



Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Limfjorden i 100 år

Klima, hydrografi, næringsstofftilførsel,
bundfauna og fisk i Limfjorden fra 1897 til 2003

Faglig rapport fra DMU, nr. 578

(Tom side)



Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Limfjorden i 100 år

Klima, hydrografi, næringsstofftilførsel,
bundfauna og fisk i Limfjorden fra 1897 til 2003

Faglig rapport fra DMU, nr. 578
2006

Trine Christiansen
Tine Juul Christensen
Stiig Markager
Jens Kjerulf Petersen
Danmarks Miljøundersøgelser

Lone Thybo Mouritsen
Århus Universitet

Datablad

Titel: Limfjorden i 100 år
Undertitel: Klima, hydrografi, næringsstofftilførsel, bundfauna og fisk i Limfjorden fra 1897 til 2003
Forfattere: Trine Christiansen¹, Tine Juul Christensen¹, Stiig Markager¹, Jens Kjerulf Petersen¹, Lone Thybo Mouritsen²
Afdeling/Institution: ¹Afdeling for Marin Økologi, DMU; ²Marin Økologi, Biologisk Institut, Århus Universitet
Serietitel og nummer: Faglig rapport fra DMU nr. 578
Udgiver: Danmarks Miljøundersøgelser©
Miljøministeriet
URL: <http://www.dmu.dk>

Udgivelsestidspunkt: Maj 2006
Redaktionen afsluttet: April 2006
Faglig kommentering: Finn Andersen, Svend Åge Bendtsen, Kirsten Broch og Svend Bråten (Nordjyllands Amt); Bent Jensen og Else Marie Platz (Viborg Amt); Martha Laursen (Ringkjøbing Amt)

Finansiel støtte: Rapporten er finansieret af Limfjordssamarbejdet bestående af Nordjyllands Amt, Viborg Amt og Ringkjøbing Amt.

Bedes citeret: Christiansen, T., Christensen, T.J., Markager, S., Petersen, J.K. & Mouritsen, L.T. 2006: Limfjorden i 100 år. Klima, hydrografi, næringsstofftilførsel, bundfauna og fisk i Limfjorden fra 1897 til 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. 85 s. – Faglig rapport fra DMU, nr. 578.
<http://faglige-rapporter.dmu.dk>

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.

Sammenfatning: Dette projekt analyserer de forhold, som har påvirket Limfjordens økosystem i de sidste 100 år. Udviklingen i bundfaunabiomasse og fiskebestande blev sammenholdt med den klimatiske og hydrografiske udvikling i området, samt med estimeret kvælstoftilførsel til Limfjorden i årene 1900-1983, og målt kvælstoftilførsel i årene 1984-2003. Analyserne i denne rapport sandsynliggør, at størrelsen af kvælstoftilførslen til Limfjorden er af afgørende betydning for udviklingen af bundfaunabiomasse og fiskebestande. I 1900-1960 betød stigningen i kvælstoftilførsel, at det marine økosystem blev gødet og dermed mere produktivt. Efter 1960 er de negative konsekvenser af tilførslen af næringsstoffer, som fx øget frekvens af iltsvindshændelser, blevet så store, at hverken bundfauna eller fiskebestande kan opretholdes på det høje niveau, der fandtes omkring 1950-1960. Til trods for reduktioner i næringsstofftilførsler på 69% for fosfor og 18% for kvælstof siden midten af 1980'erne, er hverken bundfauna eller fiskebestande på samme niveau som før 1960. Analyserne i denne rapport sandsynliggør, at tålegrænsen for bundfaunabiomasse og fiskebestande i Limfjorden svarer til en kvælstoftilførsel på det niveau, som fandtes i 1950-1955. Dette niveau er med meget stor usikkerhed estimeret til i størrelsesordenen 10.000 tons pr. år.

Emneord: Limfjorden, klima, geostrof vind, hydrografi, bunddyr, fisk, ålegræs, næringsstofftilførsel

Layout: Anne van Acker

ISBN: 978-87-7772-926-3
ISSN (elektronisk): 1600-0048
Sideantal: 85

Internet-version: Rapporten findes kun som PDF-fil på DMU's hjemmeside
http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrappporter/rapporter/FR578.pdf
og på Limfjordssamarbejdets hjemmeside <http://www.limfjorden.dk>

Købes hos: Miljøministeriet
Frontlinien
Rentemestervej 8
2400 København NV
Tel. 70 12 02 11
frontlinien@frontlinien.dk – <http://www.frontlinien.dk>

Indhold

Sammenfatning 5

Summary 7

1 Indledning 9

2 Klimadata 11

- 2.1 Beskrivelse af data 11
- 2.2 NAO-indeks 11
- 2.3 Afstrømning 14
- 2.4 Kvælstoftilførsel 15
- 2.5 Hydrografi 18
- 2.6 Sammenstilling af data 21

3 Bentisk biomasse 31

- 3.1 Materialer og metoder 31
- 3.2 Analyse og resultater 33
- 3.3 Diskussion 45
- 3.4 Konklusion 48

4 Fisk 49

- 4.1 Materialer, metoder og resultater 50
- 4.2 Diskussion og konklusion 57

5 Sedimentkernedatering 63

6 Konklusion 65

7 Referencer 67

Bilag 1 Udvikling i bentisk biomasse 1910-2002 fordelt på arter og områder 71

Bilag 2 Sedimentkernedateringsrapport fra GEUS 81

Danmarks Miljøundersøgelser

Faglige rapporter fra DMU

[tom side]

Sammenfatning

Det marine økosystem i Limfjorden påvirkes af variationer i klima, hydrografi, tilførsel af næringsstoffer og fysiske indgreb. Gennem den marine overvågning i perioden 1978-2003 er der indsamlet en stor viden om biologiske effekter af tilførslen af næringsstoffer og år til år variationer i klima. Målet med dette projekt var at koble denne viden med en systematisk analyse af data tilbage i tiden og lave en samlet vurdering af de forhold, som har påvirket Limfjordens økosystem over de sidste 100 år, med særligt fokus på forskelle mellem første og anden halvdel af perioden.

