Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Genindvandring af bundfauna efter iltsvindet 2002 i de indre danske farvande

Faglig rapport fra DMU, nr. 506

(Tom side)

Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Genindvandring af bundfauna efter iltsvindet 2002 i de indre danske farvande

Faglig rapport fra DMU, nr. 506
2004

Jørgen L.S. Hansen
Alf B. Josefson
Troels Møller Pedersen

Datablad

Titel:	Genindvandring af bundfauna efter iltsvindet 2002 i de indre danske farvande
Undertitel:	
Forfatter:	Jørgen L.S. Hansen, Alf. B. Josefson, Troels Møller Pedersen
Afdeling(er):	Afd. for Marin Økologi
Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 506
Udgiver:	Danmarks Miljøundersøgelser© Miljøministeriet
URL:	http://www.dmu.dk
Udgivelsestidspunkt:	September 2004
Faglig kommentering:	Jens Kjerulf Petersen & Bo Riemann
Finansiel støtte:	Ministerens Rådighedspulje
Bedes citeret:	Hansen, J.L.S., Josefson, A.B. & T.M. Petersen, 2004: Genindvandringaf bundfauna efter iltsvindet 2002 i de indre danske farvande. Danmarks Miljøundersøgelser. YY sider. Faglig rapport fra DMU, nr. 506. http://faglige-rapporter.dmu.dk, Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.

Sammenfatning: Iltsvindet 2002 forårsagede skader på bundfaunaen i store områder i de indre danske farvande. Det påvirkede område var mindst 3400 km^2, og det samlede tab af bunddyr blev vurderet til mellem 100.000 og 500.000 tons. Undersøgelserne af genindvandringen til de berørte områder viste, at normaliseringen gik langsommere end forventet, og året efter var tætheden af dyr stadig 30-40% under det oprindelige niveau. Produktionen i dyresamfundene var kun ca. 10% af niveauet i de områder, der ikke var påvirket i 2002. Den meget langsomme normalisering af dyresamfundene skyldtes hovedsageligt to forhold. Dels varede iltsvindet i 2002 så langt ud på efteråret, at rekrutteringen først for alvor startede året efter, og dels var der iltsvind igen i 2003, som nulstillede processen i store områder. Undersøgelsen viser, at tidspunktet og varigheden af iltsvindet generelt har betydning for, hvor hurtigt forholdene bliver normale. I nogle lukkede områder har biodiversiteten sværere ved at blive genoprettet, og disse områder må betragtes som mere sårbare over for skader af iltsvind.

Emneord:	Iltsvind, bundfauna, genindvandring, indre danske farvande, bunddyrlarver
Layout:	Pia Nygaard Christensen
ISBN:	87-7772-828-9
ISSN (elektronisk):	1600-0048
Sideantal:	61 sider
Internet-version:	Rapporten kan også findes som PDF-fil på DMU's hjemmeside http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR506.pdf
Købes hos:	Miljøministeriet Frontlinien Rentemestervej 8 2400 København NV Tel. 70 12 02 11 frontlinien@frontlinien.dk www.frontlinien.dk

Indhold

Forord 5

1 Indledning og baggrund 7

2 Undersøgelsesmetoder 11

2.1 Feltundersøgelser 11
2.1.1 Redskaber og procedurer i felten 11
2.1.2 Kvalitativ beskrivelse af prøverne 13
2.1.3 Prøvetagning af bundfaunaens rekrutter/postlarver 14
2.1.4 Undersøgelse af bunddyrlarver i planktonet 14
2.2 Oparbejdning af materialet i laboratoriet 15
2.2.1 Kvalitetssikring 16

3 Resultater og diskussion 19

3.1 Udbredelsen af skaderne efter iltsvindet 2002 19
3.1.1 Samlet vurdering af skadernes omfang ud fra kvantitative og kvalitative observationer 20
3.1.2 Skader efter iltsvindet i 2003 21
3.2 Ændringer i den makroskopiske bundfauna 23
3.2.1 Ændringer i biomasse og tæthed 23
3.2.2 Beregning af det samlede tab af biomasse efter iltsvindet i 2002 og den efterfølgende nyproduktion 26
3.2.3 Ændringer i artsrigdommen 27
3.2.4 Ændringer i samfundsstrukturen 28
3.2.5 Populationsdymanik hos pebermuslingen *Abra alba* 30
3.3 Tæthed og fordeling af bunddyr-larver i vandsøjlen 31
3.4 Rekrutteringen af bunddyr i løbet af 2003 35
3.4.1 Diversiteten af rekrutter i forhold til afstanden og spredning fra en artspulje 37
3.5 Effekter af iltsvindet 2002 i det Sydlige Lillebælt 38
3.5.1 Udviklingen i det sydlige Lillebælt 40

4 Konklusioner og uafklarede spørgsmål 43

5 Sammenfatning 45

6 Referencer 47

Appendiks 49

(Tom side)

Forord

I 2002 blev de indre danske farvande ramt af det kraftigste iltsvind, der hidtil er målt. Iltsvindet var mere udbredt og havde en længere varighed end der tidligere er set. På et tidspunkt var der iltsvind i stort set hele det sydlige Kattegat under springlaget, i størstedelen af Bælthavet med tilstødende fjorde samt i store dele af den vestlige Østersø. I nogle områder var der uafbrudt iltsvind i mere end 2 måneder. Efterhånden som iltsvindet varede ved, steg antallet af rapporter om skadevirkninger på havets dyreliv. Mange steder blev bunden dækket af hvide svovlbakterier, populært kaldet liglagen, og ud over de omfattende skader på bundens hvirvelløse fauna drev der døde fisk i land langs Jyllands østkyst. På foranledning af Miljøministeren gennemførte Danmarks Miljøundersøgelser i november 2002 et ekstraordinært togt med miljøskibet Gunnar Thorson for at kortlægge omfanget af skaderne på bundfaunaen. Resultatet af disse undersøgelser blev offentliggjort i september 2003 i rapporten "Opgørelse af skadevirkninger på bundfaunaen efter iltsvindet i 2002 i de indre danske farvande". Her blev det bekræftet, at skaderne på bundfaunaen var markante. I store områder i det sydlige Lillebælt var bunden helt uden liv. Et samlet skøn over skadernes udbredelse blev forsigtigt sat til 3.400 km^2 af havbunden. De faktiske skader var sandsynligvis endnu mere udbredte, da det generelt er svært at spore mindre påvirkninger, og da områderne langs Jyllands østkyst ikke var medregnet. Efter iltsvindet blev der af Miljøministeren iværksat endnu en undersøgelse, der havde til formål at følge genindvandringen af dyr til de områder, der var blevet ramt. Denne rapport beskriver resultaterne af denne undersøgelse, og følger op på de tidligere undersøgelser af skadernes omfang. Der er to grunde til, at skadernes omfang i 2002 bliver belyst endnu en gang. Dels er der nu kommet flere kvantitative data, som kan beskrive effekten af iltsvindet på bundfaunaen. Dels blev der i rapporten fra 2003 præsenteret en empirisk model der, så vidt det vides, var den første af sin slags, og som blev brugt til at beregne arealet af det område af havbunden, hvor der kunne forventes skader. I og med at der siden er kommet data fra nye områder, og i og med at der atter engang var iltsvind i 2003, opstod der en chance for at teste denne model med nye data. Med hensyn til genindvandringen så dækker undersøgelsen på grund af projektperioden kun de første stadier af en proces, som forløber over flere år. I undersøgelsen er der derfor blevet fokuseret på at beskrive det generelle forløb af indvandring og prøve at forstå, hvilke processer der bestemmer hastigheden, hvormed normaliseringen sker. Som tidligere beskrevet, så var iltsvindet i 2002 det hidtil værste. Det betød, at der i 2002 og 2003 forelå en helt unik chance for at forstå, hvordan faunaen generelt bliver spredt - også når der ikke er iltsvind. Derfor benyttede vi chancen og tog en række prøver, som der endnu i dag ikke findes metoder til at analysere, men som sandsynligvis vil kunne analyseres inden for meget nær fremtid. Det drejer sig om at anvende DNA-teknikker til at bestemme, hvilke arter, der findes som larver i vandet, hvor de kommer fra, og hvor de spredes med havstrømmene.

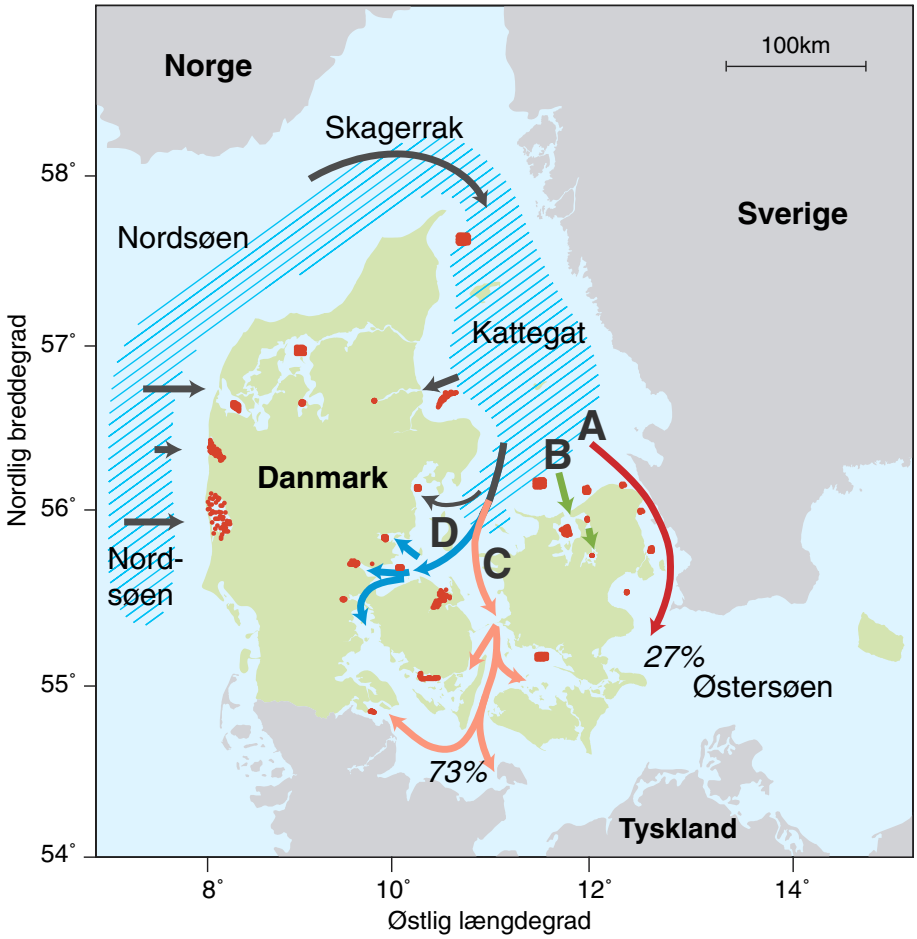
1 Indledning og baggrund

Der er principielt to måder, hvorpå de hvirvelløse fauna på havbunden reproducerer og spreder sig. Enten udvikler de første yngelstadier sig i det samme miljø, som de voksne dyr lever i, hvilket kan omfatte forskellige former for yngelpleje, eller ved at æggene simpelthen frigives, befrugtes og udvikler sig i nærheden af de voksne artsfæller. Denne type udvikling kaldes direkte udvikling og praktiseres hovedsageligt af gruppen af krebsdyr. De fleste bundlevende dyr i danske farvande (> 50% ifølge Thorson 1946) og specielt arter inden for gruppen af børsteorme, bløddyr (muslinger og snegle) og pighuder reproducerer sig derimod via larver, der udvikler sig oppe i vandsøjlen, og dermed fungerer som en del af økosystemet i de frie vandmasser for en tid. Hvor lang tid de opholder sig i vandsøjlen før, der sker en bundfældning og dermed en rekruttering til bestanden på bunden, varierer fra art til art. Når der sker en udslettelse af faunaen over et større område, er det især de dyr, der spredes med planktoniske larver, der er interessante, fordi de kan spredes over større områder med havstrømmene. Dermed kan der ske rekruttering fra områder, der ligger langt væk fra området, der er åbent for kolonisering. Et eksempel på en genindvandring, der er sket via pelagiske larver, er Mariager Fjord, hvor der efter iltsvindet i 1997 skete en transport af bunddyrlarver ind i fjorden, som derefter kom til at udgøre kernen i det nye faunasamfund (Hansen et al. 2002; Petersen et al. 2002). Netop det forhold, at larverne spredes passivt med havstrømmene, betyder, at rekrutteringen til et område afhænger af såvel diversiteten af arter i naboområder og af de hydrografiske forhold, der bidrager med spredningen ind i de ramte områder.

Der er en stigende anerkendelse af, at regionale faktorer har en stor betydning for diversiteten og populationsdynamikken i lokale områder (f.eks. Caley & Schluter 1997). I det marine miljø er vandstrømmene netop sådan en faktor, som virker i en stor rumlig (regional) skala på spredningen af unge stadier af bunddyr (Palmer, Allan og Butman 1996). Teoretiske overvejelser forudsiger, at spredning fra en regional artspulje er i stand til at opretholde en vis mængde af arter lokalt, selv om mange af arterne er dårlige til at konkurrere i det pågældende område. Dette simpelthen fordi rekrutter kan produceres andre steder, hvor arterne er konkurrencedygtige. Hvor stor en indflydelse den regionale spredning har på et lokalt område vil afhænge af, hvor effektive barrierer der er mellem området, hvorfra rekrutteringen skal komme og det lokale område. I marine og estuarine systemer vil barrierer typisk være geografisk afstand fra kilden til det lokale område, men også hastigheden, hvormed vandet udskiftes (f.eks. vandets opholdstid i et område). I danske farvande, som omfatter åbne havområder og et stort antal mere eller mindre lukkede områder (fjorde, bugte og vige), kan forskelle i bundfaunaens artsrigdom delvis beskrives af en model, hvor antal marine arter, der spredes med de frie vandmasser, er positivt relateret til omsætningen (flux) af saltvand ind i de lukkede områder (Josefson & Hansen 2004). Det er sandsynligt, at begrænset vandomsætning fungerer som en barriere for rekruttering af marine arter fra artspuljen i de åbne far-

vande ind i danske fjorde, hvis de har pelagiske spredningsstadier. Figur 1 viser de hypotetiske spredningsruter for larver fra artspuljen af bunddyr i Kattegat.

Da de områder, der blev ramt af iltsvindet i 2002, udgjorde flere store og sammenhængende områder, forventes det, at rekrutteringen hovedsageligt sker via pelagiske larver. De områder, der efter iltsvindet blev åbne for rekolonisering, ligger med forskellige afstand til det område, hvorfra rekruttering forventes at komme i Kattegat, og de har tillige forskellige rater for vandudskifningen. For eksempel har det sydlige Lillebælt og Flensborg Fjord en relativt begrænset vandomsætning (opholdstid=50 dage) og ligger relativt langt fra artspuljen i Kattegat, medens eksempelvis Århus Bugt ligger tæt på og har en hurtig omsætning (opholdstid=12 dage). Hvis hypotesen om rekruttering fra en artspulje er sand, vil vi alt andet lige forvente at rekrutteringen sker med forskellig hastighed afhængigt af afstand til artspulje og vandomsætning. Der kan også ske en genindvandring ved, at voksne individer kravler eller svømmer ind fra kanterne. Denne spredningsmåde forventer vi imidlertid kun er betydende, når de forstyrrede områder har en lille udstrækning.



Figur 1 Hypotetiske transportveje af larver af bunddyr fra artspuljen i det åbne Kattegat og ind til de mere eller mindre lukkede områder. Farver på pilene angiver, hvilke områder der har fællestræk i artssammensætningen, som kan henføres til de veje, der er for vandudvekslingen med Kattegat (efter Josefson & Hansen 2004).

Resultater fra tidligere undersøgelser af genetablering efter alvorlige iltsvind, der har udslettet faunaen, har vist, at der også er andre fysiske forhold, der bestemmer, hvor hurtigt koloniseringen sker. For eksempel viser flere studier, at rekolonisering går hurtigere på lavt vand sammenlignet med dybt vand. De første arter, der indvandrer efter en fuldstændig udslettelse på blød bund, er ofte små og hurtigtvoksende arter primært af de to børsteorme familier *Capitellidae* (*Capitella capitata, Heteromastus filiformis*) og *Spionidae* (*Polydora spp., Prionospio spp., Malacoceros fuliginosus*.) (se f.eks. Diaz & Rosenberg 1995 review). Disse arter kendetegnes af en meget stor evne til at kolonisere områder, men spreder sig ikke nødvendigvis med pelagiske larver. De er ikke specielt hårdføre over for lave iltkoncentrationer og optræder derfor først, når der igen er iltrige forhold ved bunden.

Hvor hurtigt genindvandringen begynder, afhænger også af, hvornår der er larver i vandet. I danske farvande er der foretaget undersøgelser af larveplankton i kystnære områder henholdsvis i Øresund (Thorson 1946), Isefjord (Rasmussen 1973), Limfjorden (Blanner 1982) og Mariager Fjord (Hansen et al. 2002; Petersen et al. 2002). Disse undersøgelser giver information om, hvornår der findes potentielle kolonisatorer i plankton. Børsteorm (polychaeter) forekommer i det meste af året, og larver af familien *Spionidae* dominerer om foråret. Den anden dominerende gruppe af bunddyr med pelagiske larver, molluskerne (muslinger og snegle), dominerer mest i perioden juni til december. Man kan derfor formode, at tilstedeværelsen af larver i vandet kan blive en begrænsende faktor, hvis iltsvindet forekommer på et tidspunkt, hvor de fleste larver allerede har bundfældet sig. Når det gælder koloniseringen af de enkelte arter, så har timingen af iltsvindet sandsynligvis en meget større betydning, fordi de enkelte arter har en mere kortvarig forekomst i planktonet. Samlet set må man formode, at tidspunktet for iltsvindets afslutning spiller en vigtig rolle for sammensætningen af arter i det nye samfund.

De forhold, der bestemmer, hvor hurtigt der igen er et "normalt" samfund af voksne individer, kan sammenfattes til: 1) Størrelsen/arealet af det forstyrrede område, 2) afstand til populationer, der kan producere kolonister, 3) omfanget af de ændringer, der er sket med sedimentets struktur/kemi f.eks. dannelse af svovlbrinte, 4) tidspunkt og varighed af forstyrrelse i forhold til koloniserende arters reproduktionscyklus, og 5) generationstiden hos de arter, der indvandrer.

Formålet med denne undersøgelse er at belyse, hvor hurtigt en genetablering sker efter et iltsvind, der har medført helt eller delvis udryddelse af det tidligere bunddyrsamfund. Vi har valgt at beskrive og undersøge både de mekanismer, der fører til indvandring af dyr såvel som det overordnede forløb og resultat af indvandringen efter et år. Når det gælder undersøgelsen af mekanismer, så er dette sandsynligvis den hidtil mest omfattende undersøgelse nationalt og internationalt. Der er os bekendt ikke tidligere foretaget samtidige undersøgelser af voksne individer, bundfældede rekrutter og pelagiske spredningsstadier i så stort et område.

Når det gælder om at kvantificere resultatet af genindvandringen, så kan den normalisering, der sker i takt med, at dyrene vandrer ind, hvad enten det er voksne eller larvestadier, beskrives med især 4 parametre: 1) genetableringen af biomassen, 2) genetablering af bunddyrenes tæthed, 3) ændringer af artsrigdommen og 4) ændringer af faunasamfundets sammensætning. Mange af de områder, der blev undersøgt efter iltsvindet i 2002, har ikke tidligere været undersøgt, og vi har dermed ikke noget kendskab til faunasamfundets sammensætning før, der skete en udslettelse. Vi har derfor valgt at relatere de ændringer, vi observerer i forhold til de områder, der ikke har været ramt af iltsvind, som dermed fungerer som reference.

2 Undersøgelsesmetoder

2.1 Feltundersøgelser

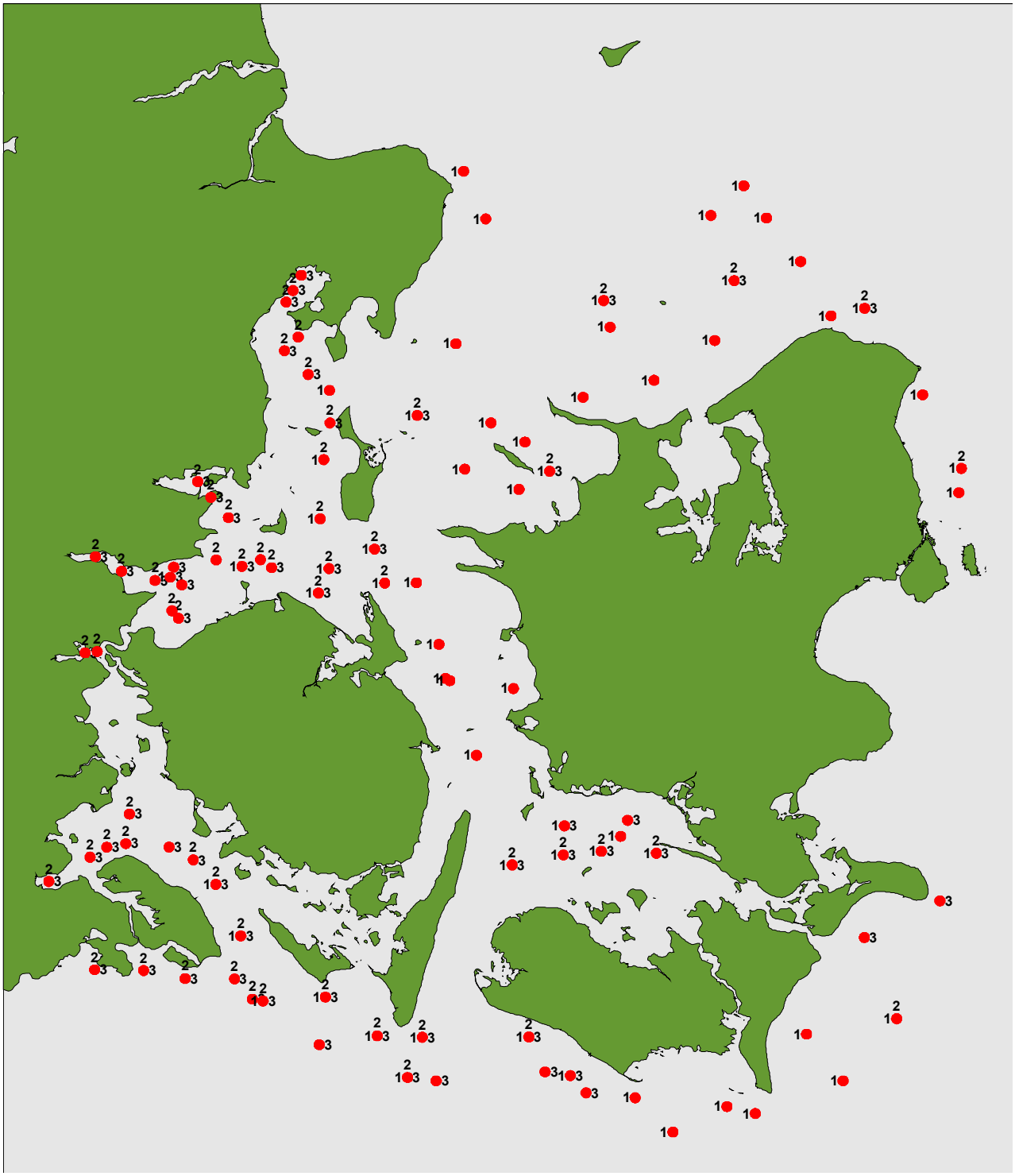
Denne undersøgelse er baseret på datamateriale indsamlet på tre togter med miljøskibet Gunnar Thorson samt udvalgte data fra det nationale overvågningsprogram NOVA. Der blev i alt foretaget undersøgelser af bundfaunaen på 103 stationer (Figur 2, Appendiks 1), hvoraf de fleste blev besøgt 2-3 gange i perioden november 2002 til november 2003. På det første togt umiddelbart efter iltsvindet, 25.-29. november 2002, foretog DMU en screening af bundfaunaen over større områder i det sydlige Kattegat, Bælthavet, det nordlige og sydlige Lillebælt samt i Smålandsfarvandet. På dette togt blev der taget prøver i områder, der var ramt af iltsvind, såvel som i kontrolområder, hvor der ikke havde været iltsvind. De senere undersøgelser af genindvandringer omfatter to togter 25.-28. marts 2003 og 3.-7. november 2003. Her var stationerne i højere grad koncentreret i de områder, hvor der var sikre tegn på skader af iltsvindet, og hvor der dermed kunne foregå en genindvandring. Det fremgår af Figur 3, hvor mange gange og hvornår der blev taget prøver på de enkelte stationer.

