



# Børsteorm og kystfodring 2002-2010

Marts 2010



## Revisionsoplysninger

<b>Projekt</b>	<b>Eff. Kystnær miljø- Design 06-09</b>
Startdato	Januar 2007
Slutdato	Marts 2010
Projektansvarlig (PA)	Carl-Christian Munk-Nielsen
Projektleder (PL)	Søren Bjerre Knudsen
Projektmedarbejder (PM)	Irene Andersen Birgit Byskov Kloster
Timeregistrering	35210202
Kontering	35210202
Godkendt den 04.05.2011	Underskrift CCMN

<b>Rapport</b>	<b>Børsteorm og kystfodring 2002-2010</b>
Forfattere	Søren Bjerre Knudsen
Nøgleord	Børsteorm, polychaeta, kystfodring
Distribution	<a href="http://www.kyst.dk">www.kyst.dk</a> , Transportministeriet, <a href="http://www.dab.dk/anmeld.asp">www.dab.dk/anmeld.asp</a>
Refereres som	Knudsen S. B.; Kystdirektoratet, Lemvig. 40 sider.

## **Børsteorm og kystfodring 2002-2010**

**December 2010**

# Indhold

<b>Sammenfatning</b> .....	<b>2</b>
<b>1 Indledning</b> .....	<b>3</b>
<b>2 Kystbeskyttelse og kystfodring</b> .....	<b>5</b>
2.1 Kystbeskyttelse generelt .....	5
2.2 Fodringsmetoder .....	6
2.3 Fodringsstrategi .....	8
2.4 Baggrund for undersøgelsen .....	8
<b>3 Kortfattet gennemgang af programmet »Unscrambler«</b> .....	<b>9</b>
3.1 Indledning .....	9
3.2 Strukturering af data .....	9
3.3 Hovedkomponentanalyse PCA .....	10
3.4 Forklaret varians, scores og loadings .....	11
3.5 Opstilling af model for Y-variablen .....	12
<b>4 Nuværende undersøgelser</b> .....	<b>15</b>
<b>5 Prøvetagning</b> .....	<b>16</b>
<b>6 Kornstørrelser på Vestkysten og i fodringssand</b> .....	<b>20</b>
<b>7 Kornstørrelse og stejthed påvirker bundfaunasamfundet</b> .....	<b>23</b>
<b>8 Bunderundersøgelser og kystfodring</b> .....	<b>31</b>
8.1 Agger .....	32
8.2 Fjaltring .....	34
8.3 Sammenfatning .....	35
<b>9 Samlede konklusioner og anbefalinger</b> .....	<b>37</b>
<b>Referenceliste</b> .....	<b>40</b>
<b>Bilag 1</b> .....	<b>41</b>
<b>Bilag 2</b> .....	<b>42</b>

## Sammenfatning

Analyserne i denne rapport viser, at samtlige prøver med børsteorm og kornstørrelser fra perioden 2002 til 2009 og som er taget fra den centrale del af vestkysten viser en signifikant sammenhæng mellem middelnørstørrelsen D<sub>50</sub> og antallet af børsteorm.

Normalt fodres der med væsentligt finere sand end det naturligt forekommende sand. Fodringssandet har normalt en D<sub>50</sub> på 0,4 mm, hvorimod det naturligt forekommende sand har en D<sub>50</sub> på 3 mm. På baggrund af denne kendsgerning og sammenholdt med almindelig anerkendt kystteknisk viden, har undersøgelsen vist følgende:

Høfderne på den centrale del af vestkysten har resulteret i en forstejling af kystprofilet. Det er meget sandsynligt, at denne forstejling har en negativ indflydelse på antallet af børsteorm og dermed på bestanden af fugle og fisk.

Revlefodringer hvert 5. år kan beskytte hele kystprofilet, og sørge for at profilet indenfor revlen er mindre stejlt end de nuværende profiler. Det er meget sandsynligt, at en vedligeholdelse af meget flade profiler fører til en mindre D<sub>50</sub> i den indre del af profilet og dermed til bedre vilkår for børsteorm, fisk og fugle.

Da revlefodring desuden er billigere end strandfodring, vil det betyde en billigere kystbeskyttelse, samtidigt med gunstigere forhold for børsteorm.

Teoretisk set vil en strandfodring resultere i en lille forstejling af profilet, hvorved strandfodringer påvirker børsteorm mere end revlefodringer, men slet ikke i så høj grad som høfder.

Påvirkningen på børsteorm af en strandnær fodring skønnes at ligge mellem virkningen af en strandfodring og en revlefodring.

## Indledning

Den danske vestkyst, der strækker sig over 500 km fra Skagen i nord til den tyske grænse i syd, er et populært rekreativt mål for både danske og udenlandske turister. Naturoplevelser, som lystfiskeri og strandvandring har stor betydning for en bred befolkningsgruppe. Kystområdet er også vigtigt for det kommercielle fiskeri, da kystområdet fungerer som opvæktsområde for fisk. Turisme og fiskeri er af stor økonomisk betydning for lokalbefolkningen, og en beskyttelse af fiskebestanden i hele Nordsøen er vigtig for disse samfunds funktion og identitet.

Kyststrækningen fra Horns Rev til Hanstholm er et vigtig opvækstområde for rødspætteyngel, som anvender området over en lang periode hvert år. Opvækstområdet producerede 55 % af de gydemodne rødspætter, der fandtes på Fisker banken(Ref.3). Området er vigtigt for rødspættens fødesøgning, hvor specielt børsteorm udgør en stor del af føden.

Et økosystem udgør et afgrænset område med ensartet miljø (fysiske og kemiske forhold), og i disse rammer optræder flere trofiske niveauer (planktonalger, bunddyr, småfisk og rovfisk). Algerne, der omsætter solenergi til biomasse, udgør det laveste trofiske niveau, og energien bevæger sig op via fødekæden til de højeste trofiske niveauer. Dette sker i et komplekst samspil mellem de forskellige arter og betinget af miljøet. En forståelse af økosystemet kræver derfor mangesidede undersøgelser, og en forståelse af effekten af kystbeskyttelse i form af sandfodring er en endnu mere kompleks udfordring.

Sandfodring anvendes på den centrale del af den jyske Vestkyst som kystbeskyttelse.

Beregninger i RIACON (Ref. 5) undersøgelsen af den årlige produktion af bundfauna viste endvidere, at mængden af byttedyr og den

potentielle prædation var af samme størrelsesorden. Dette indikerer, at bundfaunaen var udsat for et højt prædationstryk, og konkurrencen om føden kunne være en begrænsende faktor for prædatorerne. Da mængden af bunddyr er væsentlig lettere at måle end antallet af fugle og fisk, bygger denne undersøgelse på, at antallet af bunddyr har en afgørende indflydelse på antallet af fugle og fisk. Derfor vurderes sandfodringers effekt på økosystemet i denne undersøgelse alene ud fra fodringernes effekt på børsteorm. Det betyder, at fodringer formodes at have en god indflydelse på økosystemet, hvis fodringerne har en god indflydelse på bestanden af børsteorm.

Det primære formål med undersøgelsen er derfor at undersøge, om der er en signifikant forskel mellem antallet af børsteorm på en strækning, der har været fodret og på en strækning, der ikke har været fodret en såkaldt referencetrækning. Da denne undersøgelse ikke viser en signifikant forskel på antallet af børsteorm mellem fodrede strækninger og reference strækninger, er en række andre parameters indflydelse på antallet af børsteorm undersøgt. En oversigt over disse parametre og deres forkortelser findes i Bilag 1.

## Kystbeskyttelse og kystfodring

### 2.1 Kystbeskyttelse generelt

På den centrale del af vestkysten fra Lodbjerg i nord til Nymindegab i syd har der tidligere været en voldsom erosion. Syd for denne strækning er der store strækninger med aflejringer, og nord for Lodbjerg er erosionen generelt mindre, end erosionen tidligere var på den centrale del af vestkysten. En tidlig kystbeskyttelsesform var etablering af høfder. De første store høfder blev bygget tilbage i anden halvdel af 1800-tallet. Årsagen, til at de første høfder blev bygget, var de meget store tilbagerykninger af kystlinjen omkring Thyborøn Kanal. De senere år er nybygning af høfder begrænset på grund af indførelse af mere effektive metoder til beskyttelse af kysten. I en kortere periode blev der på vestkysten bygget en del bølgebrydere, men i dag sikres kysten hovedsageligt ved hjælp af kystfodring. En meget væsentlig forskel på faste konstruktioner, som høfder og bølgebrydere, og kystfodring er virkningen på nabostrækningerne. En høfde eller en bølgebryder nedsætter sediment transporten på den strækning, der beskyttes, og vil derfor nedsætte transporten til nabostrækningerne. En kyststrækning, der fodres, vil derimod forøge transporten til nabostrækningerne. (Ref. 1). Grunden til den forøgede transport fra en fodret strækning er, at transportkapaciteten på en kyststrækning under nedbrydning ikke bliver udnyttet på grund af ler i profilet, samt at en fodring forstyrrer den langsgående ligevægts form. Det betyder, at faste konstruktioner som høfder og bølgebrydere skader nabostrækningerne, mens kystfodring gavner nabostrækninger. Heraf følger, at en beskyttelse af en kyststrækning med kystfodring også vil nedsætte erosionen ud for nedstrøms nabostrækninger, hvor der ikke fodres.

Kystfodringsteknikken omfatter en tilførsel af store mængder sand indvundet fra dybere vand. Den umiddelbare biologiske effekt af fodringen er forårsaget af den store volumen af materiale, der på kort



tid tilføres et begrænset område, hvorved dyr, som ikke er i stand til at flygte, bliver tildækkede (ref.5). Endvidere tilføres der sammen med sandet en mængde døde organismer, der umiddelbart kan spises af andre dyr. Der er ikke påviste ændringer på lang sigt, da der kun er udtaget bundfauna prøver i en kort årrække. Hypotesen i denne undersøgelse er, at den lave forekomst af bunddyr på den centrale del af vestkysten hovedsageligt skyldes den forstøjning, der skyldes høfderne. Et stejlere profil giver grovere sand og en voldsommere bølgepåvirkning. Begge dele har en negativ virkning på bestanden af børsteorm.

Principiel er der ikke stor forskel på, om sandet flyttes fra dybt vand til lavt vand af bølger og strøm eller det indvindes med sandpumper og dumpes på revlen. På kort sigt kan der være påvirkning af kornstørrelsen, idet det naturligt forekommende sand mellem kote 0 og -8 normalt er bedre sorteret, end sand der dumpes eller pumpes ind på kysten. Det anses for meget usandsynligt, at dårligt sorteret sand kan transporteres til nabostrækninger, da transportretning og hastighed afhænger af kornstørrelsen. Det betyder at den ydre del af en nedstrøms nabostrækning får tilført det fineste fodringssand, mens den indre del af en nedstrøms nabostrækning får tilført det groveste fodringssand. Sandet, der udsættes for den daglige bølgepåvirkning, forventes sorteret meget hurtigt, mens sand, der ligger under tykke lag af fodringssand, naturligvis først bliver sorteret, når det frilægges på grund af erosionen i området.

## 2.2 Fodringsmetoder

Der findes forskellige metoder til at føre fodringssandet ind på kysten fra søsiden. Ved strandfodring føres sandet helt op på stranden gennem en ledning udlagt på havbunden, og dermed hæves stranden (se figur 2.01).



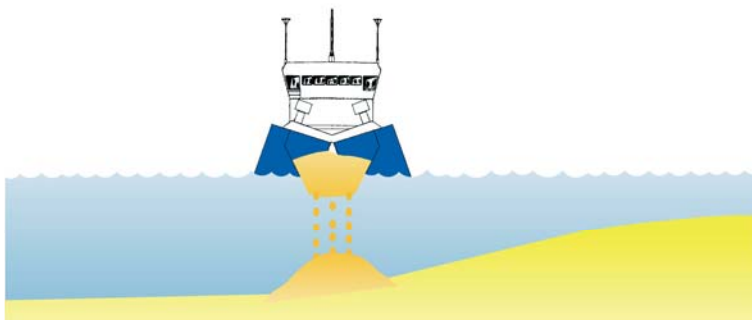
Figur 2.01 Princip strandfodring.

Strandnær fodring og revlefodring betyder, at sandet udlægges på lavt vand. Strandnær fodring anvendes på strækninger, hvor revlen er svagt udviklet eller fraværende, således at sandpumperen kan passere den og aflevere lasten tæt på kystlinjen. Dette udføres ved den såkaldte "regnbuemetode", hvor sand og vand i en bue pumpes over skibets stævn ind mod land (se figur 2.02).



Figur 2.02. Princip strandnær fodring.

Revlefodring anvendes på øvrige strækninger, hvor sandet placeres yderst på revlen. Det kan foregå enten ved splitning af fartøjet som vist på figur 2.03 eller ved førnævnte regnbuemetode.



Figur 2.03. Princip revlefodring.

## 2.3 Fodringsstrategi

Enhedsprisen for strandfodring er noget højere end for revlefodring. Det skyldes hovedsageligt udgifterne ved udlægning og flytning af indpumpningsledningen. Da havet teoretisk eroderer den samme mængde sand uden hensyn til om sandet stammer fra revlefodring eller strandfodring, gælder det blot om at vælge den billigste form for fodring d.v.s. revlefodring. På lang sigt er det dyrere at benytte strandfodring frem for revlefodring. Grunden til at der nogle steder benyttes strandfodring frem for de to andre fodringsmetoder er, at det kræver meget store sandmængder at fodre så meget, at den naturlige opbygning af klitten er større end den naturlige erosion af klitter. På strækningen syd for hofde Q fra linje 5070 til linje 5110 (Fig. 2.04) er det lykkedes at fodre så meget på revlen, at skrænten fra kote 2.0 til kote 3.0 rykker frem med 0,13 m/år i perioden fra 1997 til 2009. I perioden fra 1979 til 1990 var skrænttilbagerykningen på denne strækning 1,51 m/år. Ifølge KDI's fodringsdatabase er der ikke fodret på stranden i perioden fra 1997 til 2009. Grunden til, at der fortsat benyttes strandfodring, er at profilet kan holdes stejlere end det naturlige profil, og derved undgå erosion i klitten og en stor etableringsudgift til opbygning af en bred strand.

## 2.4 Baggrund for undersøgelsen

Forebyggelse af erosion med kystfodring er en metode, der kræver gentagne fodringsperioder således, at man løbende tilfører sand og dermed holder trit med erosionen. Dermed bevares den ønskede kystlinje. Siden omfanget af kystfodring som følge af klimaforandringer forventes at øge i fremtiden, er det vigtigt på nuværende tidspunkt at opbygge en viden om effekter af kystfodring på det marine miljø. Denne viden skal bruges til at udarbejde anbefalinger for den fremtidige strategi for udførelse af kystfodring med henblik på at indbygge størst mulige hensyn til det marine miljø, herunder fiskeriets interesse for upåvirkede fiskebestande. Dette projekt skal undersøge, om anbefalingerne fra 'Kystfodring og godt fiskeri' ( Ref.2) er rigtige, og har den beskrevne effekt. Dette er gjort ved at ændre sandfodringsmetoden fra strandnær fodring til strandfodring som anbefalet i (Ref. 2) og analysere effekten på antallet af børsteorm.

## Kortfattet gennemgang af programmet »Unscrambler«

### 3.1 Indledning

Analyserne i denne rapport er gennemført med programmet Unscrambler, der er udviklet med henblik på anvendelse inden for den kemiske industri. En af de helt afgørende fordele ved programmet er, at de anvendte variable ikke behøver at være uafhængige. Hvis der er afhængighed, oplyser programmet det. Det giver mulighed for større kreativitet og langt hurtigere analyser.

I denne rapport er der ikke gjort forsøg på at opstille en model, der kan forudsige antallet af børsteorm som funktion af fodringerne på en given strækning. Ifølge litteraturen (Ref. 7) kan der forventes en god sammenhæng mellem antallet af børsteorm og D\_50 og stejthed men sammenhængen mellem fodringer og D\_50 og stejthed er ikke kendt og undersøges ikke i denne undersøgelse.

I det følgende gives en kortfattet introduktion til programmet. En detaljeret gennemgang kan læses i (Ref. 14).

