

Bilag 1 Beskrivelse af anvendte indeks og korrektioner for klimatiske variationer

Næringsstofkoncentrationer

Tresidet variansanalyse for stations-, måneds- og årsvariation

Koncentrationer af næringsstoffer blev analyseret ved hjælp af en tresidet variansanalyse. Alle koncentrationer er før analysen blevet logaritmisk transformeret af følgende årsager:

1. De tre faktorer forventes at have en multiplikativ effekt på koncentrationerne af næringssalte og klorofyl. Ved logaritmisk transformation bliver den multiplikative model til en additiv model.
2. Store koncentrationer har større variationer end små koncentrationer. Ved logaritmisk transformering opnås varianshomogenitet.
3. Residualerne fra en variansanalyse uden transformation vil have en højreskæv fordeling. Ved logaritmisk transformation bliver residualerne fra variansanalysen tilnærmelsesvis normalfordelte.

De logaritmisk transformerede koncentrationer deles op i variationer, som kan tilskrives stationsafhængighed (STATION), sæsonvariation (MÅNED) og år til år variation (ÅR). Der er kun medtaget hovedeffekter i modellen, dvs. ingen krydseffekter.

$$\log(C) = \text{STATION}_i + \text{ÅR}_j + \text{MÅNED}_k + e_{ijk} \quad \text{hvor } e_{ijk} \in N(0, \sigma^2)$$

Hovedeffekterne, som estimeres ved hjælp af modellen, har følgende fortolkning:

- STATION_i er middelniveauet for de enkelte stationer, når der er taget højde for år til år variationen og sæsonvariationen.
- ÅR_j er middelniveauet for de enkelte år som indgår i analysen, når der er taget højde for den stationsafhængige variation og sæsonvariationen.
- MÅNED_k er middelniveauet for årets 12 måneder, når der er taget højde for den stationsafhængige variation og år til år variationen.

Hovedvariationerne er signifikante for alle næringssalte og klorofyl. Efterfølgende er residualerne fra variansanalysen afbildet i histogrammet hvilket har vist, at residualerne tilnærmelsesvist er normalfordelte.

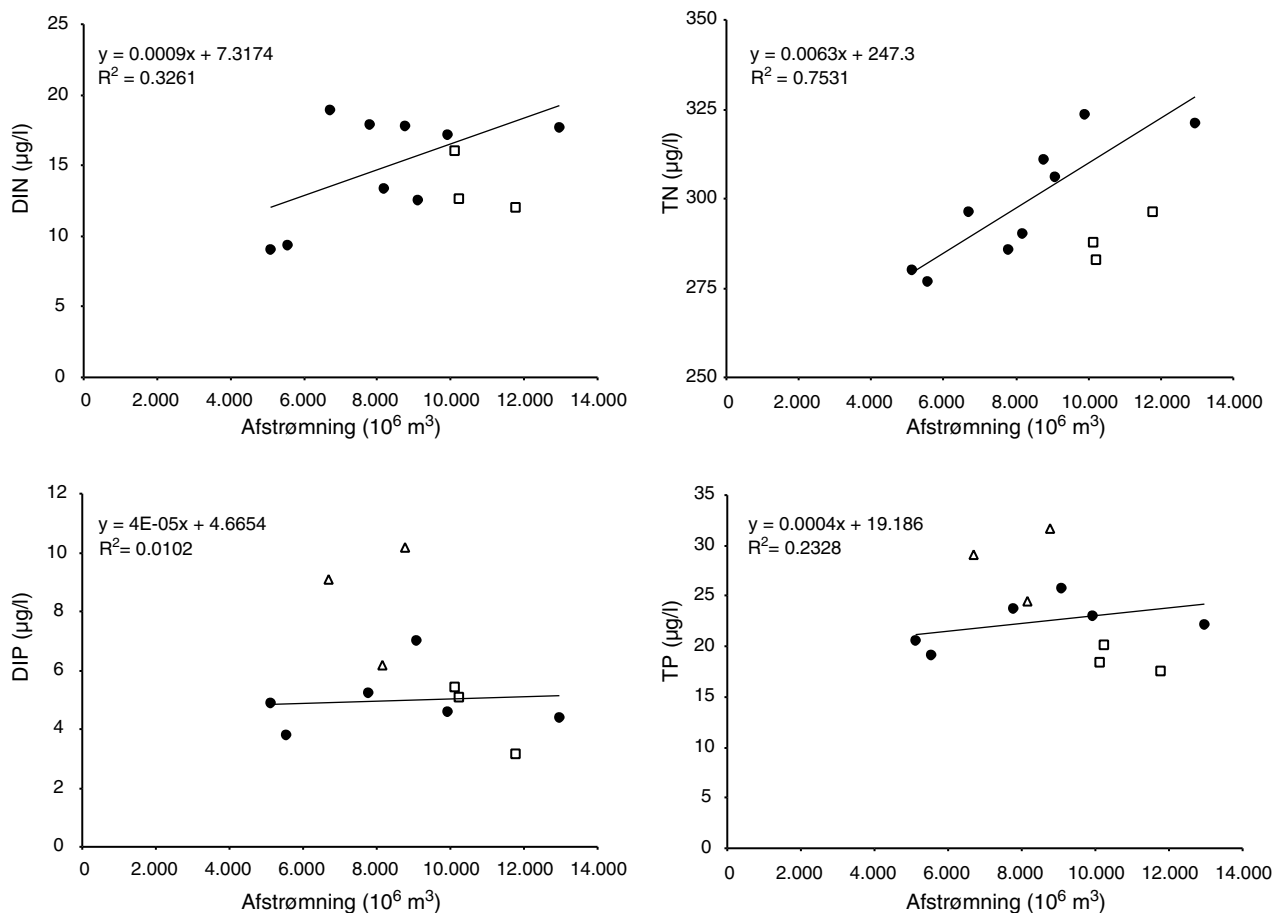
Efterfølgende er de estimerede hovedeffekter transformeret tilbage vha. exponential funktionen. Hvis α er middelværdien og β^2 er variansen på de estimerede hovedeffekter af de log-transformerede data, bliver middelværdien μ for de utransformerede data