2.1.1 Redskaber og procedurer i felten

Til at tage prøver af bundfaunaen blev der anvendt to forskellige redskaber: Dels en "haps" bundhenter med et prøvetagningsareal på 141 cm^2 og dels en Van Veen grab med et areal på 1000 cm^2. Hvilket redskab, der blev valgt til at tage prøver med på de enkelte stationer, afhang af bundens beskaffenhed. Således er Van Veen grabben det foretrukne redskab på lokaliteter med groft sediment, medens der opnås bedre prøver med en "haps" på stationer, der har et finkornet og faststampet sediment. Senere, i de tilfælde hvor samme station er blevet genbesøgt en eller flere gange, blev der konsekvent valgt at bruge samme redskab. I de tilfælde, hvor der blev anvendt Van Veen, blev der indsamlet 3 delprøver på hver station, medens der blev indsamlet 5 delprøver i de tilfælde, hvor hapsen var det foretrukne redskab. Vi accepterede haps-prøver som værende kvantitative, hvis længden på sedimentkernen var mindst 10 cm lange, og tilsvarende blev en Van Veen prøve accepteret, hvis den indeholdt minimum 5 liter sediment.

Prøver blev sigtet gennem en 1 mm sigte, hvorefter der blev foretaget en kvalitativ vurdering af faunasamfundet (se nedenfor). Sigteresten blev fikseret i 4% formaldehydopløsning med borax som buffer og gemt til senere undersøgelse i laboratoriet. De metoder, der blev anvendt i felten, følger i alle øvrige henseender de tekniske anvisninger for det nationale overvågningsprogram (NOVA) for bunddyr (Kaas & Markager 1998).

Figur 2 Placering af de stationer, hvor der er foretaget undersøgelser af den voksne bundfauna i forbindelse efter iltsvindet i 2002. Stationsnavne som refereret i teksten.



Figur 3 Oversigt over besøg på de enkelte stationer. 1) stationer blev undersøgt 25.-29. november 2002. 2) Stationer der blev undersøgt 25.-28. marts 2003 og 3) Stationer, der blev undersøgt 3.-7. november 2003.

2.1.2 Kvalitativ beskrivelse af prøverne

På hver station og ved hvert besøg blev der umiddelbart efter, at prøverne var kommet ombord, foretaget en kvalitativ beskrivelse af dels sedimentet og dels indholdet af dyr i sigteresten. Ved den kvalitative undersøgelse blev det noteret, hvis der forekom tydelige tegn på iltsvind, herunder fravær af iltet zone øverst i sedimentet, svovlbrintelugt, forekomst af døde dyr eller dele af dyr, søpindsvin med

tabte pigge og endelig påfaldende mangel på dyr i prøverne. Før den kvantitative oparbejdning af prøverne blev de kvalitative beskrivelser kategoriseret i tre kategorier:

1) prøver, hvor der fandtes liv, og hvor der ikke var nogle tydelige tegn på iltsvind

2) prøver, hvor der var tydelige tegn på iltsvind

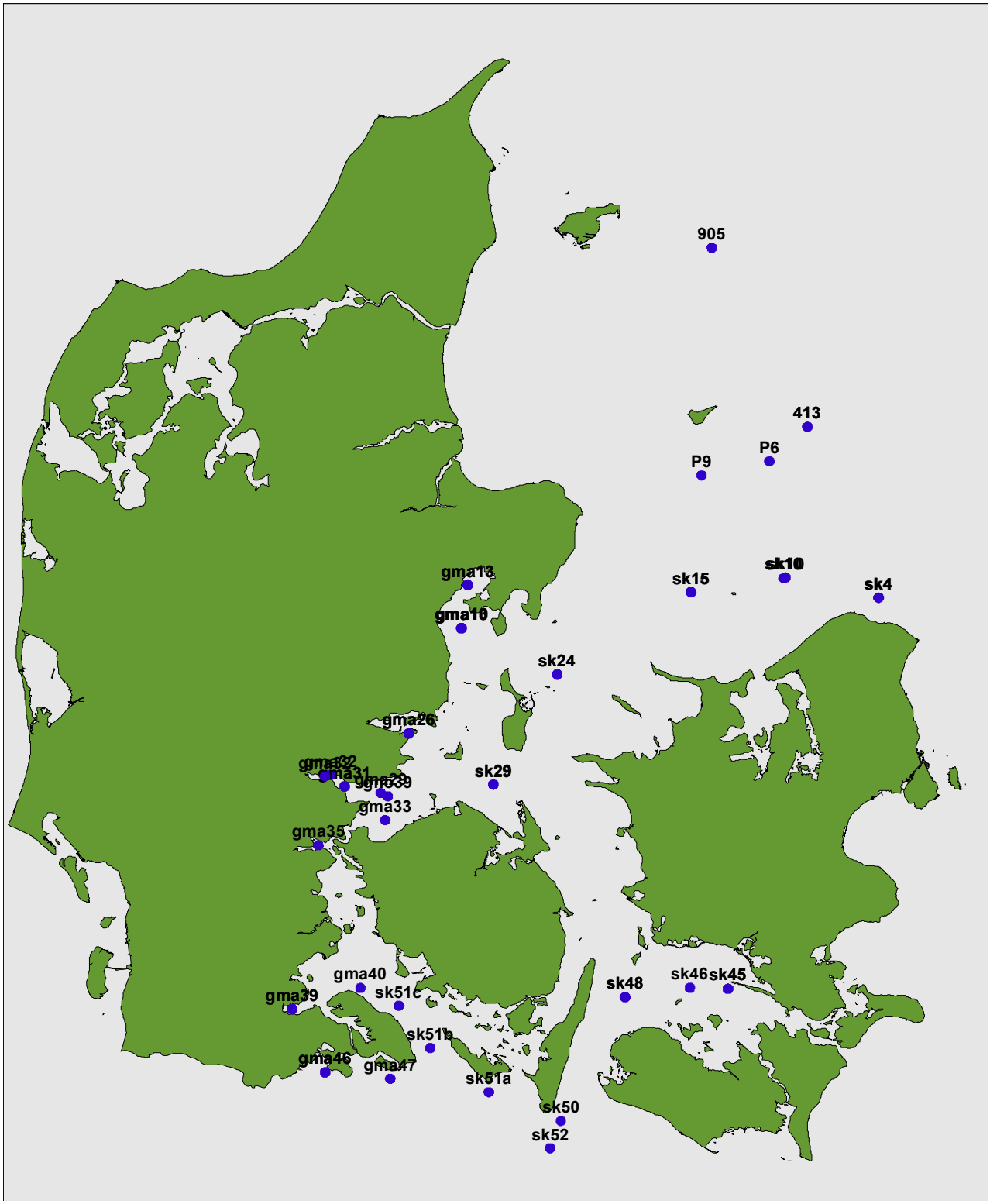
3) prøver, hvor der var meget få levende dyr, og hvor der var flere andre sikre tegn på iltsvind.

2.1.3 Prøvetagning af bundfaunaens rekrutter/postlarver

Udover prøvetagningen af de større bunddyr (> 1 mm) blev der i marts 2003 og november 2003 taget særlige prøver af de nye rekrutter, også kaldet postlarve-stadier, på en række udvalgte stationer (Figur 4). Disse prøver omfatter det livsstadium, som strækker sig fra det tidspunkt, hvor de netop har afsluttet deres larvestadier i vandsøjlen (hvis de har pelagiske larver) og har bundfældet, og indtil de regnes med som voksne individer. Dette vil i praksis sige indtil, de er så store, at de ville blive medregnet i prøverne af voksne individer (> 1 mm). På de stationer, hvor der blev taget prøver af rekrutter, blev der indsamlet to delprøver hver bestående af de øverste ca. 1,5 cm af en sedimentkerne (141 cm^2). Der blev kun anvendt kerner, hvor overfladen forekom uforstyrret. Disse prøver blev fikseret med 70% alkohol (endelig konc.) uden forudgående sigtning.

2.1.4 Undersøgelse af bunddyrlarver i planktonet

For at undersøge, hvor mange larvestadier der fandtes i vandsøjlen, blev der indsamlet prøver af planktonet > 140 µm på en række udvalgte stationer (Figur 5), hvoraf de fleste var sammenfaldende med de stationer, hvor der blev taget prøver af den bundlevende fauna. Prøvetagningen skete på fire forskellige tidspunkter i løbet af 2003: marts, juli, august og november. Prøverne bestod af et planktontræk gennem hele vandsøjlens udstrækning foretaget med zooplanktonpumpe. Prøverne blev fikseret med alkohol og blev senere blevet talt og bestemt ved ekstern konsulent. Data beskriver tætheder af larver inden for gruppen af muslinger, snegle, børsteorme, og pighuder. Fra hver prøve blev der gemt materiale, som evt. kan bruges til at dokumentere de tilstedeværende arter vha. artsspecifikke DNA-prober, hvis de senere udvikles.



Figur 4 Stationer, hvorfra der findes prøver af postlarve-stadier af bunddyr i marts 2003 og/eller november 2003. Stationsnavne svarer til Figur 2.

2.2 Oparbejdning af materialet i laboratoriet

De ordinære prøver af bundfaunen blev oparbejdet i laboratoriet på Danmarks Miljøundersøgelser. For indsamlingen af den voksne del af bundfaunaen bestod oparbejdningen i første omgang af udsortering af al fauna under mikroskopet. I denne del af oparbejdningen grup-

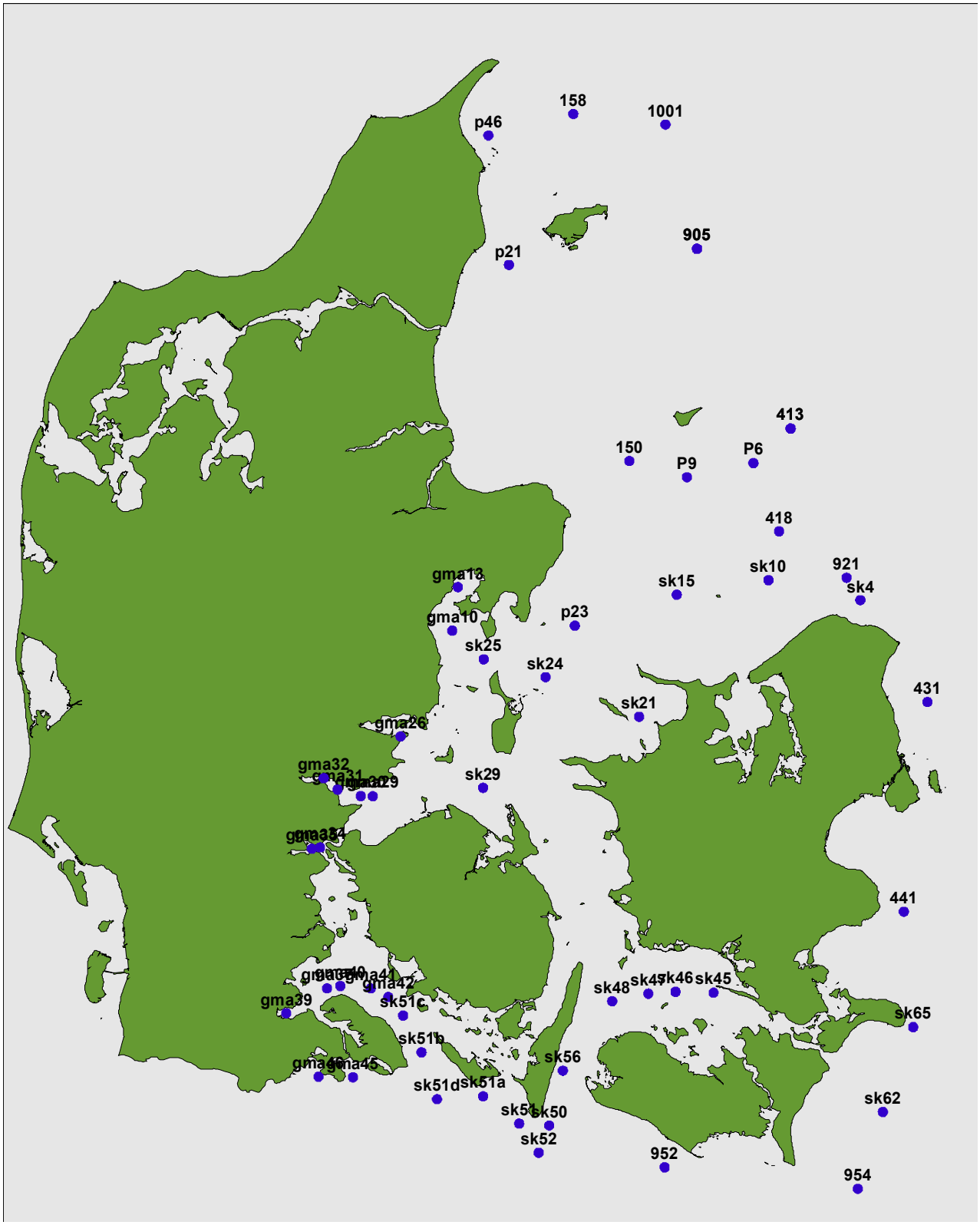
peres dyrene i: orme, bløddyr, pighuder, krebsdyr, andre dyr og arten *Arctica islandica* (på dansk molboøsters). Data registreres prøvevis som vådvægt og antal individer.

De bløddyr, krebsdyr, pighuder og dyr tilhørende gruppen andet blev herefter bestemt i de fleste tilfælde til artsniveau og data registreret som artsspecifik vådvægt og tæthed. Alle dyr blev herefter fikseret i alkohol og opbevaret som reference og dokumentationsmateriale. Gruppen af orme blev ikke bestemt til artsniveau.

Oparbejdningen af postlarve-prøverne blev ligeledes foretaget på laboratoriet på Danmarks Miljøundersøgelser. Udsorteringen skete under mikroskop og alle postlarver (omfattende ny-rekrutterede postlarver samt unge individer, der vurderes at være under et år gamle, og som i hovedregel ikke vil kunne tilbageholdes i en 1 mm sigte). Undersøgelserne af postlarverne kan dermed betragtes som supplerende til undersøgelserne af voksne dyr. Tæthederne af postlarver blev registreret med en opløsning på følgende taxonomiske hovedgrupper: orme, muslinger, snegle og pighuder blev sorteret og registreret med individtæthed. I nogle tilfælde blev der efterfølgende foretaget en artbestemmelse, hvor det var muligt. Alle dyr blev gemt for eventuel senere dokumentation af artstilhørsforhold ved hjælp af DNA-prober.

2.2.1 Kvalitetssikring

Alle data har gennemgået intern kvalitetssikring, som bestod af kontrol af procedurer og opbevaring af alt relevant dokumentationsmateriale. Kvaliteten af oparbejdningen blev sikret ved at lade forskellige personer oparbejde samme prøve indtil, personen vurderedes at være oplært. Kvaliteten af oparbejdningen blev herudover checket ved stikprøvekontrol, og på denne baggrund blev det konkluderet, at langt de fleste dyr blev fundet (omkring 95 %), og at stort set hele biomassen var blevet registreret. Alle sigterester blev fikseret i alkohol og opbevares på DMU som dokumentation. I forbindelse med artsbestemmelsen blev kvaliteten sikret ved inddrage ekstern ekspertise ved vanskelige arter, og endelig blev alt materialet fikseret, og opbevares på DMU som dokumentation. Vådvægte og antal af artsbestemte dyr blev checket mod vådvægte og antal efter udsortering. Alle indtastede data er efterfølgende checket mod rådata af uafhængig person. Alle data vil senere indgå i den nationale marine database.



Figur 5 Stationer, hvorfra der er indsamlet prøver af bunddyrenes larvestadier i planktonet i en eller flere af månederne marts, juli, august eller november 2003.

3 Resultater og diskussion

3.1 Udbredelsen af skaderne efter iltsvindet 2002

Der er tidligere blevet udgivet en faglig rapport fra Danmarks Miljøundersøgelser, der beskriver omfanget af de skader, som iltsvindet i 2002 forvoldte på bundfaunaen (Hansen, Josefson & Carstensen 2003). Siden udgivelsen af denne rapport er der indsamlet en del flere data, der kan belyse og præcisere billedet af skaderne på bunddyrene. De undersøgelser der er foretaget i november 2002 og marts 2003 kan begge belyse skadernes omfang, hvorimod effekterne af iltsvindet forventes at være mere udviskede et år efter, i november 2003. Som tidligere beskrevet kender vi ikke faunaens tilstand før iltsvindet 2002, og vi har derfor valgt at beskrive de samlede effekter på den enkelte station ud fra en 3-trins skala: 1) ikke tydeligt påvirket, 2) tydeligt påvirket og 3) markant påvirket. Denne inddeling er resultatet af den samlede score, når der inddrages såvel kvalitative som kvantitative indicier for iltsvindsskader.

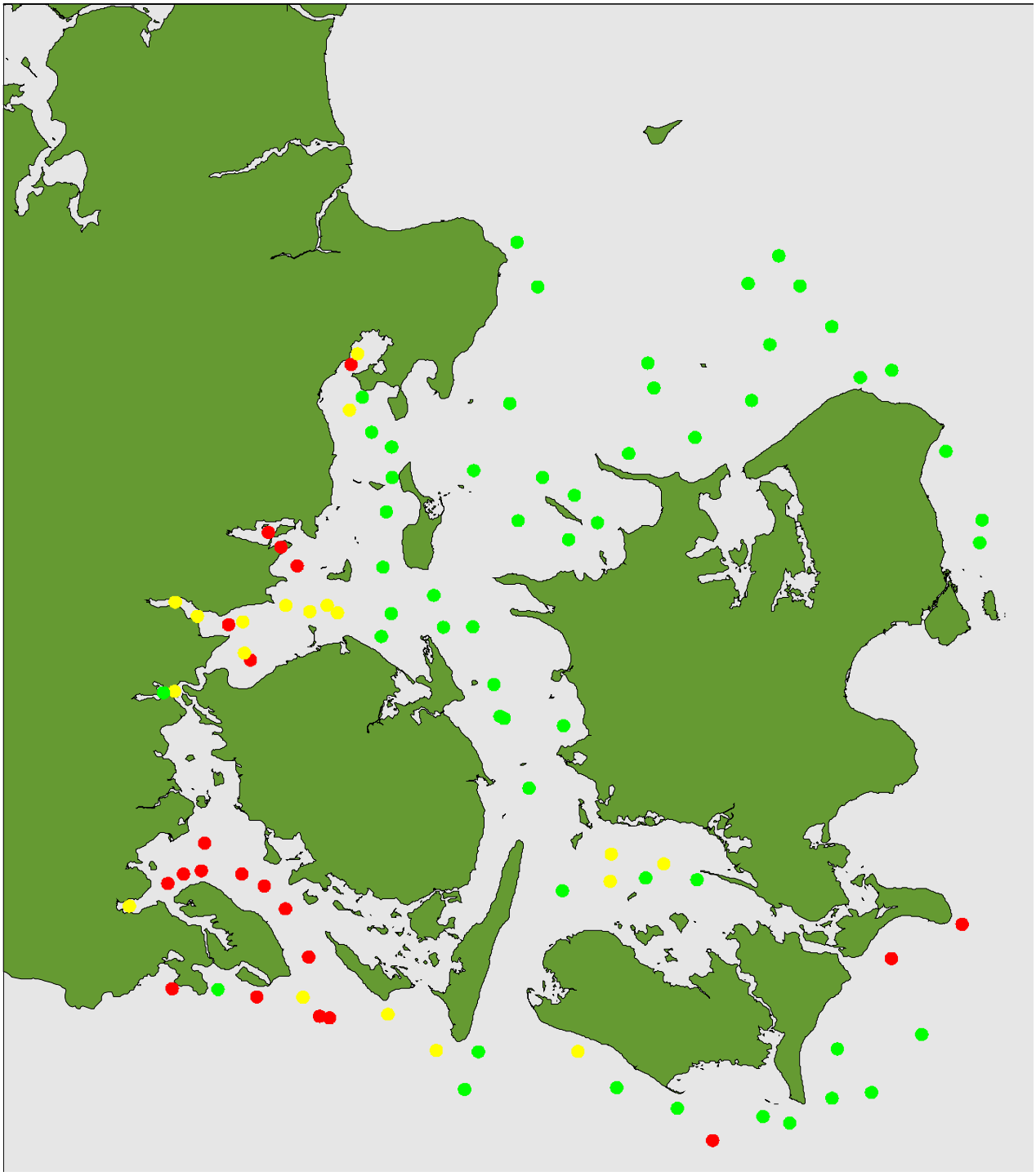
De kvalitative tegn på kritiske iltforhold dækker over en række forhold, som umiddelbart lader sig aflæse i felten. Det er muligt at lugte, om der forekommer giftig sulfid i vand, ligesom bunddyr, der er døde for nyligt i eller på sedimentoverfladen, efterlader en umiskendelig lugt, når de går i forrådnelse. Man vil kunne se, om der forekommer iltet sediment i de øverste millimetre af kernerne, eller om der hersker iltfrie forhold på selve overfladen af sedimentet. Dyr, der normalt findes nedgravet i sedimentet, vil man kunne finde passive på overfladen. Et andet tegn på iltsvind kan være søpindsvin, der har tabt piggene. Muslinger, der er døde for nyligt, vil i nogle tilfælde afsløre sig som tomme skaller med intakte ligamenter. I november 2002 kunne man finde alle disse tegn. Går der lidt længere tid efter iltsvindet, vil vidnesbyrdet i felten kunne ses som en slående mangel på dyr i prøverne, hvilket var tilfælde på de berørte lokaliteter i marts 2003. I november 2003 vil det kun være påfaldende mangel på individer, som er ældre end et år, der kan pege på tidspunktet for påvirkningen. Resten af de tegn, der kan være på iltsvind, vil være svære at henføre til et bestemt tidspunkt. Afhængig af mængden af indicier er lokaliteterne tildelt vurderingen 1, 2 eller 3 (se appendiks 2).