### 3.2 Strukturering af data

Det datasæt, der anvendes som eksempel, stammer fra (Ref. 14). Eksemplet vedrører hindbærmarmelade. De anvendte hindbær er dyrket fire forskellige steder C1 – C4 og plukkes på tre forskellige tidspunkter H1 – H3. Det giver 12 slags hindbær som udgangspunkt for marmeladefremstilling. De 12 slags hindbær betegnes objekter eller samples.

Den marmelade, der kommer ud af produktionen kan analyseres efter en række kriterier, f.eks. farve, sødme, bitterhed, viskositet. I

eksemplet er der anvendt 12 kriterier, der er analysens X-variable, og hvert af objekterne har en talværdi for hver variabel.

Da meningen med marmeladefremstillingen er at komme frem til et produkt, som kunderne efterspørger, er de forskellige slags marmelade bedømt af et panel, der har tildelt hver slags marmelade en karakter. Ønsket er så at udvikle en model, der forklarer, hvad der betyder noget for kundernes bedømmelse. Dette er analysens Y-variabel.

I en tilsvarende analyse med kystrelaterede data kunne Y-variablen være profiltilbagekningen i løbet af det næste år. I det aktuelle projekt er Y-variablen antallet af børsteorm. Objekterne kunne være et stort antal delstrækninger, hvoraf nogle er fodret og andre ikke. Man kan sagtens arbejde med flere forskellige år samtidig, idet objekterne så blot tilknyttes et årstal. Som variable kunne anvendes fodringsmængde, kornstørrelse, bølgeenergi i løbet af året, strøm, antal højvandsstande m.fl.

### 3.3 Hovedkomponentanalyse PCA

Datasættet hørende til marmeladeeksemplet svarer til 12 punkter i det 12-dimensionale rum udspændt af akserne hørende til de 12 variable. Opgaven er så at få struktur på denne punktmængde. Det sker ved hjælp af en hovedkomponentanalyse PCA (Principal Component Analysis).

Inden den gennemføres, anbefales det at gennemføre en hurtig statistisk analyse af de enkelte variables fordeling og af sammenhængen mellem variablene to og to. Det er analyser, man også ville kunne udføre uden avancerede hjælpemidler. Disse analyser giver en indledende forståelse af de mest oplagte sammenhænge. Endvidere kan huller i datamængden opdages. Det er nemlig bedst, hvis de forskellige variable er nogenlunde normalfordelte.

I hovedkomponentanalysen fastlægges de akser, der bedst beskriver den sky, som punktmængden udgør i det 12-dimensionale rum. Hvis man forestiller sig skyen i det tredimensionale rum, vil første hovedkomponent være den akse, der bedst beskriver skyens største udstrækning. Man kan også sige, at første hovedkomponent beskriver den største del af punktmængdens varians. Herefter kan anden hovedkomponent fastlægges som den retning vinkelret på den første, hvor der er næstmest varians. På den måde kan man fortsætte, indtil man har 12 hovedkomponenter svarende til de 12 variable. De 12 hovedkomponenter udgør et nyt koordinatsystem med 12 akser.

For at kunne se de sammenhænge, der er skjult i punktmængden, er det imidlertid nødvendigt at få oplysningerne vist i planen. Derfor anvendes forskellige former for projektion på planer bestemt af to hovedkomponenter.

### 3.4 Forklaret varians, scores og loadings

Første hovedkomponent forklarer som nævnt den største del af variansen. Hvor meget det konkret er, beregnes som forskellen mellem den totale varians beregnet i forhold til det nye koordinatsystems origo og variansen i forhold til akse hørende til første hovedkomponent. Restvariansen fordeles efter samme beregningsprincip på de øvrige hovedkomponenter. Resultatet af disse beregninger vises almindeligvis som søjler.

Variansen beskriver punktmængden som helhed. Herefter ses der på de enkelte objekter og variable. Som omtalt svarer hvert punkt i det 12-dimensionale rum til et objekt, der i eksemplet er en marmeladetype. Hvis man f.eks. tager den plan, der bestemmes af hovedkomponent 1 og 2, og projicerer punkterne ned på den, får man beliggenheden i forhold til de to hovedkomponenter. Punktets koordinater på de to akser angiver objektets score. På fig. 3.1 er vist et eksempel på et score plot. Hvis punkter ligger tæt ved hinanden, ligner de tilhørende objekter hinanden. Man ser også, at punkterne ikke ligger tilfældigt. Hvis man går fra venstre til højre på figuren, begynder man ved objekter, der er høstet på tidspunkt H1, passerer objekter høstet på tidspunkt H2, og slutter ved objekter høstet på tidspunkt H3. Går man igennem punktmængden ovenfra og nedad varierer dyrkningsstedet i rækkefølgen C4-C3-C2-C1.

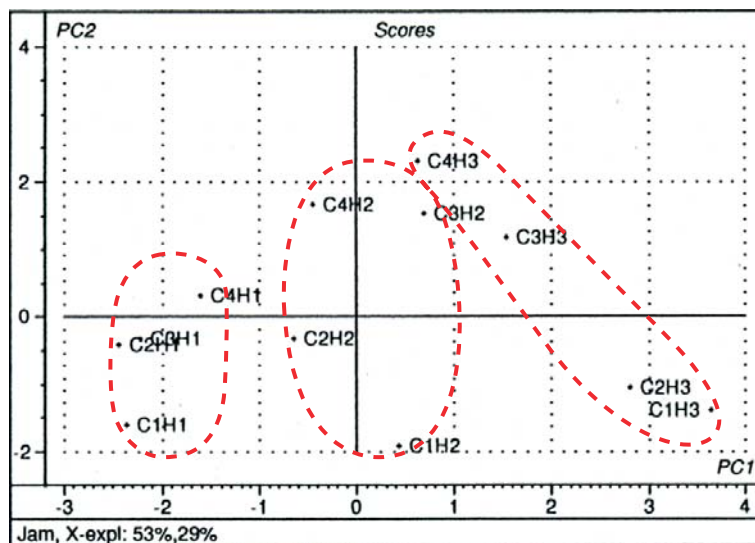


Fig. 3.1 Eksempel på score plot

På et såkaldt loading plot er det variabelen, der er i fokus. Projektionen af punkterne sker som ved fastlæggelsen af score plottet. Hvert af de projicerede punkter svarer til et objekt, der har en værdi for hver af de 12 variable. Ser man f.eks. på variabelen surhed kan man ved vektoraddition finde den vektor, der i det pågældende koordinatsystem repræsenterer den gennemsnitlige surhed. Når man har gjort det tilsvarende for alle variable, kan resultatet præsenteres som et loading plot, se fig. 3.2. Her er det de variable, der ligger langt fra origo, der er interessante, idet de er velegnede til at beskrive Y-variablen.

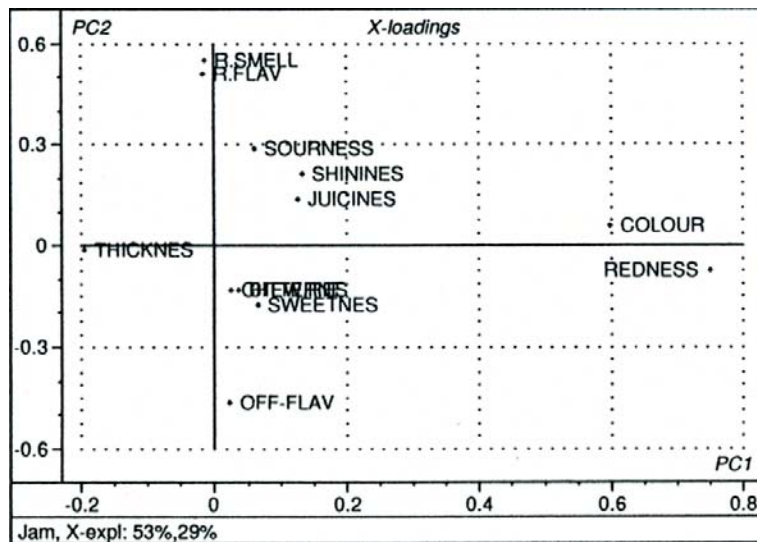


Fig. 3.2 Eksempel på loading plot

Ved at tolke de to plots enkeltvis og sammen kan man begynde at se nogle sammenhænge. Som nævnt er punkterne på score plottet grupperet efter dyrkningssted C og plukningstidspunkt H. På loading plottet har de to variable REDNESS og COLOUR en ekstrem beliggenhed helt til højre. De ligger tæt ved hinanden og er derfor positivt korrelerede, og objekter til højre på score plottet vil have høje værdier for disse to variable.

Hvis man ser på beliggenheden langs den vertikale akse på loading plottet, kan man se, at R.SMELL og R.FLAV er positivt korrelerede, og begge er negativt korrelerede med OFF-FLAV. Objekter, der på score plottet er placeret i retning af disse variable, har de tilsvarende egenskaber.

### 3.5 Opstilling af model for Y-variablen

Y-variablen i eksemplet er jo smagspanelets bedømmelse af de forskellige marmeladetyper. Hver marmeladetype eller objekt har fået en gennemsnitskarakter. For at kunne vurdere, hvilke variable der er vigtige for panelets bedømmelse, skal denne Y-variabel sættes i forhold til de forskellige variables loadings.

Udgangspunktet er loading plottet på fig 3.2. De enkelte punkter er jo fremkommet på grundlag af addition af vektorerne rettet mod de enkelte objekter og med længder svarende til objektets værdi for den pågældende variabel. En tilsvarende vektoraddition foretages derefter, idet længden af vektorerne nu svarer til panelets karakterer til de forskellige objekter. Efter normering har man så et plot for loading weights, hvor Y-variablen er betegnet PREFEREN, se fig. 3.3.

Man ser, at PREFEREN ligger til højre på figuren lidt oven for den første hovedkomponent PC1. Derfor er den primært relateret til de X-variable, der enten ligger langt til højre eller langt til venstre. Det drejer sig om REDNESS, COLOUR og THICKNESS. For sidstnævnte er korrelationen imidlertid negativ.

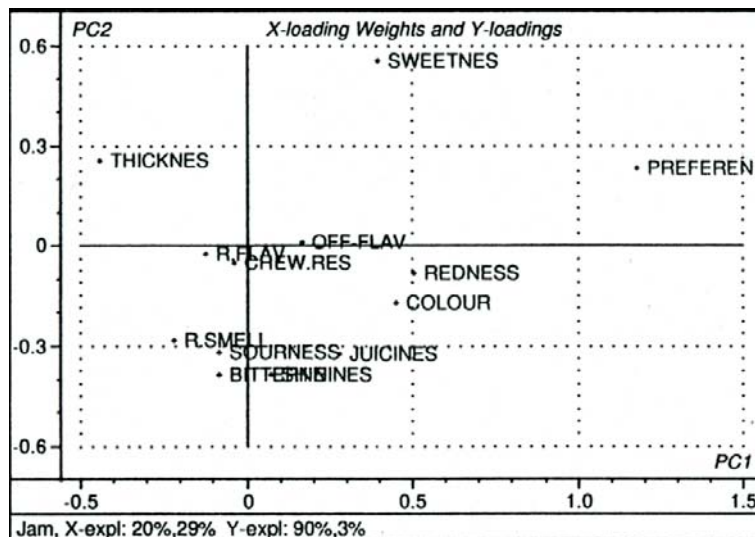


Fig. 3.3 Plot af loading weights inkl. Y-variablen

I forhold til anden hovedkomponent PC2 er det SWEETNESS, SOURNESS, SHININES og BITTERNES, der kan være af interesse. Disse variable har imidlertid ikke ret stor relation til PREFEREN, idet denne kun har en lille loading på PC2-aksen.

Nu er det så, at der kan opstilles en model for Y-variablen PREFEREN. Der skal imidlertid først tages stilling til, hvor mange hovedkomponenter modellen skal være baseret på. Der skal kun tages en ekstra hovedkomponent med, hvis der derved forklares en større del af variansen, dvs. at restvariansen derved bliver mindre. Der skal også tages hensyn til, at modellen bliver mere kompliceret, når der medtages flere hovedkomponenter.

I eksemplet er en model med to hovedkomponentakser PC1 og PC2 optimal, og derfor kan modellen konstrueres på grundlag af fig. 3.3. Det sker ved at addere vektorerne ud til de mest betydende variable, idet vektorerne multipliceres med en passende faktor.

Kvaliteten af den fremkomne model testes ved at lade modellen forudsige de forskellige marmeladetyper karakter og derefter sammenholde de forudsagte karakterer med de faktiske. Denne sammenligning er vist på fig. 3.4. Jo højere korrelationskoefficienten er, jo bedre er modellen.



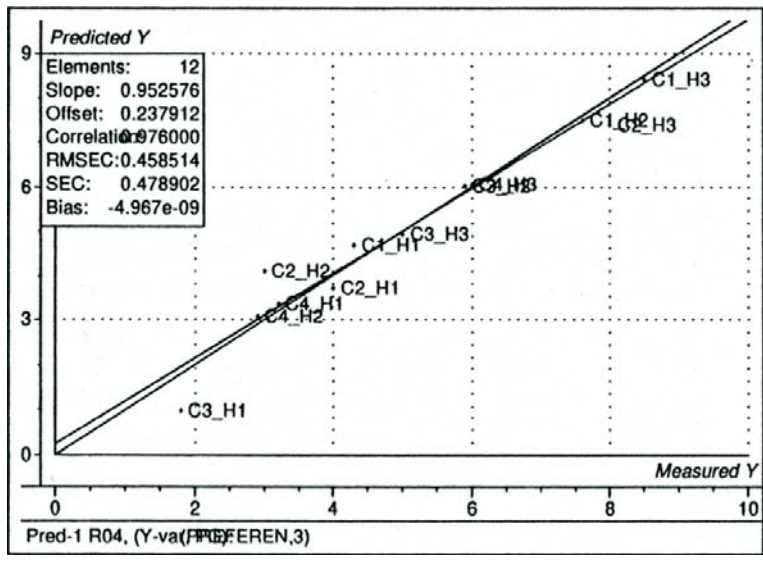


Fig. 3.4 Test of model

## Nuværende undersøgelser

Når man vil undersøge effekten af kystfodring på det marine miljø, er det mest nærliggende at se på ændringen i forekomst af hvirvelløse bunddyr. Disse bunddyr udgør et vigtigt led mellem produktion af mikroalger ved sollys og de højere led i fødekæden som fisk og fugle. Mange bunddyr har høje individtætheder, og de bevæger sig kun lidt. Disse faktorer gør, at bunddyr er forholdsvis nemme at indsamle og optælle. De udgør et robust undersøgelsesgrundlag i forhold til undersøgelser af for eksempel fisk eller fugle. Dette gør disse organismer anvendelige i en vurdering af de umiddelbare og langsigtede ændringer i de kystnære habitater som resultat af kystfodring. Fiske-maveundersøgelser i 2003 viser (Ref. 2 se kap. 6), at børsteorm udgør hovedparten af rødspætters føde. En forståelse af kystfodringens effekt på børsteorm vil således give en kvalificeret vurdering af, hvad kystfodring betyder for rødspætters mulighed for at finde mad.

Denne undersøgelse bekræfter resultatet af nogle belgiske undersøgelser, der viser at D<sub>50</sub> og stejlegheden er negativt korreleret med antallet af børsteorm, men undersøgelsen kan ikke finde en signifikant forskel mellem antallet af børsteorm på en fodringsstrækning og på en referencestrækning. Der er uden tvivl andre forhold end D<sub>50</sub> og stejleghed, der påvirker antallet af børsteorm. Det vil være interessant at undersøge, hvordan f.eks. bølger og temperatur påvirker antallet af børsteorm, men denne undersøgelse er planlagt med et andet formål, og målingerne anses for uegnede til at bestemme virkningen af bølger og temperatur på bestanden af børsteorm.

I Ref. 3 er der påvist en akut negativ effekt af kystfodring på bundfaunaen.

## Prøvetagning

KDI har kun lidt erfaring med prøvetagning med det formål at bestemme antallet af bunddyr. KDI har imidlertid stor erfaring med opmåling og prøvetagning med det formål at bestemme kornkurver/D<sub>50</sub> og standardafvigelser.