De klimatiske forhold i Limfjorden er beskrevet ved geostrofisk vind (1874-1987), observeret vind (1987-2003), NAO-indeks (1832-2004) og afstrømning fra tre vandløb (1918-2004). De hydrografiske forhold er beskrevet med daglige observationer af temperatur og salinitet på to broer (Oddesund (1897-1973) og Vilsund (1942-2004)). Kvælstoftilførslen til Limfjorden er i årene 1900-1983 estimeret ud fra befolkningsudviklingen i oplandet og landbrugets kvælstofoverskud. Fra 1984 og frem er kvælstoftilførslen målt.

I den undersøgte periode varierede vandets årlige middeltemperatur med $\pm 1,5^\circ \text{C}$, og den har en stigende tendens på ca. $0,08^\circ \text{C}$ pr. år. Disse variationer er dog små sammenlignet med variationen i temperatur inden for et år. I begyndelsen af 1900-tallet steg den årlige middelsalinitet ved Oddesund med ca. 2, formentlig fordi der skete store ændringer af Limfjordens åbning mod vest i forbindelse med etableringen af Thyborøn Kanal. Siden 1925 har saliniteten varieret med $\pm 2,5$ pr. år ved Vilsund. Salinitetsmålingerne ved Vilsund viser desuden, at graden af lagdeling i fjorden varierer meget mellem år. I 1940'erne var lagdelingen i flere år væsentligt kraftigere end i de efterfølgende år. Faktisk er lige så kraftig lagdeling kun observeret i 1996. Dermed kan kraftig lagdeling i perioder forekomme hyppigere end observeret i de seneste 30 år. Da styrken af lagdelingen har betydning for fjordens følsomhed for iltsvind, viser disse observationer, at fjorden tidligere har været mere følsom for iltsvind, end den har været i de seneste 30 år. Den geostrofiske vind blev sammenholdt med årlig middelsalinitet og med lagdelingshændelser i juli - september, men der blev ikke fundet relationer, der gjorde det muligt at bruge geostrofisk vind som indikator for årlig middelsalinitet eller for lagdeling i fjorden.

Den tidlige udvikling i fjorden er beskrevet med årlige observationer af bundfauna og fiskebestande. I årene 1910-1952 har Dansk Biologisk Station bestemt sammensætningen af arter og biomasse for bundfauna fordelt på 10 bredninger, og Limfjordsamterne har videreført denne tidsserie som en del af den nationale og regionale overvågning i årene 1978-2003. Udviklingen i fiskebestande er baseret på fiskerierhvervets fangststatistikker for perioden 1900-2003 og på prøvofiskeri udført af Danmarks Fiskeriundersøgelser i perioden 1980-2003. Udviklingen i bundfaunabiomasse og fiskebestande er sammenholdt med den klimatiske og hydrografiske udvikling i området, samt med kvælstoftilførsel til Limfjorden.

I årene 1900-1960 steg både bundfaunabiomasse og fiskebestandenes størrelse. For bundfauna er denne udvikling blevet sammenholdt med udviklingen i salinitet, temperatur, NAO-indeks og kvælstoftilførsel. Der blev fundet positive og signifikante relationer mellem biomasse af bundfauna og salinitet, temperatur og kvælstoftilførsel i årene 1910-1952, mens der ikke blev fundet en signifikant relation mellem biomasse og NAO-indekset. I denne periode steg temperatur og salinitet med 5-10% af den årlige middelværdi (0,8° C og 1,5), mens kvælstoftilførslen blev næsten fordoblet. De organismer, der findes i Limfjorden, er tilpasset til meget varierende salt- og temperaturforhold, og da ændringerne er små, vurderes det, at stigningen i bundfaunaens biomasse fortrinsvis er drevet af stigningen i kvælstoftilførsel. I årene 1900-1960 er udviklingen i fiskebestandenes størrelse ligeledes blevet relateret til salinitet, temperatur, kvælstoftilførsel samt NAO-indeks i samme år, samt 1, 2 og 3 år før observationsåret. Der blev fundet en signifikant og positiv sammenhæng med kvælstoftilførsel, mens de øvrige parametre ikke viste en signifikant sammenhæng.

I årene 1961-2003 vendte udviklingen i biomassen af bundfauna og fiskebestand. I denne periode var der et stærkt fald i især bundlevende fisk, og ved genoptagelsen af prøvetagningen af bundfauna i 1978 ses også et stærkt reduceret niveau i forhold til 1952. De laveste bundfaunabiomasser og fiskebestande blev observeret omkring 1980, hvor kvælstoftilførslen er estimeret til at være størst. Der er fundet en signifikant negativ sammenhæng mellem bundfaunabiomasse og kvælstoftilførsel, når 1996 undtages. Året 1996 falder ud som et særligt dårligt år, fordi biomasserne i dette år var meget lave, samtidigt med at kvælstoftilførslen var lav. De lave biomasser var formentligt både relateret til lave biomasser i 1995, og til et udbredt iltsvind, der opstod som følge af kraftig lagdeling i 1996. Øvrige variable gav ikke signifikante relationer til bundfauna.