De kvantitative målinger er på samme vis inddelt i 3 grupper (appendiks 2). Kriterierne for de enkelte kategorier er fastlagt på forhånd og svarer til de kriterier, der tidligere blev anvendt i Hansen, Josefson & Carstensen (2003): Områder, hvor der er mere end 500 individer og en vådvægt (molboøsters undtaget) på mere end 2 g per kvadratmeter, blev indekseret som ikke tydeligt påvirkede (1), områder, hvor biomassen af andre dyr end molboøsters var mellem 1 og 2 g, og hvor antallet af individer per kvadratmeter var 100-500, blev kategoriseret som tydeligt påvirkede (2), og endelig er stationer, hvor der er under 1 g vådvægt og færre end 100 individer per kvadratmeter, kategoriseret som markant påvirkede områder (3). Denne indeling er arbitrær, men niveauerne for såvel biomasse som tæthed er sat meget lavt i

forhold til, hvad man normalt forventer at finde på en upåvirket bund i området. En sammenligning med de data, der findes i den marine database på DMU viser, at biomasser og tætheder svarende til kategori 3 kun forekommer i 2,6 % af de tidligere observationer i det undersøgte område. For kategori 2 finder man, at det drejer sig om 15-16% af observationerne. Tallene er dog ikke helt sammenlignelige, da de historiske data ikke er indsamlet med identiske metoder, og stationerne er ikke de samme. Der er heller ikke taget højde for forekomst af skader efter iltsvind i de historiske data, hvorfor de reelle procentsatser sandsynligvis er mindre. Sammenligningen viser dog, at det er usandsynligt at finde så lav biomasse og tæthed af fauna, hvis ikke der er sket en negativ påvirkning fra en ydre faktor.

3.1.1 Samlet vurdering af skadernes omfang ud fra kvantitative og kvalitative observationer

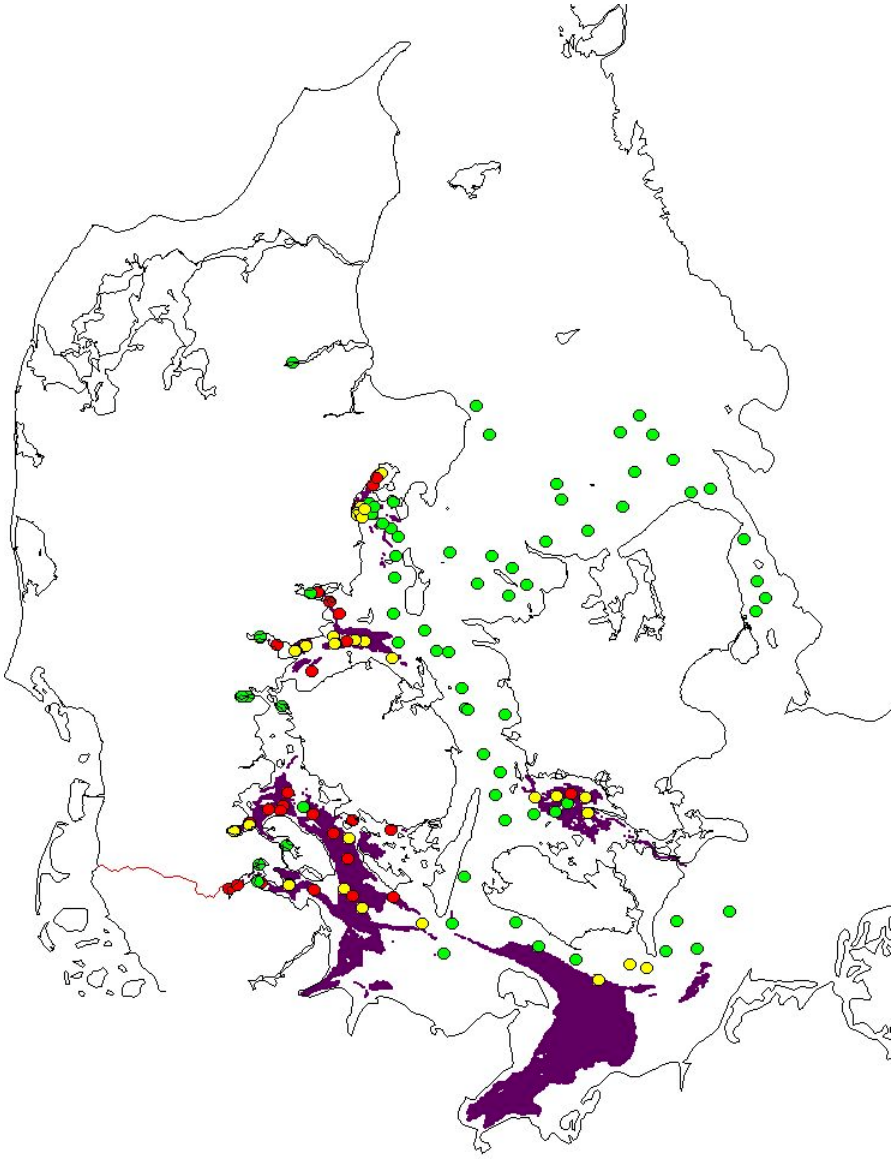
Figur 6 viser resultatet af en sammenstilling af både kvantitative og kvalitative indicier, hvor de kvalitative og kvantitative indicier er vægtet i forholdet 1:2 . Der er generelt god overensstemmelse mellem de kvalitative feltoptegnelser og de senere kvantitative analyser i laboratoriet. De afvigelser, der forekommer, skyldes, at der blev fundet dyr i laboratoriet, som ikke kunne ses med det blotte øje i felten. I andre tilfælde giver de kvalitative observationer sikre fingerpeg om iltsvindsskader. Det kan være forekomst af tomme muslingeskaller med intakte ligamenter eller lugt af døde dyr, som ikke registreres i laboratoriet. Alt i alt vurderes det, at denne arbitrære inddeling af skaderne giver et ret pålideligt billede. De nye kvantitative data, der er fremkommet siden den første rapport om skadernes omfang udkom (Hansen, Josefson og Carstensen 2003), giver ikke anledning til nogen revurdering af størrelsen på det skadede areal. Nu som dengang vurderer DMU, bundfaunaen var tydeligt eller markant skadet i et areal på 3400 km^2 (Figur 7). Arealet blev beregnet på baggrund af modellerede iltkoncentrationer på de enkelte stationer under forudsætning af, at skader begynder at blive tydelige, når der havde været iltsvind med koncentrationer under 2 mg l^{-1} i 4-6 uger afhængigt af områdernes lukkethed.



Figur 6 Indeksering af skader efter iltsvindet baseret på kvalitative og kvantitative data. Grønne punkter markerer stationer, hvor der ikke er tydelige skader efter iltsvindet (indeks 1). Gule punkter angiver stationer, hvor der er tydelige tegn på iltsvind (indeks 2), og røde punkter markerer stationer, hvor der er markante skader efter iltsvindet 2002.

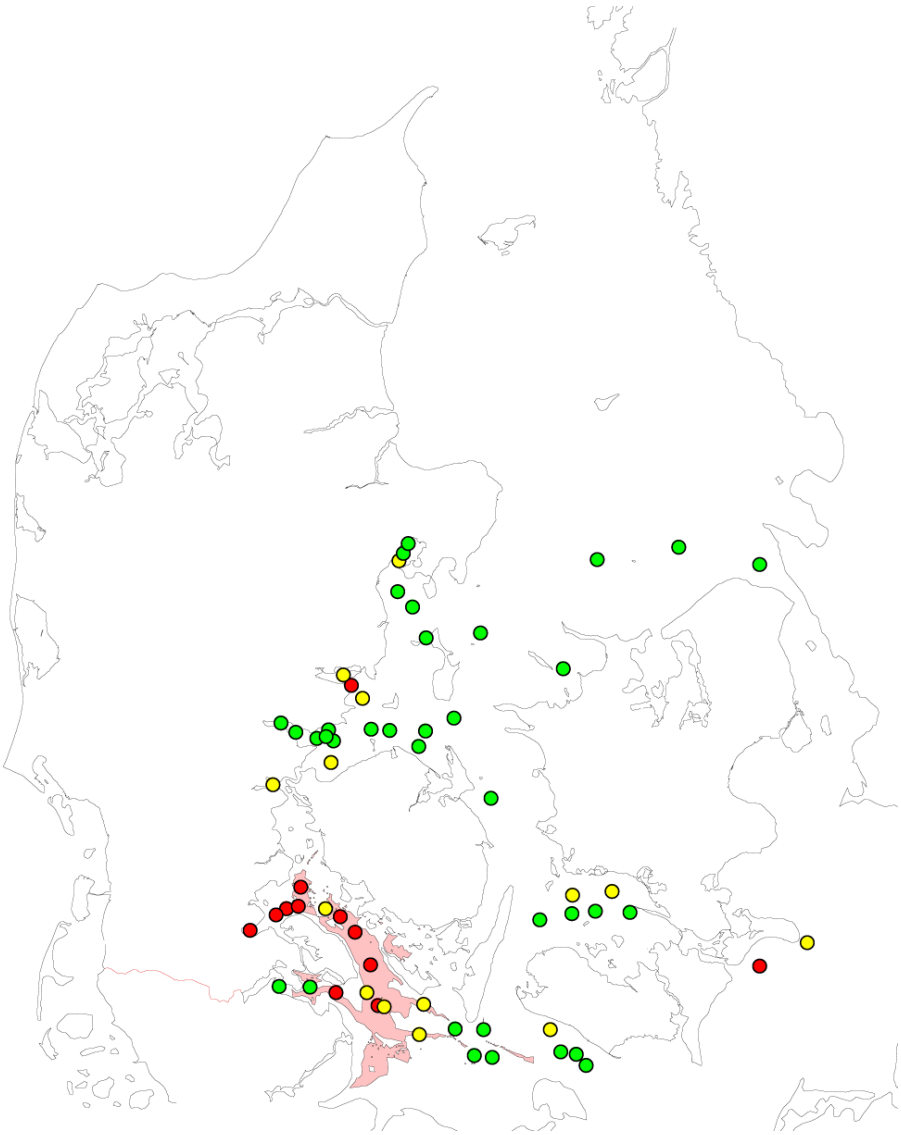
3.1.2 Skader efter iltsvindet i 2003

I sensommeren og efteråret 2003 var der atter iltsvind i de indre danske farvande. Selvom iltsvindet ikke var så kraftigt som året før, var der dog rapporter om døde bunddyr. DMU har derfor anvendt den samme empiriske model som året før til at forudsige udbredelsen af skader. Sammenholdes dette kort med de faktiske observationer af kvalitativ og kvantitativ art fra togtet i november 2003 (Figur 7), så ses det, at stort set alle stationerne inden for dette område fremstår



Figur 7 Skader på bundfaunaen efter iltsvindet 2002. Punkter er observationer med farver, der svarer til Figur 6. Farvet areal er de områder, hvor der forudses effekter ud fra iltsvindets varighed. Fra "Faglig rapport fra DMU", nr. 456.

som tydeligt påvirkede eller markant påvirkede. Hvorvidt skaderne stammer fra år 2002 eller 2003, kan ikke umiddelbart afgøres, men sammenholdes kortene fra de to år, så er der sket en bedring af tilstanden i de øvrige områder (områder uden for det skraverede område 2003). De områder, hvor der er sket skade/mangel på bedring formodentlig som følge af iltsvindet i 2003, overlapper således med de områder, hvor modellen forudsiger, at der kan forventes skader. Observationerne fra 2003 støtter derfor anvendelsen af den beskrevne model, og bekræfter størrelsen af det areal, der blev skadet igen i 2003 var ca. 630 km^2 (Figur 8).



Figur 8 Indeksering af skaderne efter iltsvindet i 2003. Skraveret areal er de områder, hvor der forudses skader på bundfaunaen ud fra varigheden af iltsvindet. Udover det sammenhængende område i det sydlige Lillebælt er der flere små områder skjult under punkterne i det nordlige Lillebælt og i Århus Bugt.

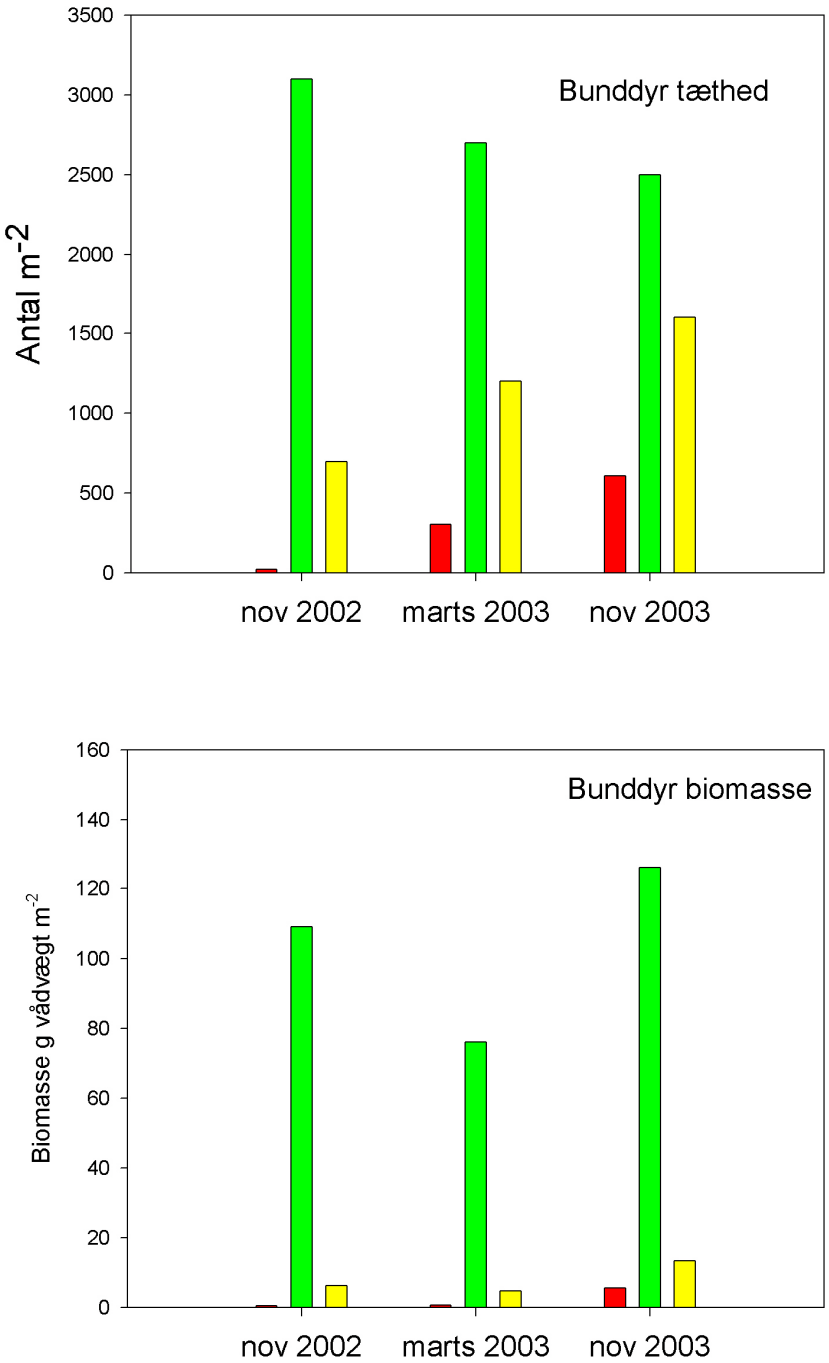
3.2 Ændringer i den makroskopiske bundfauna

3.2.1 Ændringer i biomasse og tæthed

De data, DMU har indsamlet, er afbilledet stationsvis, togt for togt mht. tæthed og biomasse af makroskopisk bundfauna i Appendiks 3. Tætheden af bunddyr blev kraftigt reduceret under iltsvindet i 2002, hvorefter der skete en gradvis stigning. I de områder, hvor der var markante effekter (markeret som røde stationer), var den gennemsnitlige tæthed 19 m^{-2} (n=4). I marts 2003, hvor der er data fra flere "røde" stationer, lå den gennemsnitlige tæthed på 302 m^{-2}. Hvis man ser bort fra de stationer, som atter blev ramt af iltsvind i 2003, var tætheden steget til 606 m^{-2} i november 2003, hvilket var en signifikant stigning (P = 0,011, n= 24, parret t-test). På de tydeligt påvirkede stationer "gule stationer" var den gennemsnitlige tæthed på 696 i november 2002 og ca. 1200 i marts 2003, og den steg yderligere til ca.

1600 i november 2003, men udviklingen var ikke signifikant (P=0,10, n=29, t-test). I gruppe 1 (grønne stationer) var tætheden faldet lidt fra 3100 m^{-2} i november 2002 til 2700 m^{-2} i marts 2003 og 2500 i november 2003, hvilket statistisk set er ikke viser nogen ændringer (Figur 9).

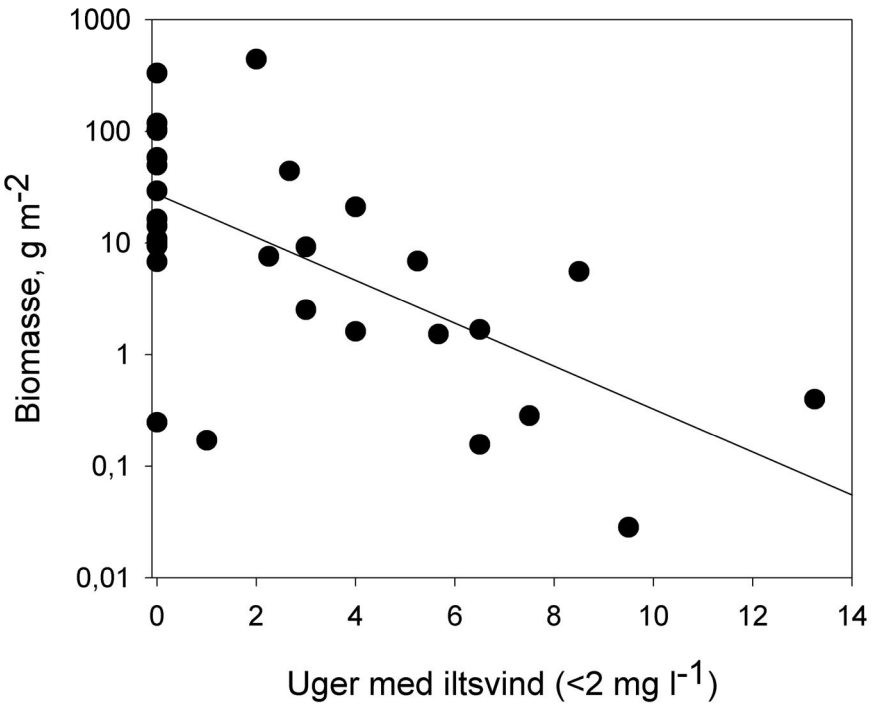
I de områder, der blev ramt af iltsvind, udgjorde molboøsters en betragtelig del af biomassen. Da denne art samtidig er forholdsvis tolerant over for iltsvind og har en pletvis fordeling, bidrog denne art



Figur 9 **a:** Udvikling i gennemsnitlig tæthed af bunddyr fra november 2002 til november 2003 på de stationer, hvor der ikke var tydelige skader (grønne), stationer med tydelige effekter (gule) og stationer, hvor der var markante effekter (røde). **b**: som Figur 9a, men baseret på geometriske middelværdier for biomassen undtaget muslingen molboøsters (*Arctica islandia).*

med en stor spredning af de data, der findes for biomasse (se Appendiks 4). Man får derfor det klareste billede ved at se bort fra denne art. I de områder, der var hårdest ramt af iltsvindet (kategori 3), var den geometriske middelværdi af andre dyr end molboøsters 0,7 g vådvægt m^{-2} i marts 2003, og der var sket en signifikant (p=0,03, t-test) stigning til 5,6 g m^{-2} i november 2003. Inkluderer man molboøsters, er værdien i marts 2003 0,87 g vådvægt m^{-2} og er steget til 13.57 g m^{-2} (geometrisk middelværdi), hvilket også er en signifikant stigning. På de stationer, hvor der var tydelige effekter (gule stationer), var de tilsvarende tal for biomassen 4,8 g m^{-2} i marts og 13,4 g m^{-2} i november, hvilket dog ikke er signifikant (P= 0,09) og fra 64 til 89 g, hvis molboøsters medregnes. I de områder, hvor der ikke var tydelige tegn på iltsvind, var der sket en lille og ikke signifikant stigning i biomassen fra 76 g til 126 g og 133 til 175 g, hvis bestanden af molboøsters medregnes i biomassen (Figur 9).

Den gennemsnitlige produktion på 5-10 g ny biomasse i de ramte områder i løbet af sæsonen marts-november 2003 er en lille produktion. Tallene dækker over en betydelig variation, og i Karrebæksminde Bugt, hvor der skete en kraftigt kolonisering af pebermusling, var produktionen 66 g m^{-2} alene af denne art i perioden maj 2003 til august 2003. Til sammenligning var den formodede produktion (bruttoproduktion) i de ikke ramte områder minimum 100 g vådvægt, hvis der ses bort fra molboøsters og mere end 200 g m^{-2}, hvis arten medregnes. Denne beregning er et forholdsvis konservativt bud, idet det antages, at forholdet mellem produktion og biomasse for hele samfundet er på 1-2 (Heip m.fl. 1995). I beregningen af den aktuelle produktion efter iltsvindet i 2002 er der imidlertid ikke taget højde for effekterne af iltsvindet i 2003. Der er en meget klar negativ sammenhæng mellem udviklingen af biomasse og varigheden af iltsvindet 2003 med koncentrationer under 2 mg l^{-1} ($p<0,001$, n=30, liniær regression) (Figur10), som viser, at nettotilvæksten var stort set nul i de områder, hvor iltsvindet varede mere end 4 uger, medens der i de områder, som kun blev kortvarigt ramt af iltsvind i 2003, var tale om en gennemsnitlig nettoproduktion på 31 g vådvægt m^{-2} (geometrisk gennemsnit, n= 11).



Figur10 Relation mellem iltsvindets varighed i 2003 og biomassen af bunddyr, som den kunne måles i november 2003 på de stationer, der allerede var tydeligt påvirket eller markant påvirket efter iltsvindet i 2002. Molboøsters er ikke medregnet i den samlede biomasse. Bemærk logaritmisk skala for biomassen.