En korrekt prøvetagning er meget vigtig, da samplingsfejl kan være op til 1000 gange større end den totale analytiske fejl og 10 til 20 gange større end fejl i data analysen. Dette er dokumenteret i (Ref.9). Forklaringen ligger i en dybere forståelse af, hvad der præcist bestemmer, at en prøve kan kaldes 'repræsentativ'. Teorien Om Sampling (TOS) giver en videnskabelig forklaring. Her forsøges at give en populær forklaring, der kun gælder for børsteorm i et område på kysten. Forekomsten af børsteorm behandles som en prøvetagning (sampling) i to dimensioner, idet prøvetageren (hapsen) Fig. 5.01 går så dybt ned i sandet, at der kun meget sjældent findes børsteorm længere nede. Det sikres at næsten alle børsteorm medtages, fordi børsteorm ifølge ref.13 lever relativt tæt ved sedimentoverfladen samt ved at prøver, der er under 15 cm, kasseres.



Fig. 5.01 Prøvetagning med haps

Inden en undersøgelse planlægges i detaljer, kan der med fordel foretages en pilotundersøgelse af, hvor heterogen forekomsten af børsteorm er. Hvis forekomsten af børsteorm er meget heterogen, er det klart, at en prøvetagning i et teoretisk punkt svarende til et område på under 100 m<sup>2</sup> kan være mere vildledende end vejledende når området, der skal beskrives er på ca. 30.000 m<sup>2</sup>. En prøve, der ikke er repræsentativ, kaldes ifølge TOS 'worthless specimens' eller et værdiløst eksemplar. Hvis bestanden af børsteorm er meget homogen, giver prøver taget i et teoretisk punkt forholdsvis gode resultater, selvom de ikke er taget som korrekte repræsentative prøver (true samples). For at vurdere prøvetagningen i de tidligere undersøgelser fra 2002 til 2004 er prøvetagningen i et punkt gennemført i samtlige kampagner i 2007, så der totalt er 22 prøver taget efter den gamle metode. Disse 22 prøver kan sammenlignes med 2\*22 repræsentative blandingsprøver, der hver består af 10(5) enkeltprøver, der er taget 10(5) forskellige steder i området Tabel 1 og Fig. 5.02.

		DFU E1	KDI B	KDI B1	KDI B2	KDI dif	KDI dif %	DFU_dif	DFU_dif%
2007	Maj R1 2-3m	133	192	210	175	35	18	-59	-31
2007	Maj R1 4-5 m	70	49	56	42	14	29	21	43
2007	Maj R2 2-3m	14	38	56	21	35	92	-24	-63
2007	Maj R2 4-5n m	63	98	126	70	56	57	-35	-36
2007	Maj F 2-3 m	84	112	56	168	-112	-100	-28	-25
2007	Maj F 4-5 m	56	59	56	63	-7	-12	-3	-5
2007	Maj R3 2-3 m	196	189	189	189	0	0	7	4
2007	Maj R3 4-5m	308	178	203	154	49	28	130	73
2007	Juli R1 2-3 m	5741	1014	1175	853	322	32	4727	466
2007	Juli R1 4-5 m	517	164	154	175	-21	-13	353	215
2007	Juli R2 2-3 m	1510	mangler	mangler	mangler				
2007	Juli R2 4-5 m	175	mangler	mangler	mangler				
2007	Juli F 2-3	1018	276	371	182	189	68	742	269
2007	Juli F 4-5 m	126	70	42	98	-56	-80	56	80
2007	Juli R3 2-3 M	56	49	0	98	-98	-200	7	14
2007	Juli R3 -4-5 m	503	112	119	105	14	13	391	349
2007	September R1 2-3	0	14	14	14	0	0	-14	-100
2007	September R1 4-5	28	10	14	7	7	70	18	180
2007	September R2 2-3	21	119	84	154	-70	-59	-98	-82
2007	September R2 4-5	28	73	56	91	-35	-48	-45	-62
2007	September F 2-3	0	98	112	84	28	29	-98	-100
2007	September F 4-5	14	84	105	63	42	50	-70	-83
2007	September R3 2-3	0	129	63	196	-133	-103	-129	-100
2007	September R3 4-5	84	80	63	98	-35	-44	4	5
	2007 Middel	448	146	151	141				
	2007 STDAFV					97	69	1016	156

Tabel 1 Antal børsteorm/m<sup>2</sup>

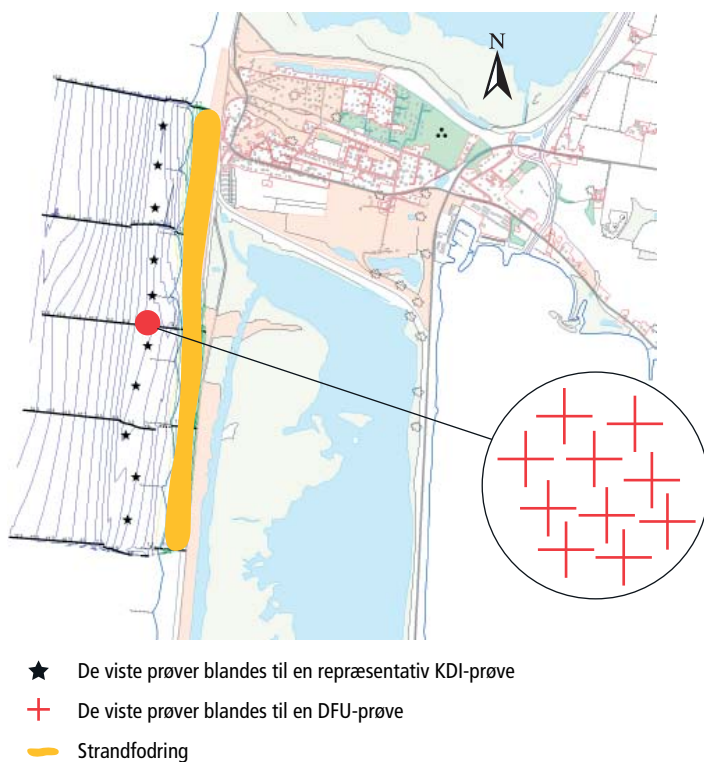
Resultatet af denne undersøgelse er, at de repræsentative prøver har en standardafvigelse på 97 børsteorm/m<sup>2</sup> ~ , mens prøver taget i et punkt har en standardafvigelse på 1016 børsteorm/m<sup>2</sup> ~ , når de sammenlignes med middelværdien af de repræsentative prøver. Dette viser, at forekomsten af børsteorm er heterogen, og prøver foretaget i et punkt har en væsentlig større standardafvigelse end repræsentative prøver. Det er især juli prøven fra område R1 (se tegning 1), der bidrager til standardafvigelsen og påvirker dataanalyserne. Prøven fra juli 2007 fra R1 på 2 – 3 meters vanddybde viser 5741 børsteorm/m<sup>2</sup>, mens de to repræsentative prøver viser henholdsvis 1175 børsteorm/m<sup>2</sup> og 853 børsteorm/m<sup>2</sup>. Prøverne fra 2002 – 2004 beskriver altså området mindre godt, men de er velegnet til at finde evt. sammenhænge mellem børsteorm/m<sup>2</sup> og D\_50.

I denne undersøgelse fra 2007 – 2009 er der taget en kontrolprøve, hver gang der er taget en repræsentativ prøve, og det har derfor været muligt at beregne standardafvigelsen for disse prøver. Standardafvigelsen er 78 børsteorm/ m<sup>2</sup> for de 64 prøver.

De forholdsvis store standardafvigelser på de repræsentative prøver og de sandsynligvis endnu større standardafvigelser på prøverne fra 2002 – 2004 gør det risikabelt at vurdere påvirkningerne ud fra få udvalgte målinger.

I perioden fra 2007 – 2009 er der taget prøver fra de 3 Agger strækninger R1, F og R2 (tegning 1) og en Fjaltring strækning R3. R3 svarer til den tidligere Fjaltring R1 (tegning 3).

På Fig. 5.02 er den principielle forskel vist mellem prøvetagning i et punkt som DFU har benyttet + (dvs. at DFU forsøger at tage 10 prøver i det samme punkt) og udtagning af en repræsentativ prøve \*, der består af 10 prøver, der er jævnt fordelt over det undersøgte område.



Figur 5,02 Principskitse for placering af prøvetagning

## Kornstørrelser på Vestkysten og i fodringssand

I 1999 vurderede KDI, at kendskabet til sedimentets kornstørrelse fra Skagen til Blåvands Huk var for lille. Med det formål at få et bedre kendskab til kornstørrelsesfordelingens variation langs Vestkysten blev projektet Sedimentanalyse Vestkysten 1999 Ref. 4 gennemført. Formålet med projektet var at få kendskab til kornstørrelsesfordelingens variation på tværs af kysten, på langs af kysten samt årstidsvariationen. I projektet blev der indsamlet sedimentprøver i 34 Vestkystlinjer over 4 kampagner i 1999.

Ved den første visuelle bedømmelse af prøverne blev det afsløret, at mange af prøverne foruden sand også indeholdt store mængder grus og sten. Af hensyn til den videre brug af resultaterne i numeriske modeller blev det besluttet kun at medtage sandfraktionen ( $d < 2\text{ mm}$ ) i analyserne.

Da KDI traditionelt bruger hele sandprøven når fodringssandets  $D_{50}$  beregnes, er der til brug for denne analyse foretaget en ny beregning af  $D_{50}$  for hele sandprøven idet fraktionerne ( $d \geq 2\text{ mm}$ ) medtages i beregningen ad  $D_{50}$ .

Den gennemsnitlige kornstørrelse  $D_{50}$  for forår, sommer og efterårs kampagnerne er 2,0 mm, når hele prøven medtages i analysen. I hver kampagne er der taget mellem 1672 prøver og 1710 prøver. Vinterkampagnen er kun baseret på 1103 prøver og giver en gennemsnitlig  $D_{50}$  på 1,0 mm. Årsagen til det reducerede antal prøver og den forholdsvis lille  $D_{50}$  er, at der ikke er taget landprøver syd for Nørre Vorupør under vinterkampagnen.

I undersøgelsen er der undersøgt en linje på Agger tange (4160), og denne linje har en gennemsnitlig  $D_{50}$  på 2,2 mm for hele profilet og et  $D_{50}$  på 3,8 mm, når der kun ses på dybder mindre end 10m.

Ved Fjaltring er der også undersøgt en linje (4540), og denne linje har en gennemsnitlig  $D_{50}$  på 3,1 mm for hele profilet og en  $D_{50}$  på 3,1 mm, når der kun ses på dybder mindre end 10 m.

KDI har fra 2001 til 2009 taget 20.056 prøver fra strandfodring, 1.483 prøver fra kystnær fodring og 4.624 prøver fra revlefodring. Den gennemsnitlige D<sub>50</sub> for strandfodring er 0,43 mm, for kystnær fodring er den gennemsnitlige D<sub>50</sub> på 0,35 mm, og for revlefodring er den gennemsnitlige D<sub>50</sub> på 0,44 mm. (Se tabel 2)

	D <sub>50</sub> mm	Antal_prøver
<b>Sedimentanalyse forår</b>	2,03	1711
<b>Sedimentanalyse sommer</b>	1,9	1673
<b>Sedimentanalyse efterår</b>	1,88	1685
<b>Sedimentanalyse vinter</b>	0,98	1104
<b>Sedimentanalyse alle prøver</b>	1,78	6331
<b>Sedimentanalyse indenfor 10 m dybde</b>	1,14	2991
<b>Sedimentanalyse mellem 3 og 6 m dybde</b>	0,64	1098
<b>Sedimentanalyse linje 4160</b>	2,19	224
<b>Sedimentanalyse linje 4160 dybde &lt; 10 m</b>	3,81	92
<b>Sedimentanalyse linje 4160 mellem 3 og 6 m dybde</b>	3,34	11
<b>Sedimentanalyse linje 4540</b>	3,1	242
<b>Sedimentanalyse linje 4540 dybde &lt; 10 m</b>	3,13	86
<b>Sedimentanalyse linje 4540 mellem 3 og 6 m dybde</b>	0,32	10
<b>Strandfodring</b>	0,43	20056
<b>Kystnær fodring</b>	0,35	1483
<b>Revlefodring</b>	0,44	4624

Tabel 2 Sedimentanalyser

Det er uklart, hvorfor det i Ref.2 flere steder nævnes, at der fodres med forholdsvis groft sand i forhold til det, der naturligt forekommer på kyststrækningen. Påstanden formodes at komme fra Ref. 5, hvor et fodret område sammenlignes med et område, der ikke er fodret. Det fodrede område (revlefodring) har en normal kornstørrelse D<sub>50</sub> på 0,40, men referenceområdet har en meget lille D<sub>50</sub> på 0,29. Forklaringen på referenceområdets meget lille D<sub>50</sub> kan være følgende. Referenceområdet ligger umiddelbart syd for fodringsområdet, og da de første prøver tages i maj 1994, og fodringen umiddelbart nord for foregik året før, må det anses for overvejende sandsynligt, at noget af sandet i referenceområdet stammer fra fodringsområdet. I Ref. 6 og Ref. 12 er det dokumenteret, at grus og groft sand bevæger sig mere direkte ind mod kysten, mens fint sand bevæger sig mere langs med kystlinjen.

Det har meget stor betydning for vurdering af effekten af fodringer på miljøet, at det er de rigtige oplysninger om fodringssandets og det naturlige sands kornstørrelse, der anvendes. Normalt fodres der med finere sand end det sand, der naturligt forekommer

Det er vigtigt for forståelsen af kystfodring, at det grundlæggende er det samme sand der tilføres kysten, enten det sker naturligt ved onshore transport (ref. 6) eller ved kystfodring. Ved naturlig erosion



på dybder mellem 10 og 20 m sker der en udvaskning af fint materiale, så  $D_{50}$  af det mobile sand er større end  $D_{50}$  af sandet, der ligger umiddelbart under det mobile sand. Under transporten fra den ydre del af profilet til den indre del af profilet transporteres det grove sand og grus mere direkte ind mod den indre del af profilet end det fine sand jævnfør ref. 6. Resultatet af denne naturlige sortering er, at det naturligt forekommende sand/grus normalt er grovere end det materiale, der tilføres kunstigt. Forklaringen antages at være, at der kun sker et minimalt tab af fint materiale ved indvinding og dumpning og/eller indpumpning på strand.

I ref.5 viser måleresultaterne, at  $D_{50}$  i det fodrede område aftager fra 0,40 et år efter fodringen til 0,36 to år efter fodringen.