Der blev også fundet en signifikant negativ sammenhæng mellem fiskebestand og kvælstoftilførsel i årene 1961-2003. Denne udvikling kan desuden være forstærket af en lavere rekrutteringssucces som følge af høje værdier af vinter NAO-indekset fra midten af 1970'erne. Det vurderes ikke, at størrelsen af erhvervsfiskeriet har haft afgørende betydning for bestandsudviklingen.

Analyserne i denne rapport sandsynliggør, at størrelsen af kvælstoftilførslen til Limfjorden er af afgørende betydning for udviklingen af bundfaunabiomasse og fiskebestande i Limfjorden. I 1900-1960 betød stigningen i kvælstoftilførsel, at det marine økosystem blev gødet og dermed mere produktivt. Efter 1960 er de negative konsekvenser af tilførslen af næringsstoffer, som fx øget frekvens af iltsvindshændelser, blevet så store, at hverken bundfauna eller fiskebestand kan oprettholdes på det høje niveau, der fandtes omkring 1950-1960. Til trods for reduktioner i næringsstofftilførsler på 69% for fosfor og 18% for kvælstof siden midten af 1980'erne, er hverken bundfauna eller fiskebestande på samme niveau som før 1960. De analyser, der er lavet her, sandsynliggør, at tålegrænsen for bundfaunabiomasse og fiskebestande i Limfjorden svarer til en kvælstoftilførsel på det niveau, som fandtes i 1950-1955. Dette niveau er med meget stor usikkerhed estimeret til i størrelsesordenen 10.000 tons pr. år.

Summary

The marine ecosystem in the Danish estuary Limfjorden is influenced by variations in climate, hydrography, nutrient inputs and large manmade physical modifications. Marine monitoring in the years 1978-2003 has provided insight into the biological effects of nutrient load and inter-annual variations in climate. The goal of this project was to evaluate the factors that have influenced the marine ecosystem in Limfjorden in the past 100 years.

Climatic conditions that drive the hydrographic conditions in Limfjorden are described by geostrophic wind (1874-1987), observed wind (1988-2003), the NAO-index (1874-2003) and discharge from 3 rivers (1918-2003). Hydrographic conditions are described by daily observations of temperature and salinity at two bridges (Oddesund (1897-1973) and Vilsund (1941-2003)). Nitrogen input to Limfjorden was estimated from yearly values of national agricultural nitrogen surplus and the magnitude of the human population in the catchment area in the years 1900-1983. Post 1983, nitrogen input is based on observations.

The yearly average temperature varies with $\pm 1.5^\circ \text{C}$, and has an increasing trend of 0.08°C per year. These variations are, however, small in comparison with the annual temperature range. In the beginning of the 20th century, mean annual salinity increased by 2 at the Oddesund Bridge. During this time, the estuary opening towards the North Sea was modified as a consequence of the establishment of Thyborøn Channel. Since 1925, mean annual salinity has varied by ± 2.5 at the Vilsund Bridge. The salinity observations at Vilsund further document that the degree of stratification in the summer months varies between years. Stratification was in the 1940s stronger than in the following years, and only in 1996 a period of equally strong stratification was observed. Consequently, periods of strong stratification have occurred more frequently than within the past 30 years. The strength of stratification in part governs the estuary sensitivity towards oxygen depletion, and these observations indicate that periods of greater sensitivity have occurred.

The temporal evolution of the marine ecosystem in Limfjorden is described by yearly observations of bottom fauna and fish. In the years 1910-1952, the Danish Biological Station has determined species composition and biomass of bottom fauna in 10 different embayments within the estuary, and the time series have been continued by the local authorities as part of the national and regional monitoring programme in the years 1978-2003. The evolution of fish populations is based on commercial catch statistics in the years 1900-2003 and on trial fisheries conducted by the Danish Institute for Fisheries Research in the years 1980-2003.

In the years 1900-1960, the magnitude of bottom biomass as well as the fish population in Limfjorden increased. Annual values of bottom fauna biomass have been related to mean annual salinity, temperature, NAO-index and nitrogen input, and significant, positive rela-

tions were found with mean annual salinity and temperature as well as with nitrogen input. In the years 1910-1952 (corresponding to the years where bottom fauna was observed) temperature and salinity increased by 5-10% of the annual mean value (0.8° C and 1.5 respectively), whereas nitrogen input doubled. The organisms found in Limfjorden are adapted to highly variable hydrographic conditions and because the changes are small, relative to the change in nutrient load, we consider nutrient load the driving factor of the increase in biomass. Fish populations were related to the same factors as bottom fauna and an additional effect of the NAO-index 1, 2 or 3 years prior to the observation was tested for the years 1900-1960, but a significant and positive relation was found only for nitrogen input.

In the years 1961-2003 the increasing trend in bottom fauna biomass and fish populations was reversed. In these years the population of bottom dwelling fish was strongly reduced and when the monitoring of bottom fauna was reinitiated in 1978, biomass had been reduced relative to the level in 1952. Around 1980, both bottom fauna biomass and fish populations were the lowest in the entire period, whereas nitrogen loads were estimated at their highest level. In this period, biomass and fish populations were also compared to annual values of salinity, temperature, NAO-index and nitrogen input. A significant and negative relationship was found for nitrogen input and bottom fauna biomass if the year 1996 was excluded from the relation. The year 1996 differs from the predominant trend because both biomass and nitrogen input were low. The low biomass was a likely consequence of low biomass the previous year and an extended period of low oxygen conditions that arose because stratification was particularly strong that year. No significant relationships were found for the remaining variables.