3.2.2 Beregning af det samlede tab af biomasse efter iltsvindet i 2002 og den efterfølgende nyproduktion

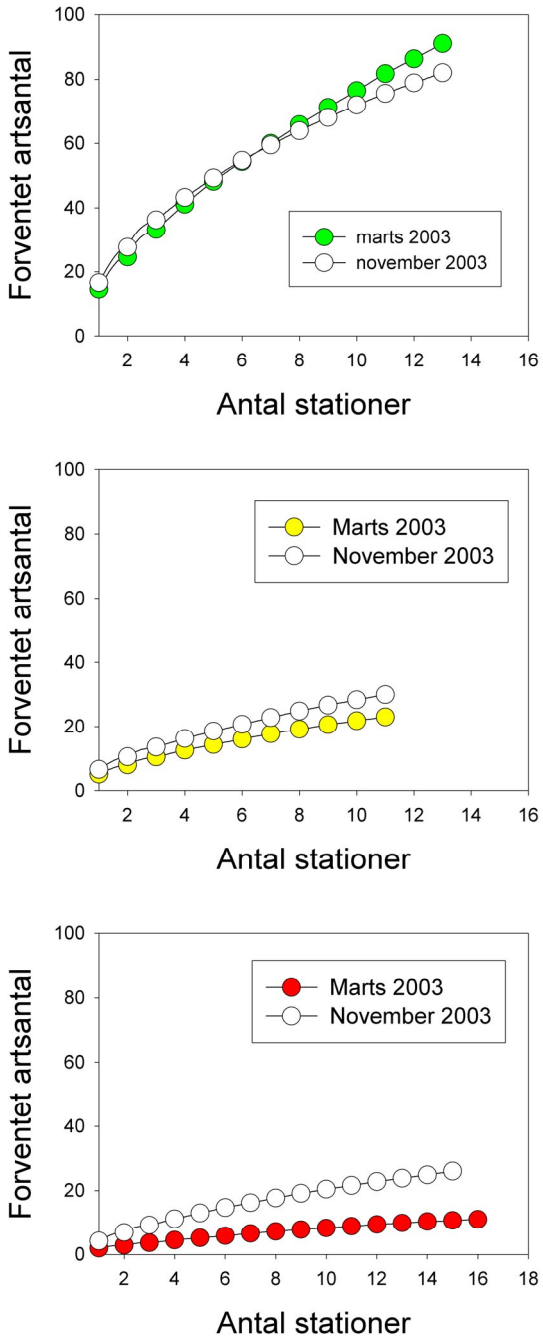
I de fleste af de undersøgte områder har DMU ikke data fra før iltsvindet 2002. På baggrund af antagelser omkring, hvorledes normale samfund ser ud samt ved at foretage en sammenligning med de upåvirkede områder som kontrol, er det muligt at give et overslag over det samlede tab. Beregningen af det samlede areal på 3.400 km^2, som blev præsenteret i Hansen, Josefson & Carstensen (2003), er i det store og hele blevet bekræftet af de nye data, der er kommet til, og overslaget må stadig anses som et konservativt bud på arealets størrelse. En tilsvarende beregning af det areal, som sandsynligvis blev ramt året før, i 2001, og hvor biomassen derfor må formodes at være lille, giver et areal på 230 km^2(Appendiks 3). I det resterende areal på 3170 km^2 antages det, at biomassen ikke har været markant forskellig fra de områder, der ikke var tydeligt påvirket, hvilket vil sige ca. 200 g vådvægt. Hvis der ses bort fra biomassen af molboøsters, er den geometriske middelværdi i en efterårssituation ca. 120 g m^{-2} (109 g m^{-2} i 2002 og 126 gm^{-2} i 2003), hvoraf der var ca. 3 g tilbage efter iltsvindet, hvilket indikerer et samlet tab på 371.000 tons vådvægt i hele det ramte område. En betydelig del af dette areal ligger i den Mecklenburgske Bugt i tysk farvand. Inkluderes molboøsters i analysen er tabet lidt større, men dette resultat er ikke statistisk signifikant pga. den umådelige store variation, der er i forekomsten af molboøsters fra det ene område til det andet (0-10.000 g m^{-2}). Beregningen af det samlede tab er naturligvis behæftet med stor usikkerhed, og tab i forbindelse med iltsvindet langs den østjyske kyst samt mere spora-

diske iltsvind i kystnære områder er ikke medtaget. Vi er ikke i besiddelse af data, der er repræsentative for den Mecklenburgske Bugt. I 1981 var der et omfattende iltsvind i Kieler Bugt og den Mecklenburske Bugt (Weigelt & Ruhmor 1986). Effekten blev undersøgt i Kieler Bugt og her blev tabet af biomasse beregnet til 40 g vådvægt m^{-2}, hvor der var set bort fra både molboøsters og *Astarte*-muslingen. Tabet på 371.000 tons biomasse bør ses som det bedste bud, og det vurderes, at det reelle tal lå mellem 100.000 og 500.000 tons, hvoraf ca. halvdelen af tabet ligger inde på dansk område.

I løbet af 2003 var der atter iltsvind i et areal på 630 km^2 hovedsageligt i det sydlige Lillebælt, Flensborg Fjord og Åbenrå Fjord. Stort set hele dette område var sammenfaldende med udbredelsen af 2002-iltsvindet. I de områder, der ikke var blevet ramt, var der sket en produktion på ca. 13 g. Dermed kan tabet i 2003 anslås til kun ca. 8100, fordi faunaen kun i ringe omfang var kommet tilbage efter 2002 iltsvindet. Hvis vi ser på de resterende ca. 700 km^2, som ikke blev ramt igen i 2003, så er nettotilvæksten i biomassen ca. 10000 tons. Dette er som tidligere beskrevet mindre end forventet sammenlignet med Weigelt og Ruhmor (1986) og skyldes de effekter, som iltsvindet 2003 havde i de områder, der ligger uden for det skraverede areal på de 630 km^2 (Figur 8). I de store områder i den Mecklenburgske Bugt, hvor iltsvindet var relativt kortvarigt i 2003, var reetableringen formentligt højere, omkring 30 %.

3.2.3 Ændringer i artsrigdommen

I takt med, at biomassen og tætheden af bunddyr begyndte at blive normaliseret, skete der samtidigt en øgning af artsrigdommen. Artsdata findes inden for grupperne af muslinger, snegle, børsteorme, krebsdyr og pighuder. Figur 11 viser, hvor mange arter, der forventes at blive fundet afhængig af, hvor mange stationer der bliver undersøgt inden for de tre indekseringer. I denne fremstilling har vi været nødsaget til at slå stationer, hvor der er anvendt Van Veen grab "haps" sammen. På stationer, hvor der er anvendt Van Veen, er prøvearealet større, medens der til gengæld er indsamlet flere replikater på haps-stationerne. Hvis gruppen af grønne stationer betragtes som kontrol, er artsantallet i marts 2003 reduceret med ca. 75% af det oprindelige niveau i de "gule" områder og med ca. 90% i det "røde" områder. Der bør dog tages forbehold for, at de grønne stationer i højere grad ligger i åbne områder, hvor der forventes lidt højere artsrigdom. Det har ikke været muligt at skille denne effekt fra betydningen af iltsvindet i dette datamateriale, men på baggrund af tidligere undersøgelser i mere lukkede områder (Josefson & Hansen 2004) vurderes - tabet i de påvirkede områder til mere end 70% samlet set. I løbet af 2003 skete der en stigning i artsantallet i de områder, der var påvirket, således at artsrigdommen i de markant påvirkede områder (røde) nåede op på 25%-30% af niveauet i de ikke tydeligt påvirkede områder. I de gule områder skete der kun en mindre stigning, som resulterede i, at artsrigdommen kom op på 30-40% af niveauet i de grønne områder, hvor artsrigdommen til gengæld ikke ændrede sig i løbet af 2003.

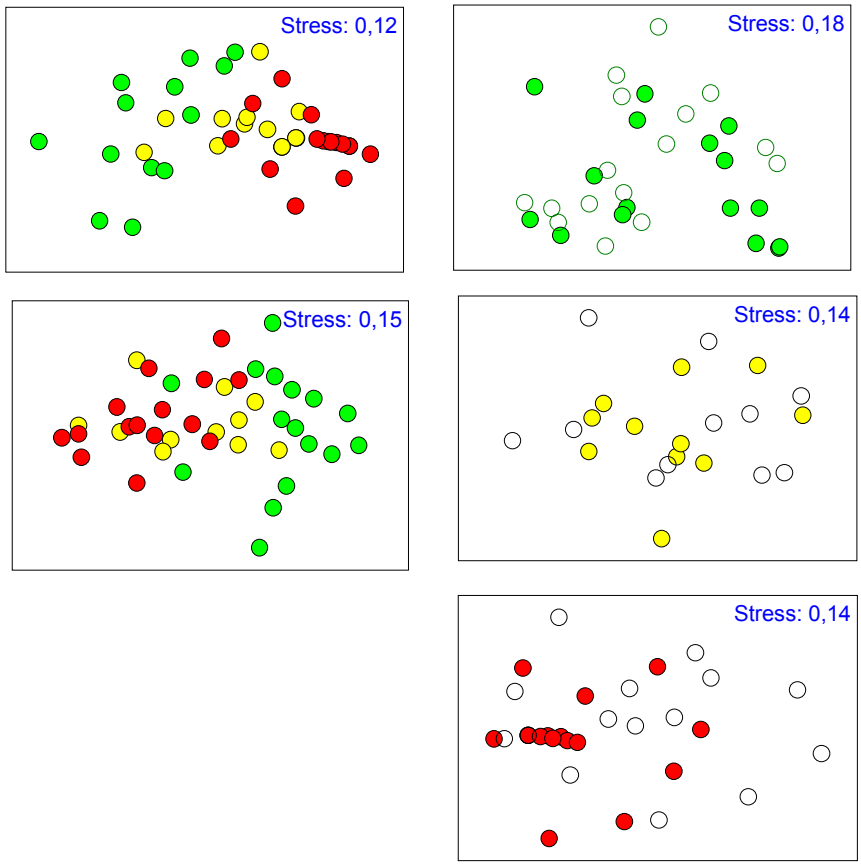


Figur 11 Forventet antal arter mod antallet af undersøgte stationer for hver af de 3 kategorier i marts 2003 (farvede symboler) og november 2003 (åbne symboler) på de samme stationer. a) ikke tydeligt påvirkede område (grønne punkter). b) tydeligt påvirkede områder (gule punkter) og markant påvirkede områder (røde punkter).

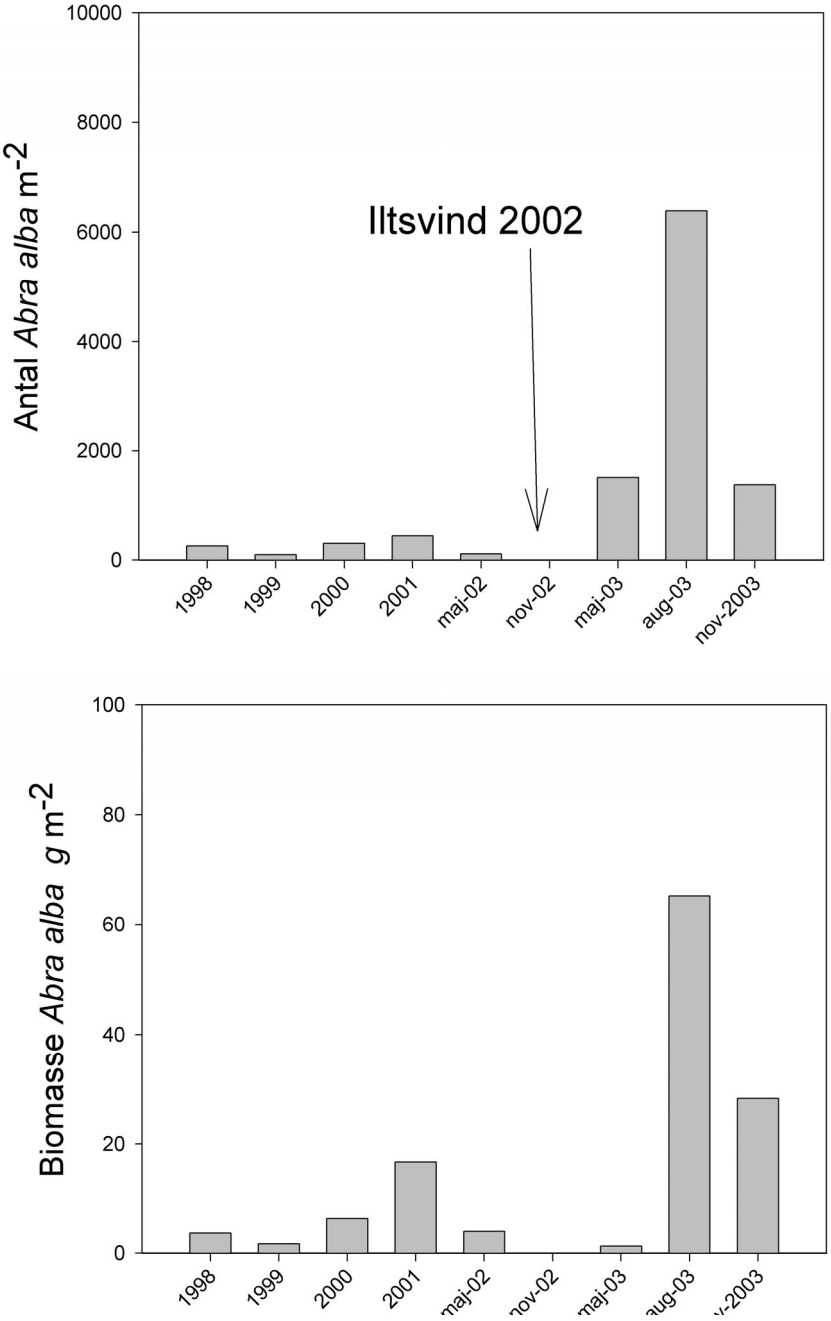
3.2.4 Ændringer i samfundsstrukturen

For de stationer, der er besøgt i denne undersøgelse, har det ikke været muligt at foretage en særskilt analyse af udviklingen i samfundsstrukturen, da der er taget forholdsvis få delprøver på hver enkelt station. Hvorledes de enkelte stationer ligner hinanden med hensyn til samfundsstruktur, kan illustres med et såkaldt MDS-plot, hvor de enkelte stationers placering i et todimensionelt plan svarer til deres indbyrdes forskellighed (målt som Brey-Curtis similaritet). På Figur 12 ses, hvorledes stationerne i hele det undersøgte område fordeler sig i marts og november 2003 med hensyn til sammensætning afhæn-

gigt af, hvor hårdt de blev ramt af iltsvindet i 2002. Der ses en meget klar separation, som er blevet væsentlig mindre i november 2003. Det er dog hovedsageligt de "røde" stationer, der er kommet til at ligne de "gule", mens de gule og røde tilsammen stadig er markant forskellige fra på de "grønne". Ser man på de enkelte grupper, så ses der ikke nogen udvikling i løbet af 2003 på de grønne (Figur 12), medens der er sket en meget signifikant udvikling på de "røde" stationer. Det ses endvidere, at nogle af observationerne fra efteråret 2003 grupperer sig sammen med observationerne fra foråret 2003. Det er de stationer, der ligger i det sydlige Lillebælt, hvor der ikke er sket en udvikling grundet iltsvindet i 2003. De arter, der hovedsageligt står for ændringen af samfundets sammensætning, er for gruppen af gule stationer: *Abra alba*, *Mysella bidentata*, *Corbula gibba* og *Arctica islandica* (molboøsters) i rækkefølge efter rank. For de røde stationer er rækkefølgen *Corbula gibba*, *Abra alba*, *Mytilus edulis* og *Arctica islandica*. For alle disse arter gælder, at de er dominerende både før og efter iltsvindet. Der er blot sket en ændring i deres indbyrdes dominansforhold. Den stigning, der er sket i artsrigdommen i de påvirkede områder i løbet af 2003, omfatter derfor ikke arter, som når at blive dominerende i samfundet i løbet af 2003.



Figur12 MDS plot af artssammensætningen i marts og november 2003 på de undersøgte stationer, der er markeret med farvekoder svarende til graden af påvirkning fra iltsvindet 2002. Alle data repræsenterer 4-rods transformerede data for individtæthed. Øverst til venstre: Sammensætningen i marts 2003 for hver af de tre kategorier. Nederst til venstre: Som ovenfor, men baseret på data fra november 2003 på de samme stationer. Øverst til højre: udviklingen på de ikke tydeligt påvirkede stationer fra marts (grønne punkter) til november (åbne symboler). I midten: udviklingen på de tydeligt påvirkede stationer fra marts (gule symboler) til november (åbne symboler). Nederst: udviklingen på de markant påvirkede stationer fra marts (røde symboler) til november (åbne symboler)

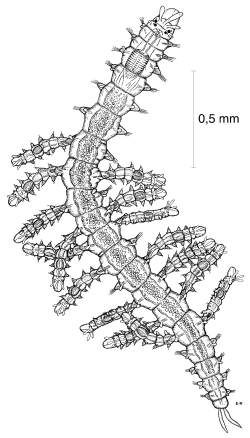


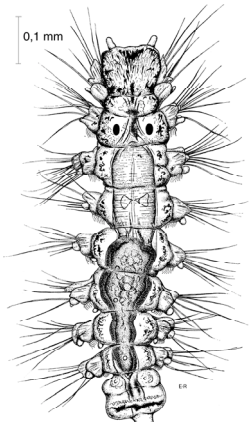
Figur13 Populationsdynamik hos pebermuslingen *Abra alba* i Karrebæksminde Bugt fra 1998 og frem til november 2003. Data er stillet tilrådighed fra Storstrøms Amt

3.2.5 Populationsdymanik hos pebermuslingen *Abra alba*

Der er een art, der skiller sig ud, når det gælder evnen til at kolonisere de iltsvindsramte områder, og det er den hvide pebermusling *Abra alba*. Ser man på de stationer, som både blev besøgt i marts og november 2003, og hvor der er registreret *Abra alba*, så var den gennemsnitlige tæthed stort set uændret fra 165 til 190 m^{-2} på de stationer, der ikke var påvirket af iltsvind (grønne stationer, Figur 6). Stigningen på ca. 35 m^{-2} er ingen måde signifikant forskelligt fra nul ($p>0.7$). Derimod viser det sig, at der på de stationer, der var moderat påvirket

(gule) og de kraftigt påvirkede (røde), var sket en 10 gange stigning fra henholdsvis 68 til 800 m^{-2} på de gule og 19 til 190 m^{-2} på de røde. For begge grupper tilsammen er der tale om en signifikant stigning i tætheden ($p<0,05$), og populationsudviklingen er meget forskellig fra de upåvirkede områder ($P<0,001$). For gruppen af kraftigt påvirkede stationer var der meget få observationer (n=), hvilket skal ses i sammenhæng med, at mange af de røde stationer blev ramt af iltsvind igen i 2003, og de individer der eventuelt var blevet rekrutteret efter iltsvindet 2002 ikke har vokset sig store nok til at blive tilbageholdt i en 1 mm sigte i marts 2003 og har sandsynligvis ikke klaret det efterfølgende iltsvind i 2003. Resultatet viser, at denne art, der i sig selv er kendt for at være følsom over for iltsvind, bliver favoriseret af de forhold, der hersker efter iltsvind. I Karrebæksminde Bugt i Smålandsfarvandet viser data indsamlet af Storstrøms Amt et eksempel på, hvorledes populationen af pebermuslingen øges kraftigt som respons på de forhold, der hersker efter iltsvindet 2002 (Figur 13). Den stigning, der generelt er sket i biomassen i de påvirkede områder, er langt mindre end i tilfældet med hvid pebermusling, og den er ej heller signifikant for andre arter.





Øverst: Direkte udvikling hos børste ormen *Exogene gemmifera*. Voksen hun med fast sidende unger.

Nederst planktonisk larve af børste ormen *Nephtys hombergi*.

Fra E. Rasmussen (1973) Isefjord fauna. Gengivelse med tilladelse fra tidskriftet Ophelia.

3.3 Tæthed og fordeling af bunddyr-larver i vandsøjlen

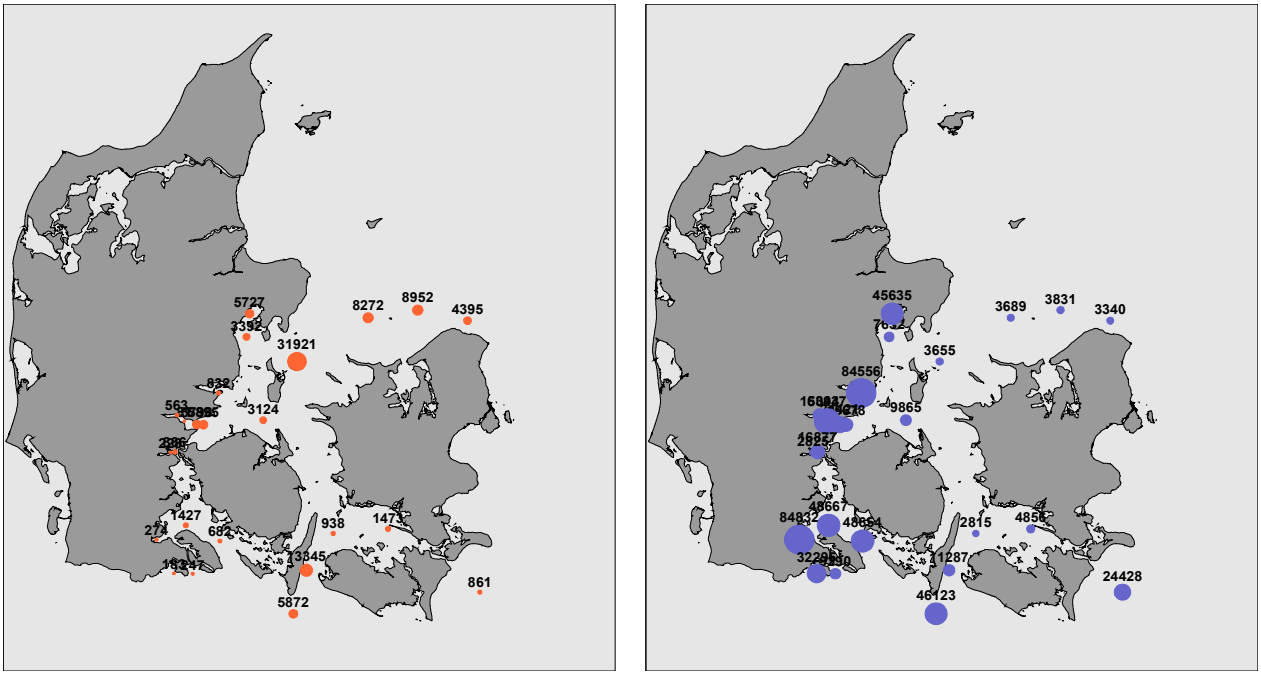
Tætheden af bunddyrlarver i de frie vandmasser blev målt i marts, juli, august og november 2003 på i alt 54 stationer (Figur 5), hvoraf ca. halvdelen er indsamlet to gange. Data viser, at der som helhed var larver tilstede i planktonet overalt på alle tidspunkter om end i stærkt varierende mængde (Figur 14). De gennemsnitlige tætheder af larver pr. kvadratmeter af vandsøjlen var ca. 30.000 m^{-2} i marts, 200.000 m^{-2} i juli, 200.000 m^{-2} i august og 90.000 m^{-2} i november måned. Ud over sæsonvariation i totalerne så dækker tallene over en betydelig tidslig og rumlig variation mellem de enkelte grupper. I det tidlige forår er der således få muslingelarver i det hele taget, i gennemsnit ca. 4000 m^{-2}, og der er endnu færre inde i bunden af fjordene (100-2.000 m^{-2}). Til gengæld er larverne af børsteorme inden for gruppen *Spionidae* talrige på dette tidspunkt med tætheder på mellem 4.000-150.000 m^{-2} (Figur 15). Den rumlige fordeling af børsteorme-larverne viser et karakteristisk mønster, hvor de største koncentrationer findes inde i mere eller mindre lukkede farvandsafsnit og fjorde: Her er tætheden er ca. 10 gange højere (ca. 50.000) end i de åbne farvande, hvor tætheden er ca. 4.000 m^{-2}. I juli og august er larveplanktonet domineret af muslingelarver og larver af pighuder, der når tætheder på mere end 500.000 m^{-2} i Kattegat og det nordlige Bælthav, medens koncentrationerne er ca. en tiendedel i Øresund og den vestlige Østersø (Figur 16). I november findes der data fra området omkring det sydlige Lillebælt, Smålandsfarvandet og fra en station i det nordlige Kattegat. Muslinger og børsteorm forekommer i stort set de samme tætheder omkring 50.000 m^{-2}, medens der er en betydelig rumlig variation, idet der er langt flere larver i det sydlige Lillebælt end i Smålandsfarvandet. De forskellige grupper af bunddyr viser også karakteristiske rumlige fordelingsmønstre. Således er børsteormene generelt mest dominerende i de lukkede områder, medens der kun er fundet høje tætheder af snegle i Kattegat. Pighuderne (dvs. søpindsvin, søpølser,

søstjerner og slangestjerner) forekommer kun i høje koncentrationer i Kattegat og det nordlige Bælthav, medens forekomsten aftager hurtigt ned gennem bælterne og Øresund. Dette udbredelsesmønster i vandsøjlen svarer nøje til fordelingen af rekrutter af pighuder på bunden, hvor forekomsten ligeledes var begrænset til Kattegat, det nordlige Bælthav og den strømfyldte rende i Storebælt (se Figur 19).

