli 2000, vækstzoner

Electra crustulenta

koncentration	vækstrate	koloni	dage	forsøg	vækstzone
135	0,014	50	21	jul	0
135	0,008	52	21	jul	0
135	0,002	51	21	jul	0
135	0,006	53	21	jul	0
221	0,056	16	17	dec	0
221	0,049	17	17	dec	0
221	0,055	18	17	dec	0
221	0,054	4a	17	dec	0
701	0,057	7	5	dec	3,125
701	0,089	8	5	dec	2,625
701	0,076	1a	5	dec	2,5
701	0,073	1b1+2	5	dec	2,75
1198	0,087	7	12	dec	3,125
1198	0,080	8	12	dec	2,875
1198	0,073	1a	12	dec	2,25
1198	0,090	1b1+2	12	dec	2,625
1744	0,118	58	9	jul	4
1744	0,122	59	9	jul	5
1744	0,109	60	9	jul	kan ikke ses
1744	0,114	61	9	jul	4
1744	0,122	62	9	jul	kan ikke ses
2007	0,115	58	12	jul	3,25
2007	0,169	59	12	jul	3,5
2007	0,160	60	12	jul	kan ikke ses
2007	0,160	61	12	jul	3,625
2007	0,148	62	12	jul	3,75
2896	0,139	41	6	mar	1,625
2896	0,112	38c	6	mar	1,75
2896	0,148	38	6	mar	1,75
2896	0,123	36	6	mar	2,125
3341	0,167	41	4	mar	2,5
3341	0,139	38c	4	mar	2,375
3341	0,160	38	4	mar	1,75
3341	0,155	36	4	mar	2,5
4382	0,141	12b	12	dec	3
4382	0,220	2a	7	dec	3,5
4382	0,120	13a	12	dec	3,5
4382	0,167	13b	12	dec	3,125
4382	0,172	14	12	dec	4,1
5546	0,132	63	9	jul	4,75
5546	0,151	64	9	jul	5,125
5546	0,138	66	9	jul	5
6007	0,147	63	12	jul	3,25
6007	0,165	64	12	jul	3,75
6007	0,155	66	12	jul	4
6166	0,136	12b	5	dec	3,75
6166	0,142	2a	5	dec	3,625
6166	0,083	13a	5	dec	3,75
6166	0,079	13b	5	dec	3
6166	0,136	14	5	dec	3,625
7162	0,211	30	6	mar	3,15
7162	0,164	31	6	mar	2,875
7162	0,188	31b	6	mar	3
7162	0,240	40	6	mar	3
9568	0,249	6a	12	dec	2,5
9568	0,176	6b	12	dec	3,5
9793	0,200	6a	5	dec	3,125
9793	0,126	6b	5	dec	3,25
10375	0,177	30	4	mar	3,5
10375	0,177	31	4	mar	3,25
10375	0,151	31b	4	mar	3,625
10375	0,176	40	4	mar	4
12842	0,211	32b	6	mar	2
12842	0,151	32	6	mar	3,8
12842	0,151	35b	6	mar	2,75
12842	0,180	35	6	mar	2
14090	0,214	37	10	mar	3,75
15074	0,191	32b	4	mar	3
15074	0,155	32	4	mar	3,5
15074	0,167	35b	4	mar	2
15074	0,196	35	4	mar	2
20000	0,266	b	5	aug	2,75
20000	0,295	c	5	aug	2,75
20000	0,242	d	5	aug	2,17
20000	0,283	e	5	aug	3

(fil: VækstFraAlleForsøgene.xls)

Akvarievækstforsøg december 1999 - juli 2000, vækstrater ud fra areal vs. vægt

Electra crustulenta

koloni	r i disse beregninger	r (udfra vægt)
4a	0,01	0,03
16	0,01	0,01
17	0,00	0,02
18	0,01	0,04
1a	0,07	0,09
7	0,08	0,09
8	0,08	0,07
2a	0,19	0,20
12b	0,14	0,16
13a	0,11	0,14
13b	0,15	0,16
14	0,16	0,18
6a	0,24	0,24
6b	0,16	0,17

(fil: VækstFraAlleForsøgene.xls)