A significant and negative relationship was also found for nitrogen input and fish populations in the years 1900-2003. This trend may be strengthened by the general high level of the winter NAO-index in the 1970s because this has a documented effect on the recruiting success of fish in the North Sea. The local fishing pressure is unlikely to have been sufficiently large to cause the negative development. No significant relationships were found for the remaining variables.

The analyses in this study suggest that the magnitude of nitrogen input to Limfjorden is of critical importance for the development of bottom fauna and fish populations. The increase in nitrogen input in the years 1900-1960 fertilised the system and increased productivity. After 1960, the negative consequences of the nutrient input such as increased frequency of oxygen depletion events had become so large that neither bottom fauna nor fish can be sustained at previous levels. In spite of large reductions in nutrient inputs of 69% of phosphorous and 18% of nitrogen since the mid 1980s these populations are not at the levels found prior to 1960. Our results suggest a threshold value for bottom fauna and fish populations corresponding to the nutrient load level in 1950-1955. This level has been estimated to approximately 10,000 tons per year.

1 Indledning

Det marine miljø i Limfjorden påvirkes af en række ydre faktorer, hvoraf de vigtigste er klima, hydrografi, tilførsel af næringsstoffer og fysiske indgreb. Hidtidige analyser har fokuseret på effekter af næringsstoffer og på år til år variationer over en tidsskala på 10-20 år. Svingninger i klimaet foregår både inden for denne tidsskala og over en længere tidsskala, og der forventes markante ændringer i klimaet over de næste 50 til 100 år som følge af den globale opvarmning. Fremtidens forvaltning af Limfjorden bør være baseret på en samlet forståelse af år til år effekter af ændrede tilførsler af næringssalte og klimaeffekter over en tidsskala på dekader.

År til år ændringer i fjordens biologiske tilstand fremgår af en række projekter, hvor sammenhænge mellem vejr, næringsstofftilførsler og hydrografi er analyseret med forskellige typer af modeller. Målet med dette projekt er at koble denne viden med en systematisk indsamling af data tilbage i tiden og lave en samlet analyse af de forhold, som har påvirket fjordens økosystem over de sidste 100 år. Denne viden vil være værdifuld i forudsigelser af fjordens fremtidige tilstand og dens forvaltning i en situation, hvor både klima og næringsstofftilførsler ændres.

Formålet er således: 1) at tilvejebringe et samlet datasæt og en samlet beskrivelse af ændringer i klima, hydrografi, fysiske forhold, bundfaunabiomasse og fiskebestand i Limfjorden over ca. 100 år, 2) at sammenstille de indsamlede data og i de perioder hvor der findes længere sammenhængende tidsserier, at lave statistiske analyser.

Projektet indgår som en del af Limfjordssamarbejdets arbejde med en handlingsplan for fjorden. Resultaterne fra projektet skal give et grundlag for at vurdere, om en handlingsplan for fjorden også kan opfyldes i tilfælde af klimatiske forandringer over de næste 10-30 år.

Projektet er udført mellem august 2005 og december 2005. Den stramme tidsramme og de økonomiske rammer for projektet betyder, at der er foretaget en række prioriteringer i projektet. Således er data for fytoplankton og makroalger ikke behandlet. For fytoplankton ved vi, at der findes data fra omkring år 1900 og fra 50'erne samt nyere data. De er dog vurderet som mindre interessante pga. den spredte forekomst, og fordi fytoplankton har en kort generationstid, og forekomsten i enkelte prøver i løbet af en sæson er vanskelig at tolke. For makroalger findes enkelte tidlige data og en del fra 70'erne og frem.

Projektets fokus har været indsamling, digitalisering og kvalitetssikring af data. Der er lavet analyser af sammenhænge, men disse er langt fra fyldestgørende. Der er en betydelig samvariation mellem en række klimadata og fx næringsstofftilførsler, hvilket gør det vanskeligt at skelne mellem effekter fra de forskellige påvirkninger, og det betyder, at mere indgående statistiske analyser er nødvendige. Rapporten skal derfor ses som første trin i et forløb hen mod at give en samlet analyse af naturgrundlaget i Limfjorden over de sidste godt 100 år.

2 Klimadata

2.1 Beskrivelse af data

Klimatiske variationer i den vestlige Limfjord er beskrevet med NAO-indeks, geostrofisk vind, afstrømning, samt fjordvandets salinitet og temperatur målt på hhv. Oddesund og Vilsund broerne. Desuden er der lavet et estimat af udviklingen i kvælstoftilførsel i perioden 1900-2003. De anvendte observationer er sammenfattet i *Tabel 2.1* med angivelse af lokalitet, observationsperiode og målefrekvens.