Figur 14 Totalantal af bunddyrenes larvestadier pr. m^2 i vandsøjlen i marts 2003 (øverst til venstre), i juli2003 (øverst til højre), i august 2003 (nederst til venstre) og i november 2003 (nederst til højre). Antallet er markeret over cirklen, og punkternes størrelse er skaleret, så det svarer til kvadratroden af antallet (dvs. forskellene i punktstørrelse er dæmpet i forhold til de reelle forskelle i tæthederne).

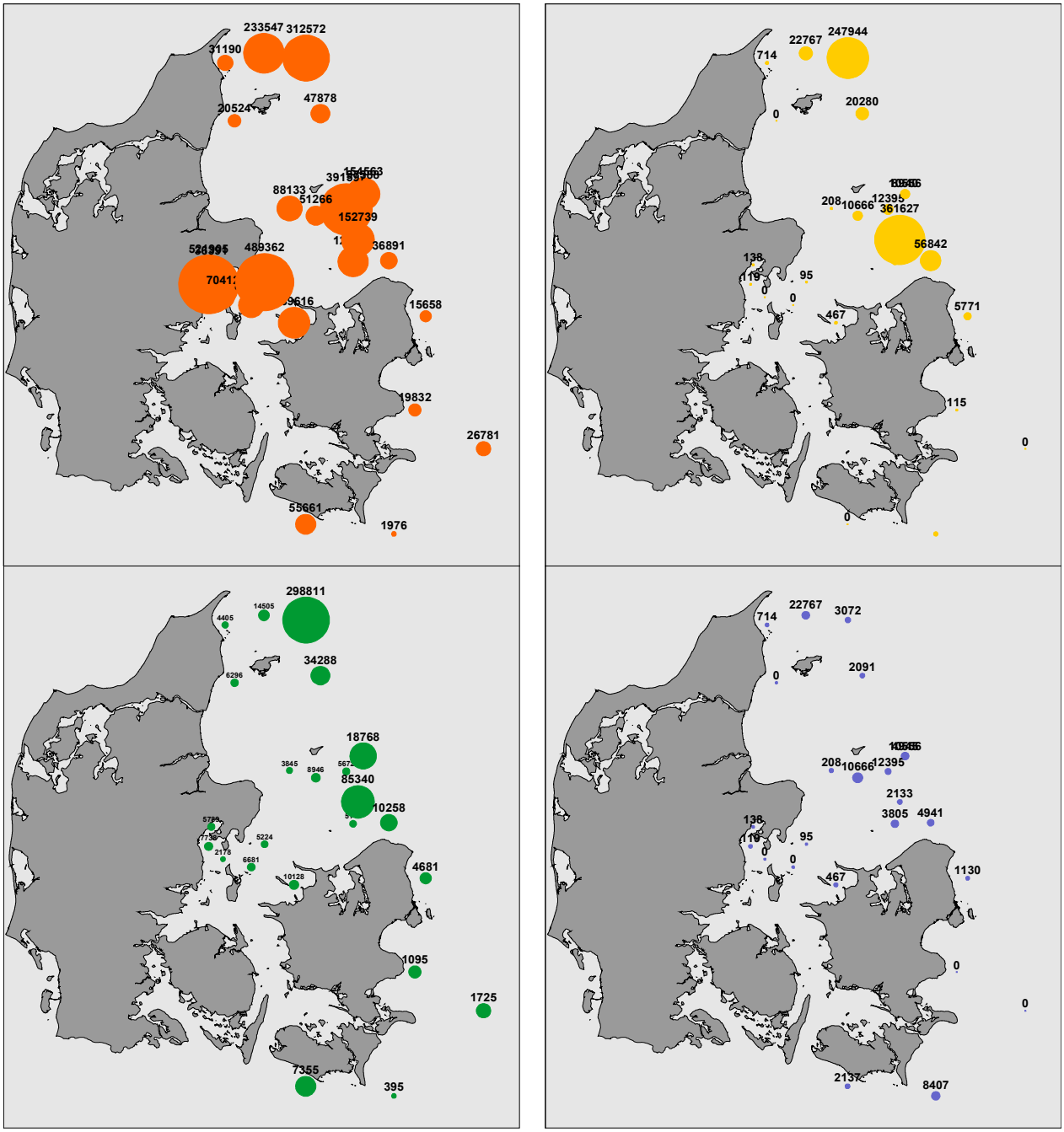
Vores undersøgelser af larveplanktonet er i overensstemmelse med tidligere undersøgelser, når det gælder successionen mellem de enkelte grupper (Thorson 1946, Rasmussen 1973, Blanner 1982). Der er

ikke tidligere lavet en kortlægning af den rumlige fordeling af larverne, og vi må derfor antage, at forholdene i 2003 afspejler generelle forhold. Dermed antager vi, at sammensætningen af larveplanktonet i efteråret 2003 ligner den larvepopulation, der har været grundlaget for den allerførste rekruttering, som har kunnet foregå umiddelbart efter iltsvindet i 2002. I perioden fra marts til november er der konstant larver i vandet om end i stærkt varierende mængde. I vinterhalvåret må vi på baggrund af andres undersøgelser (Thorson 1946, Rasmussen 1973, Blanner 1982) formode, at tætheden er endnu lavere.



Figur15 Antallet af muslingelarver (til venstre) og larver af børsteorm (til højre) i marts 2003. Tal angiver antallet pr. kvadratmeter, og punktets størrelse er skalleret som i Figur 14.

Som helhed viser målingerne af larveplanktonet, at der er perioder, hvor indvandringen formodentligt er begrænset af lave koncentrationer af larver i planktonet. Specielt kan de lave koncentrationer af muslingelarver og larver af pighuder først på sæsonen udgøre en sådan begrænsning. For pighudernes larver er der sandsynligvis tillige en geografisk begrænsning, idet de kun forekommer talrigt i Kattegat. De voksne individer af denne gruppe forekommer, ligesom larverne, i Kattegat og Bælthavet, men i tillæg hertil forekommer der mere eller mindre isolerede populationer inde i en række fjorde, der støder op til Bælthavet. I tilfælde af udslettelse er genopbygningen formodentligt begrænset af larvetilgangen.



Figur 16 Fordeling af forskellige grupper af bunddyrlarver i sommermånederne juli og august 2003. Muslingelarver (øverst til venstre), larver af pighuder (øverst til højre), sneglelarver (nederst til venstre) og larver af børsteorme (nederst til højre). Punkter skaleret som i Figur 14.

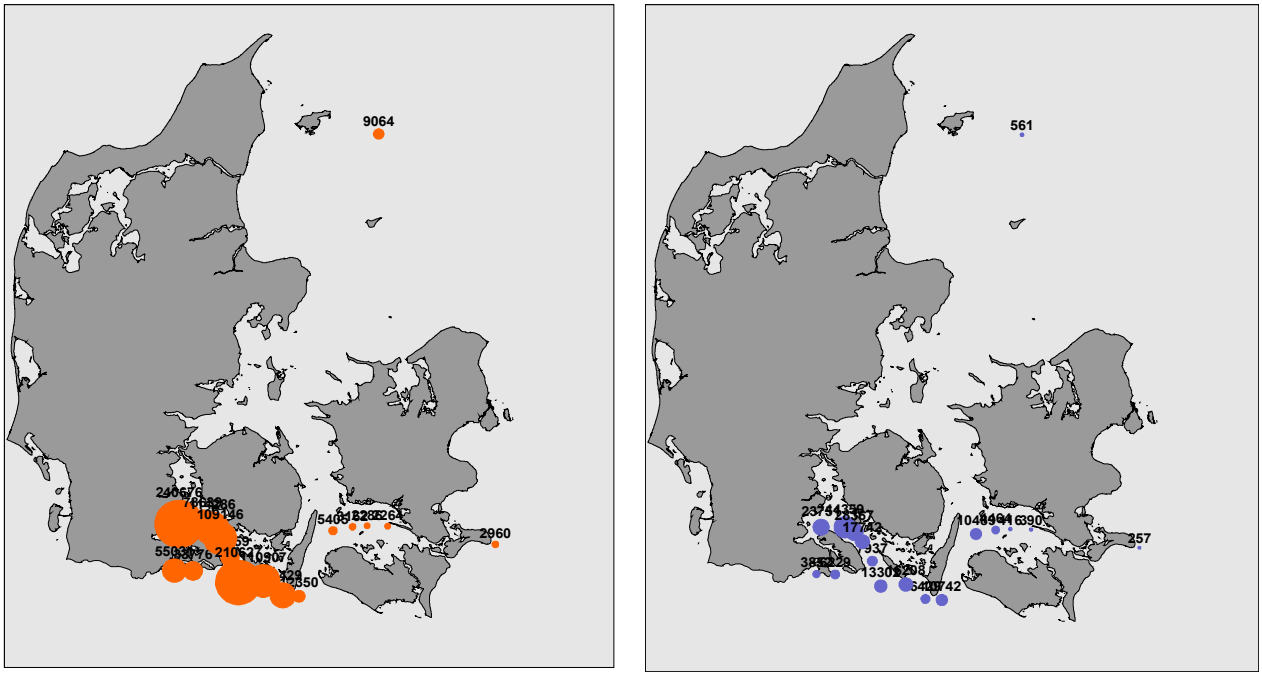
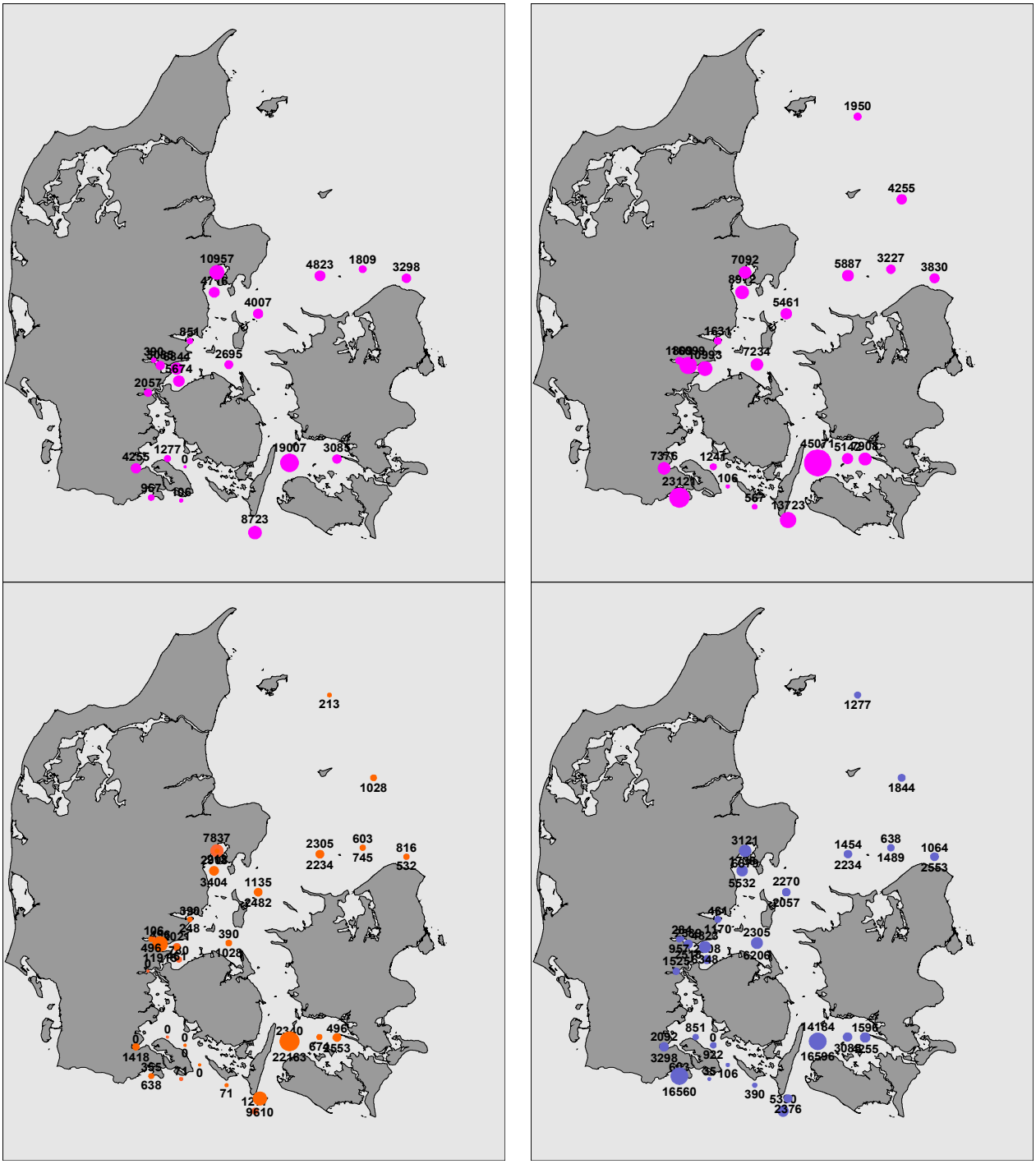


Figure 17 Fordeling af muslingelarver (til venstre) og larver af børsteorm (til højre) i november 2003 i det sydlige Lillebælt og i Smålandsfarvandet. Punkter skaleret som i Figur 14.

3.4 Rekrutteringen af bunddyr i løbet af 2003

Spørgsmålet om i hvilket omfang larverne i planktonet har overlevet bundfældningen og efterfølgende har koloniseret bunden, kan besvares ud fra vores undersøgelser af bundfauna-postlarvene i sedimentet. I marts var den gennemsnitlige tæthed af ny-rekrutterede individer inden for alle dyregrupper ca. 4000 m^{-2}, og dette tal er steget til ca. det dobbelte (7300) i november. Som helhed udgør gruppen af børsteorme lidt mere end halvdelen af rekrutterne og muslinger ca. en tredjedel på begge tidspunkter (Figur 18). Med undtagelse af en enkelt station i det sydlige Lillebælt blev der fundet rekrutter på alle stationerne. Der er dog en betydelig variation fra område til område og inden for de enkelte dyregrupper. Således blev der ikke fundet nogen muslinger overhovedet i det sydlige Lillebælt, hvor det kun var rekrutter af børsteorm, der i begrænset omfang havde koloniseret bunden (Figur 18). De fleste af de rekrutter, der findes på bunden om foråret, vil i november have nået en størrelse, hvor de vil blive medregnet som voksne individer. Dermed afspejler tætheden på bunden de forskelle, der er i koncentrationer af larver i vandsøjlen de forudgående måneder. Ved at sammenligne koncentrationerne i vandsøjlen med antallet af rekrutter på bunden ses, at det kun er ca. 1 ud af 100 eller 1000, som overlever livsstadierne i vandsøjlen (Det bør bemærkes, at det reelle antal af larver, der potentielt kan kolonisere bunden fra de frie vandmasser, er højere end det fremgår af Figur 14, 15 og 16, da larvepopulationerne har en turn-over på et antal uger). Tager man højde for denne dødelighed (som sikkert er stærkt varierende hen over sæsonen), og tager man samtidigt højde for de store rumlige variationer, der er i koncentrationen af larver, så må vi formode, at tilgangen af larvestadier som helhed kan være en begrænsende faktor for genindvandringen efter, at den voksne fauna er udslettet. Hvis man kigger på de enkelte dyregrupper, så er denne be-



Figur 18 Øverst: Totalantal af nyrekrutterede bunddyr pr. kvadratmeter i marts 2003 (til venstre) og i november 2003 (til højre). Tallet angiver totalantal. Punkter er skalleret med kvadratroden af tallet. Nederst: Antallet af rekrutter i marts og november. I de tilfælde, hvor der er tællinger både i marts og november, angiver tallet over punktet antallet i marts og under i november for muslinger (til venstre) og børsteorme (til højre).

grænsning sandsynligvis langt mere udtalt. Et eksempel er muslingerne, som er fåtallige i planktonet i vinter/foråret, hvilket kan betyde, at koloniseringen af denne gruppe starter sent i de tilfælde, hvor bunden først er åben for kolonisering om vinteren.

For gruppen af pighuder viser vores data, at der er en nøje overensstemmelse mellem forekomsten af larver i vandsøjlen og forekomsten af rekrutter på bunden (Figur 19). For begge livsstadier gælder, at de kun findes i Kattegat og det nordlige Bælthav med enkelte fund

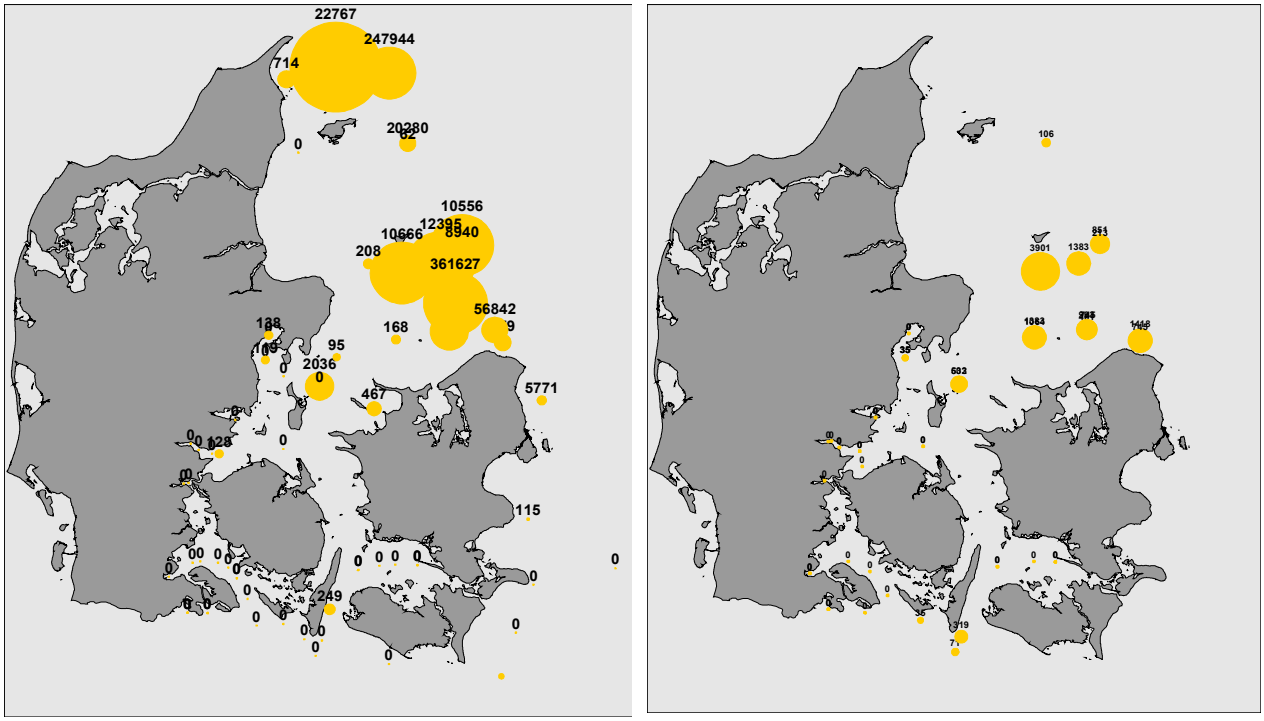


Figure 19 Tætheder over pighuder, som lever i vandsøjlen (til venstre) og som nyrekrutterede individer på bunden i 2003.

langs de strømfyldte passager i bælterne. Da der findes spredte populationer af denne dyregruppe i det sydlige bælthav, i Smålandsfarvandet og i en del fjorde så langt syd på som til Flensborg Fjord, må vi formode, at rekrutteringen til denne gruppe er kraftigt begrænset af tilgangen af larver fra vandsøjlen. Ud over, at der er en overordnet sæsonvariation og en variation i rum for de enkelte grupper, så er der også en variation i koncentrationen af larver, som kan være af mere tilfældig art. Et eksempel herpå sås i november 2003, hvor der var meget højere tætheder af larver i det sydlige Lillebælt end i det nærliggende Smålandsfarvand.

3.4.1 Diversiteten af rekrutter i forhold til afstanden og spredning fra en artspulje

På i alt 14 stationer (Figur 20) blev der foretaget en minutiøs artsbestemmelse af de ny-rekrutterede børsteorme. De 6 af de 14 stationer var udvalgt således, at de lå inde i mere eller mindre lukkede områder, medens de resterende 8 var placeret i åbne områder af Kattegat, Bælthavet og Storebælt. Formålet var at teste, om der var forskel på diversiteten af rekrutter i åbne havområder og i lukkede fjordområder således som forudsagt i Josefson og Hansen (2004). For de prøver, der var taget i marts, var diversiteten i de lukkede områder (Shannon-Wiener log-e) 0,62, medens den var en signifikant (P=0,004, n= 15, t-test) højere diversitet på 1,81 i de åbne områder. I november 2003 var diversiteten øget markant i de 6 lukkede områder, medens der kun var sket en moderat stigning i de åbne områder. Diversiteten var stadig højest i de åbne områder, men forskellen var ikke længere signifikant. Dette er så vidt vides den første gang, hvor det har været muligt at teste effekten af spredning på diversiteten af bunddyr.

Figur 20 Artsrigdom og diversitet af ny-rekrutterede børsteorme i områder, der anses for åbne (grønne) og lukkede områder (orange). Til venstre total antal arter af børsteorme i marts 2003 pr. 280 cm^2. Til højre: Shannon Viener diversitet total i marts og november pr 141 cm^2.