Flumeforsøg – adfærd hos *Electra crustulenta*

dato	02-10-99		flumeforsøg v. Søminstationen		
hastighed	4 cm/s	partikelstørrelse:	<63 µm		
<i>Electra crustulenta</i>		Temperatur 15 grader			
optagelse med digital videokamera (sony) med 0,5 sekunders optagelse pr. 30 sekunder					
	tid på ddv		1,291597	min/t	8,13323
					= sek/min
koloni	op	ned	oppe (sek)	nede (sek)	
I	starter oppe	014703			30
I	014720	024009	2430		30
I	024100	032700	2130		30
I	032716	052801	5580		30
I	052817	065509	4020		30
I	065524	073723	1950		30
I	073813	080719	1350		30
I	080810	091820	3270		30
I	091910	093208	600		30
I	093224	102916	2640		
I					
I	200603	205815	2430		60
I	205922	221801	3630		30
I	221814	233224	3450		135
I	233517	* 243701	2835		30
I	243714	255010	.(3390)		
I					
I	301621	310514	2250		30
I	310604	311623	510		30
I	311716	312006	120		30
I	312023	322712	3090		30
I	322803	332623	.(2730)		
II	starter oppe	011122			30
II	011214	014703	1590		90
II	014903	024009	2370		30
II	024100	042515	4860		60
II	042623	050807	1920		90
II	050924	053408	1140		30
II	053501	075300	6420		15
II	075300	* 084714	2535		120
II	085002	093010	1860		30
II	093101	094216	540		
II					
II	200909	201804	420		240
II	202310	211217	2280		60
II	211400	211916	270		30
II	212008	220310	2010		30
II	220323	225311	2310		30
II	225403	234700	2460		30
II	234713	235507	360		90
II	235701	250803	.(3300)		
II					
II	300404	303217	1320		60
II	303322	311514	1950		60
II	311623	320510	2250		30
II	320601	331703	.(3300)		
III	starter oppe	014501			.(60)
III	014611	014703	30		30
III	014720	024009	2430		30
III	024100	030612	1170		30
III	030702	032700	930		30
III	032716	045114	3900		60
III	045221	052817	1650		30
III	052907	054807	870		30
III	054824	061020	1020		60
III	061202				
III					
III		073903			.(60)
III	074009	084423	3000		60
III	084605	095803	3330		30
III	095817	100015	90		30
III	100107				
III					
III	193810	201821	1890		30
III	201912	202111	90		30
III	202202	205019	1320		30
III	205111	210818	810		30
III	210910	211001	30		30
III	211017	213407	1110		30
III	213423	220810	1560		300
III	221417	230004	2100		15
III	230004	* 235507	2535		45
III	235521	* 243701	1905		30
III	243714	253123	2520		30
III	253216				
III					
III	300404	300512	60		30
III	300602	301517	450		30
III	301607	304713	1440		90
III	304908	311623	1290		30
III	311716	311806	30		180
III	312207	315715	1650		60
III	315820	322712	1320		30
III	322803	325820	1440		150
III	330121	334022	1800		30
III	334112				

(fil: Flume051099.xls)

Flumeforsøg – adfærd hos *Electra crustulenta*

dato	05-10-99		flumeforsøg v. Søminstationen		
hastighed	4 cm/s		partikelstørrelse: 63-125 µm		
<i>Electra crustulenta</i>			Temperatur 15 grader		
optagelse med digital videokamera (sony) med 0,5 sekunders optagelse pr. 30 sekunder					
					DDV start 7:45 og står på 0:25:37:23 kl. 03.34
koloni	tid på ddv		19,8 timer		
	op	ned	oppe (sek)	nede (sek)	
I	091302	093801	1170	30	
I	093817	100414	1200	15	
I	100414	* 102521	975	15	
I	102521	* 103724	555	150	
I	104104	104915	390	15	
I	104915	* 110317	645	30	
I	110407	110818	210	30	
I	110909	120124	2430	30	
I	120217	121324	510	150	
I	121703	124214	1170	30	
I	124304	125309	480	150	
I	125617	133618	1860	540	
I	134809	141024	1050	30	
I	141116	141814	330	120	
I	142102	145223	.(1470)		<- ikke taget med for at der skal være lige mange op/ned
I					
I		385224		30	
I	385313	385406	30	30	
I	385423	385924	240	390	
I	390810	393601	1290	15	
I	393601	* 394613	465	30	
I	394704	395210	240	3750	
I	411300	413514	1050	60	
I	413622	421514	1800	60	
I	421622	424209	1170	30	
I	424301	430318	960	0	
I	430318	433523	1500	30	
I	433615	435423	840	60	
I	435607	441403	840	30	
I	441420	441914	210	30	
I	442006	444017	960	30	
I	444109	445514	660	30	
I	445606	450504	420		
			25650	5940	31590
					526,5
				svarer til	8,775
					14min svarer til
II	090215	091318	510	1290	
II	094107	100108	930	90	
II	100307	100922	300	90	
II	101117	101623	240	30	
II	101713	102612	420	1950	
II	110818	123709	4110	60	
II	123815	124214	180	30	
II	124304	124805	240	30	
II	124819	125309	210	450	
II	130306	130807	240	330	
II	131508	132509	480	1860	
II	140508	151505	3240	30	
II	151520				
II					
II	384505	394919	3000	30	
II	395011	395409	180	300	
II	400022	400221	90	30	
II	400313	411101	3150	15	
II	411101	* 411808	315	30	
II	411900	412424	* 285	285	
II	413115	415422	1080	30	
II	415513	421714	1020	540	
II	422824	423007	60	30	
II	423024	425315	1050	750	
II	430915	433615	1260	1500	
II	440819	445514	* 2175	15	
II	445606				

