

NPo-forskning fra Miljøstyrelsen

Nr. C7 1990

Biologisk struktur i små vandløb



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

**NPo-forskning fra Miljøstyrelsen
Nr. C7 1990**

Biologisk struktur i små vandløb

Torben Moth Iversen, Niels Thyssen,
Karina Kjeldsen
Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling
for Ferskvandsøkologi
Peer Lund-Thomsen, Jens Thorup,
Niels Bo Jensen, Carsten Lauge Pedersen,
Thomas Winding
Københavns Universitet, Ferskvandsbiologisk
Laboratorium
Lars Peter Nielsen
Århus Universitet, Institut for Genetik og Økologi

**MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEKET
Strandgade 29
1401 København K**

**Miljøministeriet
Miljøstyrelsen**



Indholdsfortegnelse

	side
1. Sammendrag	5
2. Indledning	6
3. Lokalitetsbeskrivelser	8
4. Metoder	11
4.1. Algebiomasse, invertebrater og lys	11
4.2. Intensivundersøgelsen i Gelbæk	15
5. Resultater: Skærbæk	16
5.1. Makrofytter	16
5.2. Algebiomasse og organisk stof på finkornet sediment	17
5.3. Algebiomasse på sten	19
5.4. Invertebratfaunaens sammensætning	20
5.5. Ernæringsbiologi hos Gammarus pulex L.	23
5.6. Feltforsøg med tilsætning af fosfor	25
6. Resultater: Ellerup Bæk og Dalby Bæk	29
6.1. Algebiomassens udvikling	29
6.2. Invertebrater	33
7. Resultater: Gelbæk	37
7.1. Algebiomassens udvikling 1987-89	37
7.2. Invertebrater	39
7.3. Intensivundersøgelsen 1988	43
8. Regulering af algebiomassen i små vandløb	49
8.1. Fysisk/hydrauliske faktorer	49
8.2. Kemiske faktorer	54
8.3. Biologisk regulering	57
9. Regulering af invertebratpopulationerne	59
10. Referencer	62
Registreringsblad	66

1. Sammendrag

I undersøgelsen er der foretaget måling af de bundlevende algers årstidsudvikling på 6 strækninger i 4 små jyske vandløb. Vandløbene var meget forskellige med hensyn til afstrømningskarakteristik, lysforhold, koncentration af opløst uorganisk fosfor, fauna- og sedimentssammensætning.

Den fundne årstidsvariation og algernes maksimale biomasseudvikling er vurderet i forhold til de væsentligste regulerende faktorer: Lystilgang til bunden, sedimentstabilitet, invertebratgræsning og vandets fosforkoncentration. Reguleringen af de bundlevende algers udvikling i de undersøgte vandløb er særdeles kompleks, og betydningen af de enkelte reguleringsmekanismer varierer fra vandløb til vandløb og endog inden for korte afstande i det enkelte vandløb afhængigt af bundmaterialets beskaffenhed.

Lysset er en nøgelfaktor. I vandløb uden skyggegivende bredvegetation eller grøde følger algebiomassen lysets årsvariation. Bred- og grødeskygning modificerer dette forløb i de fleste vandløb, og algeudviklingen finder sted i en relativ kort periode i foråret. Der blev også fundet indikationer på, at årstidsudviklingen blev modificeret af algegræssende invertebrater. Deres forekomst var bestemt af vandkemiske forhold, voldsomme afstrømningsbegivenheder i vinterperioden og bundens beskaffenhed. Græsning kan potentielt reducere algemængden væsentligt på stenet bund, mens den var uden betydning på finkornet, sandet bund.

Den maksimale algebiomasse på finkornet sediment varierede meget fra vandløb til vandløb. I vand-

løb med stabil bund fandtes meget høje algebiomasser, mens kanaliserede vandløb med ustabile bundforhold og vandrede sandbanker fremviste meget lavere maksimumbiomasser.

Vandets fosforkoncentration har betydning for algeudviklingen. Eksperimentel forøgelse af P-koncentrationen i en forsøgsopstilling i et vandløb næsten uden fosfor i vandet viste en signifikant forøget algeudvikling efter P-tilsætning.

En sammenstilling af målinger af den maksimale algebiomasse i vandløb med forskellig P-koncentration viste, at fosforkoncentrationer under $0,1-0,2 \text{ mg P l}^{-1}$ kan begrænse den maksimale algebiomasse på både finkornet sediment og sten/klipper. Betydningen af P kan imidlertid ofte overlejres af andre reguleringsmekanismer. Niveaueet for maksimumalgebiomassen ved en given P-koncentration er højest på sten/klipper.

2. Indledning

Bundlevende mikroalger udgør en væsentlig komponent i den biologiske struktur i mange vandløb, hvor lysforholdene tillader det.

Bundlevende
algers betydning
i vandløb

De bundlevende alger kan være en vigtig fødekilde for en række vandløbsinvertebrater. De kan således have kvantitativ betydning for invertebratproduktionen og dermed indirekte for de højere trofiske niveauer, herunder fiskefaunaen. Samtidigt kan store mængder af bundlevende alger via deres respiration og fotosyntese forårsage så store svingninger i iltkoncentrationen, at de forringer levevilkårene for de øvrige vandløbsorganismer. Ligeledes er kvælstoffjernelsen på vandløbsbunden tæt knyttet til udviklingen af algebiomassen.

De danske vandløb er overvejende lavlandsvandløb med lavt fald og relativt lave strømhastigheder. Bundforholdene er derfor domineret af finkornede sedimenter (ler, sand, mudder), men der forekommer også strækninger med større fald, højere strømhastigheder og stenbund. Samtidig er mere end 90% af de danske vandløb mere eller mindre regulerede (Brookes 1984).

Regulering af algemængden

Der foreligger en omfattende litteratur om de faktorer, som kan regulere algebiomassens udvikling på faste substrater (sten, klipper), medens reguleringen af algebiomassens udvikling på finkornede sedimenter kun er sparsomt behandlet. Et vigtigt bidrag er her undersøgelser i mellemstore danske vandløb (Sand-Jensen et al. 1988), medens forholdene i de små vandløb kun har været belyst i begrænset omfang (Sode 1983).

Formålet med dette projekt har derfor været at belyse de regulerende faktorer for den biologiske struktur i små vandløb med hovedvægt på regulering af algebiomassens udvikling.

Projektet blev startet i efteråret 1986 og afsluttet i sommeren 1990. Angrebsvinklen har været en kombination af

- feltundersøgelser på seks vandløbsstrækninger
- en intensiv undersøgelse af algebiomassens forårsmaksimum i Gelbæk 1988, og
- feltforsøg i Skærbæk 1989-90.

Vi vil gerne takke medarbejdere ved Danmarks Miljøundersøgelses afdeling for Ferskvandsøkologi, Ferskvandsbiologisk Laboratorium ved Københavns Universitet, Institut for Genetik og Økologi ved Aarhus Universitet og NPO-sekretariatet, Miljøstyrelsen for et godt samarbejde under projektet.

3. Lokalitetsbeskrivelse

Undersøgelserne er udført på seks strækninger på 170-250 m i fire små midtjyske vandløb, som mere udførligt er beskrevet af Thyssen et al. (1990). De undersøgte strækninger adskiller sig fra hinanden mht. næringsstofindhold, substratsammensætning og beskygningsgrad.

	Middelbredde (m)	Middeldybde (cm)	% lys ved bunden	fysisk tilstand og (bundforhold)	omgivelser
Skærbæk	4,5-5,1	10-15	58-69	naturlig (vandplanter, sand og sten)	hede, enkelte træer
Ellerup Bæk I	1,3-1,6	4-15	21-79	kanaliseret (ustabilt sand, mudder)	marker, høj urteveg.
Ellerup Bæk II	0,8-1,0	5-13	28-68	kanaliseret (sand, tørv, sten)	marker høje brinker
Dalby Bæk	2,2-2,3	11-17	-	kanaliseret (ustabilt sand, sten)	marker, enkelte buske
Gelbæk I	1,5-2,0	10-20	4-57	naturlig (sten, sand, mudder)	elletræer høj urteveg.
Gelbæk II	1,3-2,0	9-38	5-46	naturlig (sand, ler, mudder, sten)	elletræer høj urteveg.

Tabel 1.

Øversigt over udvalgte fysiske forhold på de seks undersøgte strækninger. Data fra Skærbæk omfatter hele året, medens de øvrige data kun omfatter januar-juni.

Skærbæk er et naturligt, lysåbent hedevandløb i den øverste del af Salten å-systemet (tabel 1). Skærbæk, et naturvandløb Vandføringen varierer kun beskedent over året (tabel 2), og bækken har en rig flora af undervandsplanter og emergente planter. Fosforkoncentrationerne var meget lave, medens nitratkoncentrationen var høj (tabel 3A).

3 vandløb i landbrugsområder De øvrige tre vandløb ligger i Gjærn å-systemet. De varierer betydeligt mht. omgivelser, lysforhold og sedimentstabilitet (tabel 1), vandfø-

ringsforhold (tabel 2), og fosforkoncentrationer (tabel 3A og B), medens nitratkoncentrationerne er høje i alle tre vandløb.

	År	Vandføring (l sek ⁻¹)		
		middél	minimum	maksimum
Skærbæk	1987-88	83	61	144
Ellerup Bæk	1987	19	9	49
	1988	24	7	52
Dalby Bæk	1987	98	69	163
Gelbæk	1987	55	9	377
	1988	109	4	422
	1989	41	2	395

Tabel 2.

Vandføringsforhold i de undersøgte vandløb. Data fra Skærbæk omfatter 35 målinger over hele året, medens de øvrige data dækker januar-juni. Vandføringen (Q) i Gelbæk er beregnet ud fra daglig vandstand (H) og Q/H-relationer. Vandføringen i Ellerup Bæk og Dalby Bæk er beregnet ud fra et antal målinger og en lineær regression med Gelbæk-vandføringen.

Ellerup Bæk
og Dalby Bæk

Ellerup Bæk og Dalby Bæk er begge lysåbne, kraftigt regulerede og vedligeholdte. De havde strækninger domineret af ustabil sand pga. sandvandrings, men også partier med sten. I Ellerup Bæk var der ingen vandplanter, medens der i Dalby Bæk var en meget beskedent bestand af Pindsvineknop (*Sparganium* sp.) ved undersøgelsens afslutning. Vandføringen varierede især i Dalby Bæk kun beskedent over året med en relativ stor sommervandføring (tabel 2).

Gelbæk

De to Gelbækstrækninger havde et relativt naturligt forløb med ens omgivelser og lysforhold, som ikke var forskellige i de undersøgte år. Der var ingen undervandslanter. Vandføringen varierede betydeligt over året med meget store vinterafstrømninger og meget lave sommerafstrømninger. Gelbæk I-strækningen havde lavere vanddybder,

større strømhastighed og væsentligt flere sten
end Gelbæk II-strækningen (tabel 1).

	Skærbæk	Ellerup Bæk		Dalby Bæk
	1987-88	1987	1988	1987
Antal målinger	50	7	7	5
pH	6,44 (5,91-6,83)	7,65 (7,13-8,00)	7,80 (7,54-8,02)	7,30 (7,21-7,46)
Alkalinitet (mmol l ⁻¹)	0,12 (0,079-0,183)	-	1,70 (1,51-1,84)	-
Ammonium (mg N l ⁻¹)	0,018 (0-0,043)	0,209 (0,093-0,33)	0,206 (0,016-0,377)	0,190 (0,165-0,238)
Nitrat (mg N l ⁻¹)	2,66 (0,23-3,6)	3,92 (2,75-5,49)	5,04 (3,84-7,76)	2,06 (1,42-3,65)
Opløst, uorganisk fosfor (mg P l ⁻¹)	0,003 (0-0,007)	0,004 (0-0,007)	0,013 (0,003-0,025)	0,008 (0-0,025)
Total-fosfor (mg P l ⁻¹)	0,015 (0-0,059)	0,059 (0,027-0,084)	0,055 (0,023-0,083)	0,109 (0,074-0,169)

Tabel 3A.

Oversigt over udvalgte vandkemiske parametre i de fire undersøgte vandløb. Data fra Skærbæk omfatter hele året, medens de øvrige data kun omfatter algernes vækstperioden april-juni.

	1987	Gelbæk 1988	1989
Antal målinger	13-14	7	6-7
pH	7,65 (7,12-8,54)	7,7 (7,28-8,0)	7,96 (7,55-8,34)
Alkalinitet (mmol l ⁻¹)	2,92 (1,84-3,88)	3,14 (1,95-3,64)	3,23 (2,35-3,87)
Ammonium (mg N l ⁻¹)	-	0,469 (0,061-0,98)	0,52 (0,128-1,89)
Nitrat (mg N l ⁻¹)	7,81 (3,15-13,0)	5,39 (2,83-10,9)	5,79 (1,94-12,4)
Opløst, uorganisk fosfor (mg P l ⁻¹)	-	0,186 (0,051-0,324)	0,254 (0,131-0,604)
Total-fosfor (mg P l ⁻¹)	0,295 (0,125-0,508)	0,273 (0,092-0,399)	0,411 (0,228-1,01)

Tabel 3B. Oversigt over udvalgte vandkemiske parametre i Gelbæk. Data omfatter vækstperioden april-juni 1987-1989.

4. Metoder

4.1. Algebiomasse, invertebrater og lys

Prøvetagning

Kvantitative prøver til bestemmelse af algebiomassen og invertebratfaunaen blev taget "stratified random". Hver strækning blev opdelt i fem lige lange delstrækninger, og en femtedel af transekterne blev valgt tilfældigt i hver af disse. Hvert transekt blev inddelt i 10 lige store afsnit. Prøvens placering blev bestemt ved tilfældigt at vælge et tal y mellem 0 og 10. Hvis y var 0 blev prøven taget umiddelbart ved den ene bred og ellers $\frac{y}{10}$ x transektets bredde fra bred-

den. Det blev tilstræbt, at hvert tal mellem 0 og 10 blev brugt lige hyppigt.

Undersøgelser
på finkornet
sediment

På finkornet substrat blev prøverne taget med et gennemsigtigt plexiglasrør (areal $5,3 \text{ cm}^2$). Med et stempel skubbedes sedimentkernen op af røret, og den øverste cm blev delt i 2 halvdele. Den ene halvdel overførtes til en digel til bestemmelse af organisk stof, medens den anden halvdel blev overført til en 100 ml kolbe til bestemmelse af algebiomassen målt som klorofyl.

Bestemmelse af
organisk stof

Digel + prøve blev tørret ved $105 \text{ }^\circ\text{C}$ til konstant vægt (18-24 timer), vejjet, glødet ved $550 \text{ }^\circ\text{C}$ i 2-3 timer og vejjet igen efter afkøling i eksikator. Mængden af organisk stof blev beregnet som askefri tørvægt (AFTV).

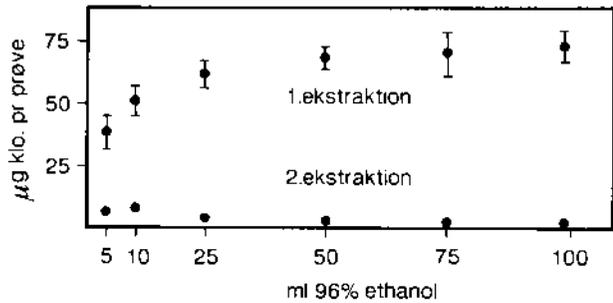
Klorofyl-
bestemmelse

Klorofylindholdet i sedimentet blev ekstraheret med 50 ml 96% ethanol. Prøven behandlede med ultralyd (2000 Hz) i 15 min., og ekstraktionen foretog derefter i mørke i 8-12 timer. Absorption og klorofylmængde bestemtes som angivet af Søndergaard og Riemann (1979).

Vurdering af
klorofylmetode

Forskellige ekstraktionsmidler og -metoder ved sedimentanalyser giver meget forskellige resultater (Hansson 1988). Ved ekstraktion er især vandindholdet af betydning (Jespersen og Christoffersen 1987). Nærværende metode blev valgt efter en række forforsøg (figur 1). Algebiomassen blev målt som totalklorofyl. Der er ikke gjort forsøg på at kvantificere klorofylnedbrydningsprodukter, da det er uklart, hvad der reelt måles ved f.eks. syretilsætning (Riemann, pers. komm.). Det fremgår af ovenstående, at sammenligninger mellem forskellige undersøgelser med forskellige ekstraktionsmetoder skal foretages med varsomhed.

Sand fra Esrum å okt-nov 1987



Figur 1.

Effektiviteten af ekstraktion af klorofyl med 96% ethanol som funktion af den anvendte mængde ethanol. Gennemsnit $\pm 95\%$ C.L. er angivet.