$$\mu = e^{\alpha + \frac{\beta^2}{2}}$$

Et approximativt 95% konfidensinterval for de utransformerede data fås som

$$[e^{\alpha - 2\beta}; e^{\alpha + 2\beta}]$$

Eksempelvis estimeres af variansanalysen, at middelniveauet for $\log(\text{DIN})$ i 1999 var normalfordelt $N(2,10;0,0228)$, hvilket ved transformationen ovenfor giver, at middelniveauet for DIN er $8,17 \mu\text{mol l}^{-1}$ med et 95% konfidensinterval på $[7,80;8,55]$.



Figur 2 Årsmiddelkoncentrationer for DIN, TN, DIP og TP i åbne havområder mod afstrømning. Årene 1998, 1999 og 2000 er markeret med firkanter og for DIP og TP er årene 1989, 1990 og 1991 markeret med trekanter.

Plankton

Beregning af observerede indeks

I alle beregninger er fjorde og åbne havområder behandlet hver for sig. Fjorde er alle stationer som har en fjordkode i MADS. Alle øvrige stationer er betragtet som tilhørende åbne havområder. I analyserne blev alle stationer med data fra minimum fem år og mindst fem prøvetagninger om året inkluderet. Ringkøbing Fjord blev udeladt af analysen af kiselalgebiomasse da der skete markante ændringer i den biologiske struktur i fjorden som følge af den ændrede slusepraksis midt i 1990'erne.

Alle beregninger er udført på tidsvægtede middelværdier over de måneder som er angivet i tabel 1. For hver station er der beregnet en global middel for alle år og en middelværdi for hvert enkelt år. En indeksværdi for det enkelte år er derefter beregnet som:

$$\text{Indeks}(\text{år,station}) = \text{middelværdi}(\text{år,station}) * 100 / \text{global middel}(\text{station}) \quad (\text{lign. 1})$$

Derefter er der beregnet en national indeksværdi for året som middelværdien af indekset på alle stationer det pågældende år. Dette er det observerede indeks for den pågældende parameter for henholdsvis fjorde og åbne havområder.

Metoder er i princippet en normalisering af værdierne til middelværdien på den pågældende station. Dette sikre at alle stationer bidrager med samme vægt til det nationale indeks, uanset deres numeriske værdi og uanset antallet af observationer det pågældende år.