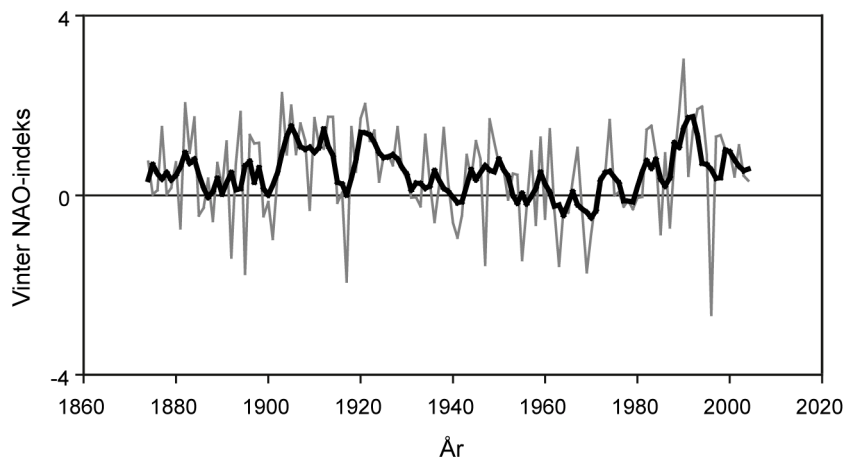
I denne sammenfatning er der lavet en gennemgang af de forskellige tidsserier, deres kvalitet, samt i hvilken grad der kan opstilles simple empiriske relationer mellem de klimatiske parametre.

2.2 NAO-indeks

Den generelle klimatiske udvikling i Danmark kan beskrives med NAO-indekset. NAO-indekset beregnes som trykforskellen mellem Island og Azorerne, og er forskellen stor og positiv, er årets klima præget af vestenvind, høje vindhastigheder, høje vintertemperaturer samt megen nedbør. Er forskellen stor og negativ, er klimaet præget af østenvind, lavere vindhastigheder, lavere vintertemperatur og mindre nedbør. NAO-indekset beregnes hver måned, og månedsværdierne varierer mellem -5 og 5. Det er særligt velegnet til at beskrive variationer i vinterklimaet, og der anvendes derfor ofte et vinter NAO-indeks, som er en middelværdi for månederne december til marts.

Tabel 2.1 Sammenfatning af data anvendt til at beskrive den klimatiske udvikling i den vestlige Limfjord.

Parameter	Lokalitet	Periode	Frekvens	Kilde
NAO-indeks		1832-2004	måned	
Geostrofisk vind		1874-1987	dag	NJA
Målt vind	Sprogø	1978-1997	10 minutter	Sund og Belt Holding
Afstrømning	Lindholm Å	1918-2004	år	DMU
Afstrømning	Årup Å	1937-2004	år	DMU
Afstrømning	Limfjorden	1984-2004	måned	DMU
Næringsstofftilførsler	Limfjorden	1900-1983	år	DMU
Næringsstofftilførsler	Limfjorden	1984-2003	år	Limfjordssamarbejdet
Overflade, salinitet	Oddesund	1897-1973	dag	Nautisk Årbog 1893-1957
Overflade, temperatur	Oddesund	1897-1973	dag	Nautisk Årbog 1893-1957
Bund, salinitet	Oddesund	1942-1973 1996-1998	dag	DMI/NJA
Bund, temperatur	Oddesund	1942-1973 1996-1998	dag	DMI/NJA
Salinitet (overflade og bund)	Vilsund	1942-2004	dag	DMI/NJA
Temperatur (overflade og bund)	Vilsund	1942-2004	dag	DMI/NJA

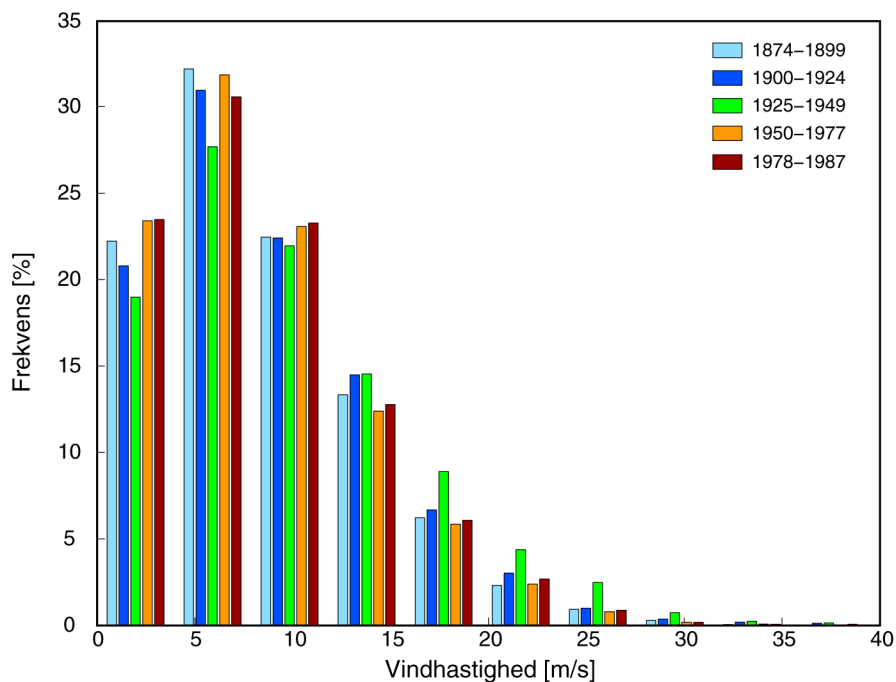


Figur 2.1 Årlige vinter NAO-indeks i perioden 1874-2004 (grå kurve) samt 5 års glidende gennemsnit (sort kurve).