(fil: Flume051099.xls)

Flumeforsøg – adfærd hos *Electra crustulenta*

dato	05-10-99		flumeforsøg v. Søminstationen	
hastighed	4 cm/s		partikelstørrelse: 63-125 µm	
<i>Electra crustulenta</i>			Temperatur	15 grader
Kontinuert videooptagelse med udstyr fra Benni Hansen				
	Counter		0,53	counts/sek
koloni	op	Ned	oppe (sek)	nede (sek)
I		927		36
I	946	1717	1463	731
I	2102	2747	1224	13
I	2754	2760	11	63
I	2793	3645	1617	8
I	3649	5520	3551	123
I	5585	5792	393	131
I	5861	6428	1076	
II		1717		784
II	2130	2747	1171	13
II	2754	2760	11	63
II	2793	2852	112	99
II	2904	3845	1786	13
II	3852	3854	4	95
II	3904	4432	1002	256
II	4567	4838	514	135
II	4909	5249	645	78
II	5290	5642	668	59
II	5673	5909	448	6
II	5912	5916	8	8
II	5920	6029	207	57
II	6059	6215	296	97
II	6266	6483	412	207
II	6592	6758	315	72
II	6796	6873	146	25
II	6886	6915	55	32
II	6932	7089	298	44
II	7112	7117	9	180
II	7212	7524	592	178
II	7618	7678	114	23
II	7690	7692	4	32
II	7709			
III	0	1717		1027
III	2258	2747	928	228
III	2867	4377	2866	150
III	4456	4941	920	87
III	4987	5486	947	114
III	5546	5685	264	38
III	5705	6029	615	8
III	6033	6293	493	150
III	6372	6528	296	53
III	6556	6724	319	99
III	6776	6883	203	180
III	6978	7124	277	133
III	7194	7250	106	161
III	7335	7499	311	159
III	7583			
IV		541		25
IV	554	1720	2213	38
IV	1740	1746	11	19
IV	1756	1759	6	232
IV	1881	1928	89	11
IV	1934			

(fil: Flume051099.xls)

Flumeforsøg – adfærd hos *Electra crustulenta*

dato	05-10-99		flumeforsøg v. Søminstationen		
hastighed	4 cm/s		partikelstørrelse: 63-125 µm		
<i>Electra crustulenta</i>			Temperatur	15 grader	BAND 12
Kontinuert videooptagelse med udstyr fra Benni Hansen					
II og III er de samme som fra bånd 5					
	Counter		0,53	counts/sek	(4t og ca. 5 minutter ~ 7746 counts = 245 minutter)
koloni	op	ned	oppe (sek)	nede (sek)	
II		394			13
II	401	764	689		640
II	1101	1637	1017		9
II	1642	2227	1110		76
II	2267	2767	949		8
II	2771	2777	11		140
II	2851	3091	455		19
II	3101	3135	65		11
II	3141				
II		3801			4
II	3803	3816	25		8
II	3820	4483	1258		42
II	4505	4940	826		241
II	5067	5604	1019		30
II	5620	5756	258		85
II	5801	6023	421		4
II	6025	6232	393		13
II	6239	6298	112		180
II	6393	6731	641		4
II	6733	6756	44		4
II	6758	6904	277		15
II	6912	6948	68		2
II	6949	7340	742		123
II	7405	7634	435		4
II	7636				
III	23	831	1533		42
III	853	1637	1488		9
III	1642	2414	1465		32
III	2431	3091	1253		11
III	3097				
III		4231			25
III	4244	4706	877		6
III	4709	4733	46		40
III	4754	5605	1615		19
III	5615	5703	167		2
III	5704	5756	99		6
III	5759	5894	256		4
III	5896	5978	156		2
III	5979	5980	2		15
III	5988	6018	57		4
III	6020	6023	6		80
III	6065	6298	442		4
III	6300	6527	431		4
III	6529	6733	387		17
III	6742	6756	27		4
III	6758	6904	277		4
III	6906	6962	106		25
III	6975	7110	256		2
III	7111	7339	433		23
III	7351	7367	30		4
III	7369	7496	241		6
III	7499	7502	6		2
III	7503	7575	137		116
III	7636	7715	150		2
III	7716	7718	4		6
III	7721				