Vertikal fordeling af klorofyl

Ved analysen af den vertikale fordeling af klorofyl i sedimentprøver i Skærbæk blev der taget prøver ned til 10 cm's dybde. Umiddelbart efter prøvetagningen blev prøverne nedfrosset i flydende kvælstof (-196°C). I frosset tilstand blev prøverne skåret i skiver på ca. 1 cm, og efter optøning blev klorofyl i hver enkelt skive bestemt som beskrevet ovenfor.

Invertebrater

Kvantitative prøver til bestemmelse af invertebratfaunaen på finkornet sediment blev taget med et gennemsigtigt plexiglasrør (areal: $5,3\text{ cm}^2$ eller 21 cm^2). Prøverne konserveredes i felten med 4% formalin, skylledes i laboratoriet gennem en 0,2 mm sigte og udsorteredes manuelt uden forstørrelse.

Undersøgelser på stenet substrat

1-3 sten med et samlet areal på $20-60\text{ cm}^2$ udgjorde en prøve. Ved prøvetagningen anbragtes et net (maskevidde: 0,2 mm) umiddelbart bag stenen(e) for at fange invertebrater, som blev revet løs af strømmen. Nettets indhold konserveredes i 4% formalin, og prøverne behandledes som beskrevet for sedimentprøverne. Stenen(e) anbragtes i en plasticbeholder, dækkedes med 96% ethanol, og klorofyl bestemtes, som beskrevet ovenfor. Derefter rensedes stenen(e) omhyggeligt ved børstning, og

invertebraterne kunne separeres. De to faunaprøver udgjorde tilsammen det pågældende stenareals fauna.

Stenenes projicerede areal bestemtes ved at tegne stenenes omrids på millimeterpapir og beregne arealet.

Gennemsnitsantal pr. m^2 af de enkelte taxa og for hele faunaen beregnedes ved hver prøvetagning. Gennemsnitsantal for hele prøvetagningsperioden blev bestemt under hensyntagen til tidsinterval-lerne mellem prøvetagningerne, og 95% C.L. bereg- nedes efter principperne i Newmann og Martin (1983).

Gruppering af invertebrater

De fleste vandløbsdyr er mere eller mindre alt-ædende, men ud fra de enkelte arters morfologiske og adfærdsmæssige tilpasninger har Cummins (1973) opstillet en række funktionelle ernæringstyper:

- iturivere (shredders): findeler hele blade
- skrabere (scrapers): lever af algebelægninger på faste overflader
- sedimentædere (gathering collectors): lever af fine partikler på/i sedimentet
- filtratorer (filtering collectors): filtrerer fine partikler fra vandet
- rovdyr (predators): lever af andre dyr.

Inddelingen er af Cummins (1973) foretaget for insekter, og de enkelte insekttaxa er her place- ret i funktionelle ernæringstyper efter Merritt og Cummins (1978). Andre taxa er henført til ernæringstype bl.a. efter Iversen (1988). Enkelte taxa bl.a. Orthocladinae er henført til to ernæringstyper, mens Nematoda og Oligochaeta ikke er henført til funktionelle ernæringstyper.

Den kvantitative forekomst af de enkelte funktionelle ernæringstyper i et invertebratsamfund er et udtryk for det pågældende samfunds kapacitet til at omsætte de forskellige fødekategorier. I denne undersøgelse er den kvantitative forekomst af skrabere brugt til at vurdere græsningstrykket på algebiomassen.

Måling af lys ved bunden

Efter hver algeprøve blev lysindstrålingen umiddelbart over sedimentet og ca. 1,5 m over jorden i åbent land målt samtidigt over 30 sek. med lysmålere (LI-192SA og LI-190SA) og registreret på datalogger (LI-CORR 1000). Herved kunne den relative indstråling ved sedimentoverfladen på prøvetagningstidspunktet bestemmes.

4.2. Intensivundersøgelsen i Gelbæk

Undersøgelsen gennemførtes i april-juni 1988. Undersøgelsen blev ufrivilligt afbrudt i slutningen af juni, da et lynnedslag ødelagde alle de elektriske installationer.

Automatisk prøvetagning

I strækningens endepunkter placeredes en automatisk prøvetager, som hvert 5. minut udtog vand, således at døgnmiddelkoncentrationen af alger og partikulært organisk stof (POM) kunne bestemmes. Ud fra døgnmiddelkoncentration og døgnmiddelvandføring kunne døgntransporten i strækningens endepunkter bestemmes.

Vandføringen målt kun i strækningens øvre ende, og vandtilførslen på strækningen målt i en typisk vandføringssituation (10 l sek^{-1}) til 10% ved hjælp af kontinuerlig tilsætning og måling af klorid i vandløbet.

Den absolutte indstråling af fotosyntetisk aktivt lys blev bestemt ud fra kontinuerlige lysmålinger

fra Statens Planteavlsvforsøg, Afdeling for Jordbrugsmeteorologi, Foulum og de aktuelle lysmålinger i forbindelse med måling af algebiomassen (4.1.).

Feltmåling af ilt og vandtemperatur

Ilt og vandtemperatur målt med 5 minutters interval i strækningens endepunkter med iltelektroder og termistorer. Bortset fra enkelte udfald omfatter de perioden 13. april-6. juni.

Beregning af iltomsætningsrater

Genluftningskonstant, primærproduktion og respiration blev estimeret ud fra ilt-, temperatur- og lysdata fra 13.-17. maj, som var en klarvejrperiode, hvor der kunne antages fuld overensstemmelse mellem lysindstrålingen i Foulum og Gelbæk. Genluftningskonstanten i den øvrige periode beregnedes ved ekstrapolation ved hjælp af en empirisk sammenhæng mellem genluftning, vanddybde og vandføring (Thyssen og Erlandsen 1987). Derefter kunne nettoprimærproduktion og natrespiration beregnes. Bruttoprimærproduktionen estimeredes under antagelse af ens respiration i lys og mørke.

5. Resultater: Skærbæk

Undersøgelserne på en 220 m lang lysåben strækning koncentreredes om makrofytter, bentiske alger på sand og invertebrater. Da stenbund kun forekom sporadisk på strækningen, blev undersøgelserne af bentiske alger og invertebrater knyttet til sten udført på et ca. 15 m langt stryg nedstrøms strækningen.

5.1. Makrofytter

På strækningen var der hele året en betydelig makrofyttbiomasse, som dækkede mellem 60-70% af

vandløbsbunden. Biomassen varierede mellem 90 g AFTV m^{-2} i marts og 170 g AFTV m^{-2} i august med en gennemsnitsbiomasse på 125 g AFTV m^{-2} (tabel 4). Heraf udgjorde undervandsplanterne ca. 80% og de emergente ca. 20%. De dominerende undervandsplanter var Hår-Tusindblad (*Myriophyllum alterniflorum*) og levermosset *Scapania undulata*, mens Næb-Star (*Carex rostrata*) var den hyppigst forekommende emergente art.

	Biomasse i g AFTV m^{-2}	
	gennemsnit	min-maks
Undervandsplanter		
<i>Scapania undulata</i> (L.) Dum.	16,9	9,0- 26,1
<i>Myriophyllum alterniflorum</i> DC.	82,7	62,3-107,3
<i>Potamogeton polygonifolius</i> Pourret	0,5	0,0- 1,2
<i>Berula erecta</i> (Hudson) Coville	0,3	0,0- 1,8
Emergente	24,4	9,7- 60,6
Totalbiomasse	124,8	86,7-167,0

Tabel 4.
Gennemsnits-, minimums- og maksimumsbiomasse af plantesamfundet i Skærbæk i 1987-1988.

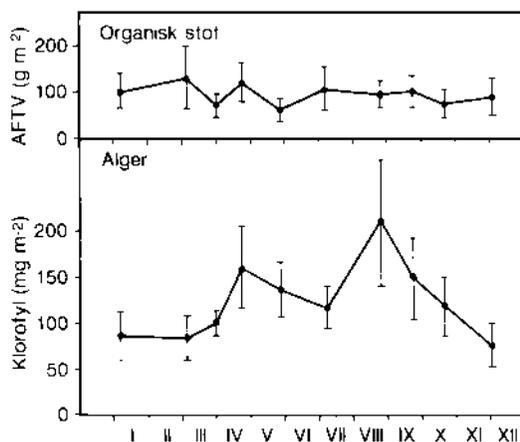
5.2. Algebiomasse og organisk stof på finkornet sediment

Diatomeer på finkornet sediment

Algerne på finkornet sediment i Skærbæk er primært diatomeer knyttet til de enkelte sandskorn (Sode 1983). Der forekom ikke dannelse af algemåtter på noget tidspunkt.

Arstidsvariation

Algebiomassen var lavest om vinteren (85-86 mg klo. m^{-2}) og havde maksimum i august (210 mg klo. m^{-2}) (figur 2). Biomassens variation forår og sommer var uregelmæssig og indicerede, at andre faktorer end lyset regulerede algebiomassens udvikling.



Figur 2.

Årstidsvariationen i mængden af bentiske alger målt som klorofyl og organisk stof på finkornet sediment i Skærbæk 1987. Gennemsnit $\pm 95\%$ C.L. er angivet.

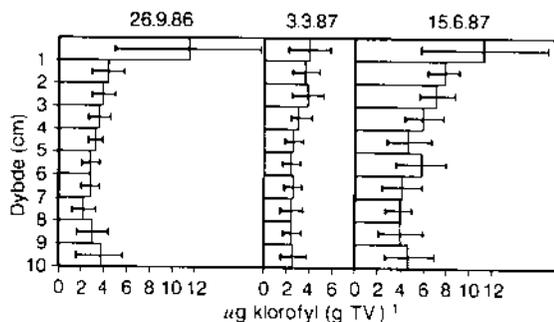
Mængden af organisk stof i sedimentet varierede mellem $60\text{--}130\text{ g AFTV m}^{-2}$ uden nogen tydelig årstidsvariation (figur 2). Hvis det antages, at forholdet klorofyl:kulstof er $1:30\text{--}50$, og forholdet kulstof:AFTV er $1:2$, så udgjorde algerne fra $4\text{--}7\%$ af det organiske stof i marts til $14\text{--}23\%$ i maj.

Vertikal fordeling i sediment: Alger helt ned til 10 cm's dybde

På sandbund var der store algemængder ned til 10 cm's dybde hele året (figur 3). I marts var der ikke signifikant flere alger i det øverste sediment, medens dette var tilfældet i sommerprøverne. Klorofylkoncentrationen i $6\text{--}10\text{ cm's}$ dybde steg signifikant fra $2,5 \pm 0,7\ \mu\text{g klo. (g sand)}^{-1}$ i marts til $4,2 \pm 1,7\ \mu\text{g klo. (g sand)}^{-1}$ i juni. Pga. lysforholdene kan stigningen ikke forklares med algeproduktion, og der er derfor sket en omlejring af sedimentet.

Algeudviklingen følger lyssets årsvariation

På lokaliteter i Skærbæk nedstrøms for vores forsøgsstrækning fandt Sode (1983) en tydelig årstidsvariation i algebiomassen med minimum om vinteren (ca. 5 mg klo. m^{-2}) og maksimum om sommeren



Figur 3.
Den vertikale fordeling af bentiske alger målt som klorofyl på finkornet sediment i Skærbæk. Gennemsnit $\pm 95\%$ C.L. er angivet.

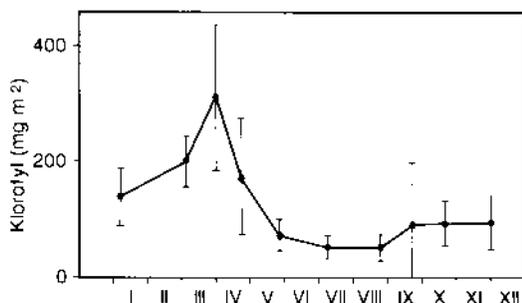
(28-33 mg klo. m^{-2}). Biomassen blev beregnet for de øverste 2,5 mm af sedimentet, og både minimum og maksimum er således væsentlig lavere end i denne undersøgelse. Den vertikale fordeling i august 1979 viste kun svagt aftagende klorofylkoncentrationer ned til 10 cm.

Ud fra Sode (1983) og denne undersøgelse kan det konkluderes, at den generelle årstidsvariation følger lyset, men at hyppig sedimentomlejring modificerer udviklingen af algebiomassen.

5.3. Algebiomasse på sten

Algeudviklingen på sten følger ikke lysets årstidsvariation

Som på sandbund var diatomeer en vigtig del af algefloraen på sten, men desuden var rødalgen *Audienella* sp. og skorpeformede blågrøn-alger kvantitativt vigtige. Algebiomassens årstidsvariation viste et maksimum på 310 mg klo. m^{-2} i marts og et minimum på 52-54 mg klo. m^{-2} i juli-august (figur 4). Årstidsvariationen på sten afveg således markant fra årstidsvariationen på finkornet sediment, indikerende, at de regulerende faktorer var forskellige på de to substrater.

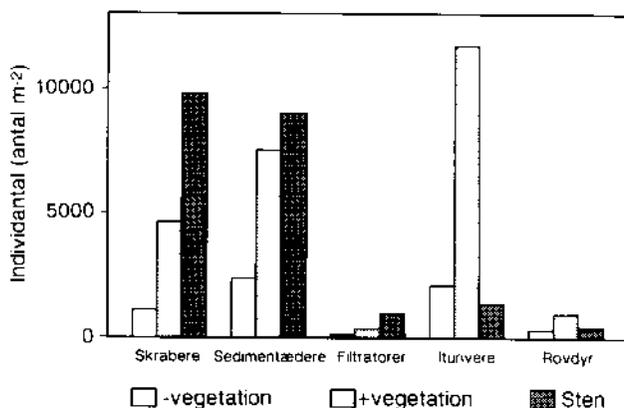


Figur 4.
 Årstidsvariationen i mængden af benthiske alger målt som klorofyl på sten i Skærbæk 1987. Gennemsnit \pm 95% C.L. er angivet.

5.4. Invertebratfaunaens sammensætning

Forskellige invertebratgrupper på sand og sten

Invertebratfaunaen i sedimentprøver uden makrofyter, sedimentprøver med makrofyter og på sten var såvel kvalitativt som kvantitativt signifikant forskellige (tabel 5). Disse forskelle afspejledes ligeledes i fordelingen af funktionelle ernæringstyper (figur 5).



Figur 5.
 Invertebratfaunaens gennemsnitlige fordeling på funktionelle ernæringstyper i sedimentprøver uden vegetation, sedimentprøver med vegetation og på sten i Skærbæk 1987.

	Sediment		Sten
	- veg.	+ veg.	
Hydra sp.	-	10± 4	-
Tricladida	10± 3	51± 9	59± 13
Nematoda	34± 10	273± 35	34± 14
Stylodrilus sp.	15± 5	111± 72	-
Lumbriculidae, øvrige	122± 40	500± 63	-
Limnodrilus sp.	39± 9	37± 8	-
Tubificidae, øvrige	102± 19	1434± 255	5± 2
Naididae	60± 25	957± 162	131± 11
Eiseniella tetraedra Sav.	-	7± 2	6± 3
Erpobdella sp.	-	2± 2	-
Asellus aquaticus L.	65± 44	801± 86	-
Gammarus pulex L.	1955± 15	10176± 433	1080± 80
Taeniopteryx nebulosa L.	-	8± 2	-
Amphinemura sp.	13± 5	60± 11	27± 5
Nemoura sp.	-	27± 8	3± 2
Protonemura sp.	22± 7	89± 14	177± 32
Leuctra sp.	16± 6	555± 41	120± 16
Baetis sp.	83± 15	602± 56	2183± 93
Paraleptophlebia sp.	-	17± 5	-
Sialis sp.	-	2± 1	-
Dytiscidae	-	3± 2	-
Elmis aenea Ph. Müller	5± 2	69± 9	65± 10
Helodes sp.	-	11± 5	-
Rhyacophila sp.	8± 3	7± 2	88± 10
Agapetus sp.	108± 32	58± 12	681± 60
Ptilocolepus granulatus Pictet	-	80± 25	-
Hydropsyche sp.	-	2± 1	-
Plectrocnemia conspersa Curtis	-	9± 3	-
Ecclisopteryx dalecarlica Kol.	16± 5	7± 4	3± 2
Limnephilidae, øvrige	9± 5	213± 23	33± 9
Silo sp.	234± 73	63± 9	62± 10
Sericostoma personatum K. & Sp.	78± 12	299± 21	-
Tipulidae	-	4± 2	-
Limoniidae	264± 26	306± 18	37± 7
Dixidae	-	5± 2	7± 3
Simuliidae	99± 18	364± 86	951± 98
Tanypodinae	33± 8	575± 39	9± 3
Prodiamesa sp.	17± 5	127± 27	-
Brillia sp.	9± 4	135± 33	6± 2
Orthoclaadiinae, øvrige	1280± 156	8079± 450	1244± 636
Chironomini	305± 43	921± 96	989± 60
Micropsectra sp.	39± 15	834± 228	32± 6
Tanytarsini, øvrige	1101± 141	596± 81	216± 27
Ceratopogonidae	2± 1	27± 6	9± 3
Empedidae	44± 11	22± 4	364± 32
Hydracarina	3± 2	13± 3	206± 35
Pisidium sp.	-	2± 1	-
Ancylus fluviatilis Müller	30± 12	13± 4	1530± 77
Hele faunaen	6220± 347	28563± 922	21554± 873

Tabel 5.