3.5 Effekter af iltsvindet 2002 i det Sydlige Lillebælt

I efteråret 2003 var der i flere områder sket en bedring i de forskellige bundfaunasamfund efter iltsvindet i 2002. Hele området omkring det sydlige Lillebælt afveg imidlertid markant fra denne generelle tendens. Årsagen var, at der igen i sensommeren og efteråret 2003 var et langvarigt iltsvind. Det nye iltsvindet i 2003 varede så lang tid i området, at det var ventet, at der vil ske skader på faunaen. Det vil sige den fauna, som eventuelt havde nået at kolonisere området efter 2002-iltsvindet. Det var således ikke muligt at se nogen genindvandring i prøverne af den makroskopiske bundfauna i november 2003. Ud fra undersøgelserne af ny-rekruttede individer og forekomsten af larver i planktonet kan udviklingen i det sydlige Lillebælt imidlertid beskrives mere præcist.

I de fleste andre områder formodes det, at der skete et nedslag af larver allerede samme efterår 2002, og at det var de overlevende fra dette nedslag, ses som rekrutter i marts 2003. DMU har ikke målinger af planktonet fra november 2002, men det er normalt, at der i efterårsperioden forekommer mange muslingelarver i planktonet (Thorson 1946). Eksemplet med pebermuslingen *Abra alba* fra Karrebæksminde Bugt viser, at populationen netop må have etableret sig i den sene del af efteråret 2002. På alle andre undersøgte stationer og på alle tidspunkter (marts, juli, august og november 2003) er der da også fundet muslingelarver i planktonet, og netop i det Sydlige Lillebælt er der fundet store mængder af muslingelarver på mellem 50.000-200.000 m^{-2} i efteråret 2003 (Figur 17). Selvom det sydlige Lillebælt hydrografisk set er et forholdsvis lukket område, er det usand-

synligt, at der ikke skulle være blevet transporteret muslingelarver ind i området fra tilstødende farvande. Flensborg Fjord er ligeså lukket, og her skete der en rekruttering af muslinger, som overlevede (Figur 18). Samlet set er der derfor grundlag for at tro, at der var muslingelarver i det sydlige Lillebælt i efteråret 2002. Om foråret, i marts 2003, viser vores undersøgelser imidlertid, at der er meget få nye rekrutter i det hele taget, og muslingerne er helt fraværende på de undersøgte stationer i det sydlige Lillebælt (Figur 18). I Kolding Fjord indeholdt prøver et tykt lag sedimenteret og halvt opløst ålegræs og kan ikke betragtes som repræsentative for området. Vi antager derfor, at bundfældningen og dermed rekrutteringen, som det eneste sted, ikke lykkedes i det sydlige Lillebælt. Dette til trods for, at sedimentet i det sydlige Lillebælt under iltrige forhold ville være et velegnet levested for muslinger som f.eks pebermuslingen, der så effektivt etablerede bestande i de andre områder efter iltsvindet.

De fleste postlarver er formodentlig forholdsvis tolerante over for lave iltkoncentrationer (Josefson & Widbom 1988, Vistisen & Vismann 1997, Sagasti m.fl. 2001), og den mest sandsynlige forklaring på den manglende rekruttering i det sydlige Lillebælt er derfor, at der har været svovlbrinte i bundvandet i hele den periode, hvor der har foregået en bundfældning af larver, hvilket vil sige hele efterårsperioden frem til december. De faktiske iltmålinger i bundvandet bekræfter denne formodning, idet der var kraftigt iltsvind i sydlige Lillebælt helt frem til uge 49, hvilket var ca. en måned længere end tilfældet var i de øvrige områder (Ærtebjerg m. fl. 2003).

Senere, i foråret 2003, viste vores undersøgelser dominans af havbørsteormene i larveplanktonet (Figur 15). På dette tidspunkt var der allerede nyetablerede rekrutter på bunden i det sydlige Lillebælt, og mængden i vandsøjlen viste potentiale for yderligere rekruttering. Om der skete yderligere rekruttering i løbet af foråret og sommeren 2003 ved vi ikke, men fra undersøgelserne af planktonet på andre lokaliteter i juli, august og november viser tilstedeværelse af larver i vandet og dermed potentiale for rekruttering. Nettoresultatet af rekruttering i november 2003 viser imidlertid, at den samlede mængde af rekrutter ikke er blevet forøget, hvilket står i modsætning til de øvrige områder, hvor antallet blev fordoblet henover sommeren. Muslinger findes slet ikke blandt de nyetablerede dyr, og det er igen kun i dette område, hvor de er fraværende (Figur 18). Forklaringen på, at det sydlige Lillebælt på dette tidspunkt skiller sig ud, er, at der endnu engang har været iltsvind i 2003 og sandsynligvis svovlbrinte i bundvandet. De rekrutter, der har etableret sig i løbet af foråret og sommeren 2003, er formentligt døde og følgelig formoder vi, at de rekrutter, der findes området i november 2003, har etableret sig efter det nye iltsvind. Det er dog ikke muligt at foretage en sikker aldersbestemmelse af dyrene for at bekræfte denne formodning.

Det forhold, at iltsvindets særligt lange varighed sandsynligvis har forhindret genindvandring i efteråret 2002 i det sydlige Lillebælt, er specielt interessant. Det viser nemlig, at normalisering, selv hvis der ikke havde været iltsvind igen i 2003, ville være ca. et år bagud i forhold til de øvrige områder. Hvor bunden i de øvrige områder efter, at det værste iltsvind var overstået i 2002, udgjorde en velegnet levested

for den opportunistiske musling, pebermuslingen, så var det sydlige Lillebælt stadig et uegnet levested, sålænge der var larver i vandet. Da muslingerne udgør størstedelen af biomassen i mange områder, og da nogle arter af muslinger kan vokse meget hurtigt (jvf. populationsudviklingen i Karrebæksminde bugt, Figur 13) betyder det, at der sker en væsentlig forsinkelse, når det gælder genopretningen af biomassen. Man kan derfor sige, at hvis der ikke var iltsvind igen i 2003, så ville der i det sydlige Lillebælt kun være børsteorme med en alder på ca. 6-7 måneder og nyetablerede rekrutter af muslinger om efteråret 2003. Til sammenligning eksisterede der i de øvrige områder på dette tidspunkt en biomasse af muslinger på 5-100 g m^{-2}.

Den manglende rekruttering viser et generelt forhold omkring effekterne af iltsvind på bundfaunaen. Forholdene kan faktisk kan blive værre, selv når al makroskopisk fauna er forsvundet: Områdets egnethed for genindvandring kan forværres, idet der kan ske en betragtelig forsinkelse af successionen i dyresamfundet. Hertil kommer, at tilstedeværelse af faunaen sandsynligvis i sig selv bidrager til at dæmpe udsvingene i bundens iltforbrug. Når dyrene pumper vand ned i sedimentet, opbygges der en bufferkapacitet, der kan afgifte svovlbrinte. I tilfælde af nye iltsvind er denne bufferkapacitet afgørende for, hvor hurtigt der kommer giftigt svovlbrinte i vandet. Vores empiriske "4-6 ugers regel" for, hvornår der sker tydelige skader på bundfaunaen, hænger sikkert sammen med svovlbrintebufferkapaciteten. Det er flere gange blevet observeret, at der efter kraftige iltsvind ofte forekommer kraftigere iltsvind året efter, end forventet ud fra klima alene. Fravær af fauna kan være en del af forklaringen på dette fænomen. Hvis den makroskopiske fauna er forsvundet fra bunden, vil der gå en tid før, eventuelle ny rekrutter opnår en størrelse, hvor de effektivt kan blande og ilte sedimentet, og opbygning af en ny bufferkapacitet går derfor langsomt i starten.

3.5.1 Udviklingen i det sydlige Lillebælt

Vi kender ikke forholdene i det sydlige Lillebælt før, iltsvindet satte ind i 2002. Området er et af de områder, der hyppigst er ramt af iltsvind. Således var der også iltsvind i 2001 i hele den centrale del (ca. 330 km^2), og varigheden af iltsvindet var lang nok til at medføre skader på bundfaunaen (Appendiks 4). Derfor var der sikkert ikke noget "gammelt" eller "modent" faunasamfund tilstede, da iltsvindet satte ind i 2002. Imidlertid var iltsvindet i 2001 overstået en måned tidligere end i 2002, og der kan derfor have været en del muslinge-rekrutter fra november 2001 tilstede. I randområderne, som først blev ramt af iltsvind i 2002, men ikke i 2001 (f.eks. stationerne sk51d, gma48 og gma49), er der muligvis forsvundet en større biomasse, hvilket indholdet af skaller i prøverne da også tydede på.

Set over en længere periode, så har faunaen i den centrale del af det sydlige Lillebælt længe være påvirket negativt af iltsvind, og bunden har sandsynligvis gennem lange perioder været uden flerårig bundfauna. Det vides ikke, hvornår den flerårige makrofauna er forsvundet, men Petersen undersøgelser i 1912 viser, at der var et flerårigt samfund på en lokalitet tæt på stationen sk51b, som indgik i denne undersøgelse.

Denne undersøgelse tyder på, at der til stadighed er potentiale for rekruttering fra vandsøjlen, men at processen ikke lykkes på grund af forholdene på bunden. Det vides ikke, hvor ofte rekrutteringen lykkes, og hvilke forhold der skal til før, at muslinger kan overleve en hel sæson. Vi observerede, at der i flere områder findes lag af muslingeskaller af pebermuslingen, *Abra alba,* med en skalstørrelse på mere end 20 mm, hvilket kræver to på hinanden følgende år uden alvorlige iltsvind, men årgangen af disse skaller kendes ikke. Det er således usikkert, hvornår området skiftede til at være mere eller mindre permanent uden liv. Det er ligeledes uvist, om der skete en udvidelse af det permanent døde område efter 2002 iltsvindet.

4 Konklusioner og uafklarede spørgsmål

- Resultaterne viser, at bundfaunaen blev tydeligt eller markant negativt påvirket inden for et areal på 3.400 km^2 af iltsvindet i 2002. Omkring 90% af biomassen af andre dyr end molboøsters forsvandt, og tætheden af dyr og artsrigdommen blev reduceret med omkring 75%. Det samlede tab af biomasse anslås til at være mellem 100.000 og 500.000 tons med 371.000 tons som den estimerede værdi.
- Dyresamfundene blev gradvis normaliseret i løbet af 2003 med hensyn til artsrigdom, samfundsstruktur, omend de ramte områder fortsat er markant forskellige fra de områder, der ikke blev ramt. Et år efter iltsvindet var artsrigdommen af voksne individer stadig under 30-40% af niveauet i de ikke ramte områder.
- Den samlede biomasseproduktion i de ramte områder var under ca. 10% af det forventede niveau i et upåvirket samfund, og normaliseringen af biomassen gik langsommere end, der tidligere er set efter iltsvind. Årsagen var, at der var iltsvind igen i 2003.
- Iltsvindet i 2003 nulstillede normaliseringen i et område på 630 km^2.
- Uden iltsvindet i 2003 forventedes det, at biomassen var nået op på ca. 30% af det oprindelige niveau for området som helhed.
- I de områder, hvor genindvandringen forløb uforstyrret af nye iltsvind, nåede produktionen i nogle områder op på 50-100 g. Der var een art, pebermuslingen *Abra alba,* som var særlig effektiv til at kolonisere nye områder.
- Undersøgelser af de frie vandmasser viste, at den samlede mængde af bunddyrlarver totalt set næppe er begrænsende for rekrutteringen, hvis bunden bliver åben for indvandring forholdsvis tidligt på efteråret. For gruppen af pighuder er larvemængden sandsynligvis meget begrænsende i hele den sydlige del af de indre danske farvande og i særdeleshed i de tilstødende fjorde. Tilfældige variationer i larvekoncentrationen kan sandsynligvis forsinke indvandringen lokalt.
- Hypotesen om, at vandudvekslingen mellem lukkede områder og åbne havområder er en styrende faktor for opbygning af biodiversiteten, er blevet bekræftet omend på et foreløbigt lille datamateriale. Resultatet tyder på, at visse lukkede områder har en iboende sårbarhed, når det gælder opretholdelsen af biodiversitet.
- Det forhold, at iltsvindet varede ved indtil meget sent på efteråret i det sydlige Lillebælt, betød, at rekrutteringen af muslinger slog fejl i dette område. Bunden var sandsynligvis vedvarende ugunstig for rekruttering så længe, der var larver i vandet. Dette betød, at voksne muslinger ikke ville være kommet tilbage før efter tidligst 2 år, selvom der ikke var kommet iltsvind igen i 2003.
- Resultaterne tyder på, at områder, hvor bunden har været uden makroskopisk fauna gennem et stykke tid, har sværere ved at blive koloniseret. Det vides ikke, om og i hvilket omfang der er sket en udvidelse af det permanent døde område i det sydlige Lillebælt i 2002.

- Der findes indicier for, at fraværet af fauna forøger chancen for, at der udvikles nye iltsvind i et område og dermed øver en negativ indflydelse på genindvandringen af dyr. Betydningen er ikke kvantificeret, og mekanismerne er dårligt forstået.

5 Sammenfatning

Iltsvindet i 2002 var det hidtil kraftigste, der er blevet registreret. DMU vurderede i 2003, at der var sket skader på bundfaunaen i et areal på mindst 3.400 km^2 i de indre danske farvande. Disse nye undersøgelser bekræfter størrelsen af området, og det vurderes, at det samlede tab af biomasse andrager mellem 100.000 og 500.000 tons med 371.000 tons, som det mest realistiske bud, hvoraf ca. halvdelen af tabet er på dansk territorium. Inden for de ramte områder forsvandt omkring 70% af bunddyrene og af den samlede artsrigdom, medens tabet af biomasse var mere end 90%, hvis der ses bort fra den iltsvindstolerante musling, molboøsters.

I løbet af 2003 skete der i flere områder en begyndende normalisering af havbundens dyresamfund. Nogle af de områder, der oprindeligt var markant påvirket, fremstod et år senere som moderat påvirket. På enkelte stationer kunne man slet ikke se effekter i felten et år efter. De største relative ændringer blev som forventet, set i de områder, der oprindeligt var hårdest ramt.

Som helhed gik normaliseringen imidlertid langsommere end forventet. I de påvirkede områder steg biomassen fra en gennemsnitlig vådvægt på ca. 3 g til ca. 10 g, og tætheden steg til ca. 40% af det niveau, som den formodedes at have før iltsvindet i 2002. Denne produktion af 10 g biomasse udgør mindre end 10% af den produktion, der forventes under normale forhold.

En meget vigtig årsag til, at biomassen steg mindre end forventet var, at der atter var iltsvind i 2003. Således kunne DMU konstatere en signifikant negativ sammenhæng mellem varigheden af dette nye iltsvind og genopbygningen af biomasse efter det forrige iltsvind. Hvis der havde været gode iltforhold i 2003, ville det forventes, at biomassen nåede omkring 30% af det oprindelige niveau. I de områder, hvor det nye iltsvind varede mere end 4 uger, blev hele normaliseringen sat tilbage til start. Dette skete i et område på ca. 630 km^2, hvoraf næsten hele arealet lå på dansk territorium.

I det sydlige Lillebælt kunne det konstateres, at genindvandringen aldrig kom rigtigt i gang til trods for, at der var et potentiale for kolonisering i form af larver i planktonet. Årsagen var her formodentligt, at der var iltsvind og sandsynligvis svovlbrinte i bundvandet lige til december 2002, og dermed var sæsonen, hvor der kunne ske en kolonisering fra vandsøjlen, næsten overstået. Dette er et eksempel på, at forholdene kan blive yderligere forværret selv efter, at al fauna er uddød under et iltsvind. Et langvarigt iltsvind kan forsinke genindvandringen. Der er tillige indicier for, at områder, hvor bunden allerede er død, har sværere ved at blive koloniseret, således som det kunne konstateres i det sydlige Lillebælt. Det vides ikke, om der er sket en forøgelse af det permanent døde område i det sydlige Lillebælt i forbindelse med 2002-iltsvindet.

Undersøgelserne af bundfaunaens larver i de frie vandmasse viser, at tidspunktet for iltsvindet i forhold til sæsonen for larveplanktonets forekomst i vandsøjlen sandsynligvis er en vigtig parameter for, hvor hurtigt der kan ske en normalisering af dyrelivet på havbunden. For muslinger kan et iltsvind meget sent på året sandsynligvis betyde op mod et års forsinkelse af genindvandringen. For gruppen af pighuder, som omfatter søpindsvin, søstjerner, slangestjerne mm., er genindvandringen afhængig af, hvilke områder iltsvindet forekommer i. Sker det i den sydlige del af Bælthavet eller i et lukket område, hvor vandudvekslingen med Kattegat er reduceret, forventer vi, at indvandringen vil foregå meget langsomt. De spredte populationer af pighuder, der findes i den sydlige del af de indre danske farvande, må derfor betragtes som særligt følsomme.

Der er indicier for, at biodiversiteten har sværere ved at blive opretholdt i områder, der ligger langt fra Kattegat, hvor de fleste marine arter har deres hovedudbredelse. Sandsynligvis er det vandudvekslingen, der begrænser transporten af larver ind i disse områder. Disse områder kan derfor betragtes som følsomme, når det gælder muligheden for at vende tilbage til den oprindelige tilstand efter iltsvindet.

Denne undersøgelse dækker kun det første år efter iltsvindet 2002, og det er ikke muligt at sige, hvornår de forskellige områder atter er normale. Det forventes tidligst, at forholdene kan betragtes som normale efter 2 år i enkelte områder, og for de fleste andre områder vil der sandsynligvis gå længere tid. Indtræffer der nye iltsvind, vil processen blive sat i stå eller helt nulstillet.

Taksigelser
Vi er meget taknemmelige for den tekniske assistance i forbindelse med feltarbejdet og for den store indsats, der blev ydet i laboratoriet med sortering og bestemmelse af dyr af Steffen Lundsteen, Hanne Ferdinand, Jan Damgaard, Birgit Søborg, Winnie Martinsen, Ivan Hrubena, Lars Nejrup og Thomas Andersen. Vi takker besætningen på Gunnar Thorson for godt samarbejde på togterne.

6 Referencer

Blanner, P (1982). Composition and seasonal variation of the zooplankton in the Limfjord (Denmark) during 1973-1974. Ophelia 21: 1-40.

Caley, MJ, Schluter, D (1997). The relationship between local and regional diversity. Ecology 78:70-80.

Diaz, RJ, Rosenberg, R (1995). Marine benthic hypoxia: a review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. Oceanography and Marine Biology: an Annual Review 33:245-303.

Hansen, B.W., Stenalt, E., Petersen, J.K., Ellegaard, C. (2002). Invertebrate re-colonisation in Mariager Fjord (Denmark) after svere hypoxia. I. Zooplankton and settlement. Ophelia 56: 197-213.

Heip, C. H. R., Goosen, N. K., Herman, P. M. J., Kromkamp, J., Middelburg, J. J., Soetart, K. (1995). Production and consumption of biological particles in temperate tidal estuaries. Oceanographical Marine Biological Annual Reviews 33, 1-149.

Josefson, A. B. & Widbom (1988) Differential response of benthic macrofauna and meiofauna to hypoxia an the gullmar Fjord basin Marine Biology 100: 31-40

Josefson, AB, Hansen, JLS (2004). Species richness of benthic macrofauna in Danish estuaries and coastal areas. Global Ecol. Biogeogr. 13: 273-288.

Palmer, MA, Allan, JD and Butman, CA (1996). Dispersal as a regional process affecting the local dynamics of marine and stream benthic invertebrates. Trends in Ecology and Evolution 11:322-326.

Petersen, JK, Stenalt, E, Hansen, BW (2002). Invertebrate recolonisation in Mariager Fjord (Denmark) after severe hypoxia. II. Blue mussels (Mytilis edulis L.). Ophelia 56: 215-226.

Rasmussen, E. (1973). Systematics and ecology of the Isefjord marine fauna (Denmark). Ophelia 11: 1-507.

Sargasti A., Schaffner, L. S., Duffy, J. E. (2001) Effects of periodic hypoxia on mortality and predation in an estuarine epifaunal community J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 258: 257-283.

Thorson, G (1946). Reproduction and larval development of Danish marine bottom invertebrates. C.A. Reitzels Forlag, Copenhagen.

Vistisen,& Vismann (1997) Tolerance to low oxygen and sulfide in Amphiura filiformis and Opiura albida (Echinodermata: Opiuroidea) Marine Biology 128: 241-246.

Weigelt, M. Rumohr, H. (1986) Effects of wide-range oxygen depletion on benthic fauna and demersal fish in kiel Bay 1981-1983. Kieler Meersforsch. 31: 124-136

Ærtebjerg, G., Carstensen, J., Axe, P., Druoon, J.-N.,Stips, A. (2003). The 2002 oxygen depletion event in the Kattegat, Belt Sea and western Baltic. Baltic Sea Environment Proceedings 90: 1-61.

Kaas, H.,Markager, S. S. (1998) Tekniske anvisning for marin overvågning, NOVA. Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser, Roskilde.

Hansen, J. L. S., Josefson, A. B., Carstensen, J. (2003) Opgørelse af skadevirkninger på bundfaunaen efter iltsvindet i 2002 i de indre danske farvande. Faglæig rapport fra DMU nr. 456.

Appendiks 1: Stationsoversigt med område betegnelse, længde- og breddegrader samt vanddybde.