## Kornstørrelse og stejlhed påvirker bundfaunasamfundet

Ifølge Ref. 2 og Ref. 3 har både belgiske undersøgelser og undersøgelsen ved Agger vist, at der er en sammenhæng mellem sedimentets kornstørrelse og forekomsten af bundfauna

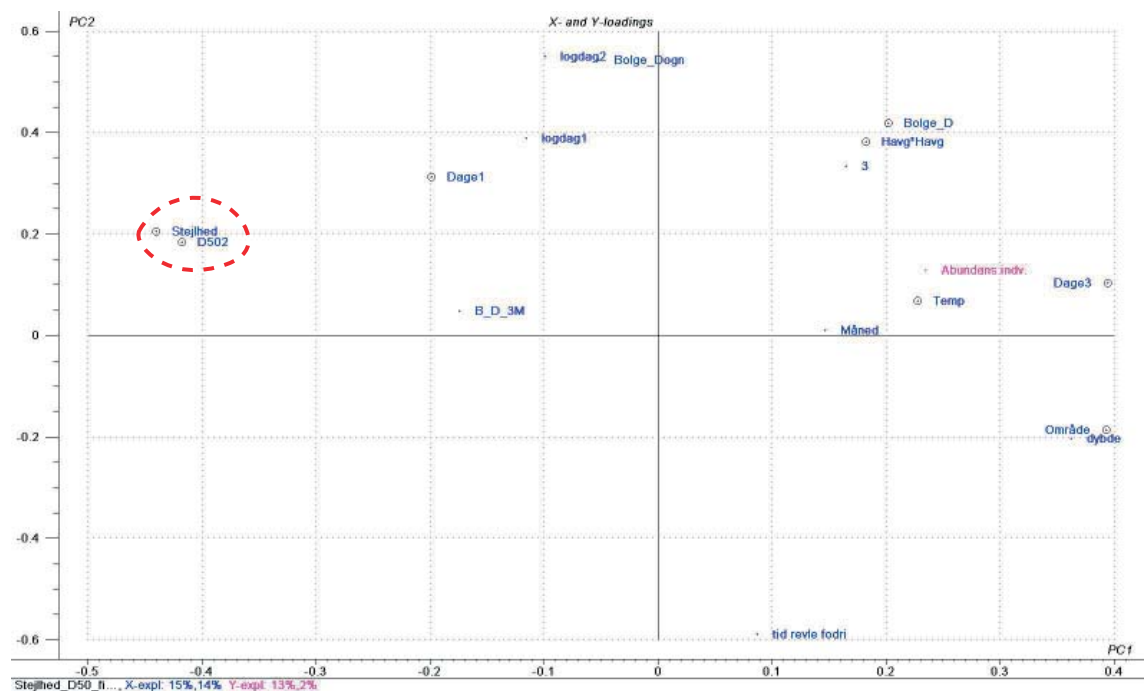


Fig. 7.01 Samtlige data

Når samtlige data fra de to tidligere undersøgelser af Agger tange og Fjaltring behandles sammen med data fra denne undersøgelse ses, at Stejlheden og D\_50 er de parametre, der er mest korreleret med antallet af børsteorm. Stejlheden er beregnet som  $AVL^2$  (se bilag 1 hvor de enkelte variable er beskrevet). En cirkel om en variabel betyder, at det er en signifikant variabel. I det såkaldte loading plot er det de variable, der ligger langt fra origo, der er interessante, idet de er vel-

egnede til at beskrive Y-variablen (Abundans indiv) (se ref. 10) Af fig. 7.01 fremgår det, at der er en negativ signifikant korrelation mellem Stejlhed og antallet af børsteorm og en negativ signifikant korrelation mellem D\_50 og antallet af børsteorm. En negativ korrelation betyder, at når D\_50 og Stejlheden vokser, falder antallet af børsteorm. Fig. 7.01 viser også, at Stejlhed og D\_50 ligger meget tæt og derfor må formodes at være korreleret som vist på fig. 7.02

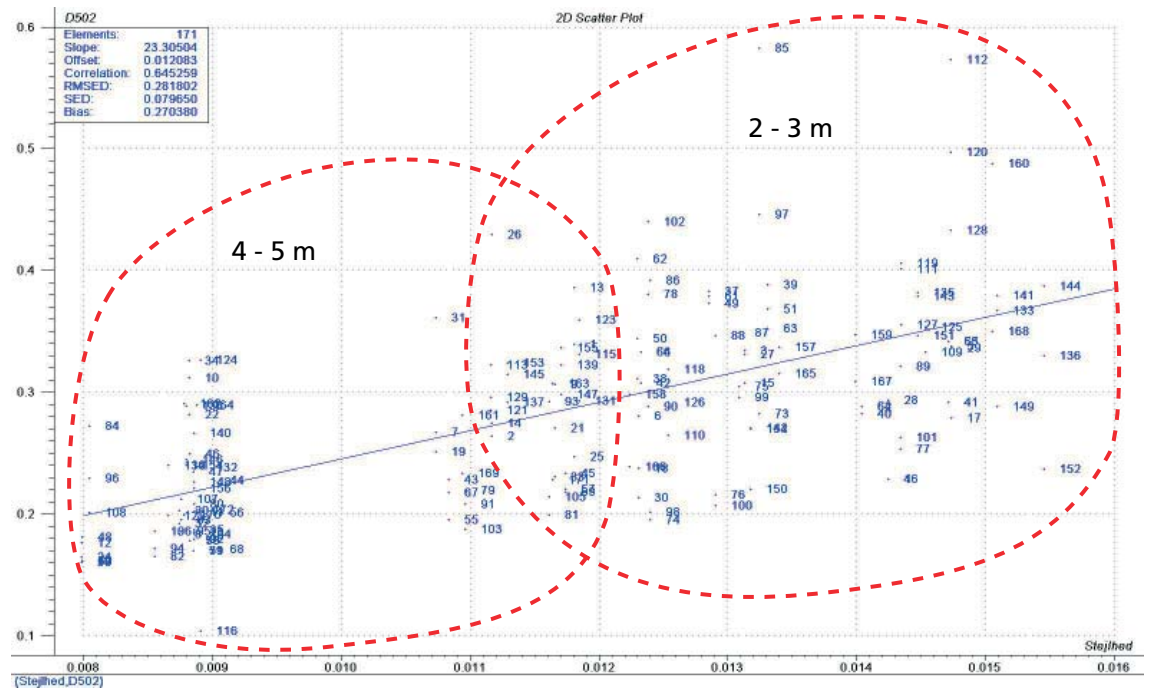


Fig. 7.02 Samtlige data

Grafen Fig. 7.02 viser, at korrelationen mellem Stejlhed og D\_50 er 0,65. Punkterne længst til venstre med den lille stejlhed er alle fra 4-5 m dybde, og punkterne længst til højre er alle fra 2-3 m dybde. I området med stejlheder mellem 0,011 og 0,012 er der både punkter fra 2-3 m dybde og fra 4-5 m dybde.

Denne sammenhæng, der viser, at stejlheden og kornstørrelsen er størst i den indre del af profilet (~2-3 m), passer med tidligere undersøgelser i f. eks. Nourtec II. (Ref. 15)

Den signifikante sammenhæng mellem kornstørrelse og antallet af børsteorm er vigtig for forståelsen af målingerne. Målingerne kan opdeles i undergrupper på mange måder, og selvom antallet af børsteorme afhænger af mange faktorer som dybde, temperatur, storme, fodringer o.s.v., er der stadig en signifikant sammenhæng mellem kornstørrelse (D\_50) og antallet af børsteorm, når målingerne deles i Fjaltring målingerne (Fig. 7.03) og Agger målingerne (Fig. 7.04).

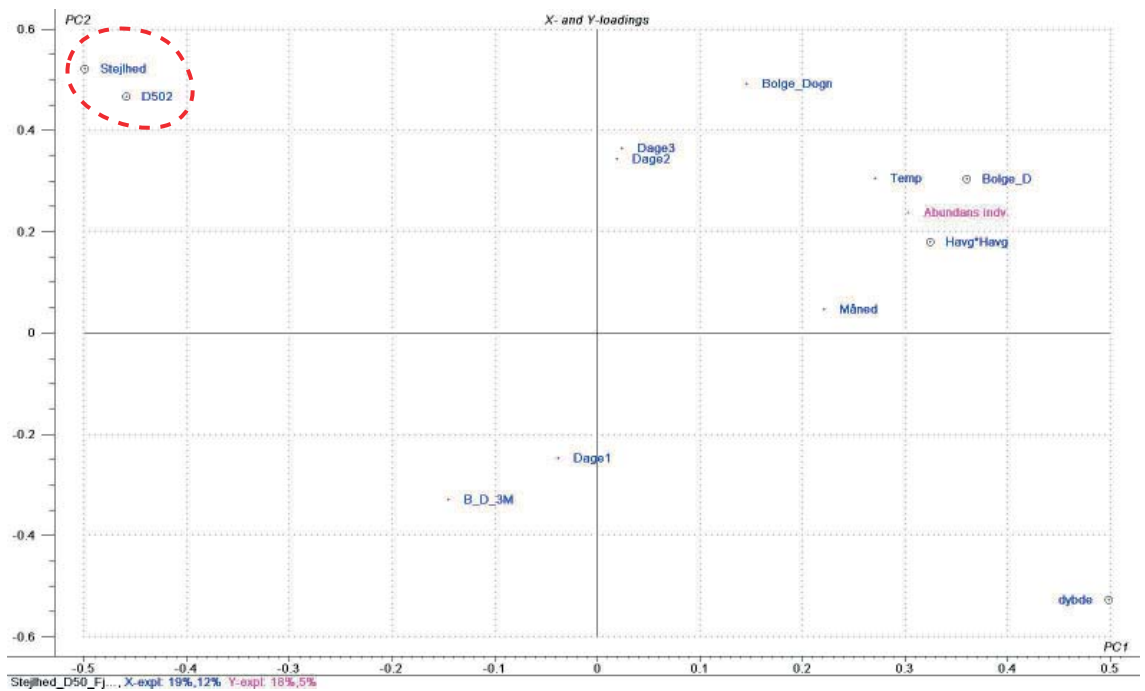


Fig. 7.03 Fjaltring målinger

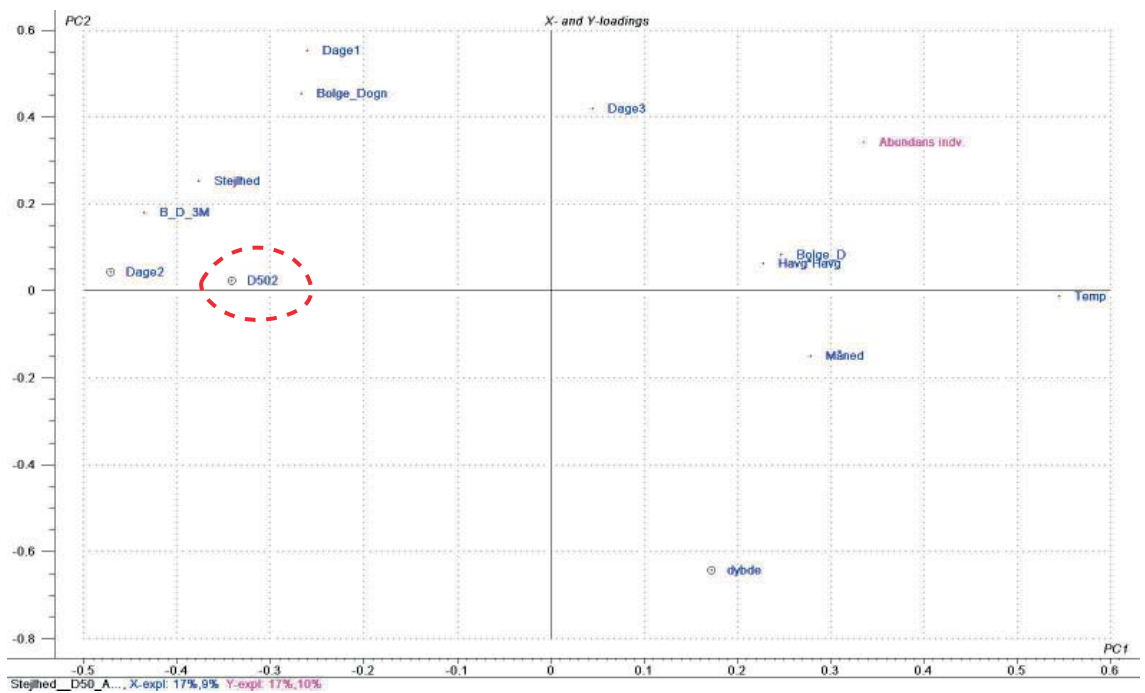
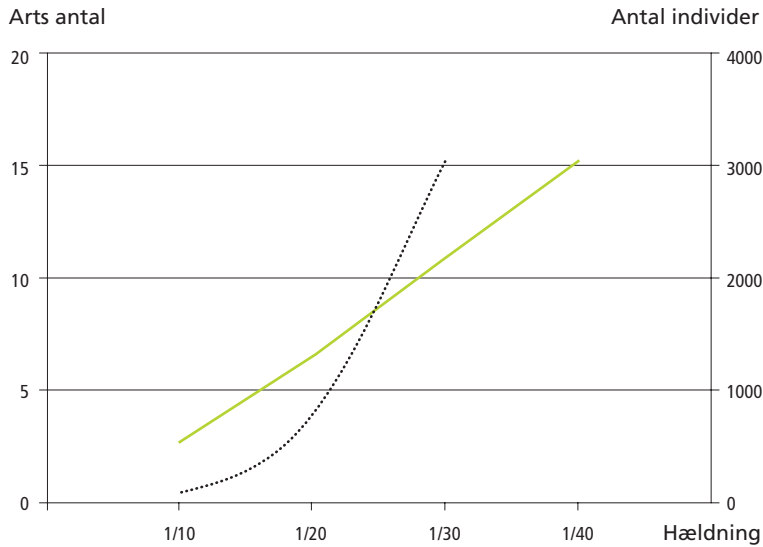


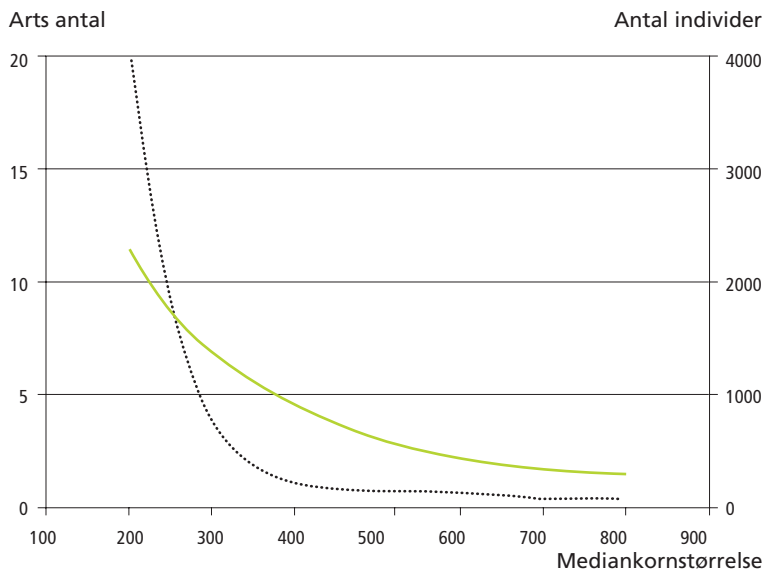
Fig. 7.04 Agger målingerne

De fundne sammenhænge bekræftes også af litteraturen. Kystens hældning eller stejlhed og sedimentkornstørrelse har ifølge litteraturen betydning for sammensætningen af bundfaunasamfundet (se figur 7.05 og 7.06 Ref.7). På figur 7.05 ses det, at antallet af arter og individer falder ved stigende kysthældning ~ større stejlhed. Ligeledes falder antallet af arter og individer med stigende kornstørrelse (Figur 7.06). Et meget bølgepåvirket habitat er ofte sammenfaldende med et stejlt kystprofil og groft sediment og vil derfor have en fauna med lav individtæthed og lav diversitet, dvs. få dominerende arter. Derimod vil bundfaunaen i et stabilt miljø med ringe forstyrrelse have

høj diversitet, dvs. mange arter og mange individer. En ændring i et eller begge af disse elementer (kystens hældning og sedimentkornstørrelse) kan medvirke til en ændring i bundfaunasamfundet og vil dermed have betydning for den øvrige kystøkologi.



Figur 7.05. Forholdet mellem artsdiversitet (ubrudt linje) samt antal individer af bunddyr (stiplet linje) og kysthældning. Kysthældningen øges til venstre i figuren. Tegnet efter Brown & McLachlan (1990) Ref. 7.



Figur 7.06 Forholdet mellem artsdiversitet (ubrudt linje) samt antal individer af bunddyr (stiplet linje) og mediankornstørrelse. Sedimentets grovhed øges til venstre i figuren. Tegnet efter Brown & McLachlan (1990) Ref. 7.

Det tidligere Nordjyllands Amt har foretaget bundfaunamonitering ved Skiveren og Blokhuse i Skagerrak hvert år siden 1986 (Ref. 11). Moniteringen ved Skagerrak er, på nær i 1998, foretaget i forårsmånederne, hvor man forventer en lav tæthed. Tætheden på 4 meters dybde er i gennemsnit 964 individer pr. m<sup>2</sup> (Figur 7,07). Til sammenligning er vist de gennemsnitlige individtætheder på de 3 lokaliteter i maj måned ved Agger Tange, hvor der gennemsnitligt er 249 dyr

pr. m<sup>2</sup>. I en undersøgelse af kystfodring ved Torsminde fandt man en gennemsnitlig tæthed på 327 dyr per m<sup>2</sup> (Ref. 5). Kysternes morfologi har stor betydning for forekomsten af bunddyr. Beregninger af hældningsdata og sedimentkornstørrelsesfordelinger har vist, at kysten ved Skiveren og Blokhushus ud til 800 meter fra kysten er fladere (stejlhed = 0,005), og at sedimentet er finere end ved Agger stejlhed ~0.01. Det er klart at der sandsynligvis er en mindre forskel på D<sub>50</sub> og mediankornstørrelsen, men forskellen har ingen betydning for tolkningen af resultatet.