Beregning af klimakorrigerede indeks

De observerede indeks indgår nu som den afhængige variable en multiple lineær regressionsmodel hvor forklaringsvariable (uafhængige variable) potentielt er værdier for afstrømning, middel vindhastighed, lufttemperatur og solindstråling:

$$\begin{aligned} \text{Indeks (år)} = & \text{intercept} + k_1 \cdot \text{afstrømningsindeks samme år} \\ & + k_2 \cdot \text{afstrømningsindeks året før} + k_3 \cdot \text{vindindeks} + k_4 \cdot \text{temperaturindeks} \\ & + k_5 \cdot \text{indstrålingsindeks} \end{aligned} \quad (\text{lign. 2})$$

Indeks for de pågældende parametre er beregnet på samme måde som beskrevet ovenfor. I regressionsmodellen for kiselalgebiomasse er overfladevandets (0-10 m) temperatur inkluderet i analysen, og for afstrømning er absolutte værdier (ikke indeks) benyttet. Indeks for vind, temperatur og indstråling er altid beregnet for de samme måneder som den afhængige parametre (se *tabel 1*), mens indeks for afstrømning kan være forskudt i forhold til perioden for den pågældende parametre og både indgår med værdien for de pågældende år og året før. Argumentet for denne metode er at der er en tidsforsinkelse før en afstrømningshændelse påvirker det biologisk system i havet, hvorimod klimaets påvirkning er uden tidsforsinkelse og formodentlig også har en mindre 'hukommelse' end det som gælder for afstrømningen. Værdier for r^2 , intercept og koefficienter med standardafvigelse og p-værdi er givet i *tabel 1*. Den optimale model er fundet ved en trinvis (stepwise) metode hvor kun parametre som bidrager signifikant til modellen, medtages (SAS). Som p-værdi for signifikans er anvendt 0,15, hvilket er standard for den type beregninger. I praksis er alle medtagne uafhængige parametre signifikante på 5%-niveau, undtagen i et tilfælde (*tabel 1*).

Justering af antal år som indgår

Som udgangspunkt er modellen anvendt på årene 1992 til 2000. Dette er gjort fordi man for mange parametre har et markant skift i sammenhængen med klima omkring 1992, især for fjordenes vedkommende. Dette må skyldes reduktionen i fosfortilførslerne fra punktkilder som fandt sted fra slutningen af 1980'erne til begyndelsen af 1990'erne. Efterfølgende er perioden justeret for hver enkelt parameter således at flest mulige år medtages, men uden at årene i starten af perioden afviger markant fra resten. For eksempel er 1992 og 1993 udeladt af modellen for sigtddybde i fjorde idet disse punkter afviger markant fra sammenhængen fra 1994 og frem. Omvendt er 1991 medtaget for primærproduktion i fjordene da det passer med sammenhængen fra 1992 og frem.

Resultatet er at for fjordene er perioden 1991-2000 anvendt for primærproduktion, 1993-2000 for klorofylkoncentrationen og 1994-2000 for sigtddybde. Dette kan tolkes som at primærproduktionen er den parameter, som hurtigst reagerer på de ændrede fosfortilførsler. Med nogle års forsinkelse reagerer så klorofylniveauet og derefter sigtddybden, som afhænger af det samlede indhold af planteplankton, detritus og opløst organisk stof i vand.

I havet indgår observationer tilbage til mellem 1987 og 1989. Observationer længere tilbage afviger tydeligt for den sammenhæng der er fundet efter 1987 til 1989. Det er uvist om det skyldes ændringer i tilførsel, ændringer i det biologisk system eller forskelle i prøvetagningen, som blev ændret markant i 1989. For primærproduktion i havet er årene 1998 til 2000 udeladt idet de afviger meget markant fra resten. Dette kan skyldes ændringer i prøvetagningen da antallet af stationer har været reduceret meget kraftigt siden 1998.

Justering af periode af året hvor parametrene er beregnet

Der er justeret på den periode af året som indekset er beregnet på, således at man får den bedst mulige sammenhæng til klima. For fjordene betyder det at sigtddybde er beregnet for marts til oktober, klorofyl for april til september og primærproduktionen for hele året. For de åbne havområder er sigtddybde beregnet for marts til oktober, mens klorofyl og primærproduktion er beregnet for hele året. Generelt betyder en måned fra eller til kun små ændringer for de fundne sammenhæng. Det er især afstrømningsperiode og tidsforskydning som påvirker de fundne koefficienter og modellens forklaringskraft. Det er således forventeligt at sammenhængen for fjordene er hurtigere og skal findes om sommeren, hvor det biologisk system er mest aktivt, mens sammenhængen for de åbne havområder er bedst, når man regner på hele året for klorofyl og primærproduktion.