Station	Område	Østlig længde	Nordlig bredde	Dybde
gma10	Århus Bugt	1020,025	5607,199	15
gma12	Århus Bugt	1020,609	5613,215	21
gma13	Århus Bugt	1022,157	5614,619	13
gma15	Bælthavet	1029,549	5558,159	39
gma22	Nordlige Lillebælt	1016,374	5540,393	22
gma23	Nordlige Lillebælt	1014,031	5541,410	22
gma25	Horsens Fjord/Bælthavet	1007,312	5546,683	13
gma26	Horsens Fjord	1003,623	5549,215	19
gma27	Horsens Fjord	1759,236	4642,791	10
gma29	Vejle Fjord	955,000	5539,000	17
gma30	Vejle Fjord	951,388	5539,044	14
gma31	Vejle Fjord	944,260	5540,222	11
gma32	Vejle Fjord	939,218	5542,108	10
gma33	Nordlige Lillebælt	956,295	5534,332	15
gma34	Kolding Fjord	938,853	5530,320	10
gma35	Kolding Fjord	936,309	5530,150	10
gma36	Sydlige Lillebælt	945,360	5510,175	25
gma37	Storebælt	940,470	5506,106	31
gma38	Åbenrå Fjord	930,820	5502,676	35
gma39	Åbenrå Fjord	928,206	5501,931	28
gma40	Sydlige Lillebælt	944,522	5506,525	28
gma41	Sydlige Lillebælt	953,643	5506,037	20
gma42	Sydlige Lillebælt	958,705	5504,415	29
gma45	Flensborg Fjord	947,967	5450,812	14
gma46	Flensborg Fjord	937,698	5450,966	16
gma47	Flensborg Fjord	956,650	5449,754	29
gma48	Sydlige Lillebælt	1006,998	5449,615	28
gma49	Sydlige Lillebælt	1010,672	5447,080	27
gma8	Århus Bugt	1025,063	5604,206	21
gma9	Århus Bugt	1023,069	5608,855	18
gno13	Femer Bælt	1119,797	5434,485	27
gno14	Femer Bælt	1111,413	5437,236	25
gno15	Storebælt	1048,654	5436,500	21
gno20	Sydlige Lillebælt	1024,470	5441,304	32
gno39	Nordlige Lillebælt	957,109	5538,449	13
gno4	Smålandsfarvandet	1130,513	5507,998	12
gno44	Nordlige Lillebælt	955,413	5540,664	15
gno63	Århus Bugt	1024,019	5616,490	13
sk1	Øresund	1244,182	5546,662	17
sk10	Kattegat	1157,986	5614,161	27
sk11	Kattegat	1153,251	5606,333	17
sk12	Kattegat	1139,190	5602,454	17
sk13	Kattegat	1124,353	5600,515	18
sk14	Kattegat	1130,568	5609,160	22
sk15	Kattegat	1129,512	5612,347	22
sk16	Kattegat	1059,918	5628,326	16
sk17	Kattegat	1104,547	5622,242	19
sk18	Kattegat	1057,185	5607,569	19
sk19	Bælthavet	1104,431	5557,678	20
sk2	Øresund	1244,983	5549,639	24

sk20	Bælthavet	1111,444	5555,207	17
sk21	Bælthavet	1116,550	5551,469	23
sk22	Bælthavet	1109,138	5549,287	8
sk23	Bælthavet	1058,221	5552,017	18
sk24	Bælthavet	1062,528	5548,737	17
sk25	Bælthavet	1032,992	5604,493	42
sk26	Bælthavet	1028,040	5553,446	23
sk27	Bælthavet	1026,987	5546,321	17
sk28	Bælthavet	1038,496	5542,443	21
sk29	Bælthavet	1028,542	5540,149	20
sk3	Øresund	1237,532	5559,026	20
sk30	Nordlige Lillebælt	1010,043	5540,405	22
sk31	Vejle Fjord	1004,541	5541,475	10
sk32	Vejle Fjord	954,479	5539,164	13
sk33	Bælthavet	1026,246	5537,155	15
sk34	Bælthavet	1040,377	5538,206	20
sk35	Bælthavet	1047,227	5538,172	40
sk36	Storebælt	1051,746	5530,388	31
sk37	Storebælt	1052,187	5526,260	24
sk38	Storebælt	1053,333	5525,133	26
sk39	Storebælt	1107,300	5524,734	24
sk4	Kattegat	1225,965	5610,014	25
sk40	Storebælt	1059,034	5616,647	22
sk43	Smålandsfarvandet	1117,160	5507,572	15
sk44	Smålandsfarvandet	1130,218	5504,229	13
sk45	Smålandsfarvandet	1136,347	5503,795	13
sk46	Smålandsfarvandet	1124,759	5504,266	16
sk47	Smålandsfarvandet	1116,734	5503,782	14
sk48	Storebælthavet	1105,728	5456,113	13
sk5	Kattegat	1218,551	5609,434	13
sk50	Vestlige Østersø	1045,904	5441,814	23
sk51	Vestlige Østersø	1036,605	5442,101	16
sk51a	Vestlige Østersø	1025,332	5447,170	30
sk51b	Sydlige Lillebælt	1008,444	5454,924	34
sk51c	Sydlige Lillebælt	1001,509	5501,476	36
sk51d	Sydlige Lillebælt	1012,884	5446,822	27
sk52	Vestlige Østersø	1042,714	5437,017	22
sk53	Femer Bælt	1107,952	5441,552	16
sk54	Femer Bælt	1116,625	5436,705	20
sk55	Femer Bælt	1129,967	5433,685	8
sk56	Femer Bælt	1137,560	5429,265	22
sk57	Femer Bælt	1148,967	5429,498	13
sk58	Femer Bælt	1154,069	5430,180	10
sk59A	Hjelm Bugt	1204,621	5434,284	12
sk6	Kattegat	1212,589	5616,356	29
sk60	Hjelm Bugt	1213,307	5434,720	17
sk61	Hjelm Bugt	1206,253	5440,741	14
sk62	Hjelm Bugt	1225,172	5442,119	18
sk63	Hjelm Bugt	1219,246	5452,317	22
sk65	Hjelm Bugt	1235,470	5456,399	23
sk7	Kattegat	1205,440	5621,755	32
sk8	Kattegat	1200,280	5625,260	31
sk9	Kattegat	1153,624	5622,403	30

Appendiks 2: Vurdering af omfanget af skader på bundfaunaen efter iltsvindet i 2002 og 2003. 1) Markerer observationer, som ikke viser tydelige skader på faunaen. 2) Markerer tydelige skader på faunaen. 3) Observationer, som tyder på markante skader. Indekseringen er benyttet dels for kvantitative observationer "Kvan", som omfatter vådvægt " V V" og abundans "AB" og dels for kvalitative observationer "kval", der er beskrevet i teksten. Den samlede vurdering efter iltsvindet 2002 er baseret på et gennemsnit af alle observationer i både november 2002 og marts 2003. Vurderingen af skader efter iltsvindet i 2003 er baseret på kvalitative og kvantitative observationer i november 2003.

Station	Nov2002				Mar 2003				Samlet vurdering af iltsvind 02	Nov. 2003			
	kvan.		kval.		kvan.		kval.			kvan.		kval.	
	V V	A B	kval.	Samlet	V V	A B	kval	Samlet		V V	A B	kval	Samlet
gma10					1	1	2	2	***2***	1	1	1	***1***
gma12					3	2	3	3	***3***	1	1	2	***2***
gma13					1	1	3	2	***2***	1	1	1	***1***
gma15					1	1	1	1	***1***	1	1	1	***1***
gma22					1	3	2	2	***2***	1	1	1	***1***
gma23					2	3	2	2	***2***	3	3		***3***
gma25					2	3	3	3	***3***	1	2	2	***2***
gma26					3	3	3	3	***3***	3	3	2	***3***
gma27					3	3	3	3	***3***	1	3	2	***2***
gma29					1	1	2	2	***2***				
gma30					1	3	3	3	***3***	1	2	1	***1***
gma31					1	1	3	2	***2***	1	1	1	***1***
gma32					2	2	3	2	***2***	1	1	1	***1***
gma33					2	2	3	3	***3***	1	2	2	***2***
gma34					1	1	3	2	***2***				
gma35					1	1	1	1	***1***	1	3	2	***2***
gma36					3	3	3	3	***3***	3	3	3	***3***
gma37					3	3	3	3	***3***	3	3	3	***3***
gma38					3	3	3	3	***3***	3	3	3	***3***
gma39					2	1	3	2	***2***	3	2	3	***3***
gma40					3	3	3	3	***3***	3	3	3	***3***
gma41					3	3		3	***3***	1	3	2	***2***
gma42					3	3	3	3	***3***	2	3	3	***3***
gma45					1	1	1	1	***1***	1	2	1	***1***
gma46					1	3	3	3	***3***	1	2	1	***1***
gma47					3	2	3	3	***3***	3	3	3	***3***
gma48					1	1	3	2	***2***	2	3	2	***2***
gma49					3	2	3	3	***3***	1	3	3	***3***
gma8					1	1	1	1	***1***	1	1	1	***1***
gma9					1	2	1	1	***1***				
gno13										1	2	1	***1***
gno14										1	2	1	***1***
gno15										1	1	1	***1***
gno20										1	2	2	***2***
gno39										1	1	1	***1***
gno4										1	1	2	***2***

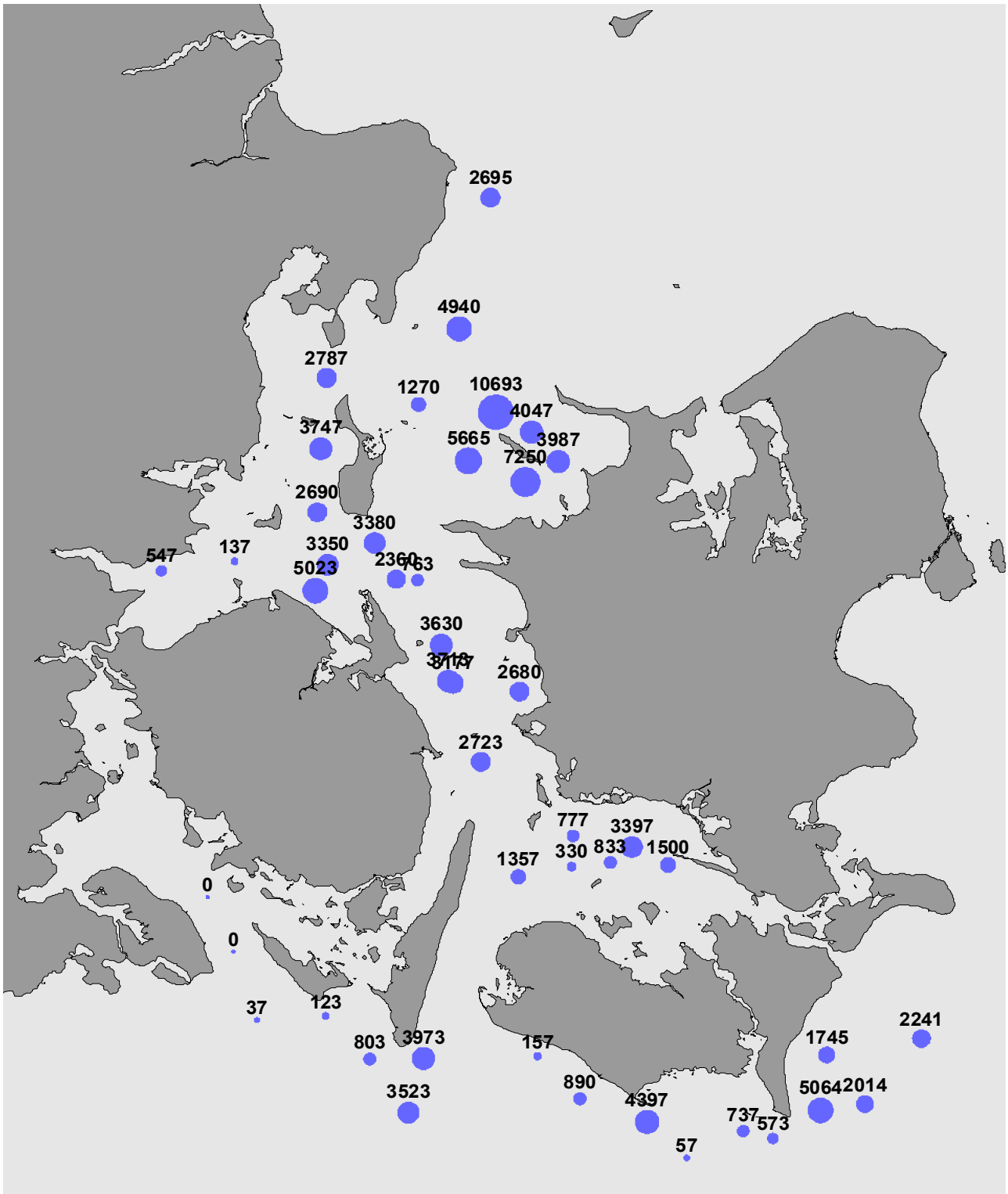
Station	Nov2002				Mar 2003				Samlet vurdering af iltsvind 02	Nov. 2003			
	kvan.		kval.		kvan.		kval.			kvan.		kval.	
	V V	A B	kval.	Samlet	V V	A B	kval	Samlet		V V	A B	kval	Samlet
gno44										1	1	1	***1***
gno63										1	1	1	***1***
sk10			1	1	1	1	1	1	***1***	1	1	1	***1***
sk15			1	1	1	1	1	1	***1***	1	1	1	***1***
sk17	1	1	1	1					***1***				
sk18	1	1	1	1					***1***				
sk19	1	1	1	1					***1***				
sk2			1	1	1	1	1	1	***1***				
sk20	1	1	1	1					***1***				
sk21	1	1	1	1	3	3	1	2	***2***	1	1	1	***1***
sk22	1	1	1	1					***1***				
sk23	1	1	1	1					***1***				
sk24	1	1	1	1	1	1	1	1	***1***	1	2	1	***1***
sk25	1	1	1	1					***1***				
sk26	1	1	1	1	1	1	1	1	***1***				
sk27	1	1	1	1	1	2	1	1	***1***				
sk28	1	1	1	1	1	1	1	1	***1***	1	1	1	***1***
sk29	1	1	1	1	1	1	1	1	***1***	1	1	1	***1***
sk30	2	2	2	2	3	3	2	3	***2***	1	2	1	***1***
sk31	3	3		3	1	1	1	1	***2***		3		***3***
sk32	1	1	2	1,5		3		3	***2***	1	1	1	***1***
sk33	1	1	2	1,5	1	1	1	1	***1***	1	1	1	***1***
sk34	1	1	1	1	1	1	1	1	***1***				
sk35	1	1	1	1					***1***				
sk36	1	1	1	1					***1***				
sk37	1	1	1	1					***1***				
sk38	1	1	1	1					***1***				
sk39	1	1	1	1					***1***				
sk4	3	3	1	2	1	1	1	1	***2***	1	1	1	***1***
sk40	1	1	1	1					***1***				
sk43	1	1	2	1,5					***2***	1	1	2	***2***
sk44	1	1	2	1,5					***2***				
sk45	1	1	2	1,5	1	1	1	1	***1***	1	1	1	***1***
sk46	1	1	2	1,5	1	2	1	1	***1***	1	1	1	***1***
sk47	1	2	2	1,75	1	2	1	1	***2***	1	1	1	***1***
sk48	1	1	1	1	1	1	1	1	***1***	1	2	1	***1***
sk50	1	1	1	1	1	1	1	1	***1***	1	1	1	***1***
sk51	1	1	2	1,5	1	1	2	2	***2***	1	1	1	***1***
sk51a	2	3	1	1,75	1	2	2	2	***2***	2	3	2	***2***
sk51b	3	3	3	3	3	3	3	3	***3***	3	3	3	***3***
sk51c	3	3	3	3	3	3	3	3	***3***	3	3	3	***3***
sk51d	3	3	3	3	3	3	3	3	***3***	1	3	2	***2***
sk52	1	1	1	1	1	1	1	1	***1***	1	1	1	***1***

Station	Nov2002				Mar 2003				Samlet vurdering af iltsvind 02	Nov. 2003			
	kvan.		kval.		kvan.		kval.			kvan.		kval.	
	V V	A B	kval.	Samlet	V V	A B	kval	Samlet		V V	A B	kval	Samlet
sk53	1	2	2	1,75	1	2	1	1	***2***	1	3	1	***2***
sk54	1	1	1	1					***1***	1	1	1	***1***
sk55	1	1	1	1					***1***				
sk56	3	3	2	2,5					***3***				
sk57	1	1	1	1					***1***				
sk58	1	1	1	1					***1***				
sk59A	1	1	1	1					***1***				
sk60	1	1	1	1					***1***				
sk61	1	1	1	1					***1***				
sk62	1	1	1	1	1	1	1	1	***1***				
sk63		3		3					***3***	3	3	2	***3***
sk65		3		3					***3***	3	2	2	***2***

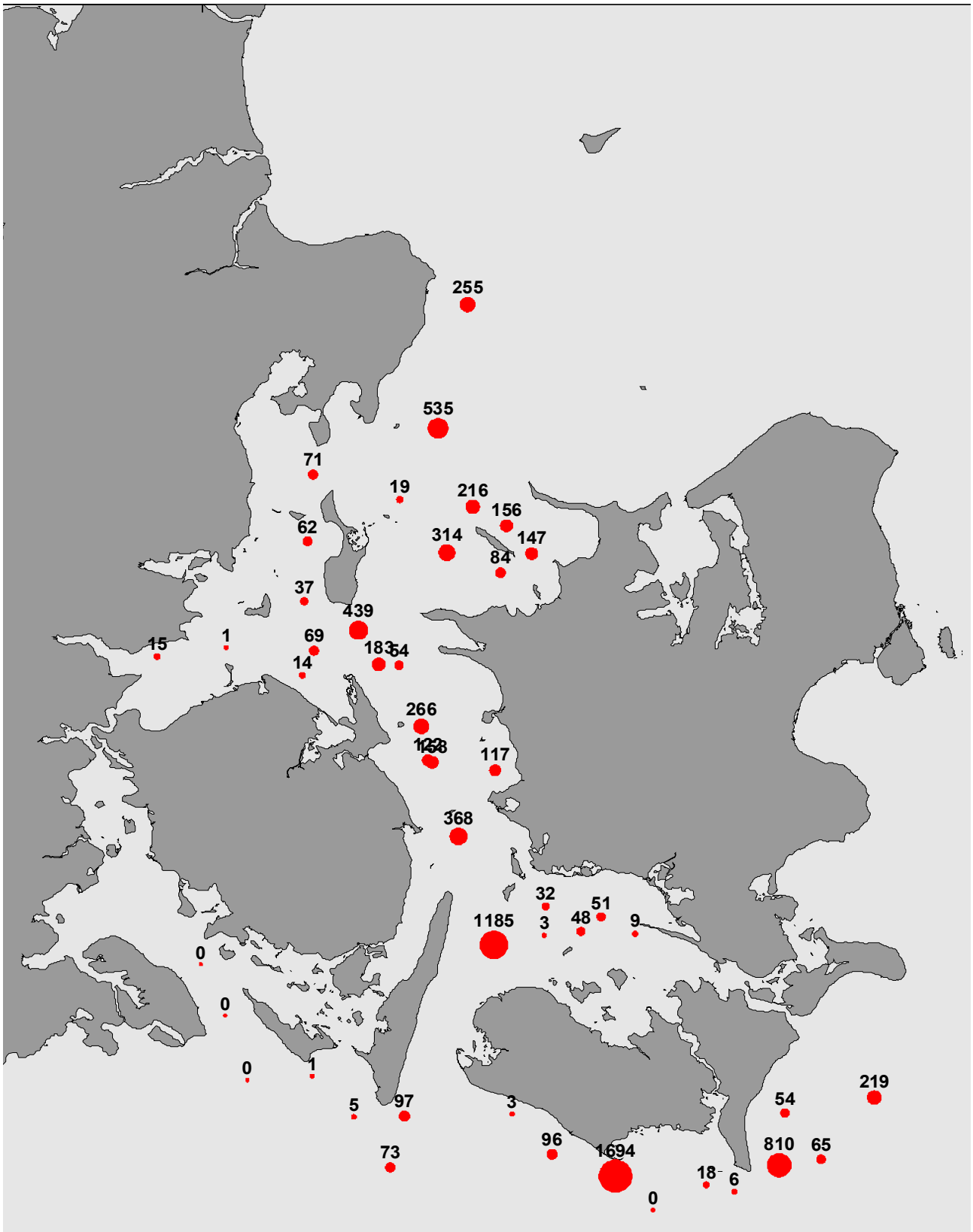
Appendiks 3

Appendiks 4

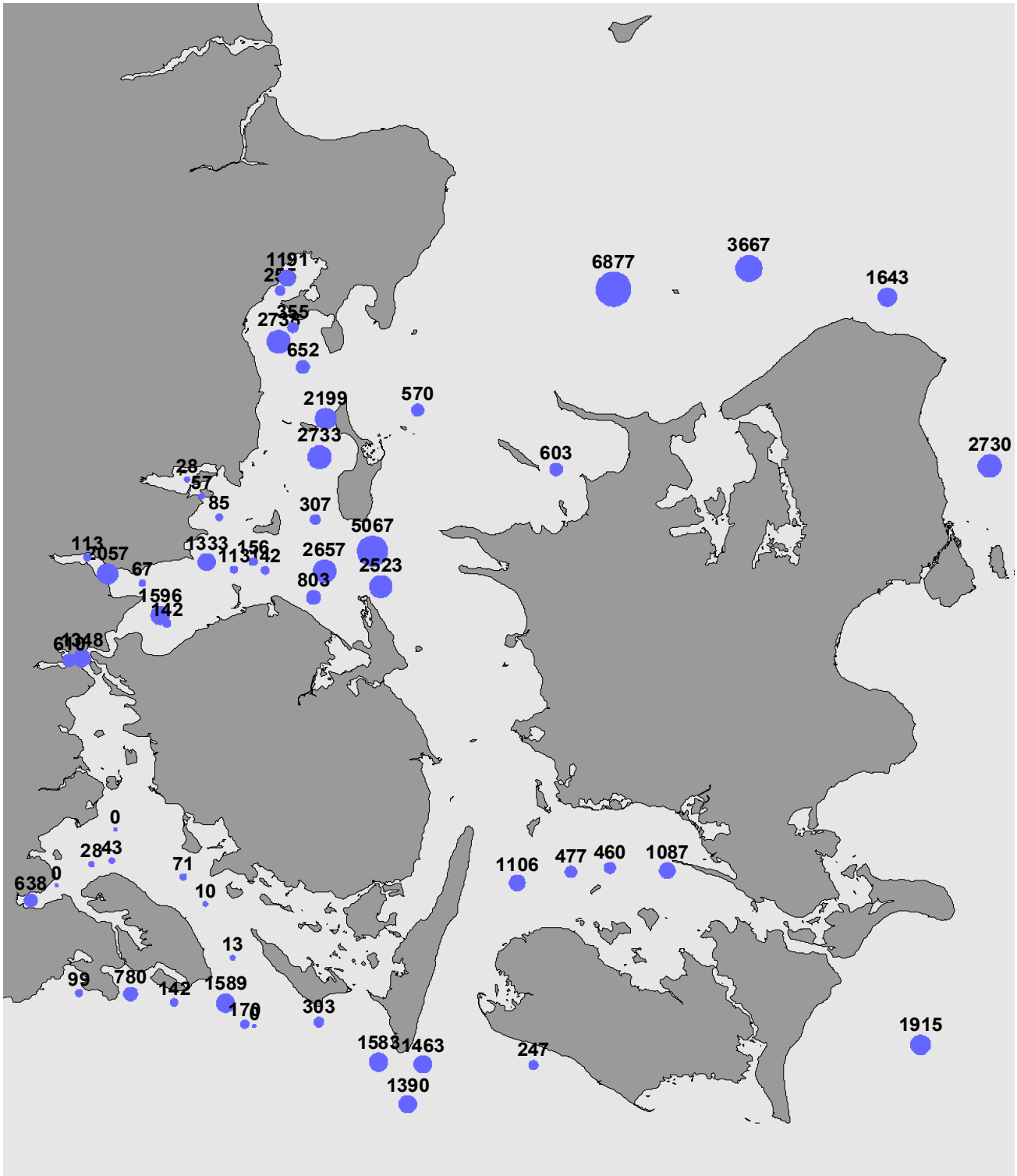
Kort 1: Abundans, antal individer m^{-2} i november 2002. Punkter skalleret efter kvadratroden af abundansen.