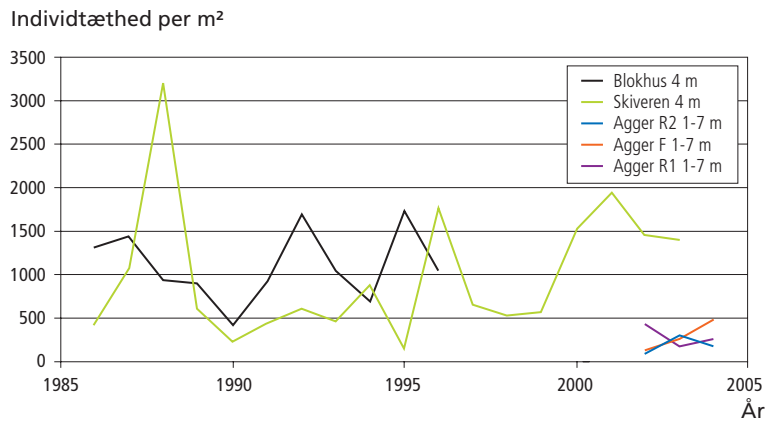
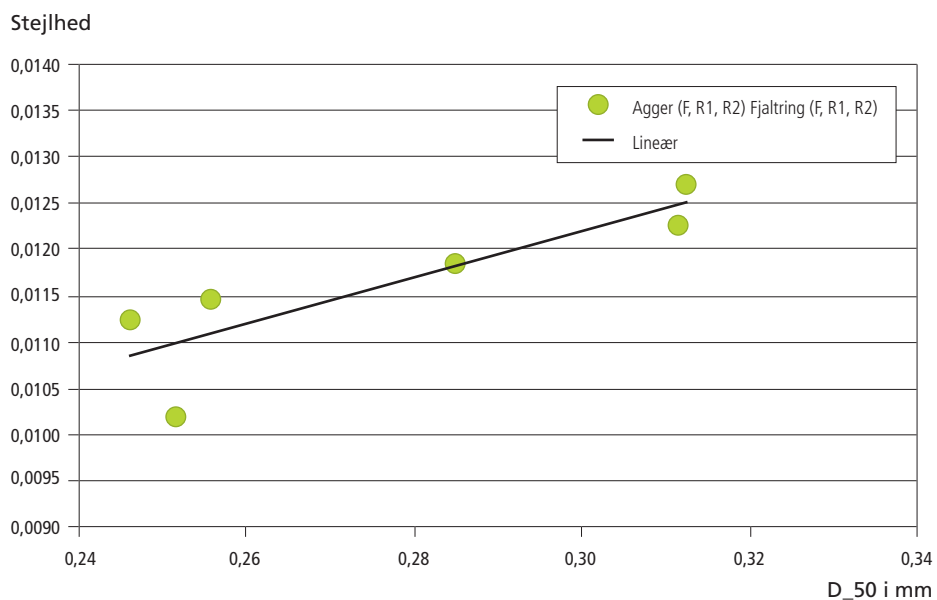


Fig. 7.07 Børsteorm

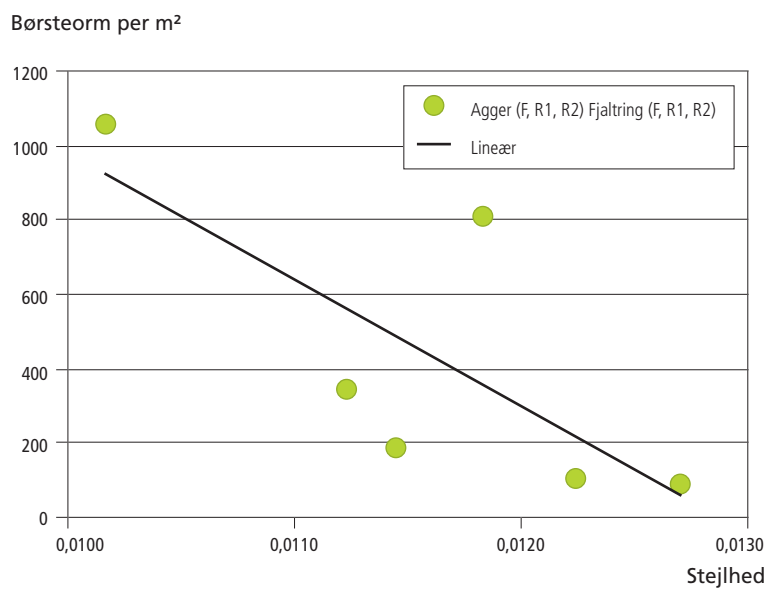
Forekomsten af bunddyr skal derfor i forhold til kystmorfologien være lavere ved Agger end ved Skiveren og Blokhushus, hvilket også er tilfældet. Ved Skiveren er stejlheden beregnet til 0,005, og sedimentet her er finere, hvilket kan forklare en øget tæthed af bunddyr. Samlet set kan det tyde på, at de strækninger, der har været beskyttet med høfder i mange år, har en lavere tæthed af bunddyr end de strækninger, hvor der ikke er høfder. Desuden er arealet af bunden mellem kystlinjen og 10 m dybdekurven blevet halveret fra 1940 til 2000 ved Thyborøn Ref. 8. Ifølge ref.8 er kysten blevet stejlere i 135 år på grund af, at den inderste del af profilet fastholdes ved hjælp af høfder og fodringer, mens erosionen fortsætter uændret i den ydre del af profilet.

Stejlheden og D<sub>50</sub> er som vist ovenfor de to parameter, der betyder mest for børsteorm. For hver af de 6 strækninger (Agger F, R1 og R2), (Fjaltring F, R1 og R2) er vist den gennemsnitlige D<sub>50</sub>, det gennemsnitlige antal børsteorm per m<sup>2</sup> og den gennemsnitlige stejlhed for alle data fra 2002-2009. Fig. 7.08-7.10.



Figur 7.08 D<sub>50</sub>-Stejlhed

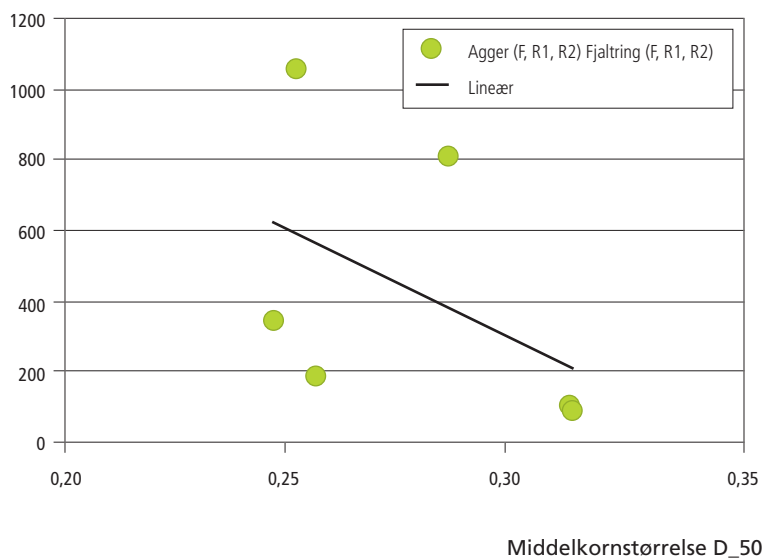
Tilsvarende er sammenhængen mellem Stejlheden og antallet af børsteorm vist i Fig. 7.09.



Figur 7.09 Stejlhed-børsteorm

Til sidst er sammenhængen mellem strækningernes D<sub>50</sub> og antallet af børsteorm vist i Fig. 7.10

## Børsteorm per m<sup>2</sup>



Figur 7.10 D<sub>50</sub>-Børsteorm

De gennemsnitlige D<sub>50</sub>, stejkheder og antal børsteorm er samlet i nedenstående tabel.

	D <sub>50</sub>	Børsteorm	Stejlhed
Agger F	0,31	105	0,0122
Agger R1	0,26	188	0,0114
Agger R2	0,31	86	0,0127
Fjaltring F	0,25	346	0,0112
Fjaltring R1	0,28	811	0,0118
Fjaltring R2	0,25	1053	0,0102

Tabel 3 Gennemsnitlige D<sub>50</sub>, stejkheder og antal børsteorm for 6 strækninger

Hvis de to referencetrækninger ved Agger (R1 og R2) sammenlignes ses, at antallet af børsteorm er størst ved R1, hvor sandet er finest D<sub>50</sub> = 0,26, og stejkheden er mindst.

Hvis der herefter ses på de to referencetrækninger ved Fjaltring (R1 og R2) ses, at antallet af børsteorm er størst ved R2 hvor sandet er finest D<sub>50</sub> = 0,25, og stejkheden er mindst.

Der er endnu meget langt til en fuld forståelse af antallet af børsteorm på et givet sted i profilet på et givet tidspunkt. Den signifikante sammenhæng mellem Stejlhed og antallet af børsteorm og D<sub>50</sub> og antallet af børsteorm gør det sammen med de belgiske undersøgelser muligt at komme med et godt bud på den mest miljøvenlige fremtidige kystbeskyttelsesstrategi.

Det er dokumenteret, at antallet af børsteorm på den del af vestkysten, der er beskyttet med høfder, er mindre end ved Blokhus og Skiveren, hvor kysten ikke er beskyttet med høfder. Det er dokumenteret, at høfderne har medført en forstejling af profilet. Det er velkendt kystteknisk viden, at D<sub>50</sub> på flade kyster er mindre end D<sub>50</sub>



på stejle kyster. På dette grundlag kan det anses for overvejende sandsynligt, at den lave forekomst af børsteorm på de undersøgte strækninger skyldes den kystbeskyttelse, der har medført en forstejling af profilet og dermed en forøgelse i D<sub>50</sub>. Den største del af forstejlingen skyldes høfder, og kun en ubetydelig del af forstejlingen skyldes strandfodring. Den kysttekniske udfordring er derfor at skabe flade kystprofiler med fint sand, såfremt der udelukkende ønskes at skabe de bedste vilkår for børsteorm. I praksis gøres det ved at revlefodre med almindelig fodringssand. Det er ikke muligt at påvirke fodringssandets kornstørrelse indenfor rimelige økonomiske rammer, da fodringssandet tages fra de tilgængelige ressourcer så tæt på fodringslokaliteten som muligt. Stejlheden af profilet kan derimod påvirkes, idet en strandfodring forøger stejlheden, og en revlefodring gør den indre del af profilet fladere.

En revlefodring hver 4. eller 5. år anses for en forbedring af forholdene for børsteorm og for den mest miljøvenlige form for kystbeskyttelse af følgende grunde. Grunden til at KDI bør fodre hvert 4. eller 5. år er, at det bliver for vanskeligt at beregne fodringsbehovet, hvis der f.eks. kun skal fodres hvert 10. år. Og grunden til ikke at fodre hvert eller hvert andet år er, at det ikke er økonomisk optimalt og fordi kysten konstant vil være kraftig påvirket af fodringens akutte negative indflydelse på bunddyr. Selvom der er en umiddelbar negativ effekt af en revlefodring på bunddyr, er der en række fordele. Sammenlignet med et erosions område hvor der ikke kystbeskyttes eller kystbeskyttes med høfder, vil der være sand i næsten hele profilet, mens der i et normalt område på vestkysten vil være ler i en del områder. Kystprofilet indenfor en revlefodring vil være fladere end et naturligt profil og meget fladere end profilet på en høfdebeskyttet strækning, der ikke revlefodres. Den eneste ulempe ved kun at benytte revlefodring er, at den første fodring skal være meget stor og derfor meget dyr, og det kan tage nogle år, inden sandet når ind og beskytter klitfoden.

Grunden til at den første revlefodring skal være meget stor, hvis man ønsker at undgå erosion i klitten er, at erosionen af klitten på en erosionskyst normalt er bagefter erosionen udenfor kystlinjen. Dette skyldes, at erosionen af klitten kun foregår, når vandstanden er høj, og der er en indbugtning på kystlinjen.

## Bunddyrsundersøgelser og kystfodring

De indledende undersøgelser har vist, at stejlhed, D<sub>50</sub> og dybde har signifikant indflydelse på antallet af børsteorm. Stejlhed og D<sub>50</sub> er behandlet i afsnit 7. Antallet af børsteorm afhænger også af dybden, idet der er væsentlig flere børsteorm på 4-5 m vand (middel 588 børsteorm/m<sup>2</sup>) end på 2-3 m vand (middel 174 børsteorm/m<sup>2</sup>). Antallet af børsteorm som funktion af dybden er ikke undersøgt nærmere, da det ikke er formålet med denne undersøgelse. De indledende undersøgelser har også vist, at der i gennemsnit kan være flere bunddyr i et revlefodret område end i et område, der ikke fodres. Fodringsområdet i Fjaltring (Fjaltring F) har i gennemsnit flere bunddyr end reference områderne ved Agger (R1 og R2).

I dette afsnit vil det blive undersøgt, om det er muligt at finde sammenhænge mellem forskellige typer af fodringer og antallet af børsteorm. For at undersøge disse sammenhænge opdeles målingerne i Agger målinger fra 2-3 meters dybde og Agger målinger fra 4-5 meters dybde. Til kontrol sammenlignes resultaterne fra Agger med resultaterne fra Fjaltring målinger fra 2-3 m og fra 4-5 meters dybde.

## 8.1 Agger

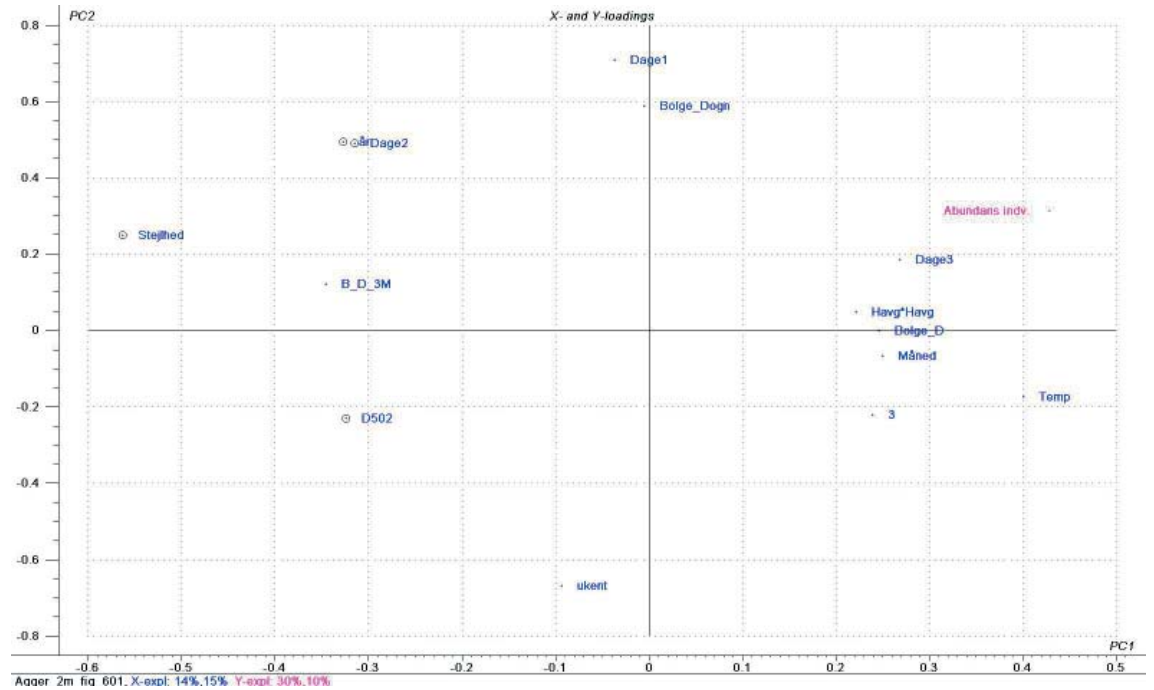


Fig. 8.01 Agger 2-3 meters dybde

Grafen viser, at der er 3(4) signifikante variable (Stejlhed, D\_50, år og Dage2). Stejlhed og D\_50 er nævnt ovenfor, og at disse to variable stadig har en signifikant indflydelse på 2-3 meter vand bekræfter kun undersøgelsen i afsnit 7. De to næste signifikante variable er måleår (år) og tiden (Dage2) siden sidste revlefodring. Da der ikke er revlefodret ved Agger, viser fig. 8.01 kun, at antallet af børsteorm aftager med tiden.

Hvis år og dage2, der kun beskriver tiden, ikke medtages får man følgende resultat.