Invertebratfaunaens gennemsnitlige individantal pr. m² i Skærbæk 1987. Gennemsnit ±95% C.L. er angivet.

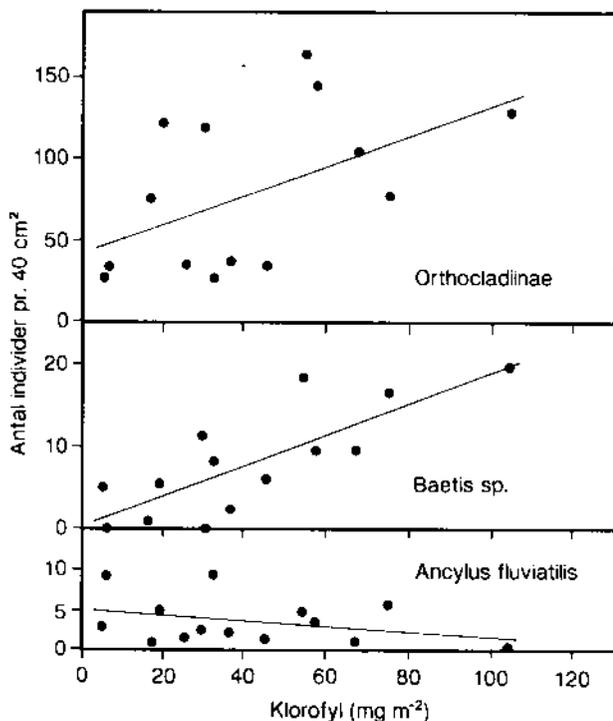
Invertebratfaunaen i sedimentprøver uden makrofytter udgjorde gennemsnitlig $6.200 \text{ ind. m}^{-2}$ og var domineret af *Gammarus pulex*, Tanytarsini og Orthocladinae (tabel 5). Sedimentædere (39%) og iturivere (36%) var omtrent lige talrige, mens skrabere udgjorde 19% (figur 5). Hver prøve dækkede 21 cm^2 og omfattede derfor også af og til småsten. Det må således antages, at bl.a. dyr, som *Agapetus* sp. og *Ancylus fluviatilis*, har været tilknyttet sten.

Græsning har ringe betydning på sandbund

Ved vurderingen af invertebraternes betydning for algebiomassen på finkornet sediment må det således tages i betragtning, at faunaen på finkornet sediment i tabel 5 også omfatter skrabere fra småstenene. Antallet af skrabere udgør således mindre end $1.100 \text{ ind. m}^{-2}$, hvilket indikerer at invertebraterne er uden betydning for reguleringen af algebiomassen på finkornet sediment.

Invertebratfaunaen på sten udgjorde gennemsnitlig $21.600 \text{ ind. m}^{-2}$ og var domineret af Orthocladinae, *Baetis* sp., *Ancylus fluviatilis* og *Gammarus pulex*. Skraberne udgjorde $9.700 \text{ ind. m}^{-2}$ svarende til 45%, hvilket indikerer, at invertebratgræsning er en mulig forklaring på udviklingen i algebiomassen på sten (figur 4).

Fordelingen af de dominerende skrabere i relation til algebiomassen understøtter antagelsen om græsningens betydning i Skærbæk. I juli steg således antallet af Orthocladinae og *Baetis* sp. signifikant med stigende algebiomasse (figur 6). For begge taxa fandtes der signifikant sammenhæng mellem antal og algebiomasse i de tilfælde, hvor populationstætheden var høj, og algebiomassen var lav. Dyrene er i stand til at undgå sten med lave biomasser, hvorved den tilgængelige føde og dermed deres græsning bliver optimal.



Figur 6.

Sammenhængen mellem de dominerende skrabere og algebiomassen på sten i Skærbæk 7. juli 1987.

I et tilfælde fandtes der en negativ sammenhæng mellem antallet af *Ancylus fluviatilis* (figur 6) og *Agapetus fuscipes* og algebiomassen. Antagelig skyldes denne fordeling forskelle i algesamfundene ved forskellige algebiomasser.

5.5. Ernæringsbiologi hos *Gammarus pulex* L.

Ferskvandstangloppen *Gammarus pulex* var den vigtigste invertebrat i Skærbæk (tabel 5). Artens populationsbiologi og føderelationer blev derfor nærmere undersøgt.

En størrelsesfrekvensanalyse viste, at *Gammarus pulex* har en to-årig livscyklus i Skærbæk. Arten foretrak signifikant områder med vegetation, men

var også den vigtigste komponent i faunaen i sedimentprøver uden vegetation (tabel 5).

Gammarus' fødevalg Tarmindholdet domineredes af amorft organisk stof og makrofytter (tabel 6). Især for små Gammarus pulex var diatomeer af kvantitativ betydning, mens store dyr også var rovdyr.

	Sediment med vegetation små (n=53)	store (n=52)	Sediment uden vegetation små (n=40)	store (n=8)
Amorft org. stof	55 (35-80)	35 (18-55)	36 (33-39)	31 (21-52)
Makrofytter	25 (13-44)	47 (21-64)	15 (1-29)	31 (21-46)
Mos	0	4 (3-5)	4 (0-8)	1 (<1-2)
Diatomeer	18 (<1-50)	1 (<1-3)	19 (5-33)	13 (<1-37)
Dyrisk materiale	0	6 (<1-16)	<1	19 (17-21)
Sand	2 (1-3)	4 (3-5)	23 (12-33)	4 (0-11)

Tabel 6.

Den gennemsnitlige procentvise fødesammensætning hos Gammarus pulex fra forskellige substrater i Skærbæk 1987. Der er analyseret dyr fra januar, april og september og der er angivet det fælles gennemsnit samt minimum- og maksimumværdier.

Vækstforsøg med forskellige fødeemner viste, at mellemstore Gammarus pulex (gennemsnitsvægt: 1,27 mg TV) voksede, når føden var gamle eller unge skud af Hår-Tusindblad. Derimod var der ingen vækst på detrituspartikler, tørvemos (Sphagnum sp.), levermos eller sand med diatomeer. Store Gammarus pulex (gennemsnitsvægt: 4,2 mg TV) voksede ikke, men vægttabet var mindst, når føden var Hår-Tusindblad.

Som forventet afspejlede tarminholdet hos forsøgsdyrene føden, men diatomeer udgjorde kun 1-3% af tarminholdet hos dyrene fra forsøg med sand med alger. Gammarus pulex er således ikke i stand til at indtage algerne på sandbund. Sammenholdes disse resultater med tarminholdet i Gammarus pulex i sedimentprøver uden vegetation (tabel 6), må det antages, at diatomeerne i tarminholdet formentlig hidrører fra diatomebelægningerne på sten.

Makrofytter,
vigtig bestand-
del af Gamma-
rus' føde

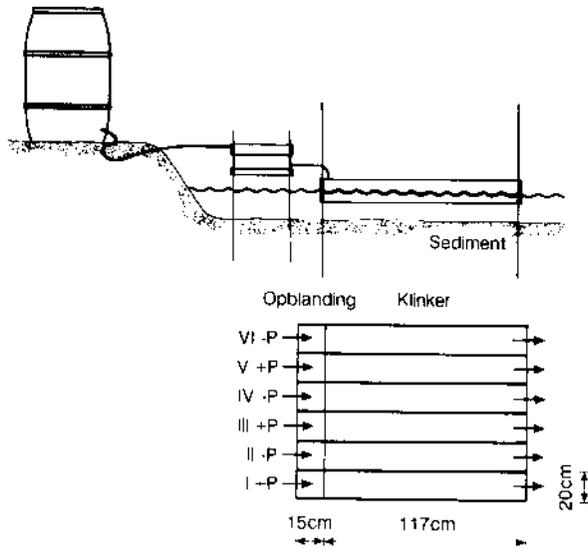
Produktionen af Gammarus pulex i Skærbæk beregnes til $52 \text{ g TV m}^{-2} \text{ år}^{-1}$, og på grund af dyrenes fordeling (tabel 5) foregik ca. 92% af produktionen i områder med vegetation. Ud fra antagelser om fødesammensætningens årstidsvariation og forskellige fødeemners assimilationskoefficienter kan det estimeres, at ca. 40% af Gammarus pulex-produktionen er baseret på makrofytvegetationen. Det er første gang, at det er påvist, at makrofytter kvantitativt kan have så stor betydning for invertebratproduktionen.

5.6. Feltforsøg med tilsætning af fosfor

Formålet med feltforsøgene var at belyse fosfors betydning for reguleringen af algebiomassens udvikling.

Eksperimentel
forøgelse af
P-koncentra-
tion

Der etableredes en forsøgsopstilling bestående af en ramme med seks parallelle render (figur 7), som anbragtes på en strækning med strømhastigheder $>20 \text{ cm sek}^{-1}$. I hver rende var der opstrøms en opblandingszone efterfulgt af en zone med 20 stk. $10 \times 10 \text{ cm}$ klinker. Efter en koloniseringsfase af ca. 1 måneds varighed doseredes i tre af renderne kontinuerligt gennem en kanyle en fosfatopløsning via en tønne og et kammer, der regulerede trykket. De øvrige tre render var referencer. Ved



Figur 7.
Forsøgsopstilling til belysning af effekten af opløst uorganisk fosfor på den biologiske struktur.

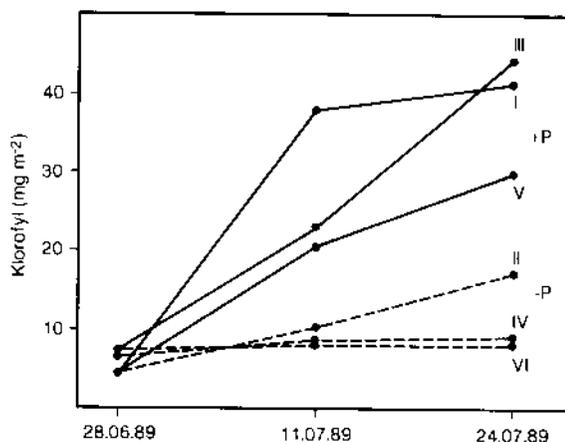
hver prøvetagning udtoges tilfældigt 4 klinker i hver rende. Prøvetagning og kvantificering af algebiomasse og invertebrater var som beskrevet for stenprøver (4.1.).

	Opl. uorg. fosfor ($\mu\text{g P l}^{-1}$)	Vandføring (l sek^{-1})	Strømhastighed (cm sek^{-1})
antal målinger	8	3	3
rende I	57 (0-251)	2,9 (2,8-3,1)	27 (26-28)
rende II	1 (0-3)	3,3 (2,8-4,0)	30 (25-37)
rende III	51 (0-167)	3,1 (2,8-3,3)	29 (25-32)
rende IV	1 (0-3)	3,2 (2,9-3,6)	30 (26-35)
rende V	36 (0-133)	3,1 (2,9-3,0)	29 (26-34)
rende VI	1 (0-3)	2,9 (2,6-3,0)	27 (23-29)

Tabel 7.
Vægtede gennemsnitskoncentrationer af opløst uorganisk fosfor, gennemsnitsvandføringer og strømhastigheder i de seks strømrender i Skærbæk juni-juli 1989. Variationen er givet i parentes.

P-tilsætning
øger algemæng-
den på sten

Vandføring, strømhastighed og fosforkoncentration i renderne i forsøget i juni-juli 1989 fremgår af tabel 7. Den 28. juni var algebiomassen 4,4-7,8 mg klo. m⁻² i de seks render (figur 8). Allerede 13 dage senere var der signifikant flere alger i renderne med P-tilsætning end i renderne uden, og det samme var tilfældet efter 26 dage.



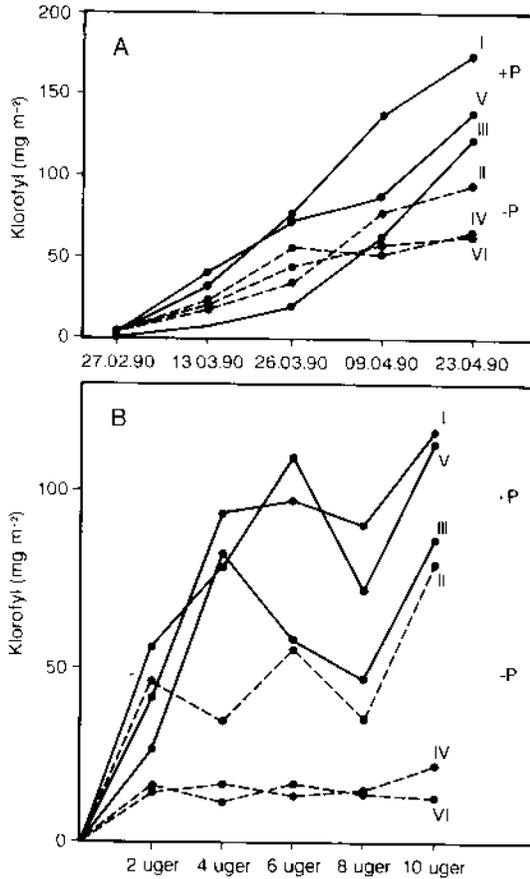
Figur 8.

Effekten af opløst uorganisk fosfor på algebiomassen på klinker i Skærbæk juni-juli 1989. Hvert punkt er gennemsnit af 4 målinger. P-koncentration, vandføring og strømhastighed i renderne I-VI fremgår af tabel 7.

Jo flere alger,
jo flere dyr

Der var ligeledes signifikante forskelle i faunen (tabel 8). Efter 13 dage var der forskelle på to arter/grupper og efter 26 dage på 4 arter/grupper. Efter dag 26 var der en signifikant sammenhæng mellem klorofylmængden og antal Chironomider, medens dette ikke var tilfældet for de øvrige arter/grupper. Begge dage var der totalt signifikant flere dyr i renderne med P-tilsætning end uden P-tilsætning. Det kan således konkluderes, at tilsætning af fosfor signifikant øgede mængden af alger og af en række dyr.

I februar-april 1990 gennemførtes et tilsvarende forsøg, hvor renderne dog blev placeret tre og tre med ca. 6 m imellem. Fosfor blev tilført til tre af renderne med en konstant rate på 2,8 mg



Figur 9.

Effekten af opløst uorganisk fosfor på algebiomassen på klinker i Skærbæk foråret 1990. Hvert punkt er gennemsnit af 4 målinger. A: algebiomassens udvikling på klinker udlagt 1 januar, fosfortilsætning påbegyndt 27. februar. B: algebiomassens udvikling på klinker indsamlet maj 1990, klinkerne havde været udlagt 2-10 uger forinden.

min^{-1} . Fire kontrolmålinger over forsøgsperioden viste, at koncentrationen i renderne med P-tilsætning varierede mellem $13-125 \mu\text{g PO}_4^{3-}\text{-P l}^{-1}$ alt efter vandføringsforholdene. I kontrolrenderne varierede koncentrationen mellem $5-8 \mu\text{g PO}_4^{3-}\text{-P l}^{-1}$. Der var generelt højest algebiomasse i renderne med P-tilsætning (figur 9). Kontrolrende II havde også en høj algebiomasse, hvilket måske skyldtes en højere P-koncentration end i de to øvrige kontrolrender, idet den var placeret nedstrøms for renderne IV-VI.

	Dag 0		Dag 13		Dag 26	
	- p	+ p	- p	+ p	- p	+ p
Algebiomasse (mg klo. m ⁻²)	6,5± 1,6	5,5± 1,2	9,2± 2,9	27,4± 8,5 s	11,7± 3,8	38,9± 8,8 s
Antal invertebrater prøve⁻¹						
Gammarus pulex L.	1,8± 1,0	1,1± 0,8	0,4± 0,3	1,8± 1,5	0,3± 0,4	2,1± 1,5 s
Leuctra sp.	1,6± 1,2	0,8± 0,6	0,9± 0,6	1,8± 0,8 s	1,8± 1,0	2,6± 1,5
Baetis sp.	0,1± 0,2	0,3± 0,3	3,6± 2,4	4,4± 2,1	1,0± 0,4	9,7± 6,1 s
Chironomidae	48,8±12,2	47,7±10,3	108,8±16,9	135,4±21,7 s	147,0±23,7	305,9±47,9 s
Empedidae	0,0	0,0	0,2± 0,2	0,2± 0,2	0,1± 0,2	0,7± 0,5 s
Øvrige invertebrater	0,0	0,1± 0,2	1,1± 1,6	1,4± 2,0	0,3± 0,3	0,7± 0,8
Hele faunaen	52,3±13,1	50,0±10,3	115,0±17,2	145,0±21,9 s	150,5±23,7	321,7±48,8 s

Tabel 8.