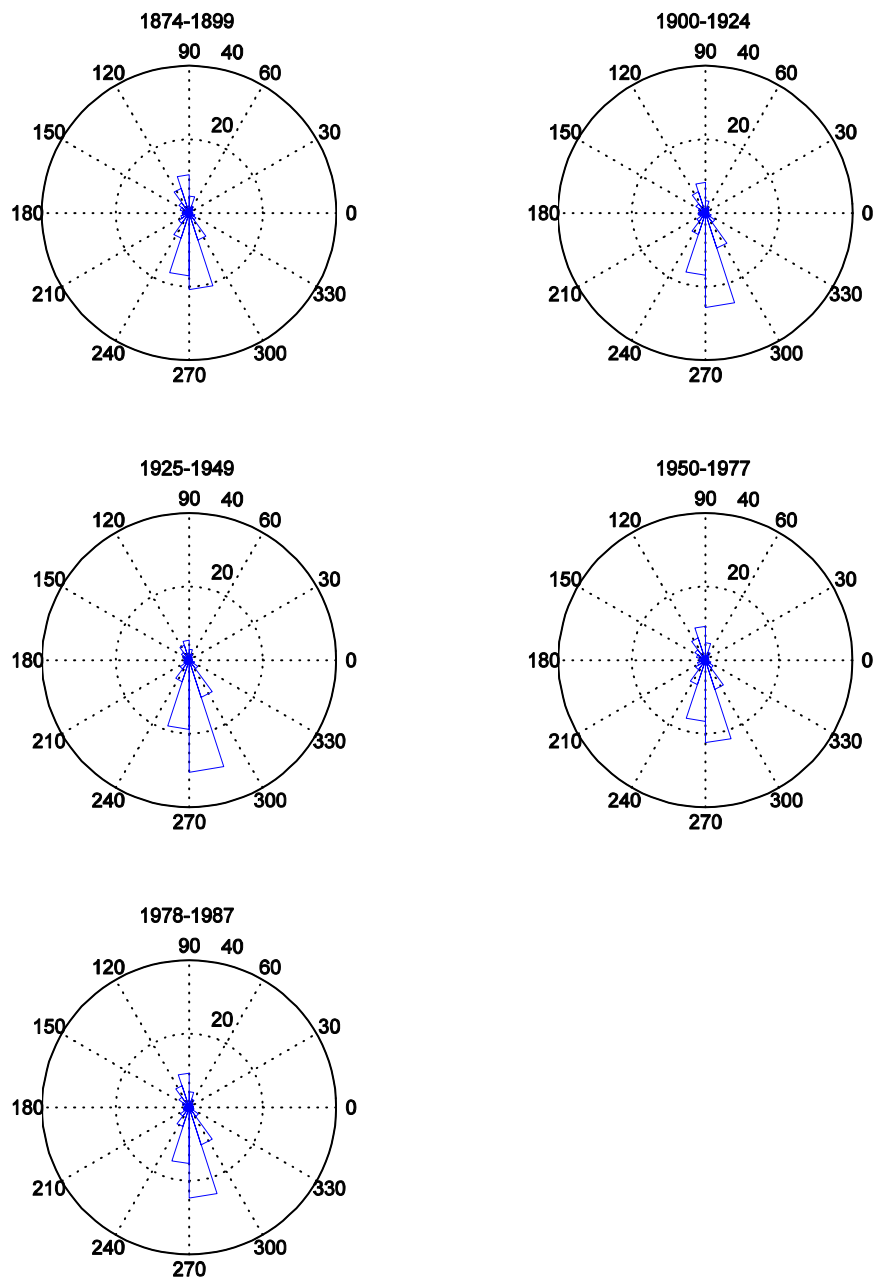
I perioden 1880-2004 varierer NAO-indekset omkring 0 og viser ikke en tidlig trend, der varer hele perioden (Figur 2.1). Der er dog en længerevarende faldende periode fra 1950-1970 og en stigende periode fra 1970-1995. Desuden er forskellen mellem højt og lavt NAO-indeks større i 1990'erne end i den øvrige periode.

Geostrofisk vind

Daglige værdier af hastighed og retning af geostrofisk vind er beregnet i perioden 1874-1987 ud fra trykforskelle mellem hjørnerne i trekanten Hammershus, Nordby, Vestervig (Cappelen & Jørgensen 1999, P.V. Jørgensen, DMI, pers. kom.). For at vurdere om der er sket systematiske ændringer over tid, er fordelingen af vindhastigheder og retninger opgjort for fem 25-års perioder (Figur 2.2 og Figur 2.3). Fordelingen af hastigheder og retninger varierer kun lidt mellem de fem perioder. Perioden 1925-1949 adskiller sig dog fra de øvrige perioder ved at have en større andel af vindhastigheder over 10 m/s og en