Beregning af indeks

Når den bedste model er fundet beregnes afvigelsen mellem den observerede værdi og modellens værdi for hele perioden.

$$\text{klimakorrigeret indeks} = \text{observeret værdi} - \text{model værdi} + 100 \quad (\text{lign. 3})$$

Denne værdi er et mål for den tidsmæssige udvikling korrigeret for klimavariationer fra år til år.

Table 1 Statistik for klimakorrektion af planktondata.

	koefficient	± standardafvigelse	P-værdi	måneder
<i>Sigtedybde, fjorde</i>				
intercept: 168,7	$r^2: 0,97$	år: 94-00		
afstrømning	- 0,242	± 0,022	0,0004	3-10
indstråling	- 0,304	± 0,077	0,0169	3-10
<i>Klorofyl, fjorde</i>				
intercept: -77,60	$r^2: 0,96$	år: 93-00		
afstrømning	+ 0,444	± 0,068	0,0012	4-9
indstråling	+ 0,857	± 0,113	0,0006	4-9
<i>Primærproduktion, fjorde</i>				
intercept: 211,90	$r^2: 0,99$	år: 90-00		
afstrømning	+ 0,172	± 0,0512	0,02	1-11
vind	- 2,123	± 0,1405	< 0,0001	1-12
indstråling	- 0,474	± 0,2242	0,088	1-12
temperatur	+ 1,237	± 0,1122	0,0001	1-12
<i>Sigtedybde, hav</i>				
intercept: 108,77	$r^2: 0,94$	år: 89-00		
afstrømning	- 0,320	± 0,038	< 0,0001	1-10
afstrømning året før	+ 0,180	± 0,0335	0,001	1-12
temperatur	- 0,304	± 0,1222	0,0417	3-10
vind	+ 0,490	± 0,1201	0,0047	3-10
<i>Klorofyl, hav</i>				
intercept:	$r^2: 0,82$	år: 87-00		
afstrømning	+ 0,364	± 0,083	0,0014	1-12
vind	- 0,704	± 0,244	0,0164	1-12
temperatur	- 0,881	± 0,168	0,0004	1-12
<i>Primærproduktion, hav</i>				
intercept: 180,16	$r^2: 0,85$	år: 88-97		
afstrømning	+ 0,518	± 0,137	0,0092	1-12
vind	- 2,145	± 0,626	< 0,014	1-12
temperatur	+ 0,638	± 0,357	0,124	1-12
<i>Kiselalgebiomasse, fjorde</i>				
intercept: 670,72	$r^2: 0,38$	år: 86-00		
overfladetemperatur	- 58,87	± 20,69	0,0138	1-12
<i>Kiselalgebiomasse, hav</i>				
intercept: -57,62	$r^2: 0,27$	år: 79-00		
afstrømning	0,00018	± 0,00007	0,0128	1-12

Bundvegetation

Vegetationsparametrene er indekseret i forhold til de gennemsnitlige værdier for perioden 1989-2000 i de enkelte fjord-/kystområder. Middelværdien i perioden er sat til 100%, og niveauet de enkelte år er beskrevet som procent af middelværdien. Analyserne inkluderer kun fjord-/kystområder med data fra mindst 5 år. Ålegræssets dækningsgrad er arcsin-transformeret for at tilnærme en normalfordeling af data. Tidsserier af indeks for enkelt områder og landsgennemsnittet af disse indeks er analyseret for statistiske udviklingstendenser ved hjælp af Kendall-korrelationer. Fordelingen mellem positive og negative Kendall-tau-værdier er efterfølgende analyseret ved en fortegnstest for at vurdere, om der på landsplan er positive eller negative udviklingstendenser.

Klimadata er beregnet som landsgennemsnit og indekseret i forhold til middelværdien i perioden efter samme metode som vegetationsindeksene. Sammenhænge mellem klimadata og vegetationsparametre er analyseret ved hjælp af Kendall-korrelationer. En klimakorrigeret vegetationsparameter er residualer fra sammenhængen mellem vegetations- og klimaparameteren. Udviklingen i residualerne gennem overvågningsperioden beskriver dermed udviklingen i vegetationen, efter der er taget højde for forskelle i klimaparameteren mellem årene.