Algebiomasse og invertebrater i fosfortilsætningsforsøget i Skærbæk 28.6-24.7 1989. Gennemsnit ±95% C.L. er angivet, n = 12. s angiver, at forskellen er signifikant (p < 0.05).

6. Resultater: Ellerup Bæk og Dalby Bæk

6.1. Algebiomassens udvikling

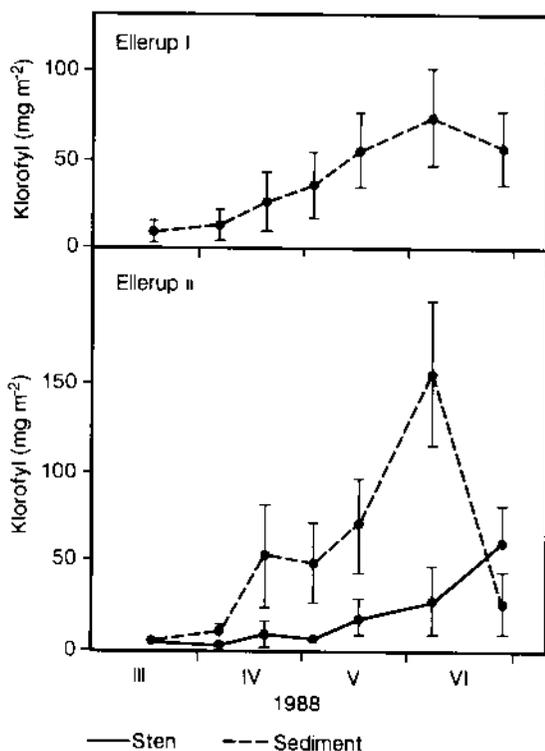
Arstidsvariation

Algebiomassen på finkornet sediment i Ellerup I og II i 1988 var i marts meget lav. Maksimum forekom i begyndelsen af juni, hvorpå den aftog (figur 10).

Algebiomassens udvikling afveg signifikant fra hinanden på de to strækninger (figur 10). Både udviklingshastighed og maksimumbiomasse var lavest i Ellerup I, selvom lysforholdene var lidt bedre (tabel 1), og næringsstofkoncentrationerne de samme.

Algerne er ikke jævnt fordelt på bunden

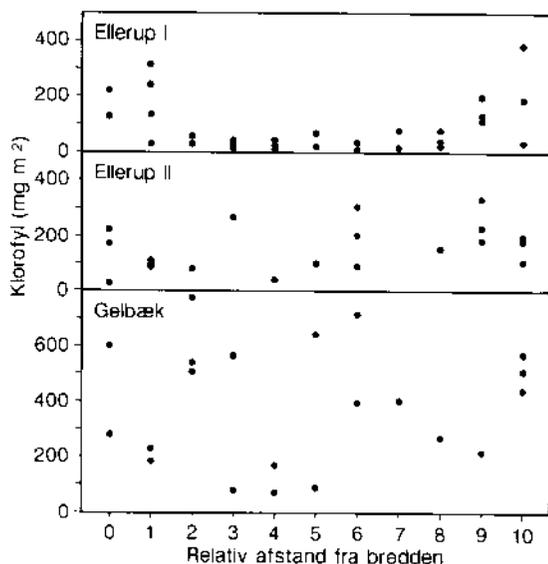
Algebiomassens fordeling på vandløbsbunden (figur 11) forklarer den relativt lave gennemsnitsbiomasse på Ellerup I. Høje klorofylkoncentrationer forekom kun inde langs bredden, hvor der etableredes algeomatter på mudderbunden. Her nåede klorofylkoncentrationen samme niveau som på Ellerup



Figur 10. Udviklingen i biomassen af bentiske alger målt som klorofyl på finkornet sediment og sten på to strækninger af Ellerup Bæk i foråret 1988. Gennemsnit $\pm 95\%$ C.L. er angivet.

Stabil bund
flere al-
ger end usta-
bil bund

II (figur 12). Midtstrøms var der under hele undersøgelsen sandvandring, og det ustabile substrat havde konstant lave klorofylkoncentrationer. På Ellerup II, hvor der ikke forekom sandhævning, fandtes der høje algebiomasser over hele vandløbsbunden. Bundforholdene var mere varierede (tabel 1), men algebiomassen på sand var ikke signifikant forskellig fra algebiomassen på de øvrige substrater (tabel 9). Det kan derfor konkluderes, at sedimentstabiliteten var en væsentlig regulerende faktor for den maksimale algebiomasse på Ellerup I. I Dalby Bæk og på Ellerup Bæk I i 1987 var biomasseudviklingen, biomassefordelingen og den maksimale biomasse på finkornet substrat meget lig forholdene på Ellerup I i 1988 (tabel 10).



Figur 11.

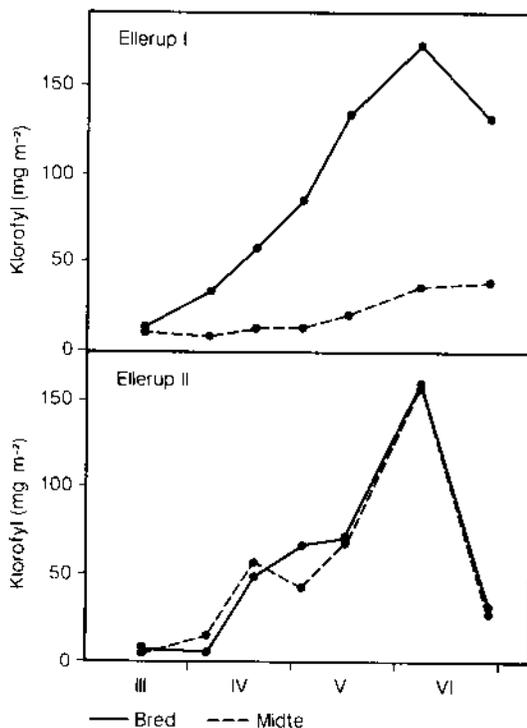
Fordelingen af biomassen af bentiske alger målt som klorofyl på finkornet sediment i vandløbets tværsnit på to strækninger af Ellerup Bæk og i Gelbæk i maj 1988. 0 og 10 er vandløbets henholdsvis venstre og højre bred og 5 er midtstrøms.

Algebiomassens udvikling på sten afveg signifikant fra udviklingen på finkornet substrat i både Dalby Bæk 1987 og Ellerup II 1988 (figur 10 og tabel 10). Det kan derfor konkluderes, at på dette substrat var det andre faktorer, som regulerede biomasseudviklingen.

	Mudder	Ler	Tørv	Sand
Ellerup I				
april-maj	-	-	-	16 ± 6
7. juni	201 ± 78	-	-	39 ± 15
27. juni	160 ± 49	-	-	32 ± 10
Ellerup II				
april-maj	237	57 ± 27	46 ± 10	57 ± 28
7. juni	225 ± 123	103 ± 90	174 ± 62	150 ± 167
27. juni	-	23 ± 28	66 ± 97	22 ± 14

Tabel 9.

Algebiomassen (mg klo. m^{-2}) på forskellige substrater i Ellerup Bæk 1988. Der er angivet gennemsnit ± 95% C.L.



Figur 12.

Udviklingen i biomassen af bentiske alger målt som klorofyl på finkornet sediment henholdsvis langs bredden (0-1 + 9-10) og midtstrøms (2-8) på to strækninger af Ellerup Bæk i maj 1988. Numrene 0-10 angiver placeringen i vandløbets tværsnit, se figur 11.

	finkornet sediment		sten		antal målinger
	min.	maks.	min.	maks.	
Ellerup I 1987	6±5	80±72			6
Ellerup I 1988	10±6	74±28			7
Ellerup II 1988	5±2	160±41	4±4	64±21	7
Dalby Bæk 1987	20±5	102±40	77±39	157±38	5

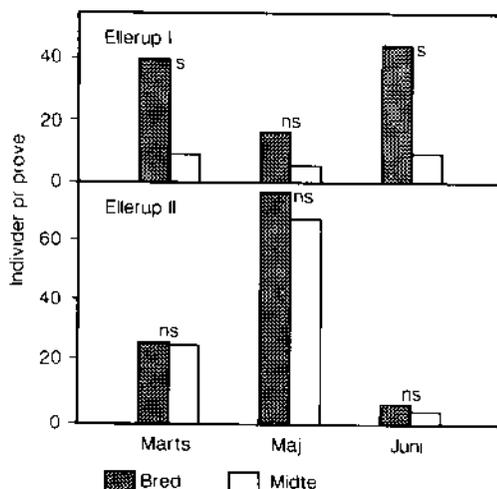
Tabel 10.

Minimums- og maksimumsalgebiomasse på finkornede sedimenter og på sten i Ellerup Bæk og Dalby Bæk i marts-juli 1987-88.

6.2. Invertebrater

Få dyr på ustabil bund

Invertebratfaunaen på finkornet sediment i Dalby Bæk og Ellerup I 1987 og 1988 var generelt fåtalrig og domineret af Oligochaeta og Chironomidae (tabel 11). Fordelingen af invertebrater i Ellerup I 1988 viser, at både tæthed og artsantal var signifikant størst inde langs bredden, medens få individer og arter forekom midtstrøms (figur 13 og 14). Da forskellen også forekom i marts, hvor der ikke var forskel på algemængden (figur 12), kan det konkluderes, at årsagen til fordelingen er forskelle i substrat, herunder substratets stabilitet. Dette understøttes af, at der i Ellerup II ikke var tilsvarende forskelle (figur 10).



Figur 13.

Antal invertebrater pr. prøve i bredprøver (0-1 + 9-10) og midtstrøms prøver (2-8) på finkornet sediment på to strækninger af Ellerup Bæk i marts-juni 1988. Numrene 0-10 angiver placeringen i vandløbets tværsnit, se figur 11.

Det fremgår af figur 15, at tætheden af skrabere på finkornet sediment var ringe i Dalby Bæk og Ellerup I 1987 og 1988. Det er derfor usandsynligt, at invertebraternes græsning er regulerende for algebiomassen på finkornet substrat på de to vandløbsstrækninger.

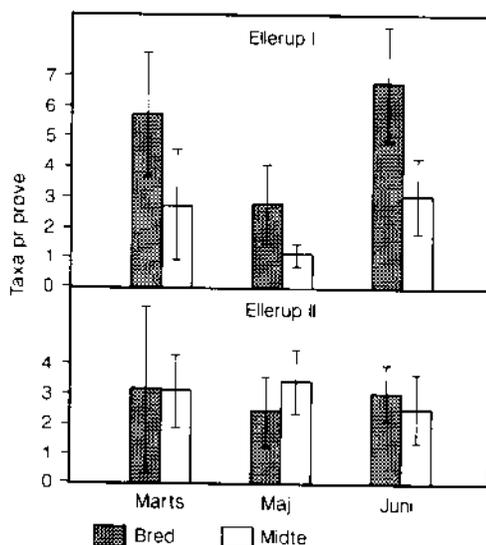
	Dalby 1987	Ellerup I 1987	Ellerup I 1988	Ellerup II 1988
Nematoda	19± 11	8± 11	-	-
Stylodrilus sp.	21± 18	-	79± 60	7± 8
Lumbriculidae, øvrige	69± 30	-	366± 287	46± 26
Limnodrilus sp.	24± 18	532± 213	2522± 1543	225± 263
Tubificidae, øvrige	630± 133	262± 80	1413± 475	337± 152
Chaetogaster sp.	7± 8	-	-	-
Eiseniella tetraedra Sav.	7± 8	8± 11	-	-
Enchytraeidae	4± 5	198± 70	-	-
Helobdella sp.	4± 5	-	-	-
Gammarus pulex L.	235± 64	24± 19	148± 44	305± 90
Amphimemura sp.	-	-	-	216± 133
Nemoura sp.	7± 6	8± 11	18± 18	3± 13
Leuctra sp.	10± 9	-	-	26± 26
Baetis sp.	6± 5	-	32± 17	94± 29
Sialis sp.	9± 8	8± 11	15± 9	-
Dytiscidae	7± 8	-	-	-
Helodes sp.	-	8± 11	-	13± 13
Hydrophilidae	-	-	17± 13	-
Limnephilidae	79± 46	8± 11	4± 5	52± 40
Polycentropidae	-	8± 11	-	-
Tipulidae	-	-	4± 5	-
Eriopterinae	-	-	-	13± 13
Limoniidae	99± 29	167± 74	122± 39	131± 25
Psychodidae	-	-	12± 12	-
Ptychoptera sp.	16± 11	63± 42	117± 72	7± 29
Dixidae	-	-	13± 13	-
Simuliidae	27± 10	87± 64	31± 21	525± 191
Ceratopogonidae	10± 9	24± 25	-	-
Tanypodinae	18± 13	-	260± 98	34± 17
Prodiamesa sp.	169± 52	532± 185	364± 86	39± 28
Diamesinae, øvrige	-	-	282± 137	13± 9
Brillia sp.	10± 8	40± 29	35± 20	85± 43
Orthocladinae, øvrige	219± 88	809± 10	551± 235	17044± 4344
Chironomi	1536± 161	643± 169	378± 94	128± 38
Micropsectra sp.	-	190± 83	502± 163	228± 56
Tanytarsini, øvrige	-	-	128± 62	6± 7
Empedidae	-	24± 19	6± 6	-
Tabanidae	-	32± 22	-	-
Cyclorrhapha	-	63± 41	-	-
Pisidium sp.	21± 14	63± 42	153± 64	-
Lymnaea pereger Müller	-	-	4± 5	-
Hele faunaen	3263± 293	3809± 758	7663± 1914	19640± 4430

Tabel 11.

Invertebratfaunanens gennemsnitlige individantal på finkornet sediment i Dalby Bæk og Ellerup Bæk i 1987 og 1988. Gennemsnit ±95% C.L. er angivet.

Græsning

Invertebratfaunaen på finkornet sediment i Ellerup II og på sten i Dalby Bæk og Ellerup Bæk II udgjorde 20.000-27.000 ind. m⁻² (tabel 11 og 12). Den primære forskel mellem sten og finkornet sediment i Ellerup II var forekomsten af kvægmyg



Figur 14.

Antal taxa pr. prøve $\pm 95\%$ C.L. i bredprøver (0-1 + 9-10) og midtstrøms prøver (2-8) på finkornet sediment på to strækninger af Ellerup Bæk i marts-juni 1988. Numrene 0-10 angiver placeringen i vandløbets tværsnit, se figur 11.

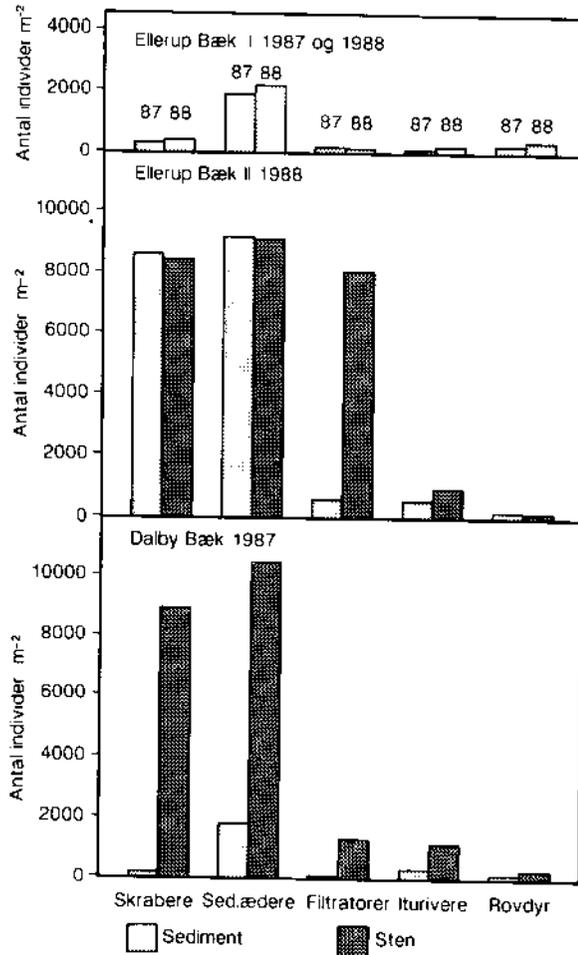
(Simuliidae) og døgnfluen *Baetis* sp. på sten. Begge er knyttet til faste overflader (Hynes 1970). Fælles for sten og finkornet sediment i Ellerup II og sten i Dalby Bæk var, at skraber var et vigtigt faunaelement, som udgjorde 8.500-8.900 ind. m^{-2} (figur 15). Det er derfor muligt, at invertebratgræsning kan være af kvantitativ betydning for algebiomassens udvikling.