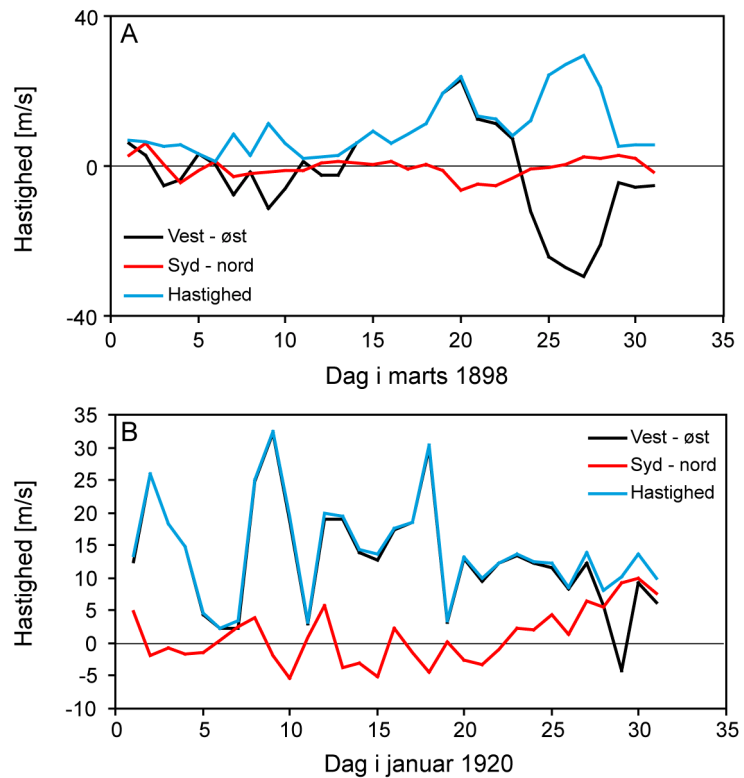
Figur 2.2 Fordeling af geostrofisk vindhastighed fordelt på fem forskellige perioder.



Figur 2.3 Fordeling af geostrofisk vindretning i fem forskellige perioder. Retningstrekanten der når den inderste cirkel angiver, at 20% af hændelserne kommer fra denne retning, og retningstrekanten der når den yderste cirkel, angiver 40% af hændelser. Retningskonventionen der er anvendt er: 0°: nord, 90°: øst, 180°: syd og 270°: vest. Dermed har 20% af vindobservationerne i 1874-1899 en retning fra vest (270°-285°).

meget lille andel af dage med vind fra øst. Det er vanskeligt at afgøre, om denne forskel er udtryk for anderledes vindklima i perioden. Dels mangler et sammenligningsgrundlag, og dels mangler der svarende til 2,5 års observationer i 1942 samt 1944-1949, hvilket kan påvirke den beregnede fordeling.

Den geostrofiske vind er desuden sammenlignet med optegnelser af ekstreme vindhændelser (Rosenørn & Lindhardt 2000). For eksempel kan en østenstorm i marts 1898 samt storme i juli og august samme år genfindes i tidsserien (Figur 2.4A). Dog er der flere år, hvor de angivne



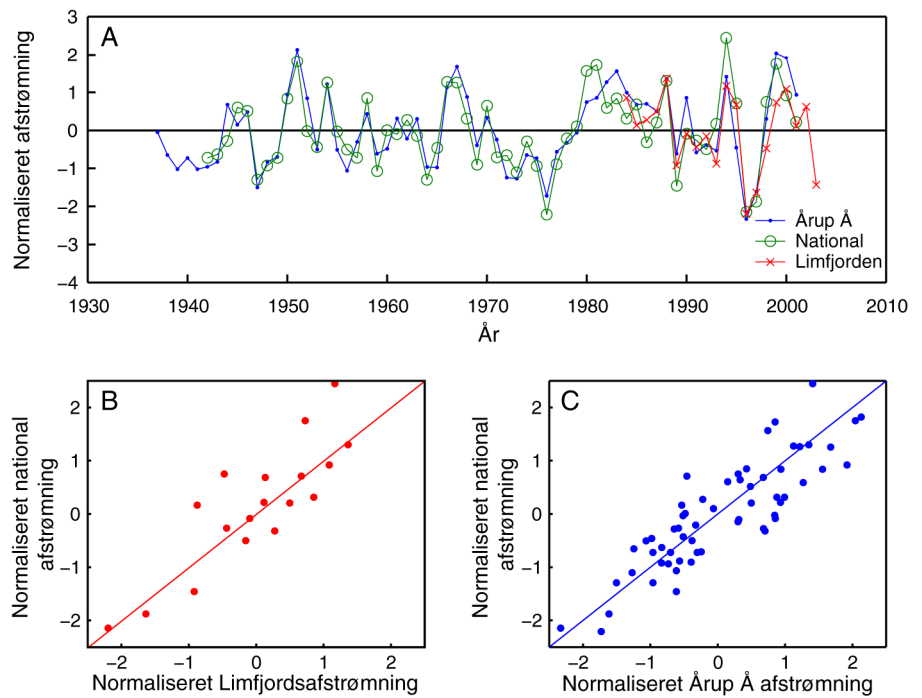
Figur 2.4 Geostrofisk vind i **A.** marts 1898 og **B.** januar 1920. I *Rosenørn & Lindhardt 2000* er angivet: Østenstorm 24.-25. marts 1898 og stormfuldt fra sydøst 29. januar 1920.

storme kan genfindes, men ikke som den eneste ekstreme hændelse den måned. I januar 1920 er der angivet en storm fra sydøst den 29., men der er beregnet flere kraftigere hændelser fra vest samme måned (*Figur 2.4B*). Dette kan skyldes, at stormen fra sydøst er mere usædvanlig og kan have forvoldt større skader end de mere almindelige storme fra vest.