Bundfauna

Det er tidligere blevet vist at der, med en tidsforskydning på et eller to år, ofte er en positiv korrelation mellem afstrømning og bundfaunaens tæthed og biomasse (Josefson et al. 1993, Hansen et al. 2000). Denne kobling skyldes sandsynligvis det forhold at afstrømning påvirker tilgængelighed af næringsstoffer i havet (Hansen et al. 2000) og dermed primærproduktion, der sedimenterer til bunden hvor den udnyttes som føde af den fødebegrænsede bundfauna. En stor del af næringsstofferne tilføres havet i vinterhalvåret hvorefter de omsættes under forårsopblomstringen som for en stor del sedimenterer til bunden. Denne stærke kobling mellem det pelagiske og benthiske system i forårsperioden står i modsætning til forholdene på andre tidspunkter af året hvor en større del af næringsstofferne recirkuleres i det pelagiske system. Det har således vist sig at man opnår en bedre korrelation mellem bundfaunavariabel og vinterafstrømningen end med den samlede årlige afstrømning. Derfor har vi valgt at bruge vinterværdier, defineret som værdier for de 5 måneder fra december til april, som mål for de klimatiske parametre, både for afstrømning og for NAO-indeks.

Korrektionen for klima blev foretaget på DMU's og SNS's bundfaunadata fra de indre danske farvande, i alt 22 stationer, og alle målinger fra perioden 1979-2000. En en-vejs variansanalyse blev foretaget med stationstilhørighed som fikseret variabel og med klimafaktor som covariate (Tabel 2). Den tilbageværende variation (residualvariationen), når den del af variationen der kunne forklares af stationsforskelle og af variation af klima (NAO og afstrømning) blev trukket fra, blev derefter analyseret for eventuel tidsmæssig udvikling. Den tidsmæssige udvikling i residualerne er udtryk for ændringer der ikke kan tilskrive de nævnte klimavariabel, men derimod forhold som fx ændrede koncentrationer af næringsstoffer i tilførslen. Analysen blev foretaget på individtæthed og biomasse (vådvægt) fra 3 kombinationer af stationer og prøvetagningstidspunkter som hver for sig er rimeligt godt balanceret med hensyn til observationer: 3 stationer over 20 år (1980-2000), 7 stationer over 11 år (1989-2000) og 22 stationer over 7 år (1994-2000).

Det første trin i analysen var at undersøge om der var en signifikant effekt af henholdsvis NAO og afstrømning. Månedsmiddelværdier for vinter blev korreleret til faunavariabel med forskellige tidsmellemrum 0, 1, 2 og 3 år. Den stærkeste positive korrelation med afstrømning fandtes for 1 års mellemrum, men der var også korrelation for 0 og 2 års tidsforsinkelse. For NAO-indeks fandtes den stærkeste korrelation når faunavariablen blev sammenlignet med NAO-indekset 2 år tidligere. Den tidsforsinkelse som gav den stærkeste korrelation, varierede fra station til station, og derfor blev middelværdier for vintermånederne (december – april) samlet for 0, 1 og 2 år tidsforsinkelse brugt som forklarende variabel. Det vil sige at bundfaunadataene blev forholdt til de 3 forudgående års vinterafstrømning. NAO-indeks og afstrømning var signifikant positivt korrelerede i perioden 1980-2000 og meget stærkt korrelerede i de sidste 10 år 1990-2000.

Table 2 Resultat af envejs ANOVA med henholdsvis afstrømning og NAO-indeks som covariate på bundfauna i de indre danske farvande i perioden 1979-2000. Covariaten er middelværdier for 3 vinterperioder forud for prøvetagningen af bundfauna. F = F-værdi, P = sandsynlighed for ingen effekt.