Algebiomassens udvikling på henholdsvis finkornet sediment og sten i Ellerup II var signifikant forskellig (figur 10). Græsningstrykket kan være en mulig forklaring, selvom antallet af skraber var omtrent ens (figur 15). Medens skraber på finkornet sediment næsten udelukkende var dansemyg (Orthocladiinae), så er døgnfluen *Baetis* sp. en vigtig skraber på sten (tabel 12). Da den bliver væsentlig større end dansemyggene, kunne den forskellige algebiomasseudvikling på de to substrater godt skyldes forskelle i græsning af *Baetis* sp..

	Dalby 1987		Ellerup II 1988	
Nematoda	22±	21	-	-
Stylodrilus sp.	2±	2	-	-
Tubificidae, øvrige	74±	38	10±	8
Naididae	-	-	225±	74
Eiseniella tetraedra Sav.	10±	10	10±	10
Glossiphonia sp.	8±	6	-	-
Gammarus pulex L.	691±	89	502±	233
Amphinemura sp.	246±	38	610±	119
Nemoura sp.	99±	48	99±	48
Protonemura sp.	-	-	320±	113
Leuctra sp.	74±	27	41±	25
Baetis sp.	366±	62	3536±	722
Sialis sp.	-	-	5±	5
Dytiscidae	20±	9	13±	13
Rhyacophila sp.	16±	8	-	-
Limnephilidae	236±	52	-	-
Polycentropidae	-	-	23±	18
Sericostoma personatum K & Sp.	2±	2	-	-
Limoniidae	-	-	29±	24
Psychodidae	35±	15	10±	11
Culicidae	7±	6	-	-
Simuliidae	1360±	252	8047±	2710
Tanypodinae	-	-	19±	21
Prodiamesa sp.	11±	6	-	-
Diamesinae, øvrige	-	-	-	-
Brillia sp.	112±	45	91±	29
Orthocladinae, øvrige	17390±	2529	13148±	1735
Chironomini	26±	12	18±	14
Micropsectra sp.	1252±	298	194±	58
Tanytarsini, øvrige	-	-	-	-
Empedidae	22±	10	-	-
Mycetophalidae	-	-	13±	13
Hydrocarina	319±	86	73±	39
Hele faunaen	22400±	4380	27036±	6042

Tabel 12.

Invertebratfaunaens gennemsnitlige individantal på sten i Dalby Bæk 1987 og Ellerup Bæk 1988. Gennemsnit ±95% C.L. er angivet.



Figur 15.
 Invertebratfaunaens gennemsnitlige fordeling på funktionelle ernæringsstyper i perioden marts-juni i Ellerup Bæk I 1987-88, Ellerup Bæk II 1988 og Dalby Bæk 1987.

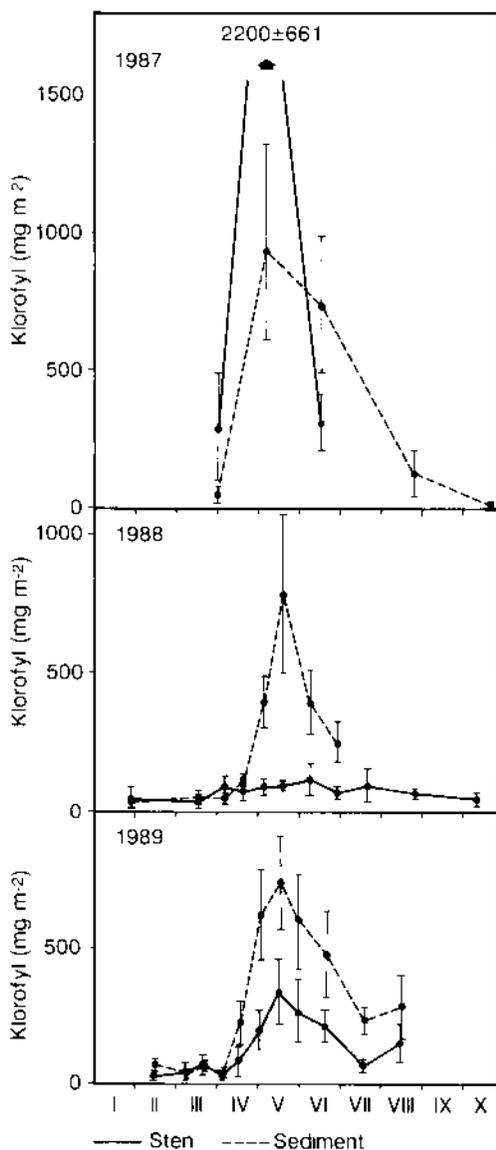
7. Resultater: Gelbæk

7.1. Algebiomassens udvikling 1987-89

Stor algebio-
 masse på fin-
 kornet sediment

Algebiomassens udvikling på finkornet sediment var relativt ens de tre år (figur 16). Algebiomassen var lav i januar-marts ($3-74 \text{ mg klo. m}^{-2}$), den steg brat til et maksimum i maj ($740-950 \text{ mg klo. m}^{-2}$), hvorpå den aftog. Det finkornede sedi-

ment var stabilt, og algebiomassens fordeling på vandløbsbunden var derfor også mere tilfældig (figur 11).



Figur 16.
 Årstidsvariationen i biomassen af bentiske alger målt som klorofyl på finkornet sediment og sten i Gelbæk 1987-1989. Gennemsnit ±95% C.L. er angivet.

Stor år til år variation i algebiomassen på finkornet sediment

Algebiomassens udvikling på sten afveg signifikant fra år til år og fra udviklingen på finkornet substrat (figur 16). I 1987 var der masseforekomst af trådalgen *Ulothrix* sp., hvilket resulterede i en maksimumbiomasse på 2.200 mg klo. m⁻². Allerede i marts var biomassen 300 mg klo. m⁻², og efter biomassemaximummet reduceredes biomassen til samme niveau medio juni. I 1988 varierede biomassen kun mellem 40-120 mg klo. m⁻², niveauet var lidt højere i sommerperioden, men der var ikke noget forårsmaksimum. Det var der til gengæld i 1989, hvor algebiomassens udvikling på sten og finkornet substrat foregik parallelt, men hvor den maksimale algebiomasse på sten (320 mg klo. m⁻²) kun udgjorde halvdelen af algemaksimummet på finkornet sediment.

Der var ingen væsentlige forskelle i lysindstråling og fosforkoncentration mellem de tre år (tabel 1 og 3B), medens vandføringen varierede en del (tabel 2).

7.2. Invertebrater

Faunaen ændrer sig i gunstig retning i Gelbæk

Den gennemsnitlige invertebratfauna ændrede sig signifikant i undersøgelsesperioden på såvel finkornede sedimenter (tabel 13) og sten (tabel 14). Medens *Asellus aquaticus*, *Gammarus pulex*, *Baetis rhodani* og *Simuliidae* ikke forekom/forekom sparsomt i 1987, så øgedes deres populationer i 1988 og 1989. I 1989 optrådte huesneglen *Ancylus fluviatilis* for første gang på stenene (tabel 14). Faunasammensætningen viste en forbedring af forureningsgraden og er i god overensstemmelse med en observeret forbedring af iltforholdene i samme periode (Thyssen, pers. medd.).

	1987 N=3, n=77	1988 N=7, n=169	1989 N=8, n=186
Tricladida	-	11± 8	-
Nematoda	8± 22	22± 17	31± 11
Stylodrilus sp.	9± 6	118± 25	-
Lumbriculidae, øvrige	401± 25	191± 35	-
Limnodrilus sp.	-	112± 24	-
Tubificidae, øvrige	13977±2743	5783±424	729±101
Naididae	2569± 635	-	6772±500
Enchytraeidae	159± 88	-	50± 21
Eiseniella tetraedra Sav.	15± 11	-	59± 26
Erpobdella sp.	152± 41	66± 14	71± 17
Helobdella sp.	11± 8	2± 1	-
Glossiphonia sp.	13± 11	8± 3	79± 21
Asellus aquaticus L.	-	28± 10	96± 27
Gammarus pulex L.	-	8± 3	225± 35
Leuctra sp.	4± 5	-	-
Baetis rhodani Pictet	-	324± 61	192± 52
Dytiscidae	11± 12	-	-
Limnephilidae	9± 10	72± 19	63± 14
Tipulidae	5± 6	-	-
Limoniidae	234± 68	163± 36	134± 31
Psychodidae	26± 15	4± 2	30± 10
Ptychoptera sp.	-	13± 10	-
Simuliidae	5± 6	370± 73	74± 22
Ceratopogonidae	38± 18	-	-
Tanypodinae	199± 50	172± 83	173± 39
Proclamesa sp.	1096± 303	39± 1	47± 21
Diamesini, øvrige	-	-	129± 54
Orthoclaadiinae	1828± 576	249± 38	327± 47
Chironomus sp.	59± 44	177± 55	-
Chironomini, øvrige	410± 86	188± 58	2054±216
Tanytarsini	2024± 717	221± 32	505± 68
Empididae	8± 7	-	17± 12
Cyclorhapha	5± 6	-	-
Hydracarina	11± 8	-	-
Lymnaea pereger Müller	4± 5	166± 35	26± 10
Pisidium sp.	4± 5	483± 56	10± 7
Hele faunaen	23294	8992	11893

Tabel 13.

Den gennemsnitlige invertebratfauna på finkornet sediment i Gelbæk i perioden marts-juni 1987-89. Antal individer m^{-2} ±95% C.L. er angivet, N = antal prøvetagninger og n = antal prøver ialt.

Græsning uden væsentlig betydning for algebiomassen på finkornet sediment

Faunaen på finkornede sedimenter i Gelbæk varierede mellem 9.000-23.000 ind. m^{-2} (tabel 13) og var i alle tre år domineret af børsteorme (64-73%) og dansemyg (12-24%). Inden for disse to hovedgrupper var der dog store forskelle på de dominerende taxa i de enkelte år. Fordelingen på

	1987 N=3, n=46		1988 N=7, n=102		1989 N=8, n=110	
Tricladida	9±	8	27±	7	-	-
Nematoda	12453±	2706	92±	25	1467±	150
Tubificidae	30±	16	374±	-	-	-
Naididae	37909±	7175	2577±	286	18910±	247
Enchytraeidae	-	-	28±	11	-	-
Eiseniella tetraedra Sav.	-	-	-	-	2±	2
Erpobdella sp.	83±	50	71±	14	130±	21
Helobdella sp.	5±	6	-	-	-	-
Glossiphonia sp.	11±	10	113±	66	110±	20
Asellus aquaticus L.	-	-	18±	5	104±	17
Gammarus pulex L.	-	-	2±	1	672±	37
Nemoura sp.	-	-	6±	3	-	-
Baetis rhodani Pictet	50±	23	2952±	258	3019±	200
Dytiscidae	-	-	2±	1	2±	1
Hydrophilidae	-	-	2±	1	4±	2
Limnephilidae	3±	3	29±	7	14±	4
Polycentropidae	-	-	1±	1	-	-
Tipulidae	-	-	8±	3	-	-
Limoniidae	187±	57	121±	29	173±	73
Psychodidae	43±	50	56±	34	7±	5
Simuliidae	368±	175	9591±	1046	4751±	1528
Ceratopogonidae	32±	32	2±	1	-	-
Chaoborus sp.	20±	17	-	-	-	-
Tanypodinae	201±	66	62±	15	466±	44
Prodiamesa sp.	39±	18	9±	3	20±	10
Diamesini, øvrige	7±	8	-	-	469±	27
Orthoclaadiinae	6420±	1401	6075±	466	1396±	120
Chironomini	202±	55	103±	17	373±	90
Tanytarsini	1241±	338	521±	89	426±	67
Empedidae	41±	24	38±	7	-	-
Hydracarina	25±	15	11±	4	13±	5
Lymnaea pereger Müller	11±	9	2±	1	10±	4
Ancylus fluviatilis Müller	-	-	-	-	119±	26
Pisidium sp.	-	-	8±	3	8±	3
Hele faunaen	59390		25521		35286	

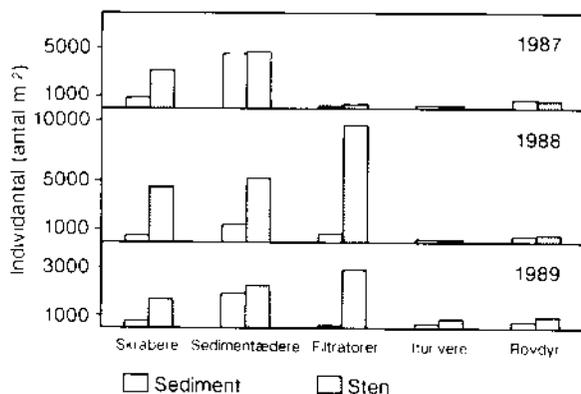
Tabel 14.

Den gennemsnitlige invertebratfauna på 2 sten i Gelbæk i perioden marts-juni 1987-89. Antal individer m^{-2} ± 95% C.L. er angivet, N = antal prøvetagninger og n = antal prøver ialt.

funktionelle ernæringstyper viste, at skraberne kun udgjorde 290-920 ind. m^{-2} svarende til 5-16% (figur 16). Faunasammensætningen på finkornede sedimenter i Gelbæk 1987-1989 indikerer således, at græsning ikke var væsentlig for reguleringen af algebioromassens udvikling.

Mange skrabere, stort græsningspotentiale

Faunaen på sten i Gelbæk var kvantitativt rigere end på de finkornede sedimenter og varierede mellem 26.000-59.000 ind. m^{-2} (tabel 14). Der var betydelige forskelle i dominans i de tre år. I 1987 domineredes faunaen af Naididae, Nematoda og dansemyg med henholdsvis 64, 21 og 14%, i 1988 af Simuliidae, dansemyg, Baetis rhodani og Naididae med henholdsvis 38, 26, 12 og 10% og i 1989 af Naididae, Simuliidae, dansemyg og Baetis rhodani med henholdsvis 54, 13, 9 og 9%. Fordelingen på funktionelle ernæringstyper viste, at skraberne udgjorde henholdsvis 3.200, 4.500 og 2.300 ind. m^{-2} i de tre år (figur 17). Invertebratfaunaens gennemsnitlige sammensætning indikerer således, at græsning kan være af kvantitativ betydning for reguleringen af algebiomassen, men kan ikke forklare de betydelige forskelle i algebiomassens udvikling i de tre år.



Figur 17. Invertebratfaunaens gennemsnitlige fordeling på funktionelle ernæringstyper på finkornede sedimenter og sten i perioden marts-juni i Gelbæk 1987-89.

Græsning i det tidlige forår er vigtig

Hvis man opstiller den hypotese, at invertebratfaunaens græsning kan regulere algebiomassens udvikling på sten i Gelbæk, så er det invertebratfaunaen i det tidlige forår, som er interessant. Et stort græsningstryk på det tidspunkt vil i givet fald kunne forhindre algebiomassens udvikling, således som det skete i 1988 (figur 16).

	1987 marts	1988 jan.-mar.	1989 feb.-mar.
Baetis rhodani Pict.	-	3033± 798	2047± 318
Orthocladiinae	3854± 2374	13197± 2380	1892± 298
Lymnaea pereger Müller	-	10± 11	9± 7
Ancylus fluviatilis Müller	-	-	230± 79

Tabel 15.

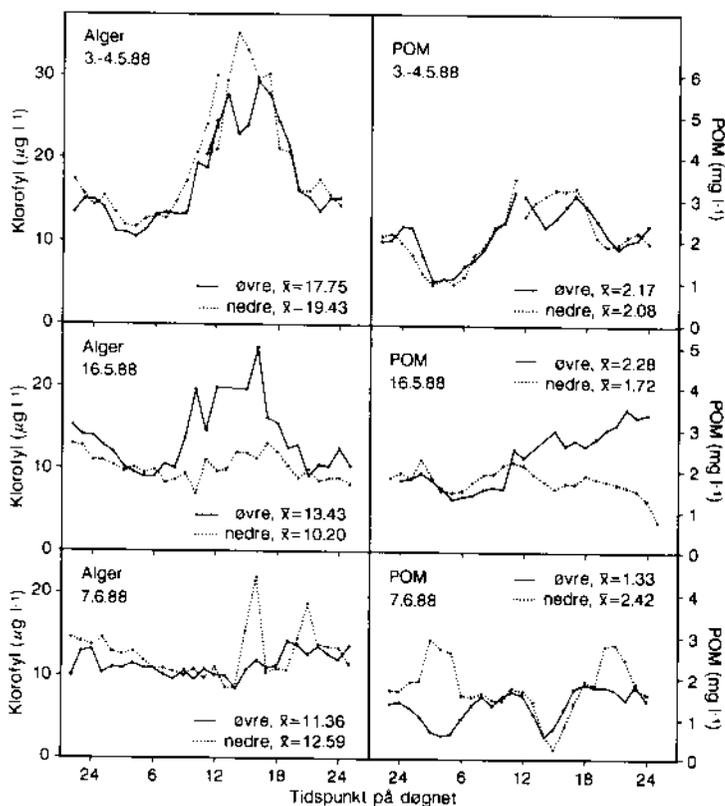
Tætheden af udvalgte algeædende insekter og snegle på sten i perioden januar-marts 1987-89.