(fil: Flume051099.xls)

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljøministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning indenfor natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

URL: <http://www.dmu.dk>

Danmarks Miljøundersøgelser
Frederiksborgvej 399
Postboks 358
4000 Roskilde
Tlf.: 46 30 12 00
Fax: 46 30 11 14

*Direktion
Personale- og Økonomisekretariat
Forsknings- og Udviklingssektion
Afd. for Systemanalyse
Afd. for Atmosfærisk Miljø
Afd. for Marin Økologi
Afd. for Miljøkemi og Mikrobiologi
Afd. for Arktisk Miljø
Projektchef for kvalitets- og analyseområdet*

Danmarks Miljøundersøgelser
Vejsøvej 25
Postboks 314
8600 Silkeborg
Tlf.: 89 20 14 00
Fax: 89 20 14 14

*Overvågningssektionen
Afd. for Terrestrisk Økologi
Afd. for Ferskvandssøkologi
Projektchef for det akvatiske område*

Danmarks Miljøundersøgelser
Grenåvej 12-14, Kalø
8410 Rønde
Tlf.: 89 20 17 00
Fax: 89 20 15 15

*Afd. for Landskabsøkologi
Afd. for Kystzoneøkologi*

Publikationer:

DMU udgiver faglige rapporter, tekniske anvisninger, temarapporter, samt årsberetninger. Et katalog over DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængeligt via World Wide Web.

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer.