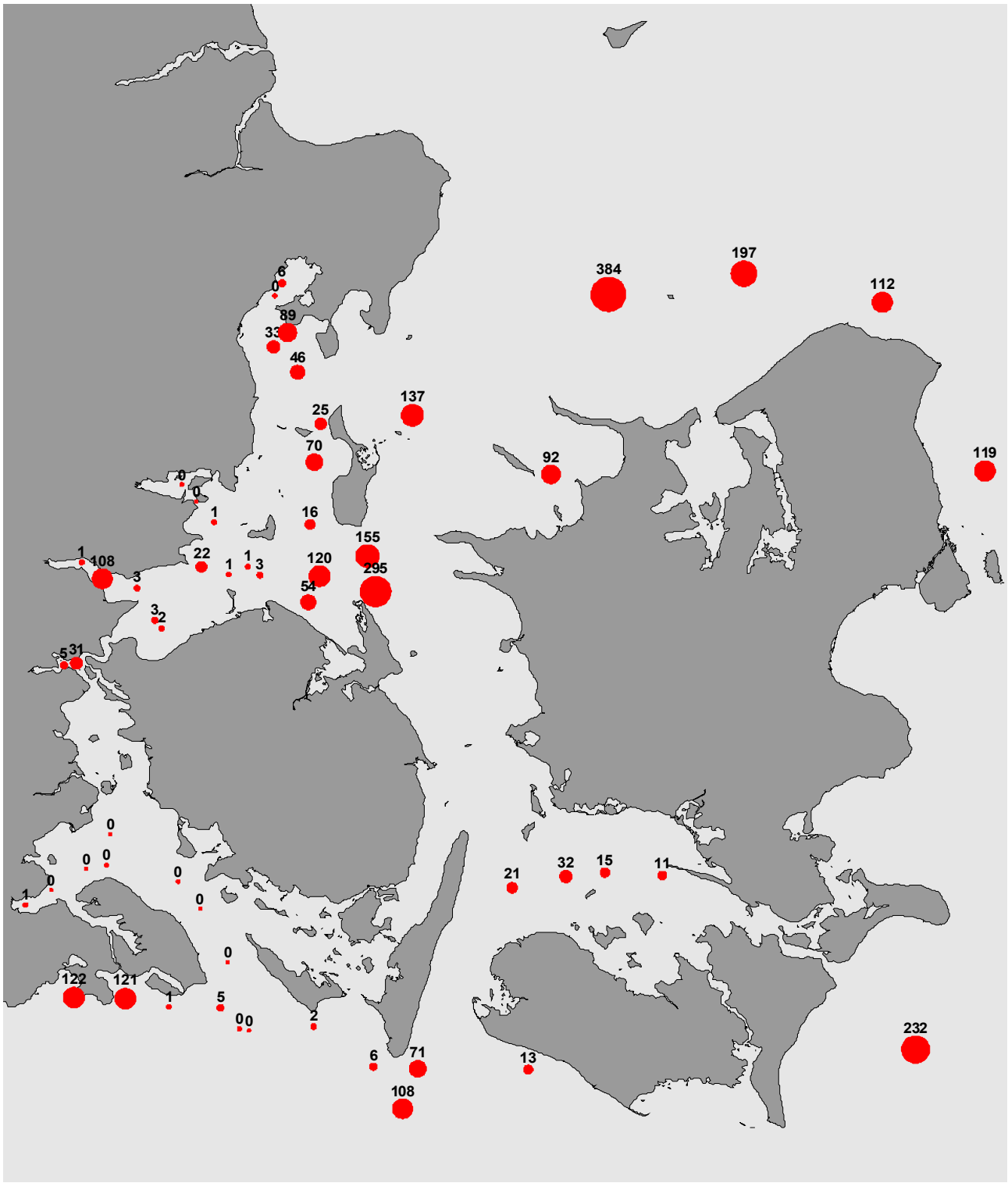
Kort 2: Biomasse undtaget molboøsters, vådvægt m^{-2} i november 2002. Punkter skalleret efter kvadratroden af vådvægten.



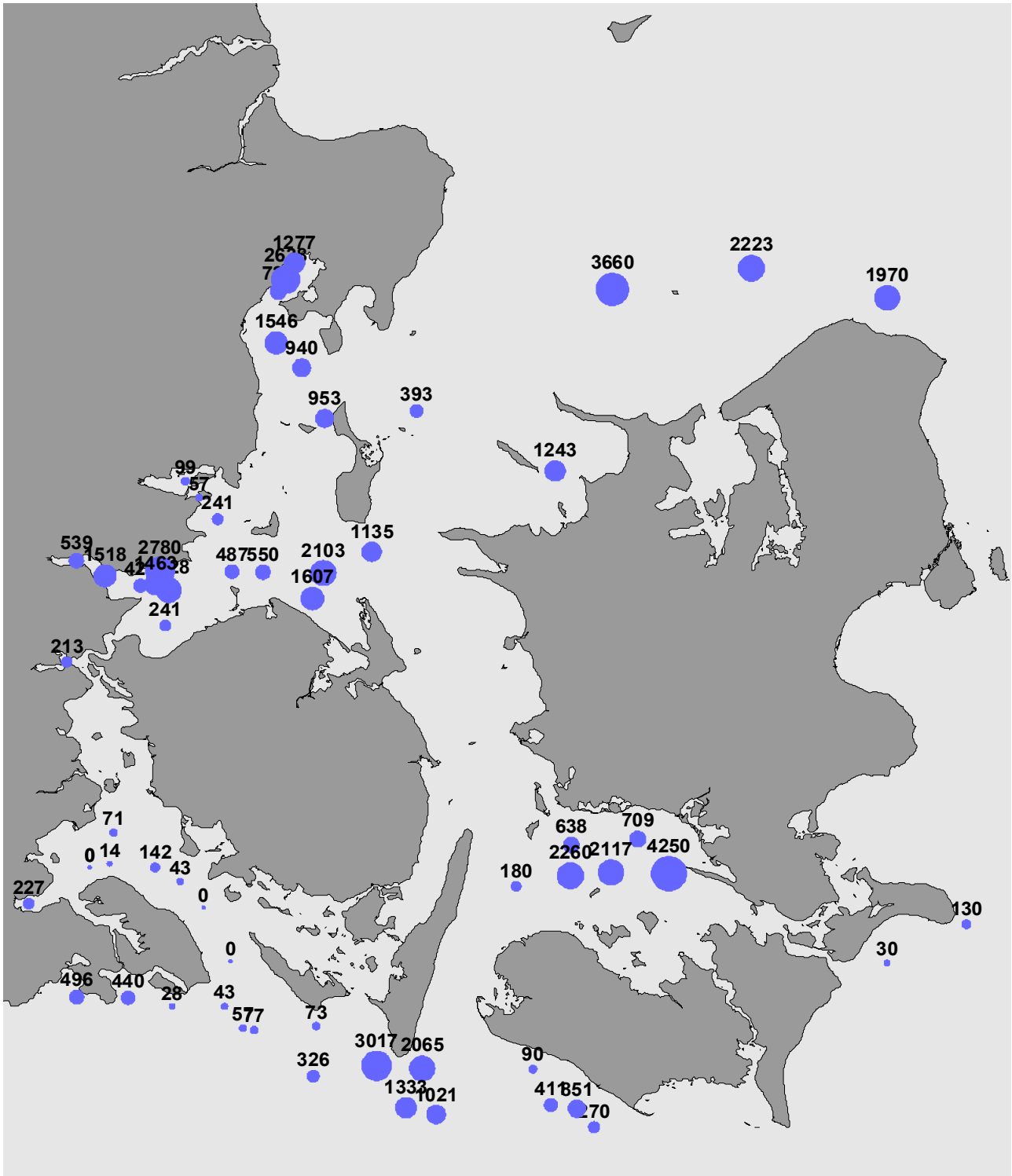
Kort 3: Abundans, antal individer m^{-2} i marts 2003. Punkter skalleret efter kvadratroden af abundansen.



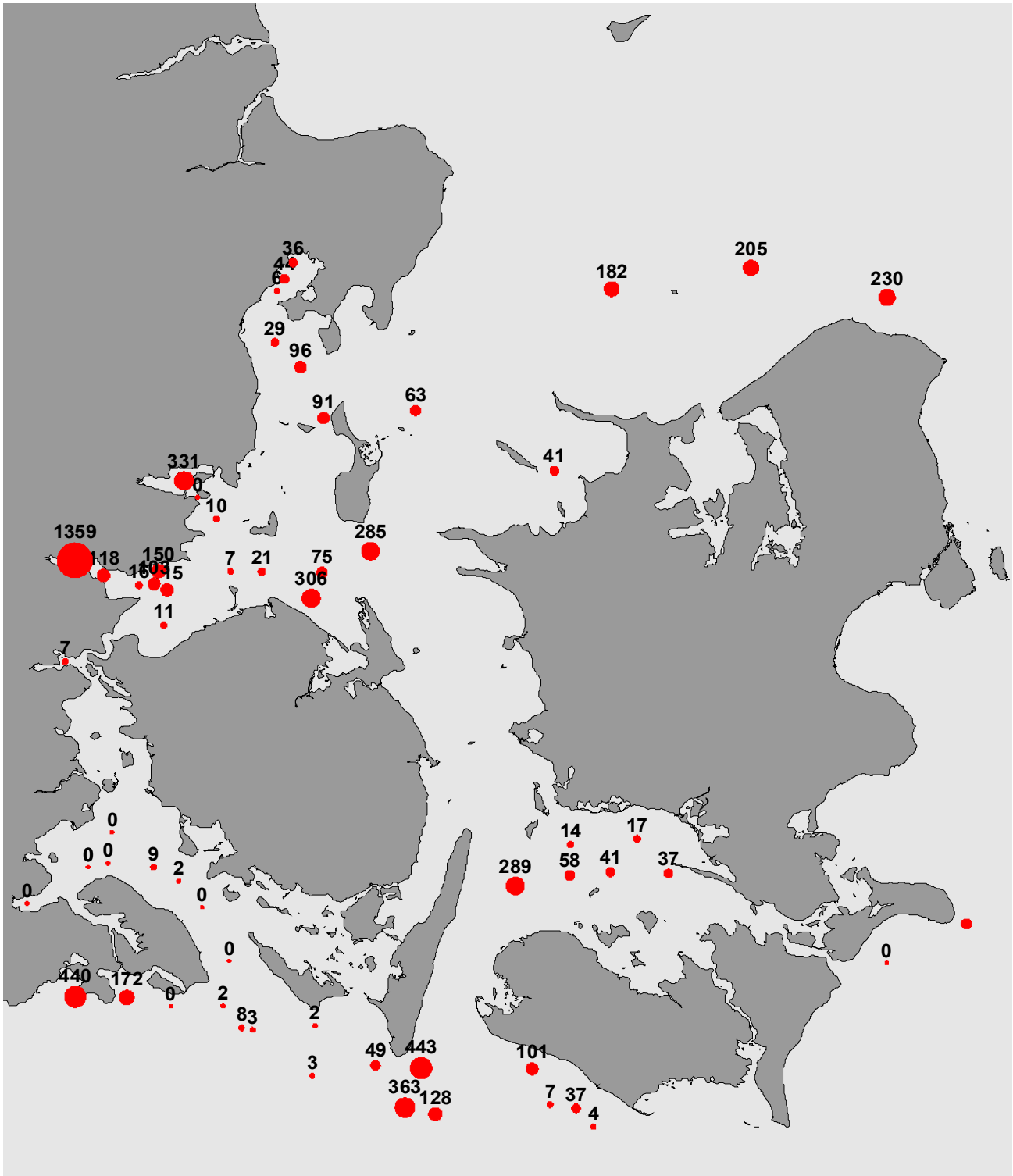
Kort 4: Biomasse undtaget molboøsters, vådvægt m^{-2} i marts 2003. Punkter skalleret efter kvadratroden af vådvægten



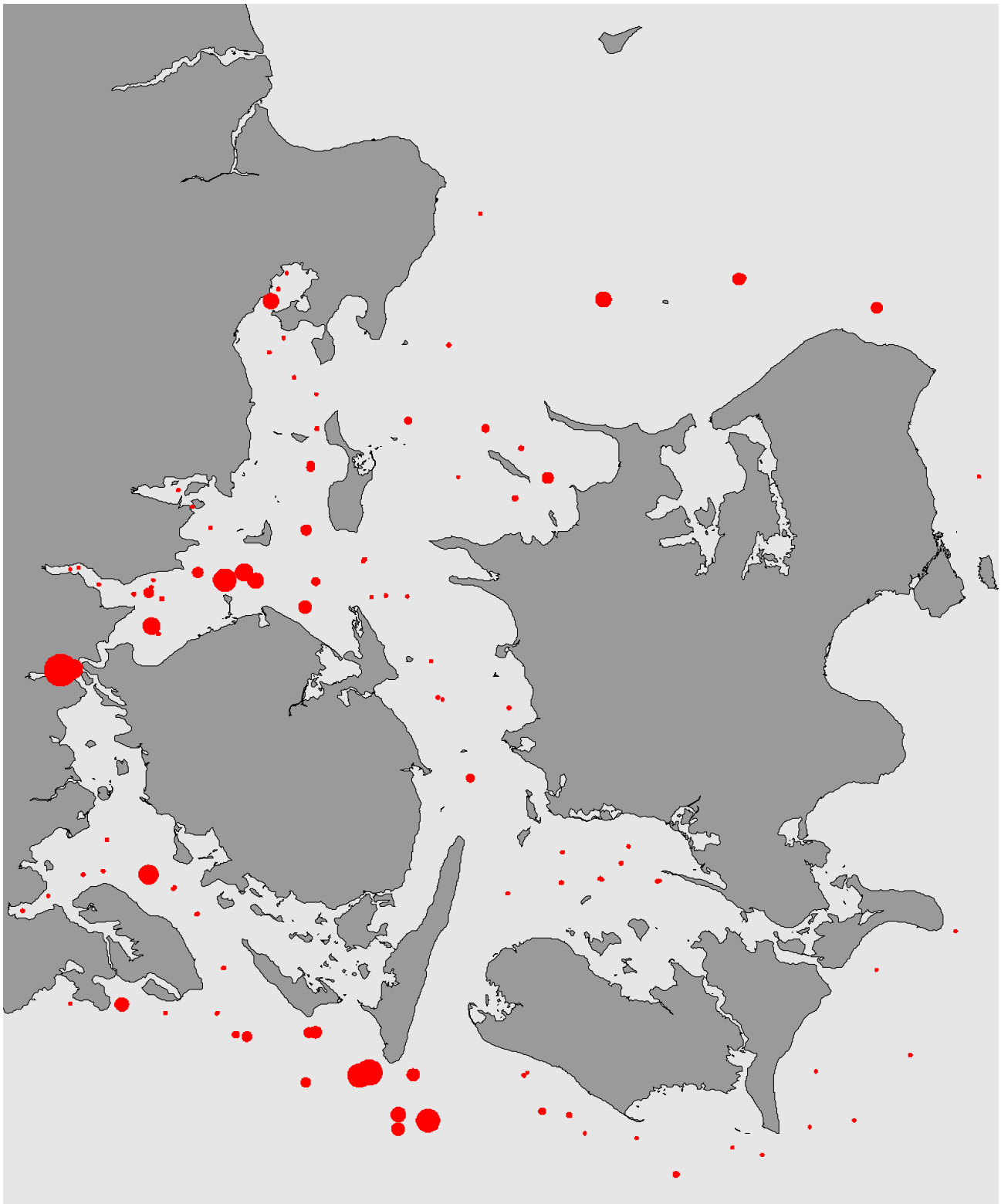
Kort 5: Abundans, antal individer m^{-2} i november 2003. Punkter skalleret efter kvadratroden af abundansen.



Kort 6: Biomasse undtaget molboøsters, vådvægt m^{-2} i november 2003. Punkter skalleret efter kvadratroden af vådvægten.



Kort 7: Biomasse af molboøsters g vådvægt m-2 november 2002, marts 2003 og november 2003. Punkter skalleret efter kvadratroden af vådvægten gående fra 0 og 4000 g m^{-2}



(Tom side)

Danmarks Miljøundersøgelser

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

Henvendelser kan rettes til:

URL: http://www.dmu.dk

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

Direktion
Personale- og Økonomisekretariat
Forsknings, Overvågnings- og Rådgivningssekretariat
Afd. for Systemanalyse
Afd. for Atmosfærisk Miljø
Afd. for Marin Økologi
Afd. for Miljøkemi og Mikrobiologi
Afd. for Arktisk Miljø

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

Forsknings, Overvågnings- og Rådgivningssekretariat
Afd. for Marin Økologi
Afd. for Terrestrisk Økologi
Afd. for Ferskvandsøkologi

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

Afd. for Vildtbiologi og Biodiversitet
Afd. for Systemanalyse

Publikationer:
DMU udgiver populærfaglige bøger ("MiljøBiblioteket"), faglige rapporter, tekniske anvisninger, samt års-rapporter. Et katalog over DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængeligt via World Wide Web. I årsrapporten findes en oversigt over det pågældende års publikationer.

Faglige rapporter fra DMU/NERI Technical Reports

2003

Nr. 468: Landovervågningsoplande 2002. NOVA 2003. Af Grant, R. et al. 131 s. (elektronisk)
Nr. 469: Søer 2002. NOVA 2003. Af Jensen, J.P. et al. 63 s. (elektronisk)
Nr. 470: Vandløb 2002. NOVA 2003. Af Bøgestrand, J. (red.) 76 s. (elektronisk)
Nr. 471: Vandmiljø 2003. Tilstand og udvikling - faglig sammenfatning. Af Andersen, J.M. et al. 157 s., 100,00 kr.
Nr. 472: Overvågning af Vandmiljøplan II - Vådområder 2003. Af Hoffmann, C.C. et al. 83 s. (elektronisk)
Nr. 473: Korrektion for manglende indberetninger til vildtudbyttestatistikken. Af Asferg, T. & Lindhard, B.J. 28 s. (elektronisk)
Nr. 474: Miljøundersøgelser ved Mestervig 2001. Af Aastrup, P., Tamsfort, M. & Asmund, G. 47 s. (elektronisk)
Nr. 475: Vandrammedirektivet og danske søer. Del 1: Søtyper, referencetilstand og økologiske kvalitetsklasser. Af Søndergaard, M. (red.) et al. 140 s. (elektronisk)
Nr. 476: Vandrammedirektivet og danske søer. Del 2: Palæoøkologiske undersøgelser. Af Amsinck, S.L. et al. 118 s. (elektronisk)
Nr. 477: Emissions of Greenhouse Gasses and Long-Range Transboundary Air Pollution in the Faroe Islands 1990-2001. By Lastein, L. & Winther, M. 59 pp. (electronic)
Nr. 478: Evaluering af Københavns Amts prioriteringssystem. Stofspecifik prioritering af punktkilder. Af Jensen, T.S. & Sørensen, P.B. 79 s. (elektronisk)
Nr. 479: Order Theory in Environmental Sciences. Integrative approaches. The 5th workshop - held at the National Environmental Research Institute (NERI), Roskilde, Denmark, November 2002. By Sørensen, P.B. et al. 159 pp. (electronic)
Nr. 480: Danske søer - fosfortilførsel og opfyldelse af målsætninger. VMP III, Fase II. Af Søndergaard, M. et al. 37 s. (elektronisk)
Nr. 481: Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Sewage Sludge and Wastewater. Method Development and validation. By Christensen, J.H. et al. 28 pp. (electronic)

2004

Nr. 482: Background Studies in Nuussuaq and Disko, West Greenland. By Boertmann, D. (ed.) 57 pp. (electronic)
Nr. 483: A Model Set-Up for an Oxygen and Nutrient Flux Model for Århus Bay (Denmark). By Fossing, H. et al. 65 pp., 100,00 DDK.
Nr. 484: Satellitsporing af marsvin i danske og tilstødende farvande. Af Teilmann, J. et al. 86 s. (elektronisk)
Nr. 485: Odense Fjord. Scenarier for reduktion af næringsstoffer. Af Nielsen, K. et al. 274 s. (elektronisk)
Nr. 486: Dioxin in Danish Soil. A Field Study of Selected Urban and Rural Locations. The Danish Dioxin Monitoring Programme I. By Vikelsøe, J. (electronic)
Nr. 487: Effekt på akvatiske miljøer af randzoner langs målsatte vandløb. Pesticidhandlingsplan II. Af Ravn, H.W. & Friberg, N. 43 s. (elektronisk)
Nr. 488: Tools to assess the conservation status of marine habitats in special areas of conservation. Phase 1: Identification of potential indicators and available data. By Dahl, K. et al. 94 pp., 100,00 DKK
Nr. 489: Overvågning af bæver Castor fiber i Flynder å, 1999-2003. Af Elmeros, M., Berthelsen, J.P. & Madsen, A.B. 92 s. (elektronisk)
Nr. 490: Reservatnetværk for trækkende vandfugle. En gennemgang af udvalgte arters antal og fordeling i Danmark 1994-2001. Af Clausen, P. et al. 142 s. , 150,00 kr.
Nr. 491: Vildtudbyttet i Danmark i jagtsæsonen 2002/2003. Af Asferg, T. 24 s. (elektronisk)
Nr. 492: Contaminants in the traditional Greenland diet. By Johansen, P. et al. 72 pp. (electronic)
Nr. 493: Environmental Oil Spill Sensitivity Atlas for the South Greenland Coasatl Zone. By Mosbech, A. et al. 611 pp. (electronic)
Nr. 494: Environmental Oil Spill Sensitivity Atlas for the West Greenland (68°-72° N) Coasatl Zone. By Mosbech, A. et al. 798 pp. (electronic)
Nr. 495: NOVANA. Det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen. Programbeskrivelse - del 1. Af Danmarks Miljøundersøgelser. 45 s., 60,00 kr.
Nr. 496: Velfærdsøkonomiske forvridningsomkostninger ved finansiering af offentlige projekter. Af Møller, F. & Jensen, D.B. 136 s. (elektronisk)
Nr. 497: Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2003. By Kemp, K. & Palmgren, F. 36 pp. (electronic)
Nr. 498: Analyse af højt NO2 niveau i København og prognose for 2010. Af Berkowicz, R. et al. 30 s. (elektronisk)
Nr. 499: Anvendelse af Vandrammedirektivet i danske vandløb. Af Baattrup-Pedersen, A. et al. 145 s. (elektronisk)
Nr. 500: Aquatic Environment 2003. State and Trends - technical summary. By Andersen, J.M. et al. 50 pp. , 100,00 DDK
Nr. 501: EUDANA - EUtrofiering af Dansk Natur. Videnbehov, modeller og perspektiver. Af Bak, J.L. & Ejrnæs, R. 49 s. (elektronisk)
Nr. 502: Samfundsøkonomiske analyser af ammoniakbufferzoner. Udredning for Skov- og Naturstyrelsen. Af Schou, J.S., Gyldenkærne, S. & Bak, J.L. 36 s. (elektronisk)

(Tom side)

Iltsvindet 2002 forårsagede skader på bundfaunaen i store områder i de indre danske farvande. Det påvirkede område var mindst 3400 km^2, og det samlede tab af bunddyr blev vurderet til mellem 100.000 og 500.000 tons. Undersøgelserne af genindvandringen til de berørte områder viste, at normaliseringen gik langsommere end forventet, og året efter var tætheden af dyr stadig 30-40% under det oprindelige niveau. Produktionen i dyresamfundene var kun ca. 10% af niveauet i de områder, der ikke var påvirket i 2002. Den meget langsomme normalisering af dyresamfundene skyldtes hovedsageligt to forhold. Dels varede iltsvindet i 2002 så langt ud på efteråret, at rekrutteringen først for alvor startede året efter, og dels var der iltsvind igen i 2003, som nulstillede processen i store områder. Undersøgelsen viser, at tidspunktet og va-righeden af iltsvindet generelt har betydning for, hvor hurtigt forholdene bliver normale. I nogle lukkede områder har biodiversiteten sværere ved at blive genoprettet, og disse områder må betragtes som mere sårbare over for skader af iltsvind.

Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

ISBN 87-7772-828-9
ISSN 0905-815X

506 Genindvandring af bundfauna efter iltsvindet 2002 i de indre danske farvande