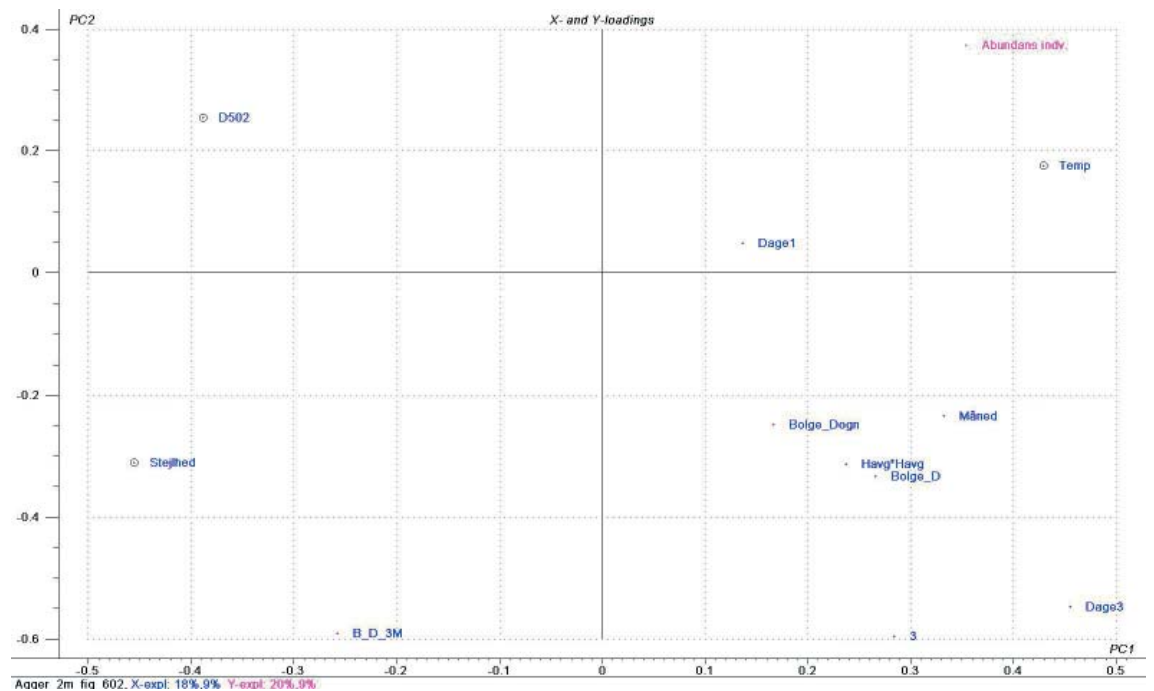


Fig. 8.02 Agger 2-3 m uden tiden

D\_50 og stejlhed er stadig signifikante, og Temp ~ temperaturen formodes delvis at beskrive sæsonvariationen af børsteorm. Det ses, at der er en sammenhæng mellem Dage3 og antallet af børsteorm. Dage3 er tiden siden sidste strandfodring. Sammenhængen er ikke signifikant, og hvis den ikke findes andre steder, er der en risiko for, at Dage3's indflydelse er tilfældig.

Det er ikke forsøgt at holde R1 eller R2 ude af undersøgelsen for at opnå en signifikant sammenhæng, da det vil svække undersøgelsens troværdighed, hvis 1/3 af målingerne skal udelades for at få et resultat.

Hvis der under undersøgelsen var opstået mistanke om at R1 eller R2 var påvirket af tidligere fodringer eller fodringer på nabostrækninger er den korrekte fremgangsmåde at beregne variable, der kan forklare en del af de formodede påvirkninger. Det er forsøgt kun at se på målingerne fra 2007–2009, da det i princippet er en selvstændig undersøgelse, men resultatet er ikke vist, da resultatet svarer til resultatet for hele perioden fra 2002 til 2009.

#### Agger 4-5 m

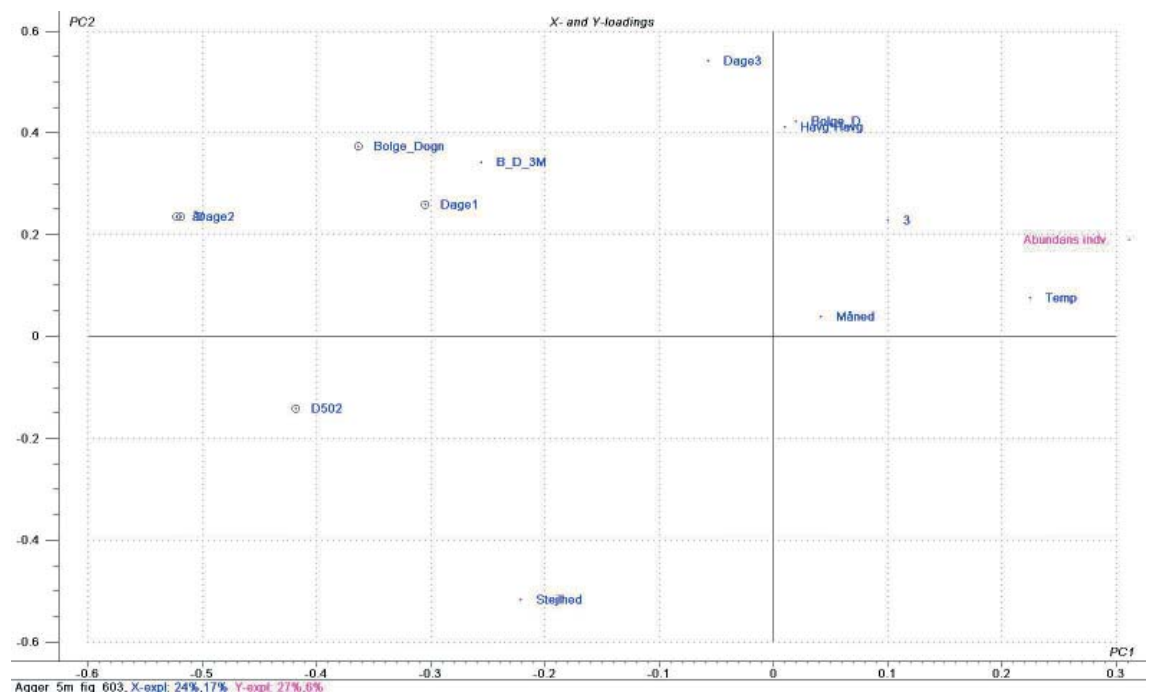


Fig. 8.03 Agger 4-5 m

Målingerne fra Agger fra 4-5 meters dybde viser, at antallet af børsteorm aftager med tiden (År og Dage2). D\_50 er også en signifikant variabel for målinger fra 4-5 meters dybde, mens Stejlhed og Temp ikke er signifikante, men stadig har en stor indflydelse på antallet af børsteorm. Det er nyt, at både Bølge\_døgn og Dage1 er signifikante variable. Da det ikke er den generelle udvikling i antallet af børsteorme, der undersøges udelades de to variable, der beskriver tiden, og der medtages en variable, der beskriver udviklingen ved Fjaltring.

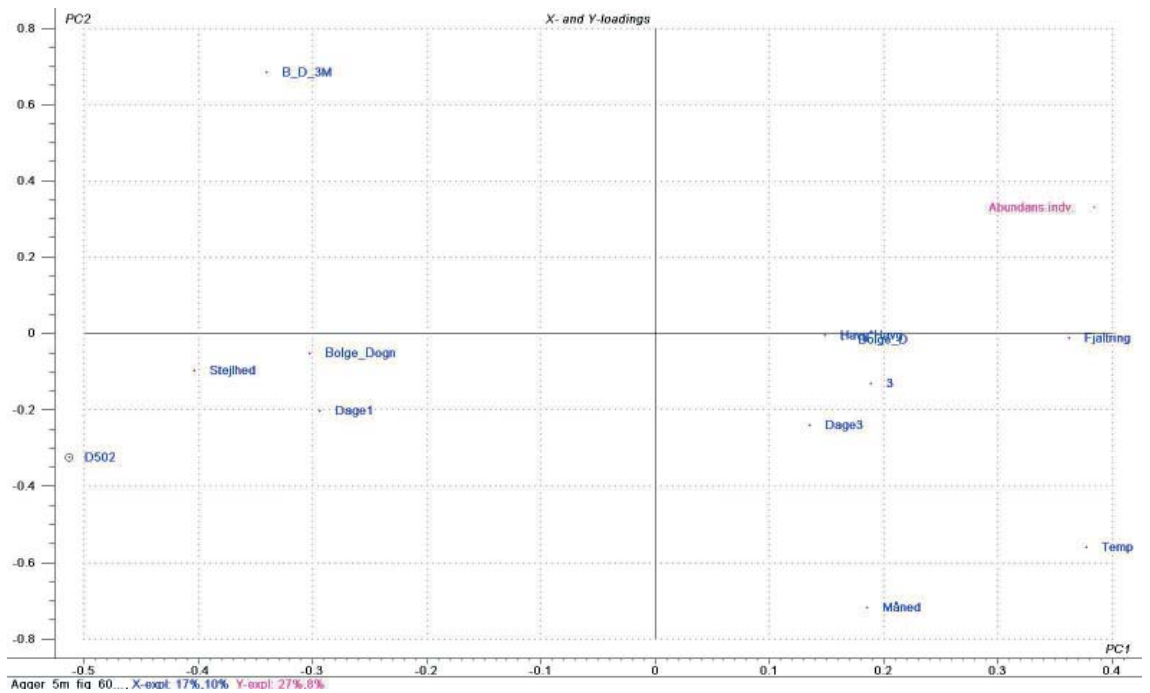


Fig. 8.04 Agger 4-5 m uden tiden

D\_50 er stadig signifikant for antallet af børsteorm. Tilsyneladende forklarer udviklingen ved Fjaltring en del af udviklingen. Stejlhed og temperatur har betydning for antallet af børsteorm, men de har ikke en signifikant indflydelse på antallet af børsteorm ved Agger på 4-5 meters dybde.

## 8.2 Fjaltring

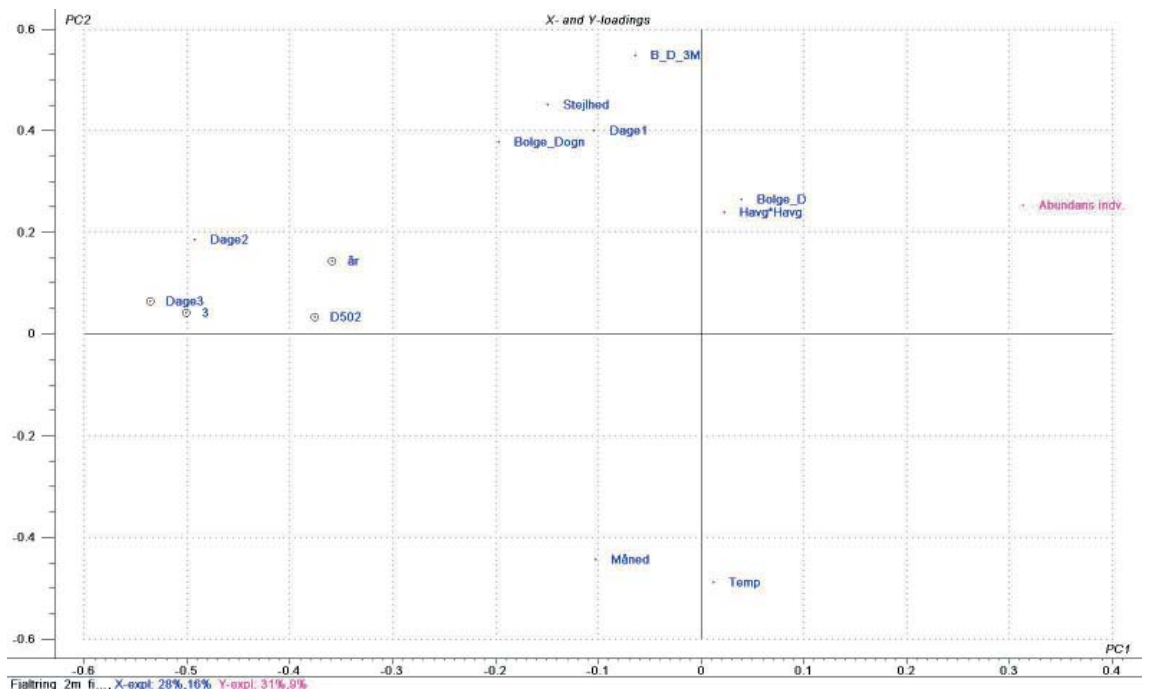


Fig. 8.05 Fjaltring 2-3 m

Fig. 8.05 viser, at der er 4 signifikante variable. De to mest betydende variable er Dage3, der angiver tiden siden sidste revlefodring og variable 3, der angiver, om det er en fodringsstrækning eller en referencetrækning. Grafen viser, at antallet af børsteorm falder med tiden, der er gået siden revlefodringen. Dette tolkes som en tilfældighed, da den samme udvikling er set ved Agger, hvor der ikke er revlefodret. D\_50 er også en signifikant variable for antallet af børsteorm på 2 – 3 meters dybde ved Fjaltring.

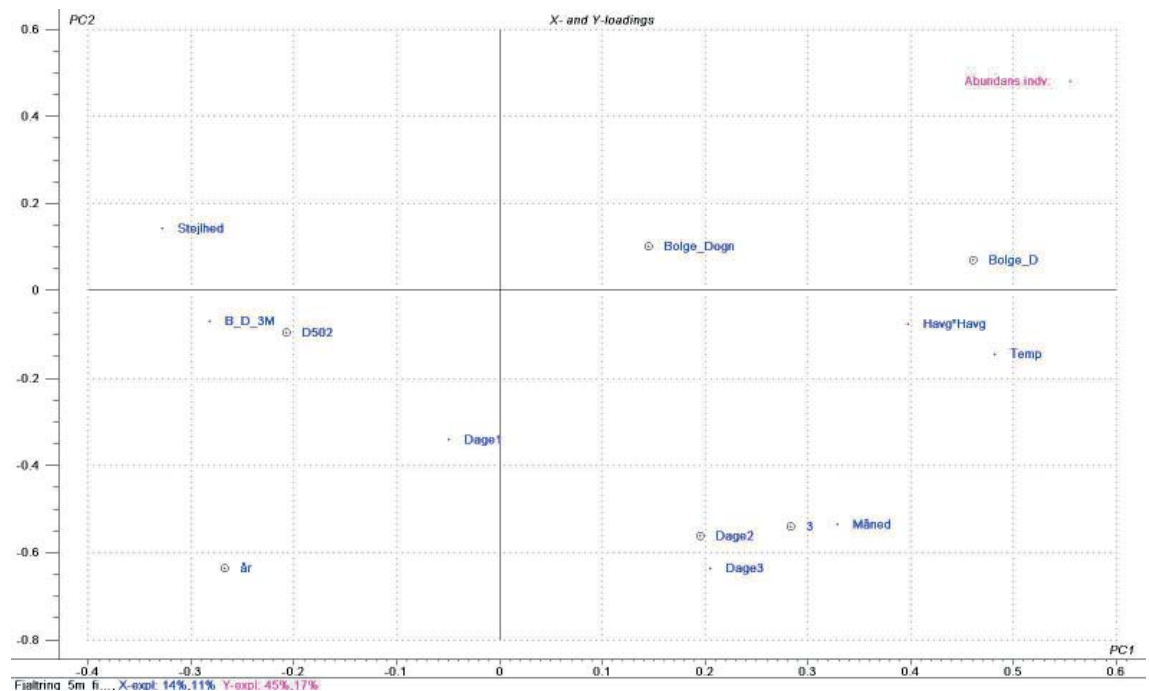


Fig. 8.06 Fjaltring 4 – 5 m

I Fjaltring området på 4 – 5 m vand er D\_50 stadig en signifikant variabel, men den betyder mindre end forskellige udtryk for bølgepåvirkningen. Det er meget vigtigt at bemærke, at Dage3 og variable 3 skifter fra en negativ korrelation med antallet af børsteorm på 2 – 3 m vand til en positiv korrelation med antallet af børsteorm på 4 – 5 m vand.

### 8.3 Sammenfatning

D\_50 er signifikant og negativt korreleret med antallet af børsteorm i det samlede datasæt samt i alle de 6 mindre delmængder af data, der er undersøgt. Støjheden er signifikant og negativ korreleret med antallet af børsteorm i 3 af de 7 undersøgelser af delmængder af data og blandt de betydende variable i samtlige valgte delmængder af data.

Det kan ikke udelukkes, at der kan findes en række andre sammenhænge, hvis det f.eks. var muligt at korrigere for den store sæson variation fra maj til juli og september. Sæson variationen forklares delvis af temperaturen, men det er klart, at det også er afgørende, hvor længe børsteormene har haft gode muligheder for at formere sig.