Forekomsten af insekt- og snegleskrabere i januar-marts varierede betydeligt mellem de tre år (tabel 15). I 1988 var der således ca. fire gange så mange af disse skrabere som de to øvrige år, og en stor del af dem var Baetis rhodani. I 1989 var der kun lidt flere skrabere end i 1987, men medens det i 1989 var større dyr som Baetis rhodani og Ancylus fluviatilis, som tilsammen dominerede, så forekom der i 1987 kun de forholdsvis små Orthocladiinae. Faunasammensætningen i det tidlige forår i de tre år støtter således den hypotese, at invertebratgræsning kan være af kvantitativ betydning for algebiomassens udvikling på sten i Gelbæk.

7.3. Intensivundersøgelsen 1988

Døgnvariationer i klorofyl og POM i vandfasen

Der var en betydelig døgnvariation i klorofylkoncentrationen i vandfasen i begyndelsen af maj på begge stationer og i midten af maj på den opstrøms station (figur 18). Maksimum forekom midt på dagen. På den nedstrøms station i midten af maj og i begyndelsen af juni var døgnvariationen mindre udtalt, men der forekom et par toppe på den nedstrøms station pga. køer i bækken ved et vandingssted i den øverste del af forsøgsstrækningen.



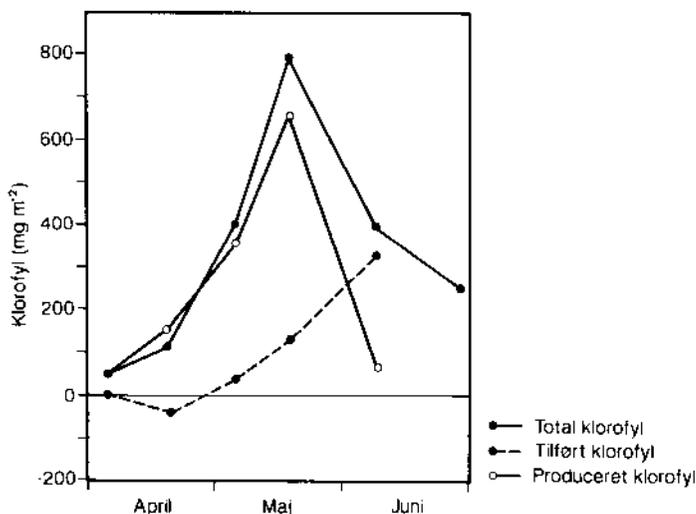
Figur 18.

Døgnvariationen i koncentrationen af alger målt som klorofyl og partikulært organisk stof i opstrøms og nedstrøms endepunkt af forsøgsstrækningen i Gelbæk. Klorofyl er afsat som gennemsnit af dobbeltbestemmelser, medens partikulært organisk stof er afsat som glidende gennemsnit af tre punkter.

Medens der var et betydeligt tab af alger fra forsøgsstrækningen i begyndelsen af maj, så skete der en betydelig akkumulation i midten af maj. Døgnvariationen i POM fulgte tilnærmelsesvis algerne (figur 18). I midten af maj øgedes POM-koncentrationen dog midt på dagen på den øverste station pga. vindtransport af fine partikler. Disse partikler sedimenterede på strækningen. Antages forholdet mellem klorofyl:organisk stof at være 1:60-100, så udgjorde algerne 29-65% af POM-transporten. Algerne er således af væsentlig betydning for POM-dynamikken i Gelbæk.

Tilførsel,
produktion og
tab af alger
forsøgs-
strækningen

Nettotilførslen af alger til strækningen beregnet ud fra de daglige målinger i strækningens endepunkter var negativ i april og begyndelsen af på maj, hvorefter den blev positiv (figur 19). Ved det målte algebiomassemaksimum på $790 \text{ mg klo. m}^{-2}$ i midten af maj, var der således netto akkumuleret $130 \text{ mg klo. m}^{-2}$.



Figur 19.

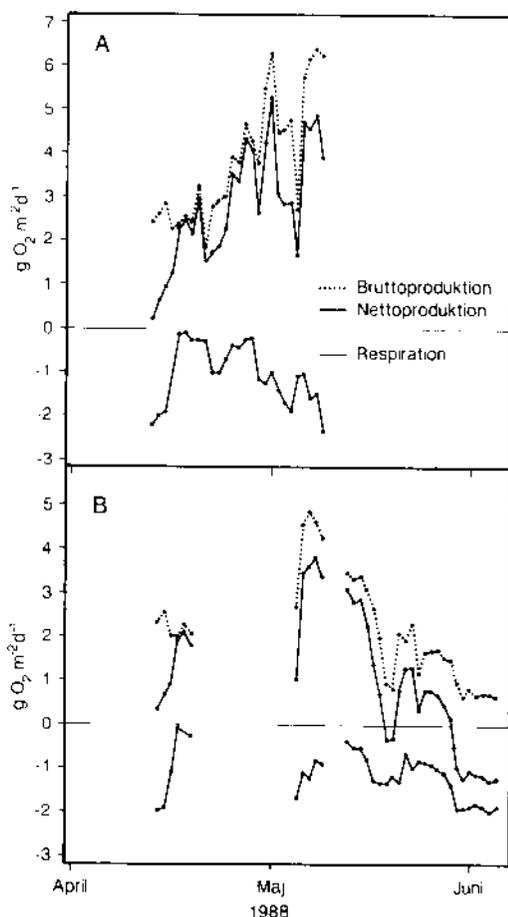
Udviklingen i biomassen af bundlevende alger målt som klorofyl, nettotilførslen af alger og den estimerede algebiomasse, som er produceret på forsøgsstrækningen i Gelbæk 1988.

Under forudsætning af at de tilførte alger opfører sig som de alger, der produceres på strækningen, og at vi ramte biomassemaksimummet, så var det "sande algebiomassemaksimum" i Gelbæk 1988 på $660 \text{ mg klo. m}^{-2}$. I begyndelsen af juni var den tilførte algemængde ($330 \text{ mg klo. m}^{-2}$) af omtrentlig samme størrelse, som den aktuelle algebiomasse ($400 \text{ mg klo. m}^{-2}$). Det kan således konkluderes, at på den valgte strækning har algeakkumulering en væsentlig betydning for algebiomassens udvikling.

Iltkoncentration og temperatur i Gelbæk udviste store døgnvariationer på op til $16 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$ og 9°C . Iltkoncentrationen var dog aldrig under $7,5 \text{ mg O}_2 \text{ l}^{-1}$.

Iltomsætning
på forsøgs-
strækningen

Figur 20 viser døgnværdierne for brutto- og nettoproduktionen og respirationen beregnet ud fra målingerne i det øvre (figur 20A) og det nedre (figur 20B) endepunkt af strækningen. På dage med målinger i begge endepunkter er der rimelig overensstemmelse mellem de to sæt data. I det følgende er de derfor betragtet under ét.



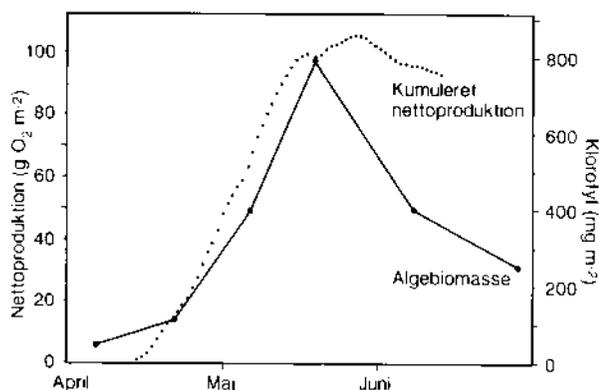
Figur 20.

Estimerede døgnværdier for bruttoproduktion, nettoproduktion og respiration beregnet ud fra kontinuerlige ilt- og temperaturmålinger i forsøgsstrækningens endepunkter i Gelbæk 1988. A: Opstrøms. B: Nedstrøms.

Både brutto- og nettoproduktionen viste et maksimum omkring 1. maj. Respirationen var mere ure-

gelmæssig fordelt med bl.a. et uforklarligt maksimum omkring 14. april. Frem til begyndelsen af juni øgedes respirationen samtidig med, at bruttoproduktionen faldt, således at nettoproduktionen til sidst blev negativ.

Ved at sammenlægge målingerne for de to stationer er den akkumulerede nettoproduktion beregnet for hele perioden (figur 21). Der ses en jævnt øget biomasse indtil midten af maj, hvor den brat stagnerer, og derefter langsomt bliver nedbrudt igen.



Figur 21. Kumuleret nettoproduktion i Gelbæk sammenholdt med algebiomassens udvikling på forsøgsstrækningen 1988.

Da iltbalancen afspejler aktiviteten på en større strækning end den udvalgte undersøgelsesstrækning, er det umiddelbart vanskeligt at sammenligne bruttoproduktionen med lys- og biomassemålingerne. Den udvalgte strækning er dog repræsentativ mht. beskygning, og der kan ligeledes forventes en rimelig overensstemmelse i biomasseudvikling indtil midten af maj, hvor sedimentation af alger begynder at påvirke biomasseudviklingen mærkbart på forsøgsstrækningen.

Bruttoproduktionen reguleres af lys, ikke af algebiomassen

Bruttoproduktionen følger lysindstrålingen til bunden (figur 22). Derimod synes ændringer i algebiomassen ikke at have indflydelse på produktionen. Således var biomassen den 19. april og den 18. maj henholdsvis 100 og 700 mg klo. m^{-2} , mens bruttoproduktionen var den samme ($2 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) og lysindstrålingen henholdsvis 7 og 10 Einstein $m^{-2} \text{ d}^{-1}$. Det kan således konkluderes, at lyset i den periode er regulerende for bruttoprimærproduktionen i Gelbæk.

Den iltbaserede algeproduktion stemmer med de målte algebiomasser

Nettoproduktionen og algebiomasse beregnet ud fra klorofylldata, korrigeret for nettoakkumulation (figur 21), viser et parallelt forløb indtil klorofylmaksimummet midt i maj. Under antagelse af, at forholdet klorofyl:kulstof i algerne er 1:30-50 og en fotosyntesekoefficient på 0,8 (Sand-Jensen et al. 1988), svarer nettoproduktionen på $100 \text{ g O}_2 \text{ m}^{-2}$ indtil algebiomassemaksimummet i midten af maj til en nettoproduktion på 560-940 mg klo. m^{-2} , hvilket er i rimelig overensstemmelse med den målte.

Efter midten af maj sker der en brat nedbrydning af klorofyl svarende til næsten hele nettoklorofylproduktionen (figur 19) uden en tilsvarende respiration af den organiske produktion (figur 21). Dette kunne umiddelbart indicere en hurtig degradering af algernes klorofyl uden en tilsvarende frigivelse og omsætning af organisk stof. En mere sandsynlig forklaring er, at den store sedimentation af alger på forsøgsstrækningen i midten af maj stammer fra umiddelbart opstrømsliggende stræk, som er indbefattet af strækningen for iltbalancen. Iltbalancen påvirkes derfor ikke, mens nedbrydningen af algerne accelereres på undersøgelsesstrækningen.

Der er i denne undersøgelse ingen klare sammenhænge mellem respiration og de øvrige målte para-

metre. Reguleringen af respirationen, som både omfatter algerne egenrespiration samt dyrs og bakteriers aktivitet, er derfor ikke afklaret. Den simple lineære sammenhæng mellem algebiomasse målt som klorofyl og respiration, som blev fundet ved laboratoriemålinger på sedimenter fra den samme strækning i Gelbæk (Christensen et al. 1990) kunne ikke bekræftes.

8. Regulering af algebiomassen i små vandløb

De regulerende faktorer for biomasseudviklingen af benthiske alger kan inddeles i fysisk/hydrauliske, kemiske og biologiske. Selvom de indbyrdes hænger sammen, vil de i det følgende blive behandlet hver for sig.

8.1. Fysisk/hydrauliske faktorer

Vandføringsbetydning

Vandføringsforholdene er vidt forskellige i øst- og vestdanske vandløb. Skærbæk er et typisk vestdansk vandløb med ringe årstidsvariation i vandføring og strømhastighed, mens eksempelvis Gelbæk er typisk østdansk med tidvist meget høje vintervandføringer, store strømhastigheder og stor transport af partikulært stof. Sommervandføringen er til gengæld ekstrem lav.

Vandføringsforholdene er vigtige for algebiomassens overvintring

Det er kendt, at pludselige, store vandføringsændringer kan eliminere algebiomassen (e.g. Tett et al. 1978; Fisher et al. 1982; Biggs og Close 1989). I østdanske vandløb er det et årligt tilbagevendende fænomen i forbindelse med store vintervandføringer. Det ses tydeligt i Ellerup Bæk (figur 10) og Gelbæk (figur 16) og er også beskrevet fra Susåen (Sand-Jensen et al. 1988). Re-

sultaterne fra Skærbæk viser derimod en betydelig overvintrende algebiomasse både på finkornet substrat (figur 2) og på sten (figur 4). Det kan således konkluderes, at vandføringsforholdene har en overordnet betydning for mulighederne for en overvintrende algebiomasse.

Strømhastighe-
dens betydning
for skabelse
erosions/
aflejringsmil-
jøer

Vandløbets fald, profil og vandføring er afgørende for strømhastighedens størrelse og dermed for substratet. I vandløb med naturligt forløb vil der være en vekslen mellem stryg med høj strømhastighed og grus- og stensbund og høller med lav strømhastighed og finkornet sediment. Da vandløbets evne til at transportere partikler, herunder alger, aftager med aftagende strømhastighed, kan det forventes, at sedimentation kvantitativt kan være af betydning for algebiomassens udvikling på finkornede substrater i høllerne. Undersøgelingsstrækningen i Gelbæk fungerede periodisk som sedimentationsområde for alger tilført opstrøms fra. Det kunne således dokumenteres, at den akkumulerede sedimentation udgjorde $130 \text{ mg klo. m}^{-2}$ svarende til 16% af algebiomassemaksimummet, og at betydningen af sedimentation øgedes under algebiomassens henfald. Forskelle i fald og strømhastighed i vandløbets længderetning kan således have afgørende betydning for algebiomassens års-tidsvariation og maksimumbiomasse.

Strømhastig-
heden bestem-
mer substrat-
forholdene

Strømhastigheden har afgørende betydning for substratforholdene. Jo højere strømhastighed, des grovere er substratet. I det følgende behandles to aspekter i relation til substratet: forskellen mellem finkornet sediment og sten og betydningen af stabiliteten i det finkornede sediment.

Algerne udvik-
les forskel-
ligt på finkor-
net sediment
sten

Det er velkendt, at der er betydelige forskelle i algesamfundenes artssammensætning på forskellige substrater (e.g. Butcher 1940; Patrick 1948, Reiter 1989), og der foreligger enkelte undersøgelser, som har dokumenteret kvantitative forskelle

i algebiomassens størrelse på finkornede sedimenter og sten/klipper på vandløbsbunden (Tett et al. 1978). Det er imidlertid første gang, der er påvist signifikante forskelle i såvel algebiomassens årstidsudvikling og årsmaksimum på finkornet og stenet substrat (figur 2, 4, 10, 16; tabel 10). Hovedparten af de hidtidige undersøgelser af de regulerende faktorer for algebiomassen er udført på sten, klipper eller kunstige substrater, mens relativt få undersøgelser har været udført på finkornede substrater (Tett et al. 1978; Sode 1983; Busch og Fischer 1981; Fischer et al. 1982; Sand-Jensen et al. 1988). Resultaterne fra denne undersøgelse viser, at de regulerende faktorer er forskellige på de forskellige substrater. Man kan derfor ikke umiddelbart overføre resultaterne fra undersøgelser af algebiomassen på sten/klipper til finkornede substrater.