Log Variabel	Periode/ år	Stn	Stn		Afstrøm.		NAO		r ² for model
			F	P	F	P	F	P	
Tot. tæthed	79-20/22	3	5,63	0,006	11,05	0,002			0,28
Tot. tæthed	79-20/22	3	5,61	0,006			4,78	0,033	0,21
Tot. biomasse VV	79-20/22	3	6,57	0,003	2,25	0,140			0,22
Tot. biomasse VV	79-20/22	3	6,39	0,003			2,96	0,091	0,23
Tot. tæthed	89-20/12	7	8,59	0,000	23,18	0,000			0,50
Tot. tæthed	89-20/12	7	8,53	0,000			23,91	0,000	0,50
Tot. biomasse VV	89-20/12	7	9,72	0,000	2,26	0,137			0,45
Tot. biomasse VV	89-20/12	7	9,53	0,000			1,27	0,264	0,44
Tot. tæthed	94-20/7	22	4,63	0,000	36,62	0,000			0,51
Tot. tæthed	94-20/7	22	4,78	0,000			42,13	0,000	0,53
Tot. biomasse VV	94-20/7	22	4,76	0,000	8,19	0,005			0,46
Tot. biomasse VV	94-20/7	22	4,84	0,000			10,39	0,002	0,47
Polych. tæthed	79-20/22	3	20,88	0,000	5,14	0,027			0,45
Polych. tæthed	79-20/22	3	25,13	0,000			11,92	0,001	0,51
Polych. VV	79-20/22	3	8,44	0,001	0,536	0,467			0,24
Polych. VV	79-20/22	3	8,58	0,001			0,80	0,374	0,24
Polych. tæthed	89-20/12	7	8,66	0,000	26,79	0,000			0,52
Polych. tæthed	89-20/12	7	8,95	0,000			27,76	0,000	0,52
Polych. VV	89-20/12	7	5,18	0,000	2,56	0,114			0,31
Polych. VV	89-20/12	7	5,00	0,000			0,08	0,774	0,29
Polych. tæthed	94-20/7	22	4,96	0,000	47,95	0,000			0,54
Polych. tæthed	94-20/7	22	5,06	0,000			50,89	0,000	0,55
Polych. VV	94-20/7	22	5,93	0,000	5,16	0,025			0,50
Polych. VV	94-20/7	22	6,10	0,000			8,68	0,004	0,52
Mollus. tæthed	79-20/22	3	4,64	0,014	0,007	0,936			0,14
Mollus. tæthed	79-20/22	3	5,41	0,007			3,25	0,077	0,19
Mollus. VV	79-20/22	3	0,55	0,579	0,26	0,612			0,02
Mollus. VV	79-20/22	3	0,53	0,590			0,05	0,820	0,02
Mollus. tæthed	89-20/12	7	15,98	0,000	4,87	0,030			0,58
Mollus. tæthed	89-20/12	7	16,06	0,000			5,94	0,017	0,58
Mollus. VV	89-20/12	7	5,42	0,000	2,23	0,140			0,32
Mollus. VV	89-20/12	7	5,37	0,000			1,72	0,194	0,32
Mollus. tæthed	94-20/7	22	8,43	0,000	8,64	0,004			0,59
Mollus. tæthed	94-20/7	22	8,47	0,000			9,05	0,003	0,59
Mollus. VV	94-20/7	22	5,60	0,000	7,11	0,009			0,49
Mollus. VV	94-20/7	22	5,62	0,000			8,02	0,005	0,50
Echin. tæthed	79-20/22	3	2,05	0,139	0,59	0,445			0,08
Echin. tæthed	79-20/22	3	2,02	0,143			0,46	0,500	0,08
Echin. VV	79-20/22	3	9,87	0,000	0,45	0,507			0,27
Echin. VV	79-20/22	3	9,73	0,000			0,37	0,546	0,27
Echin. tæthed	89-20/12	7	24,53	0,000	2,82	0,097			0,67
Echin. tæthed	89-20/12	7	27,06	0,000			10,06	0,002	0,70
Echin. VV	89-20/12	7	4,36	0,001	1,87	0,175			0,27
Echin. VV	89-20/12	7	4,18	0,001			0,29	0,592	0,26
Echin. tæthed	94-20/7	22	20,00	0,000	5,45	0,021			0,77
Echin. tæthed	94-20/7	22	21,03	0,000			11,75	0,001	0,78
Echin. VV	94-20/7	22	8,42	0,000	0,28	0,600			0,59
Echin. VV	94-20/7	22	8,45	0,000			0,57	0,451	0,59
Crustac. tæthed	79-20/22	3	1,66	0,200	7,22	0,010			0,17
Crustac. tæthed	79-20/22	3	1,58	0,217			0,03	0,864	0,06
Crustac. tæthed	89-20/12	7	1,27	0,285	1,90	0,172			0,12
Crustac. tæthed	89-20/12	7	1,29	0,274			2,36	0,129	0,12
Crustac. tæthed	94-20/7	22	3,81	0,000	0,286	0,594			0,40
Crustac. tæthed	94-20/7	22	3,84	0,000			1,84	0,177	0,41