At der findes en negativ signifikant sammenhæng mellem tiden efter en revlefodring ved Fjaltring på 2 – 3 m vand viser hvor farligt det kan være at tolke ud fra få data.

Det er sandsynligt, at der kan findes negative påvirkninger af fodringerne, hvis der kun ses på dele af data fra meget korte perioder, men det er udeladt i denne undersøgelse, da der fokuseres på den overordnede påvirkning af fodringer.

Det er dokumenteret at fodringssand har en gennemsnitlig kornstørrelse på ca. 0,4 mm, og det er dokumenteret, at den naturlige gennemsnitlige kornstørrelse i den indre del af profilet er 2 – 3 mm. Det er ligeledes dokumenteret, at D<sub>50</sub> på trods af 'støj' fra fodringer, vejret, målenøjagtighed o.s.v. er negativt korreleret med antallet af børsteorm. På dette grundlag anses det for overvejende sandsynligt, at fodring med normalt fodringssand har en positiv effekt på antallet af børsteorm, idet det normale fodringssand er væsentlig finere end det naturligt forekommende sand.

## Samlede konklusioner og anbefalinger

Forebyggelse af erosion med kystfodring er en metode, der kræver gentagne fodringsperioder således, at man løbende tilfører sand og dermed kompenserer for erosionen. Dermed bevares den ønskede kystlinje. Siden omfanget af kystfodring forventes at øge i fremtiden, er det vigtigt på nuværende tidspunkt at opbygge en viden om effekter af kystfodring på det marine miljø. Denne undersøgelse har ledt efter både positive og negative effekter af fodringer og fundet positive effekter af fodringer. Rapporten giver anvisninger på hvordan, der kan kystbeskyttes på en måde der forbedrer levevilkårene for børsteorm.

Kystfodringsteknikken omfatter en tilførsel af store mængder sand indvundet fra dybere vand. Den umiddelbare biologiske effekt af fodringen er forårsaget af den store volumen af materiale, der på kort tid tilføres et begrænset område, hvorved dyr, som ikke er i stand til at flygte, bliver tildækkede og dør. Endvidere tilføres der sammen med sandet en mængde døde organismer, der umiddelbart kan fortæres af andre dyr. Der er i tidligere undersøgelser påvist kortvarige positive effekter på fisk, der tiltrækkes af den let tilgængelige føde af døde organismer. I tidligere undersøgelser er der også påvist en kortvarig nedgang i bundfaunaen.

En væsentlig forudsætning for at gennemføre en god undersøgelse er, at der tages repræsentative prøver. Dette gøres i praksis ved at tage blandingsprøver, hvor de enkelte prøver er jævnt fordelt over området.

Kornstørrelsen og dermed antallet af børsteorm varierer en del på langs af kysten, og det er derfor vigtigt, at en blandingsprøve sammensættes af flere delprøver, der er jævnt fordelt på strækningen. Prøvetagningen var planlagt til 10 delprøver med en indbyrdes afstand på 200 m, men blev af økonomiske grunde ændret til 5 delprøver med 400 m mellem prøverne. De prøver, der er sammensat af delprøver, der er taget med 200 eller 400 m mellem delprøverne, er repræsentative prøver.



**Denne undersøgelse viser ligesom tidligere undersøgelser og litteraturen, at der er en signifikant negativ korrelation mellem kornstørrelse ~ D<sub>50</sub> og antallet af børsteorm per m<sup>2</sup>. Der er også fundet en signifikant negativ korrelation mellem stejlehed og antallet af børsteorm per m<sup>2</sup>.**

På trods af stor spredning på måleresultaterne er der altså påvist en signifikant sammenhæng mellem antallet af børsteorm på den ene side og D<sub>50</sub> og stejlehed på den anden side. I det følgende vil disse kendsgerninger blive sammenholdt med almindelig kystteknisk viden.

Det er velkendt, at kystbeskyttelse med høfder, der forsinker erosionen i den indre del af profilet, medfører en forstejling af profilet, og KDI har dokumenteret dette i Ref. 8. Det er også velkendt, at antallet af børsteorme er mindre på de undersøgte strækninger af vestkysten end på strækninger ved Skiveren og Blokhus. Den lave forekomst af børsteorm på de undersøgte strækninger skyldes med meget stor sandsynlighed den store D<sub>50</sub> og den store stejlehed. Da den store stejlehed og den store kornstørrelse er et resultat af høfdernes påvirkning af profilet, er det indlysende at høfdernes påvirkning i ca. 100 år er den væsentligste årsag til den lave forekomst af børsteorm på den centrale del af vestkysten. På ovennævnte grundlag kan det sluttes, at høfdegrupper medfører en forstejling af kystprofilet og dermed en forringelse af børsteorms levevilkår.

Det er dokumenteret at fodringssandet har en D<sub>50</sub> på omkring 0,4 mm og den gennemsnitlige D<sub>50</sub> i profilerne på den centrale del af vestkysten er på ca. 2 mm. Det vil sige, at fodringssandet normalt er væsentlig finere end det 'naturlige' sand i profilet.

På de undersøgte kyststrækninger, der er forholdsvis stejle og har en forholdsvis stor D<sub>50</sub>, må det anses for meget sandsynligt, at enhver form for kystfodring med relativt fint sand på langt sigt vil forbedre levevilkårene for børsteorm. For det første var der tidligere store områder med lerbund ved f. eks. Fjaltring. Efter de mange store kystfodringer i området, er kystlinjen rykket mod vest, og der er sandbund i hele området i den indre del af profilet. Det betyder, at området, hvor børsteormene kan leve, er blevet udvidet. For det andet må det anses for meget sandsynligt, at et område, der er blevet fodret så kraftigt, at kystlinjen rykker frem, har et D<sub>50</sub>, der ligger tættere på fodringssandets D<sub>50</sub> på ca. 0,4 mm end på kystprofilets D<sub>50</sub> på ca. 3,0 mm. Ved fremtidige måling af D<sub>50</sub> i fodringssand bør der tages hensyn til, at der sker en meget hurtig sortering i det øverste lag i den indre del af profilet. Derfor bør fodringssandets D<sub>50</sub> kun måles, hvis der bliver udviklet en metode, der gør det muligt at tage repræsentative prøver. Målinger fra Riacon (Ref. 5) tyder på, at D<sub>50</sub> i overfladen af en revlefodring falder det første år på grund af den naturlige sortering, og nyt fodringssand derved kan komme til at virke som groft sand, hvis det sammenlignes med et område, der er fodret for få år side.

Målingerne af antallet af bunddyr har ikke vist nogen signifikant påvirkning fra fodringerne, og de har heller ikke vist nogen signifikant forskel på de tre former for kystfodring, når alle data behandles sam-

let. Da der i princippet fodres med det sand, der ligger nærmest, er de praktiske muligheder for at påvirke D<sub>50</sub> begrænsede, og der vil i det følgende blive set på de teoretiske forskelle mellem strandfodring, strandnær fodring og revlefodring. Det er klart, at strandfodring og strandnær fodring umiddelbart medfører en forstejling af profilet, mens revlefodring medfører, at den indre del af profilet bliver fladere end det oprindelige profil. Beregning af stejllheden for Nourtec (Ref. 15) revlefodringen (linje 21800 – 2190) viser, at profilerne ved revlefodringen har en mindre stejllhed de første 8 år efter fodringen end før fodringen. Det er ikke muligt at følge udviklingen af fodringen fra 1993 længere, da området revlefodres igen i 2001. På dette grundlag anses det for meget sandsynligt, at revlefodringer gør profilerne fladere og dermed forbedrer forholdene for børsteorm. Der er ikke set på stejllheden for strandfodringen fra Nourtec forsøget, da stejllheden bestemmes af arealet mellem bunden og kote 0 ud til 800 m fra kystlinjen.

Teoretisk medfører en strandfodring en mindre forstejling af profilet og strandfodringer er derfor dårligere for børsteorm end revlefodringer, men klart bedre end kystbeskyttelse med hølfer.

Virkningen af en strandnær fodring på børsteorm skønnes at ligge mellem virkningen af en strandfodring og en revlefodring.

Revlefodringer har med stor sandsynlighed en gavnlig indflydelse på antallet af børsteorm ved at holde profilet fladere, end det var inden fodringen. De negative virkninger af revlefodringer kan begrænses ved at have lang tid mellem fodringerne (min 5 år) og ved at fodre med meget store mængder på så lille et areal som muligt, som det skete ved Mega fodringen ved Husby. Mega fodringen ved Husby og de tilhørende undersøgelser er udført i perioden fra 2006 til 2009, men projektet er ikke afsluttet, og der er endnu ikke skrevet en rapport. Hvis strandfodring helt skal undgås, skal stranden gøres så bred, at den naturlige aeoloisketransport mod øst er større end nedbrydningen under storm. Det er klart, at desto længere ude i profilet, der fodres, desto større mængder kan der placeres per m<sup>2</sup> havbund.

Revlefodring	
Fordele	Ulemper
Billigst over en lang periode	Store startomkostninger
Medføre et fladt profil indenfor fodringen	Kortvarig negativ påvirkning af bundfauna
Medfører en lille D <sub>50</sub> i profilet	
Medfører bedre vilkår for børsteorm	

Tabel 4 Fordele ved revlefodring

Undersøgelserne har vist, at der er en signifikant negativ korrelation mellem D<sub>50</sub> og antallet af børsteorm. KDI har i forbindelse med Nourtec(Ref.15) vist, at der helt ind til 8 meters dybde er sandbølger eller bundformer, der bevæger sig mod nord (tegning 4) og at D<sub>50</sub> er signifikant større på opstrømssiden end på nedstrømssiden. Ved fremtidige undersøgelser bør det undersøges, om en del af heterogeniteten i forekomsten af børsteorm kan forklares ved hjælp af sandbølger og kornstørrelser, der kan kortlægges ved hjælp af opmålinger og sidescan.

## Referenceliste

- Ref. 1 / Kystdirektoratet 2002/Fodringseffektivitet
- Ref. 2 / DFU-rapport nr. 156 – 05/Kystfodring og godt fiskeri
- Ref. 3 / DFU-rapport nr. 171-07/Kystfodring og kystøkologi Undersøgelse af revlefodring ud for Fjaltring
- Ref. 4/ Kystinspektoratet 1999/Sedimentanalyse Vestkysten 1999
- Ref. 5/ The Danish Coastal Authority in cooperation with the VKI/ Riacon Risk Analysis of Coastal Nourishment Techniques
- Ref. 6/ Kystdirektoratet/Sediment omsætning offshore
- Ref. 7/ Elsevier 1990/ Brown, A.C. & McLahlan, A. . Ecology of Sandy Shores.
- Ref. 8/ Kystdirektoratet 1999/Profile Steepening
- Ref. 9/ Dansk kemi nr. 9, 2002/ Sampling I – ‘the missing link’ for analytisk kemi og kemometri
- Ref. 10/ Kystdirektoratet 2005/Fodringseffektivitet
- Ref. 11/ Hedeselskabet/Anon 2003/Bundfaunamonitering i Skagarrak 2003
- Ref. 12/ Kystdirektoratet 2005/ Variationer i kystprofilen
- Ref. 13/ NOVANA Teknisk anvisning for marin overvågning (4.3 Filtrende organismer)
- Ref. 14/ Camo (1998). The Unscrambler – user Manual
- Ref. 15 Kystdirektoratet 2004/Nourtec 2

**Bilag**

## Bilag 1

### Forklaring variable

Variabel navn	
Sted	Der er 3 Agger strækninger AF,AR1 og AR2 og 3 Fjaltring strækninger FF, FR1 og FR2
Navn	Der er 6 Agger strækninger F 2 -3m, F 4-5m,R1 2-3 m,R2 2-3 m,R2 2-3 mog R2 4-5 mog 6 Fjaltring strækninger F 2 -3m, F 4-5m, R1 2-3 m,R2 2-3 m,R2 2-3 mog R2 4-5 m
3	Har værdien f for fodring elle R for reference
Område	Agger eller Fjaltring
år	Årstal for målingen
Måned	Den måned, der måles
dybde	Dybden er sat til 2 eller 5 m
Målt	Tidspunkt for målingen
Stejlhed	Stejlhed beregnet med KDI-menuen ud til 300 m eller 800 m fra kystlinjen. Stejlhed =A/L*L
Dage1	Antal dage fra sidste strandfodring eller strandnære fodring til måletidspunktet
Dage2	Antal dage fra sidste revlefodring til måletidspunktet
Dage3	Antal dage fra sidste strandfodring til måletidspunktet
Abundans	Antal børsteorm per m*m
D502	D_50 for prøven
Bolge_D	Sum af den gennemsnitlige daglige bølgehøjde fra den foregående vinter september til og med april~ 8 mdr
Hav*Hav	Sum af den gennemsnitlige daglige bølgehøjde i anden fra den foregående vinter september til og med april~ 8 mdr
Bolge_dogn	Antal bølgedøgn med H> 2 m den foregående vinter september til og med april~ 8 mdr
B_D_3M	Antal bølgedøgn med H> 2 m de sidste 3 kalendermåneder før den måned der måles
Temp	Vandtemperaturen da prøven blev taget

## Bilag 2

### Prøvetagning af børsteorm

Der er ved den tidligere og den aktuelle undersøgelse anvendt den samme prøvetager (HAPS-bundhenter). HAPSen antages at indsamle antallet af børsteorm på et areal af størrelsen 0.0143 m<sup>2</sup>.

Den nuværende prøvetagning tager prøver på et sted på en strækning. Ved at tage 10 prøver på samme sted fås et godt overblik over usikkerheden, der skyldes prøvetagningen på dette sted. I praksis findes den ønskede position, og der tages 10 prøver på positionen. Da det ikke er muligt at holde båden helt stille, anses det for usandsynligt at HAPSEN rammer præcist den samme position to gange. Denne metode tager ikke hensyn til eventuelle variationer på strækningen og kan derfor ifølge teori om sampling (TOS) ikke benyttes til at sige noget om antallet af børsteorm på strækningen. Prøvetagningen siger noget om antallet af børsteorm på den valgte position.

Den nye prøvetagningsmetode tager prøver fordelt på hele strækningen, og denne metode kan derfor benyttes til at sige noget om antallet af børsteorm på strækningen. Ved at tage to prøver efter den nye metode, kan standardafvigelsen på den nye prøvetagningsmetode beregnes.

Ved at tage 12 \* 10 enkeltprøver på den oprindelige metode og 2 \* 12 \* 10 enkeltprøver på den nye metode kan de 36 sammensatte prøver sammenlignes og usikkerheden, der skyldes variationer af antallet af børsteorme på langs af kystlinien kan beregnes. Desuden kan variationen af børsteorm på grund af prøvetagningsmetode beregnes.

Hvis variationen af antallet af børsteorm på langs af strækningen er lille, vil antallet af børsteorm bestemt på den nye metode være næ-

sten identisk med antallet bestemt på den oprindelig metode, og det vil være muligt at sammenligne med antallet af børsteorm bestemt i den tidligere undersøgelse.