Udretning af vandløb skaber ustabile bundforhold og sandvandring

De danske vandløbs fysiske tilstand er kulturpåvirket, og mere end 90% af de danske vandløb er blevet rettet ud en eller flere gange (Brookes 1984). Udretning af vandløb giver større fald, højere strømhastighed og højere materialetransport. Det transporterede materiale vil sedimentere på nedstrøms vandløbsstrækninger, hvis strømhastigheden reduceres tilstrækkeligt.

Lille algebiomasse på ustabil sandbund i Ellerup Bæk og Dalby Bæk

Den nederste strækning af Ellerup Bæk (Ellerup I) er kanaliseret og havde ustabil sediment med sandvandring midtstrøms under hele undersøgelsen. Disse forhold havde signifikant betydning for algebiomassens fordeling på vandløbsbunden (figur 11), dens udvikling og maksimumbiomasse (figur 10). En væsentlig del af algebiomassens udvikling fandt sted i en smal zone langs bredderne (figur 12), hvor sedimentet var stabilt.

På Ellerup I og i Dalby Bæk var der sandvandring i hele undersøgelsesperioden. I andre vandløb med

sedimentvandring stabiliseres sedimentet i løbet af foråret. I Susåen fandt Sand-Jensen et al. (1988) således indikationer på, at sedimentstabiliteten havde betydning i det tidlige forår, men derimod ikke senere på foråret. Det kan derfor konkluderes, at sedimentstabiliteten har betydning for algebiomassens udvikling i det tidlige forår i udrettede vandløb med sandbund.

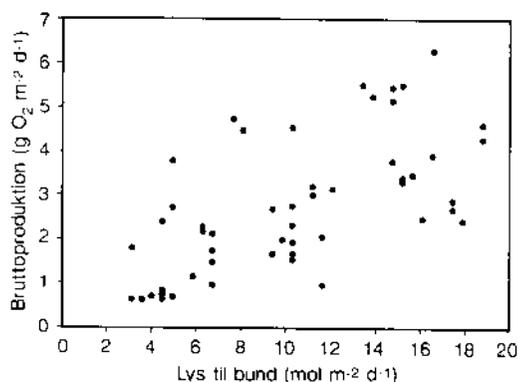
Algebiomassen er fordelt i de øverste 10 cm af ustabil sediment i Skærbæk

Stadig omlejring af ustabil finkornet sediment i Skærbæk havde betydning for algebiomassens års-tidsvariation (figur 2) og medførte, at en betydelig algebiomasse kunne findes ned til 10 cm's dybde (figur 3 og Sode 1983). I betragtning af at Skærbæk er et upåvirket naturvandløb, virker det overraskende. Sedimentet er overvejende sand, som er fastholdt af makrofytbiomassen. Makrofytternes vækst og henfald har derfor stor betydning for transporten af sand. Resultaterne fra 1987 (figur 2) tyder på, at sandvandringen havde væsentlig større betydning for algebiomassens udvikling end fundet af Sode (1983), hvilket må tilskrives en større og mere ustabil afstrømning i 1987. Ud fra disse undersøgelser må det forventes, at sedimentstabilitet har stor betydning for algebiomassens udvikling i sandede vestjyske vandløb.

Lystilgangen til bunden regulerer algebiomassens udvikling på finkornet sediment

Lystilgangen til vandløbsbunden er en vigtig regulerende faktor for algebiomassens udvikling i vandløb (e.g. McIntire et al. 1964; Gregory 1980; Sand-Jensen et al. 1988; Munn et al. 1989; Thyssen et al. 1990). Lysforholdene havde også i denne undersøgelse en overordnet betydning for algebiomassens årstidsvariation på finkornede substrater. I den lysåbne Skærbæk forekom algebiomassemaksimummet om sommeren (figur 2), hvor lystilgangen er størst, selvom sedimentstabiliteten modificerede forløbet. I Ellerup Bæk og Gelbæk var der et tydeligt maksimum medio maj i alle år efterfulgt af en nedgang i algebiomassen (figur

10 og 16). Til trods for at solindstrålingen øgedes i maj og juni, så medførte træernes løvspring og opvæksten af urtevegetation på vandløbsbredden, at lystilgangen til vandløbsbunden reduceredes betydeligt. Et lignende forløb er beskrevet for to lysåbne strækninger af Susåen (Sand-Jensen et al. 1988). I Susåen var det imidlertid de submerse makrofytter, som voksede op og udkonkurrede de bundlevende alger via skygning. Lysets overordnede betydning fremgår også af figur 22. På trods af en variation i algebiomassen på 100-740 mg klo. m⁻² var det lyset, som regulerede algernes bruttoprimærproduktion i Gelbæk. I overensstemmelse med tidligere undersøgelser kan det således konkluderes, at algebiomassens udvikling på finkornede substrater er reguleret af lystilgangen til vandløbsbunden.



Figur 22.

Sammenhængen mellem lysindstråling ved bunden og bruttoproduktion i Gelbæk foråret 1988. I den pågældende periode varierede algebiomassen mellem 100-740 mg klo. m² på forsøgsstrækningen.

På stenbund overlejrer andre regulerende faktorer lysets betydning

Årstidsudviklingen i algebiomassen på sten fulgte i Gelbæk det ovenfor beskrevne forløb i 1987 og 1989 (figur 16), medens dette ikke var tilfældet i Skærbæk (figur 4) og i Ellerup Bæk (figur 10). På sten kan andre regulerende faktorer således være mere væsentlige for biomassens årstidsvariation end lyset.

8.2 Kemiske faktorer

N- og P-regulering af algebiomassen

Det er velkendt, at næringssaltene kvælstof (N) og fosfor (P) er af afgørende betydning for algebiomassens udvikling i søer, fjorde og det marine miljø (e.g. Jeppesen et al. 1990; Riemann et al. 1990; Borum et al. 1990). Eksperimentelle undersøgelser i vandløb fortrinsvis udført med kunstige substrater eller naturlige sten/klipper har da også dokumenteret, at både kvælstof (e.g. Grimm & Fisher 1986) og fosfor (e.g. Bothwell 1985; Freeman 1986; Biggs & Close 1989) kan begrænse algebiomassens udvikling. Koncentrationen af kvælstof i danske vandløb er generelt høj (Kristensen et al. 1990), og dette var også tilfældet i de her undersøgte vandløb (tabel 3A og B). Analysen i det følgende er derfor koncentreret om fosfor som regulerende faktor for algebiomassens udvikling.

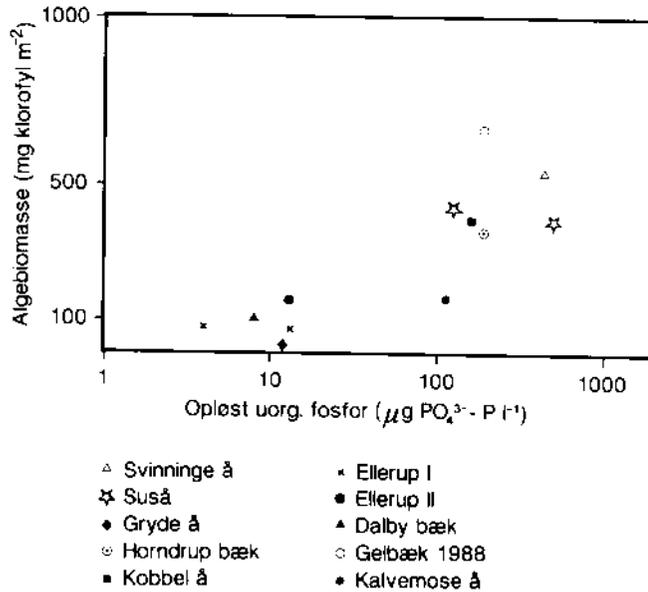
Bothwell (1985) har vist, at den enkelte kiselalges vækst er fosformættet ved meget lave koncentrationer af opløst uorganisk fosfor ($<1 \mu\text{g P l}^{-1}$). Samtidig har Bothwell (1989) i eksperimentelle render med faste overflader fundet en stigende algemaksimumbiomasse med stigende fosforkoncentration op til ca. $100 \mu\text{g P l}^{-1}$. Denne tilsyneladende modsætning forklares med, at algecellernes vækst i en algebelægning kan være begrænset af P-diffusion, og P-diffusionen øges med øget P-koncentration i vandet.

Øget P-koncentration giver større algebiomasse

Af de valgte vandløb havde Skærbæk den laveste koncentration af opløst uorganisk fosfor (tabel 3A). Klinkeforsøgene dokumenterede da også, at P-tilsætning øgede algebiomassen (figur 8 og 9).

Der er således ingen tvivl om, at P-koncentrationen kan være væsentlig for algebiomassens udvikling i danske vandløb, men forsøgene kan ikke belyse, om P-koncentrationen regulerer maksimumbio-

massen. Dette er i det følgende søgt belyst ud fra eksisterende undersøgelser, men det endelige bevis kan kun gives ud fra kontrollerede forsøg. Analysen er udført separat på finkornede substrater og på sten/klipper.



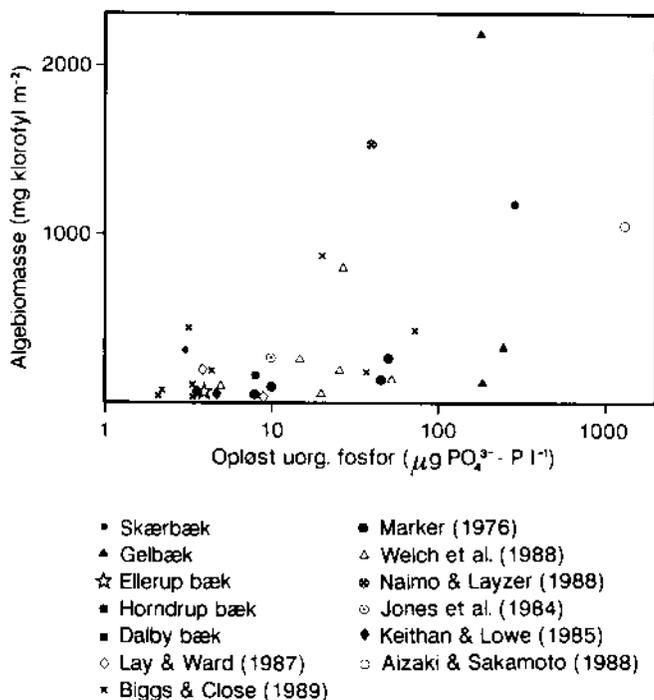
Figur 23.

Den maksimale algebiomasse på finkornet sediment på 10 danske vandløbsstrækninger som funktion af vandets indhold af opløst uorganisk fosfor (log-skala).

Flere regulerende faktorer end P-koncentrationen bestemmer den maksimale algebiomasse

Figur 23 omfatter kun finkornet sediment i vandløb uden alger i det tidlige forår og er begrænset til danske vandløb, da der ikke foreligger brugbare udenlandske undersøgelser. Det ses, at maksimumbiomassen øges med stigende P-koncentration, og de relativt få data indikerer, at maksimumbiomassen kan være reguleret af P-koncentrationen ved P-koncentrationer under 0,1-0,2 mg P l⁻¹. Det er karakteristisk, at variationen fra år til år var relativt beskeden (tabel 10 og figur 16). Enkelte vandløb ligger betydeligt under det forventelige ud fra P-koncentrationen, hvilket må tilskrives, at andre faktorer end P i disse vandløb regulerer maksimalalgebiomassen (f.eks. sedimentstabilitet i Ellerup I).

Maksimumalgebiomassen på sten/klipper som funktion af P-koncentrationen fremgår af figur 24, som primært bygger på udenlandske undersøgelser. Generelt findes som for finkornede sedimenter en stigende maksimumalgebiomasse med stigende P-koncentration, men der er nogle væsentlige forskelle.



Figur 24.

Den maksimale algebiomasse på sten/klipper på danske og udenlandske vandløbsstrækninger som funktion af vandets indhold af opløst uorganisk fosfor (log-skala).

Ved meget lave P-koncentrationer ($2-3 \mu\text{g P l}^{-1}$) er de fleste maksimumalgebiomasser $<100 \text{ mg klo. m}^{-2}$, men i enkelte vandløb er maksimumbiomassen væsentlig højere (Skærbæk, figur 4; Biggs og Close 1989). Det ser således ud til, at selv ved så lave P-koncentrationer kan der forekomme høje maksimumalgebiomasser, men at maksimumalgebiomassen ved så lave P-koncentrationer sædvanligvis er reguleret af andre faktorer end P-koncentrationen.

I Gelbæk var der ekstremt store forskelle på maksimumalgebiomassen i de tre år (figur 16), til trods for at der kun var beskedne forskelle i koncentrationerne af total P og opløst uorganisk fosfor. Selv ved høje P-koncentrationer kan andre faktorer end P-koncentrationen (og lys) regulere algebiomassens udvikling.

Ud fra ovenstående kan det konkluderes, at P-koncentrationen kan regulere algebiomassens udvikling og maksimumalgebiomassens størrelse i danske vandløb, at effekten af P er forskellig på finkornede substrater og sten/klipper, men at andre faktorer end P især på sten/klipper ofte har en overordnet betydning.

8.3 Biologisk regulering

Invertebratgræsning uden betydning på finkornet sediment

Bundlevende alger er en værdifuld fødekilde for mange invertebrater. En række eksperimenter med kunstige eller naturlige substrater har dokumenteret, at på faste substrater kan invertebratgræsning regulere algesamfundets artssammensætning (Hart 1985; Lamberti et al. 1987) og algebiomassens størrelse (e.g. McAuliffe 1984, Jacoby 1985; Feminella et al 1989). På finkornede substrater vurderede Iversen et al. (1984) invertebratgræsning til at være af underordnet betydning for algebiomassens udvikling i Susåen.

Invertebratfaunaen på finkornede sedimenter uden makrofytter udgjorde i Skærbæk, Ellerup I, Dalby Bæk og Gelbæk 3.300-23.300 ind. m^{-2} (tabel 5, 11 og 13), hvoraf skrabere udgjorde 110-1.100 ind. m^{-2} (figur 5, 15 og 17). I Ellerup II udgjorde den samlede fauna på finkornet sediment 20.000 ind. m^{-2} (tabel 11), hvoraf skrabere udgjorde 8.600 ind. m^{-2} . Invertebratfaunaen på sten udgjorde i Skærbæk, Ellerup II, Dalby Bæk og Gelbæk

22.000-59.000 ind. m^{-2} (tabel 5, 12 og 14), hvoraf skrabere udgjorde 2.350-9.700 ind. m^{-2} (figur 5, 15 og 17). Såvel ud fra den samlede fauna som ud fra antallet af skrabere er det usandsynligt, at græsning på finkornede sedimenter har en væsentlig regulerende betydning for algebiomassens udvikling. Det kan dog ikke udelukkes, at græsning har været kvantitativ betydningsfuld i Elle-rup II. På sten var såvel den samlede fauna som antallet af skrabere signifikant større, og det er derfor muligt, at invertebratfaunaen via græsning kan regulere algebiomassen på sten.

I Skærbæk kunne algebiomassens årstidsvariation og især den lave sommerbiomasse (figur 4) ikke forklares ved hverken lys eller næringssalte. Højere græsningstryk om sommeren, hvor temperaturen og dermed invertebraternes fødeoptagelse er større, er en sandsynlig forklaring, som understøttes af, at antallet af vigtige arter af skrabere var signifikant korreleret til algebiomassen (figur 6).

Invertebrat-græsning har stor betydning for regulering af algebiomassen på sten

I Gelbæk varierede maksimumalgebiomassen på sten fra 120 mg klo. m^{-2} i 1988 til 2.200 mg klo. m^{-2} i 1987 (figur 16). Disse forskelle kunne ikke forklares ved lys eller næringssalte (tabel 3), og maksimumalgebiomassen på finkornet sediment varierede væsentligt mindre. En mulig forklaring på forskellene på sten er forskelle i invertebratgræsning især i det tidlige forår. Denne forklaring understøttes af signifikante forskelle i populationstætheden hos de dominerende skrabere, (tabel 15) som sandsynliggør, at invertebratgræsning kan forklare de ekstremt store forskelle i algebiomassens udvikling.

De foreliggende undersøgelser tyder således på, at invertebratgræsning generelt er uden betydning for algebiomassens udvikling på finkornede sub-

strater, medens den kan have overordentlig stor betydning for algebiomasens udvikling på sten.

9. Regulering af invertebratpopulationerne

De regulerende faktorer for invertebratpopulationerne kan inddeles i fysisk/hydrauliske, kemiske og biologiske. Indbyrdes hænger de sammen, og i det følgende skal udvalgte aspekter behandles.

Sedimentstabilitet, en vigtig invertebratfordelende faktor

Invertebratfaunaen på finkornede sedimenter og på sten er særdeles forskellig pga. invertebraternes morfologiske, adfærdsmæssige og fysiologiske tilpasninger til forskellige sedimenttyper og de tilknyttede forskellige strømhastigheder (Hynes 1970). Dette fremgår også tydeligt af denne undersøgelse (tabel 5, 11, 12, 13 og 14).