Faglige rapporter fra DMU/NERI Technical Reports

2001

- Nr. 358: Partikelfiltre på tunge køretøjer i Danmark. Luftkvalitets- og sundhedsvurdering. Af Palmgren, F. et al. (Foreløbig elektronisk udgave)
- Nr. 359: Forekomst af "afvigende" isbjørne i Østgrønland. En interviewundersøgelse 1999. Af Dietz, R., Sonne-Hansen, C., Born, E.W., Sandell, H.T. & Sandell, B. 50 s., 65,00 kr.
- Nr. 360: Theoretical Evaluation of the Sediment/Water Exchange Description in Generic Compartment Models (Simple Box). By Sørensen, P.B., Fauser, P., Carlsen, L. & Vikelsøe, J. 58 pp., 80,00 DKK.
- Nr. 361: Modelling Analysis of Sewage Sludge Amended Soil. By Sørensen, P., Carlsen, L., Vikelsøe, J. & Rasmussen, A.G. 38 pp., 75,00 DKK.
- Nr. 362: Aquatic Environment 2000. Status and Trends – Technical Summary. By Svendsen, L.M. et al. 66 pp., 75,00 DDK.
- Nr. 363: Regulering på jagt af vandfugle i kystzonen. Forsøg med døgnregulering i Østvendssyssel. Af Bregnballe, T. et al. 104 s., 100,00 kr.
- Nr. 364: Vingeindsamling fra jagtsæsonen 2000/2001 i Danmark. Wing Survey from the 2000/2001 Hunting Season in Denmark. Af Clausager, I. 53 s., 45,00 kr.
- Nr. 365: Habitat and Species Covered by the EEC Habitats Directive. A Preliminary Assessment of Distribution and Conservation Status in Denmark. By Pihl, S. et al. 121 pp. (electronic)
- Nr. 366: On the Fate of Xenobiotics. The Roskilde Region as Case Story. By Carlsen, L. et al. 66 pp., 75,- DKK
- Nr. 367: Anskydning af vildt. Status for undersøgelser 2001. Af Noer, H. et al. 43 s., 60,00 kr.
- Nr. 368: The Ramsar Sites of Disko, West Greenland. A Survey in July 2001. By Egevang, C. & Boertmann, D. 66 pp., 100,- DKK
- Nr. 369: Typeinddeling og kvalitetselementer for marine områder i Danmark. Af Nielsen, K., Sømod, B. & Christiansen, T. 105 s. (elektronisk).
- Nr. 370: Offshore Seabird Distributions during Summer and Autumn at West Greenland. Ship Based Surveys 1977 and 1992-2000. By Boertmann, D. & Mosbech, A. 57 pp. (electronic)
- Nr. 371: Control of Pesticides 2000. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Krongaard, T., Petersen, K.K. & Christoffersen, C. 28 pp., 50,00 DKK
- Nr. 372: Det lysåbne landskab. Af Ellemann, L., Ejrnæs, R., Reddersen, J. & Fredshavn, J. 110 s., 120,00 kr.
- Nr. 373: Analytical Chemical Control of Phthalates in Toys. Analytical Chemical Control of Chemical Substances and Products. By Rastogi, S.C. & Worsøe, I.M. 27 pp., 75,- DKK
- Nr. 374: Atmosfærisk deposition 2000. NOVA 2003. Af Ellermann, T. et al. 88 s. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 375: Marine områder 2000 – Miljøtilstand og udvikling. NOVA 2003. Af Henriksen, P. et al. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 376: Landovervågningsoplande 2000. NOVA 2003. Af Grant, R. et al. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 377: Søer 2000. NOVA 2003. Af Jensen, J.P. et al. (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 378: Vandløb og kilder. NOVA 2000. Af Bøgestrand, J. (red.) (elektronisk primo december 2001)
- Nr. 379: Vandmiljø 2001. Tilstand og udvikling – faglig sammenfatning. Af Boutrup, S. et al. 62 s., 100,- kr.
- Nr. 380: Fosfor i jord og vand – udvikling, status og perspektiver. Kronvang, B. (red.) 88 s., 100,00 kr.
- Nr. 381: Satellitsporing af kongeederfugl i Vestgrønland. Identifikation af raste- og overvintringsområder. Af Mosbech, A., Merkel, F., Flagstad, A. & Grøndahl, L. (i trykken)
- Nr. 382: Bystruktur og transportadfærd. Hvad siger Transportvaneundersøgelsen? Af Christensen, L. (i trykken)
- Nr. 383: Pesticider 2 i overfladevand. Metodafprøvning. Af Nyeland, B. & Kvamm, B. 45 s. + Annex 1, 75,- kr.
- Nr. 384: Natural Resources in the Nanortalik Area. An Interview Study on Fishing, Hunting and Tourism in the Area around the Nalunaq Gold Project. By Glahder, C.M. 81 pp., 125,- kr.
- Nr. 385: Natur og Miljø 2001. Påvirkninger og tilstand. Af Bach, H., Christensen, N. & Kristensen, P. 368 s., 200,00 kr.
- Nr. 386: Pesticider 3 i overfladevand. Metodeafprøvning. Af Nyeland, B. & Kvamm, B. 94 s., 75,00 kr.
- Nr. 387: Improving Fuel Statistics for Danish Aviation. By Winther, M. 56 pp., 75,- DKK

2002

- Nr. 388: Microorganisms as Indicators of Soil Health. By Nielsen, M.N. & Winding, A. (in press)
- Nr. 389: Naturnær skovrejsning – et bæredygtigt alternativ? Af Aude, E. et al. (elektronisk) (i trykken)

Undersøgelserne i denne rapport beskriver effekter af suspenderet og sedimenteret uorganisk materiale på udvalgte dyrearter. Der blev gennemført 3 typer undersøgelser: "Katastrofescenarium", hvor et stykke havbund blev dækket med sand og udviklingen i dyrelivet efterfølgende blev fulgt. "Akutte effekter" blev målt ved at bestemme filtreringshastigheder og adfærdsrespons hos forskellige fastsiddende bunddyr. "Sublethale effekter" blev bestemt i længerevarende vækstforsøg. I katastrofescenariet forblev bunden dækket af sand i flere måneder og der var en betydelig effekt på forekomst af forskellige arter i op til 1 år efter udlægning af sandet. Der kunne ikke dokumenteres akut dødelighed i laboratorieforsøg, men såvel aktivitet hos mosdyr som filtrering hos søpunge og hestemusling blev påvirket af stigende koncentrationer af partikulært materiale. Der kunne i vækstforsøg ikke demonstreres effekter af forhøjede koncentrationer af suspenderet uorganisk materiale i vandfasen på hverken mosdyr eller søpunge. Samlet kan det konkluderes at i umiddelbar nærhed af indvinding af råstoffer, vil der være betydelige effekter på bundfaunaen, men at effekten af suspenderet materiale længere fra indvindingsområdet vil være af begrænset varighed og betydning.

Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

ISBN 87-7772-665-0
ISSN elektronisk 1600-0048