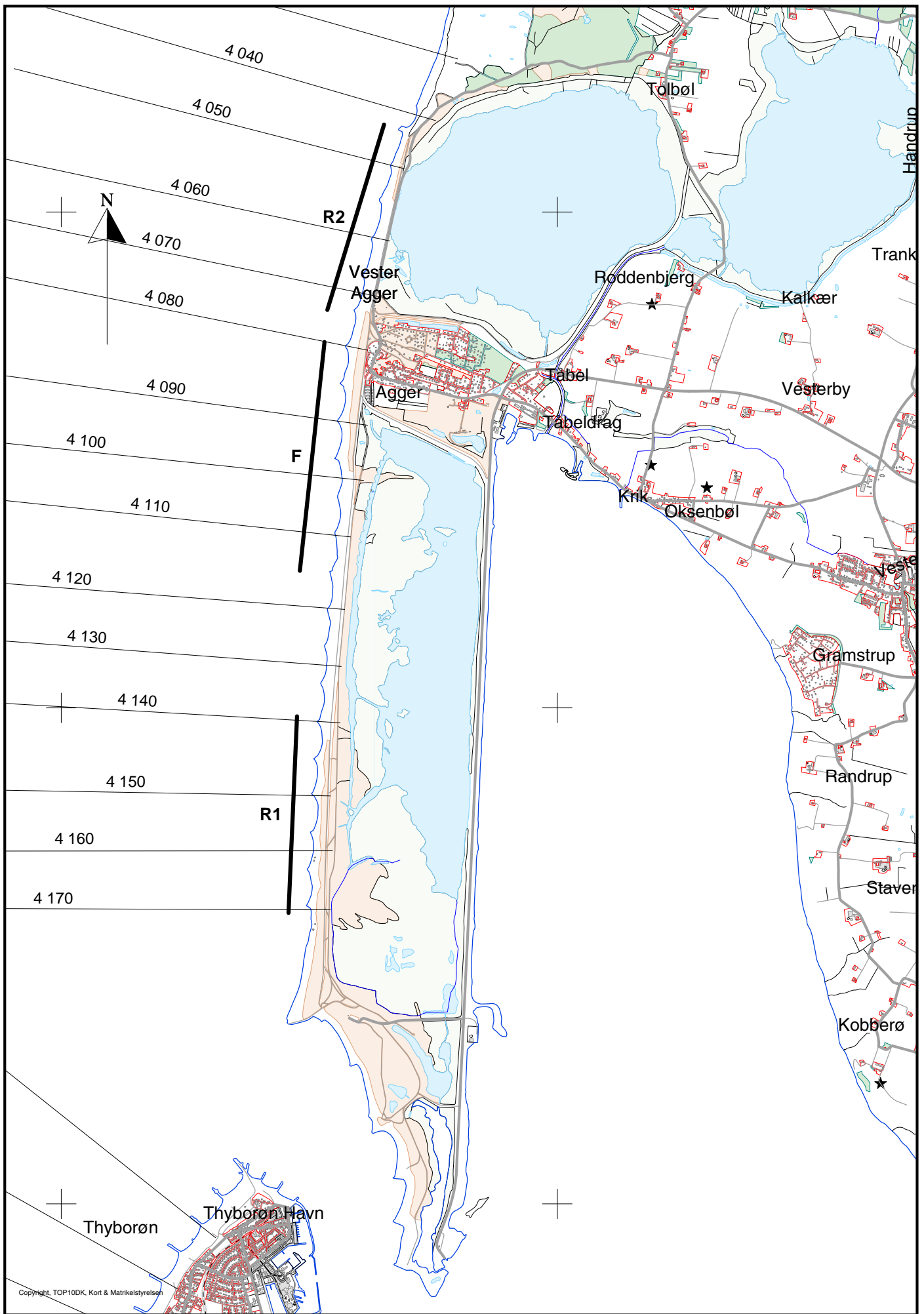
Hvis variationen af antallet af børsteorm på langs af strækningen er stor, vil der være en stor standardafvigelse på de gamle målinger. Det vil naturligvis være muligt at sammenligne antallet af bunddyr beregnet på den oprindelig måde med antallet af bunddyr beregnet på den nye metode, men på grund af den store standardafvigelse, skal der ske store ændringer, hvis eventuelle ændringer skal kunne påvises.

Hvis de tidligere udtagne prøver har været repræsentative for de strækninger, hvor de er taget ~ at variationen af antallet af børsteorm på langs af strækningen er lille, er det muligt at foretage gode sammenligninger mellem nye og gamle målinger. Det betyder også, at der ikke er noget problem ved at skifte fra den oprindelig til den nye metode.

Hvis de tidligere udtagne prøver ikke har været repræsentative for de strækninger, hvor de er taget ~ at variationen af antallet af børsteorm på langs af strækningen er stor, betyder det at ændringer i antallet af børsteorm delvis skyldes ændring i positionen og delvis ændring i antallet af børsteorm. Det anbefales at overgå til den nye prøvetagnings metode, fordi repræsentative prøver beskriver strækningernes udvikling.

**Tegninger**





Copyright: TOP10DK, Kort & Matrikelstyrelsen

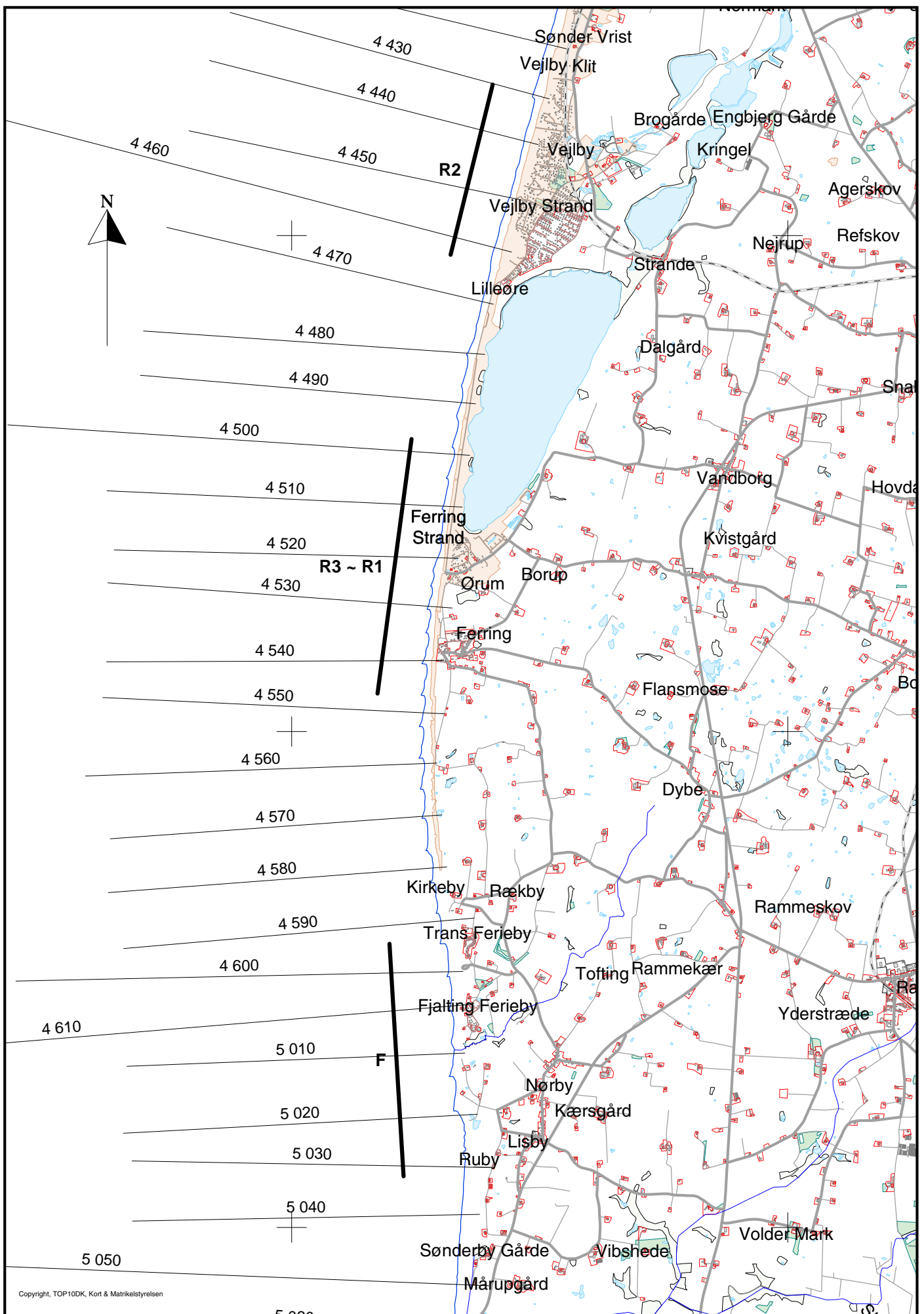


**Børsteorme og kystfodring 2002-2010**  
**Oversigtskort**  
**Agger**

Mål: 1:50000  
 Projekt: sbk/bbk/kk  
 Rev.:

Tegn. nr. 1  
 Nr. 100  
 Gr. 150-78

Godkendt: 04.05.2011 sbk



Copyright, TOP10DK, Kort & Matrikelstyrelsen



## Børsteorme og kystfodring 2002-2010

Oversigtskort

Fjaltring

Mål: 1:60000

Projekt: sbk/bbk/kk

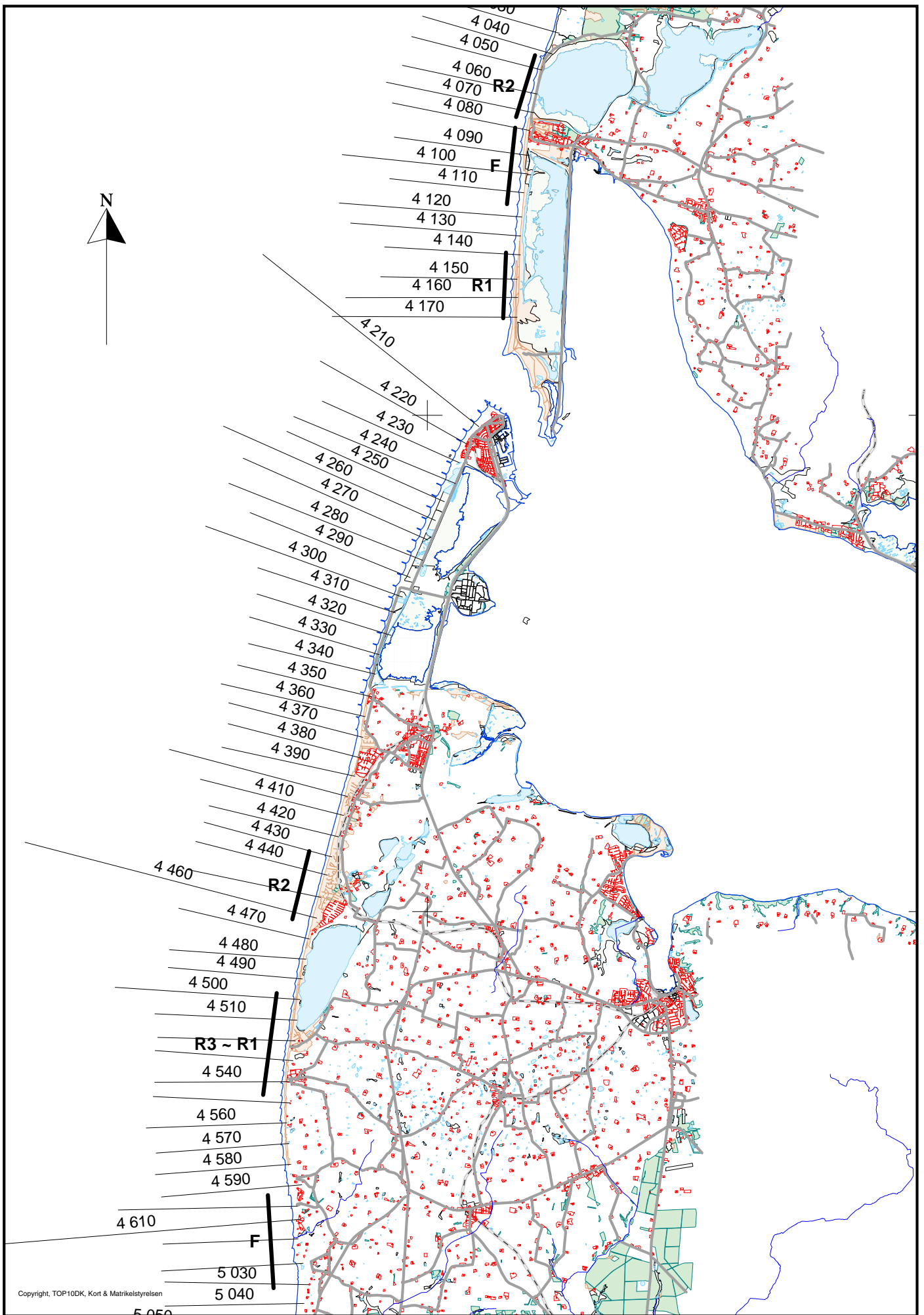
Rev.:

Godkendt: 04.05.2010 sbk

Tegn. nr. 2

Nr. 101

Gr. 150-78



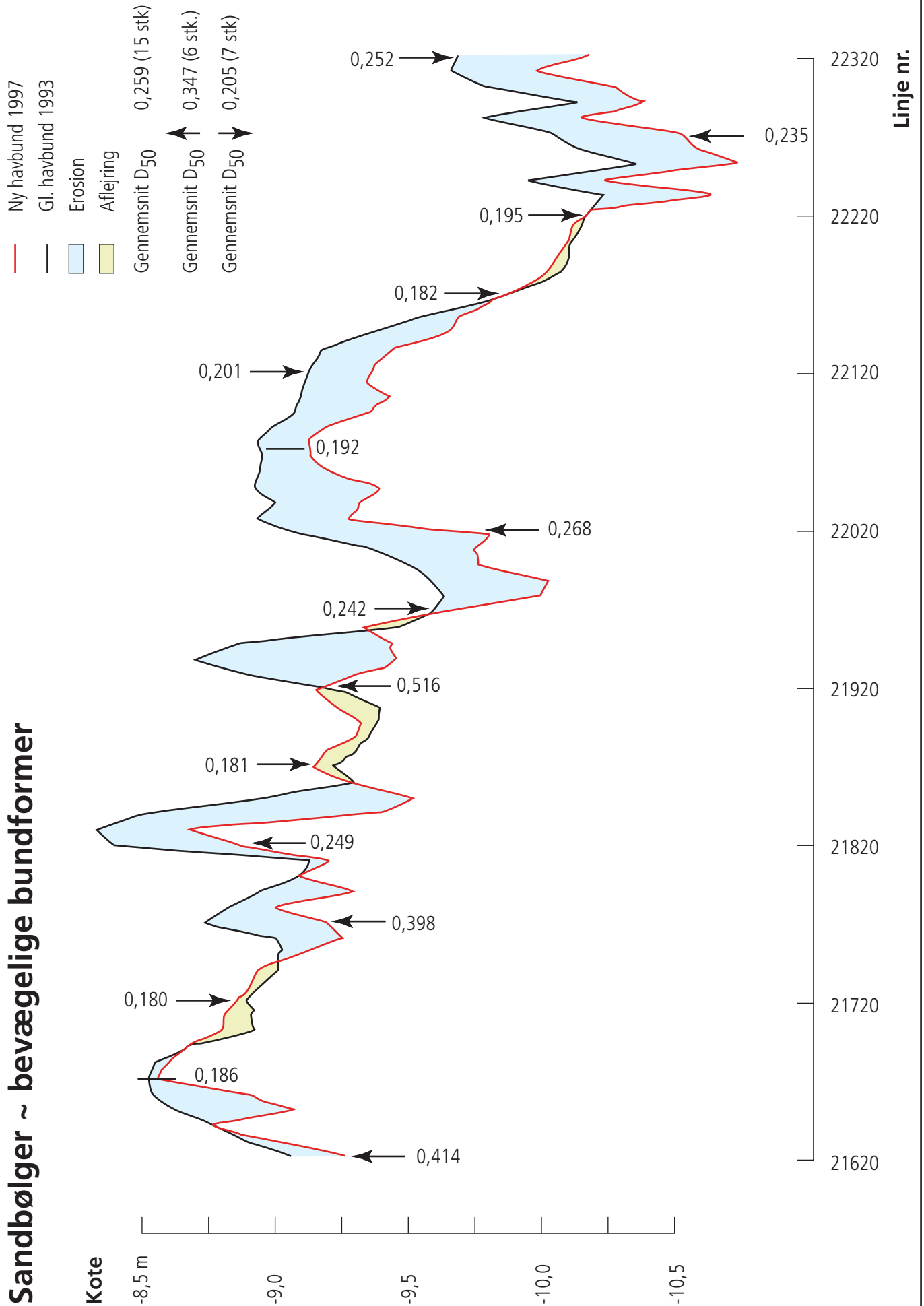
**Børsteorme og kystfodring 2002-2010**  
 Oversigtskort  
 Agger og Fjaltring

Mål: 1:150000  
 Projekt: sbk/bbk/kk  
 Rev.:

Tegn. nr. 3  
 Nr. 102  
 Gr. 150-78

Godkendt: 04.05.2010 sbk

# Sandbølger ~ bevægelige bundformer



**Børsteorme og kystfodring 2002-2010**  
 Snit parallelt med kystlinjen  
 Nourtecområdet

Mål:  
 Projekt: SBK/ima  
 Rev.:

Tegn. nr. 4  
 Nr. 103  
 Gr. 150-78

Godkendt: 29.04.2010 SBK