Sedimentets stabilitet har stor betydning for invertebratfaunaens kvalitative og kvantitative sammensætning på finkornede sedimenter (figur 13 og 14), og en af forklaringerne på de signifikant højere invertebratpopulationer på sten er dette substrats større stabilitet. Forskellene på invertebratfaunaen på finkornet sediment uden og med makrofytter i Skærbæk (tabel 5) skal bl.a. også søges i et mere stabilt sediment i vegetationen.

Bundlevende alger er en værdifuld fødekilde for invertebrater, og man kunne umiddelbart forvente en sammenhæng mellem mængden af alger og mængden af invertebrater. Dette var ikke tilfældet.

Ingen sammenhæng mellem algemængden og mængden af invertebrater

Algers og invertebraters livscyklus er ikke i fase

Store afstrømninger om vinteren, vigtig invertebratregulerende faktor

På finkornede sedimenter i Gelbæk 1987-89 varierede maksimalalgebiomassen mellem 740-950 mg klo. m^{-2} , og de gennemsnitlige invertebratpopulationer mellem 9.000-23.000 ind. m^{-2} . I forhold til Ellerup Bæk og Dalby Bæk, hvor maksimalalgebiomassen varierede mellem 74-160 mg klo. m^{-2} (tabel 10) og de gennemsnitlige invertebratpopulationer mellem 3.300-20.000 ind. m^{-2} , var der ingen sammenhæng mellem algebiomasse og invertebratpopulationer. Forklaringen herpå skal bl.a. søges i invertebraternes livscyklus. Uanset om de enkelte arter har en eller flere generationer om året, så finder reproduktionen for det store flertal af arter først sted om foråret. Det betyder, at det er de overvintrende populationer, som skal udnytte den pludseligt store fødemængde. I mange østdanske vandløb medfører de store vintervandføringer, at de overvintrende invertebratpopulationer reduceres betydeligt (Iversen et al. 1984). Først når dyrene kan reproducere sig, kan populationerne tilpasses den rigelige fødemængde. Det er derfor sandsynligt, at den manglende sammenhæng mellem algebiomasse og invertebratpopulationernes størrelse er begrundet i invertebraternes overlevelse om vinteren og deres livscyklus. Tilingen er simpelthen forkert. Det er samtidig grunden til, at invertebratgræsning på finkornede sedimenter er af underordnet betydning for algebiomassens udvikling.

Der var betydelige forskelle i stenfaunaens størrelse og sammensætning dels fra år til år og dels mellem lokaliteterne. Forskellene mellem Skærbæk (tabel 5), Ellerup Bæk (tabel 12) og Gelbæk (tabel 14) skal primært søges i en bedre vandkvalitet i Skærbæk, og også de hydrauliske forhold om vinteren, som ikke udsætter faunaen i Skærbæk for samme stress som i Ellerup Bæk og Gelbæk.

Det er de overvintrende populationer af især skrabere, som evt. kan regulere algebiomassens

udvikling på sten i det tidlige forår. I Gelbæk var der store signifikante forskelle fra år til år. Årsagerne hertil skal søges i den forudgående sommer og vinter, og den konstaterede forbedring af faunaens forureningsmæssige tilstand kan evt. hænge sammen med konstateret forbedring af vandkvaliteten op gennem 1980'erne (Thyssen pers. medd.). Vort kendskab til de regulerende faktorer for vinterinvertebratpopulationernes størrelse i de danske vandløb er imidlertid beskedent og muliggør ikke en forklaring af de observerede forskelle.

10. Referencer

- Aizaki, M. & K. Sakamoto. 1988. Relationship between water quality and periphyton biomass in several streams in Japan. Verh. Internat. Verein. Limnol. 23: 1511-1517.
- Biggs, B.J.F. & M.E. Close. 1989. Periphyton biomass dynamics in gravel bed rivers: the relative effects of flows and nutrient. Fresh. Biol. 22: 209-231.
- Bothwell, M.L. 1985. Phosphorus limitation of lotic periphyton growth rates; An insite comparison using continuous-flow troughs (Thompson River System, British Columbia). Limnol. Oceanogr. 30: 527-542.
- Bothwell, M.L. 1989. Phosphorus-limited growth dynamics og lotic periphytic diatom communities: areal biomass and cellular growth rate responses. Can. J. Fish Aquat. Sci. 46: 1293-1301.
- Borum, J., O. Geertz-Hansen, K. Sand-Jensen & S. Wium-Andersen. 1990. Eutrofiering - effekter på marine primærproducenter. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen. Nr. C3.
- Brookes, A. 1984. Recommendations bearing on sinuosity of Danish stream channels. National Agency of Environmental Protection, Silkeborg, 130 p.
- Busch, D.E. & S.G. Fisher. 1981. Metabolism of a desert stream. Fresh. Biol. 11: 301-307.
- Butcher, R.W. 1940. Studies of the ecology of rivers IV: observations on the growth and distribution of the sessile algae in the river Hull, Yorksire. J. Ecol. 28: 210-223.
- Christensen, P.B., L.P. Nielsen, J. Sørensen & N.P. Revsbech. 1990. Denitrification in nitrate-rich streams: Diurnal and seasonal variation related to benthic oxygen metabolism. Limnol. Oceanogr. 35: 336-347.
- Cummins, K.W. 1973. Trophic relations of aquatic insects. Annu. Revue Entomol. 18: 183-206.
- Feminella, J.W., M.E. Power & V.H. Resh. 1989. Periphyton responses to invertebrate grazing and riparian canopy in three northern California coastal streams. Fresh. Biol. 22: 445-457.

- Fisher, S.G. L.J. Gray, N.B. Grimm & D.E. Busch. 1982. Temporal succession in a desert stream ecosystem following flash flooding. *Ecol. Monogr.* 52: 93-110.
- Freeman, M.C. 1986. The role of nitrogen and phosphorus in the development of *Cladophora glomerata* (L) Kütz in Manawatu River, New Zealand. *Hydrobiologia* 131: 23-30.
- Gregory, S.V. 1980. Effects of light, nutrients and grazing on periphyton communities in streams. Ph. D. thesis Oregon State University. 150 pp.
- Grimm, N.B. & S.G. Fisher. 1986. Nitrogen limitation in a Sonoran Desert stream. *J. N. Am. Benthol. Soc.* 15: 2-15.
- Hansson, L.-A. 1988. Chlorophyll a determination of periphyton on sediments: identification of problems and recommendation of method. *Freshwater Biol.* 20: 347-352.
- Hart, D.D. 1985. Grazing insects mediate algal interactions in a stream benthic community. *Oikos* 44: 40-46.
- Hynes, H.B.N. 1970. *The Ecology of running water.* Univ. Toronto Press.
- Iversen, T.M., E. Jeppesen, K.S. Jensen & J. Thorup. 1984. Økologiske konsekvenser af reduceret vandføring i Susåen. Bind 1: Den biologiske struktur. Miljøstyrelsen.
- Iversen, T.M. 1988. Secondary production and trophic relationships in a spring invertebrate community. *Limnol. Oceanogr.* 33: 582-592.
- Jacoby, J.M. 1985. Grazing effects on Periphyton by *Theodoxus fluviatilis* (Gastropoda) in a lowland Stream. *J. Fresh. Ecol.* 3: 265-274.
- Jeppesen, E., M. Søndergaard, E. Mortensen, P. Kristensen, B. Riemann, H.J. Jensen, J.P. Müller, O. Sortkjar, J.P. Jensen, K. Christoffersen, S. Bosselmann & E. Dall. 1990. Fish manipulation as a lake restoration tool in shallow, eutrophic temperate lakes 1: cross-analysis of three Danish case-studies. *Hydrobiologia*, in press.
- Jespersen, A.M. & K. Christoffersen. 1987. Measurements of chlorophyll-a from phytoplankton using ethanol as extraction solvent. *Arch Hydrobiol.* 109: 445-454.

- Jones, J.R., M.M. Smart & J.N. Burroughs. 1984. Factors related to algal biomass in Missouri Ozark streams. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 22: 1867-1875.
- Keithan, E.D., R.L. Lowe. 1985. Primary productivity and spatial structure of phytolithic growth in streams in the Great Smoky Mountains National Park, Tennessee. *Hydrobiologia* 123: 59-67.
- Kristensen, P., J.P. Jensen & E. Jeppsen. 1990. Eutrofieringsmodeller for søer. NPO-forskning fra Miljøstyrelsen. Nr. C9.
- Lamberti, G.A., J.W. Feminella & V.H. Resh. 1987. Herbivory and intraspecific competition in a stream caddisfly population. *Oecologia* 73: 75-81.
- Lay, J.A. & A.K. Ward. 1987. Algal community dynamics in two streams associated with different geological regions in the southeastern United States. *Arch. Hydrobiol.* 108: 305-324.
- Marker, A.F.N. 1976. The benthic algae of some streams in Southern England I. Biomass of the epilithon in some small streams. *J. Ecol.* 64: 343-358.
- McAuliffe, J.R. 1984. Resource depression by a stream herbivore: effects on distributions and abundance of other grazers. *Oikos* 42: 327-333.
- McIntire, C.D., R.L. Garrison, H.K. Phinney & C.E. Warren. 1964. Primary production in laboratory streams. *Limnol. Oceanogr.* 9: 92-102.
- Meritt, R.W. & K.W. Cummins. 1978. An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall/Hunt Publishing Company. 441 pp.
- Munn, M.D., L.L. Osborne & J.M. Wiley. 1989. Factors influencing periphyton growth in agricultural streams of central Illinois. *Hydrobiologia* 174: 89-97.
- Naimo, T.J. & J.B. Layzer. 1988. Benthic community metabolism in two northern mississippi streams. *J. Fresh. Ecol.* 4: 503-515.
- Newmann, R.M. & F.B. Martin. 1983. Estimation of fish production rates and associated variances. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 1729-1736.
- Patrick, R. 1948. Factors affecting the distribution of diatoms. *Bot. Rev.* 14: 473-524.

- Reiter, M.A. 1989. Development of benthic algal assemblages subjected to differing near-substrate hydrodynamic regimes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 1375-1381.
- Riemann, B., K. Christoffersen, H.J. Jensen, J.P. Müller, C.L. Petersen & S. Bosselmann. 1990. Ecological consequences of a manual reduction of roach and bream from a eutrophic, temperate lake. *Hydrobiologia*, in press.
- Sand-Jensen, K., J. Møller & B. H. Olesen. 1988. Biomass regulation of microbenthic algae in Danish lowland streams. *Oikos* 53: 332-340.
- Sode, A. 1983. Effect of ferri hydroxide on algae and oxygen consumption by sediment in a Danish stream. *Arch. Hydrobiol./Suppl.* 65: 134-162.
- Søndergaard, M. & B. Riemann. 1979. Ferskvands-biologiske analysemetoder. Akademisk Forlag, 227 pp.
- Tett, P., C. Gallegos, M.G. Kelly, G.M. Hornberger & B.J. Cosby. 1978. Relationships among substrate, flow, and benthic microalgal pigment density in the Mechums River, Virginia. 23: 785-797.
- Thyssen, N. & M. Erlandsen. 1987. Reaeration of oxygen in shallow, macrophyte rich streams: II. Relationship between the reaeration rate coefficient and hydraulic properties. *Int. Revue ges. Hydrobiol.* 72: 575-597.
- Thyssen, N., M. Erlandsen, B. Kronvang & L.M. Svendsen. 1990. Slutrapport for NPo-projekt 4.2. Simple vandløbsmodeller. Danmarks Miljøundersøgelser.
- Welsh, E.B., J.M. Jacoby, R.R. Horner & M.R. Seeley. 1988. Nuisance biomass levels of periphytic algae in streams. *Hydrobiologia* 157: 161-168.





Registreringsblad

Udgiver: Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K.

Serietitel, nr.: NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, C7

Udgivelsesår: 1990

Titel:

Biologisk struktur i små vandløb

Undertitel:

Forfatter(e):

Iversen, Torben Moth; Thorup, Jens; Thyssen, Niels;
Kjeldsen, Karina; Nielsen, Lars Peter; Lund-Thomsen, Peer;
Jensen, Niels Bo; Pedersen, Carsten Lauge; Winding, Thomas

Udførende institution(er):

Danmarks Miljøundersøgelser. Afdeling for Ferskvandsøkologi;
Københavns Universitet. Ferskvandsbiologisk Laboratorium;
Århus Universitet. Institut for Genetik og Økologi

Resumé:

Bundlevende alger har stor betydning i små vandløb som føde for bunddyr og for iltforholdene. Reguleringen af algemængden er særdeles kompleks, og de vigtigste regulerende faktorer varierer med bundmaterialets beskaffenhed. Lyset er i de fleste tilfælde afgørende for algemængdens årstidsvariation. Vandets fosforkoncentration sætter en øvre grænse for den maksimale algemængde, men oftest overlejres betydningen af fosfor af andre regulerende faktorer som f. eks. sedimentets stabilitet og bunddyrenes græsning.

Emneord:

sammensætning; sedimenter; biomasse; alger; tidsvariationer; vandløb; invertebrater; bunddyr; fosfor CAS 7723-14-0

ISBN: 87-503-8770-7

ISSN:

Pris: 70,- (inkl. 22 % moms)

Format: AS5

Sideantal: 68 s.

Md./år for redaktionens afslutning: oktober 1990

Oplag: 600

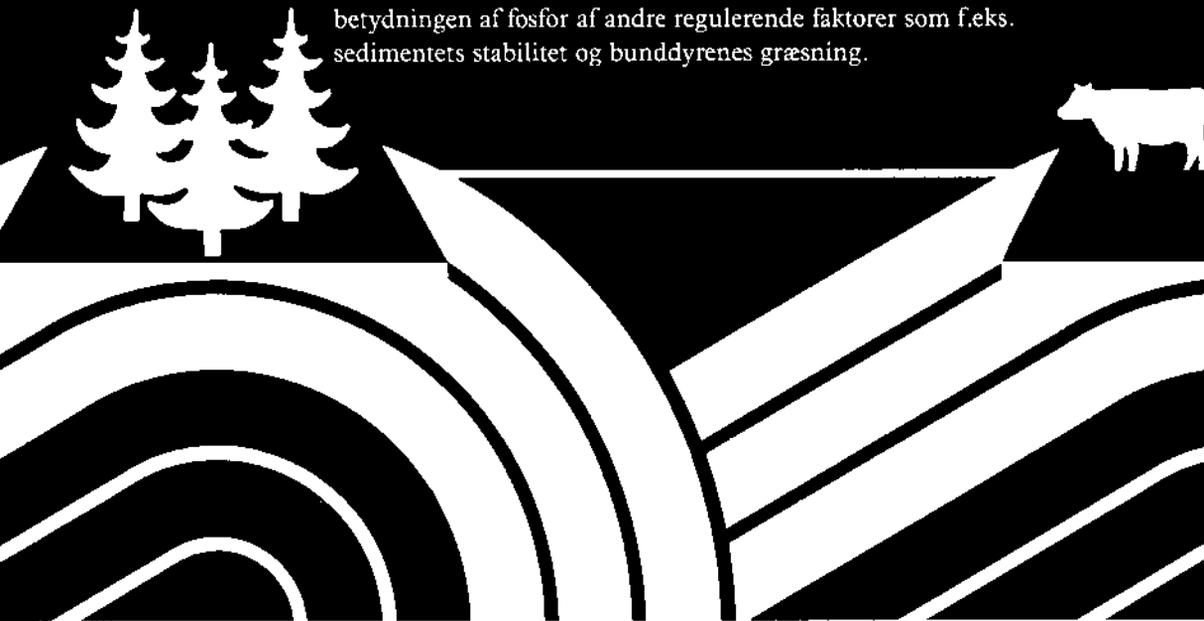
Andre oplysninger:

Rapport fra koordinationsgruppe C for vandløb, søer og marine områder

Tryk: Luna-Tryk ApS, København

Biologisk struktur i små vandløb

Bundlevende alger har stor betydning i små vandløb som føde for bunddyr og for iltforholdene. Reguleringen af algemængden er særdeles kompleks, og de vigtigste regulerende faktorer varierer med bundmaterialets beskaffenhed. Lyset er i de fleste tilfælde afgørende for algemængdens årstidsvariation. Vandets fosforkoncentration sætter en øvre grænse for den maksimale algemængde, men oftest overlejres betydningen af fosfor af andre regulerende faktorer som f.eks. sedimentets stabilitet og bunddyrenes græsning.



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Strandgade 29, 1401 København K, tlf. 31 57 83 10

Pris kr. 70.- inkl. 22% moms

ISBN nr. 87-503-8770-7