2.3 Afstrømning

Den samlede afstrømning til Limfjorden er beregnet i perioden 1984-2003, og afstrømningen fra hele Danmark er beregnet tilbage til 1941. Der er naturligvis stor forskel i niveau, men ved at normalisere begge tidsserier til en middelværdi på 0 og en spredning på 1, kan de umiddelbart sammenlignes (*Figur 2.5A*). Variationen i afstrømningen til Limfjorden mellem år følger variationen i afstrømning på landsplan (73% af variationen er beskrevet i perioden 1984-2003) (*Figur 2.5B*), og afstrømningen til Limfjorden udgør ca. 20% af den nationale afstrømning. Til sammenligning beskriver nedbør på et afstrømningsopland i et givet år ca. 50% af variationen i årsafstrømning (*Müller-Wohlfeil et al. 2001*).

I perioden før 1984 er afstrømningen målt på tre vandløb, men den samlede afstrømning til Limfjorden er ikke beregnet. Afstrømningen er målt fra Lindholm Å siden 1918 og fra Årup Å siden 1937. Afstrømningen fra de to vandløb er tidligere analyseret, og det er vist, at der i løbet af perioden 1918-2000 er sket en stigning i nedbøren på 70-95 mm i den vestlige del af området (*Larsen et al. 2003*). Afstrøm-



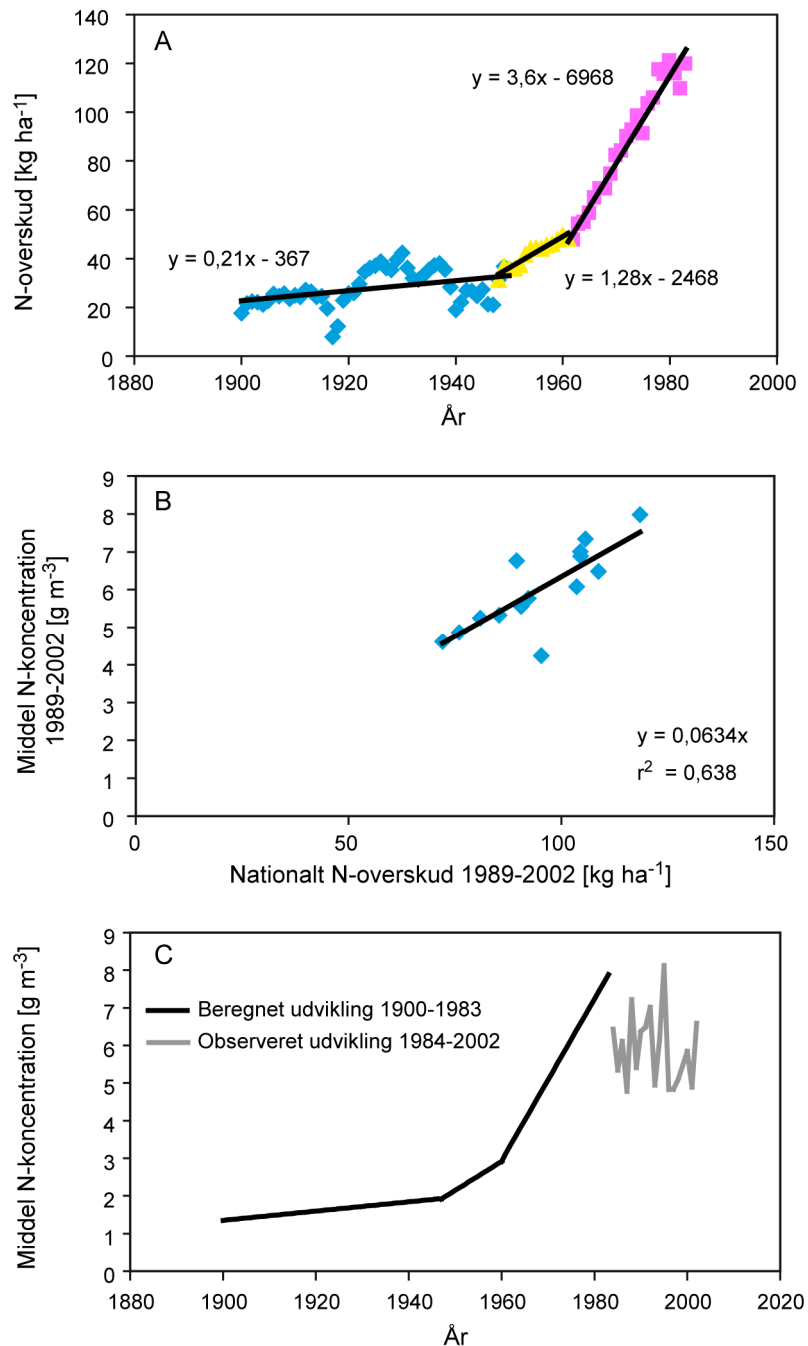
Figur 2.5 Sammenligning af variationer i afstrømningen fra Årup Å, afstrømningen til Limfjorden og national afstrømning. For at kunne sammenligne tidsserierne er de normaliseret til samme middelværdi (0) og spredning (1). **A:** udvikling over tid. **B:** sammenligning af afstrømningen til Limfjorden med national afstrømning i perioden 1984-2003 ($r^2 = 0,76$). Afstrømningen til Limfjorden i perioden 1984-2003 var $2900 \pm 490 \text{ } 10^6 \text{ m}^3 \text{ år}^{-1}$ og **C:** sammenligning af afstrømningen fra Årup Å med national afstrømning i perioden 1943-2002 ($r^2 = 0,74$).

ningen fra Årup Å varierer med den årlige afstrømning på landsplan (Figur 2.5C), ($r^2 = 0,74$).

2.4 Kvælstoftilførsel

For at beregne udviklingen i den diffuse N-tilførsel til Limfjorden i perioden 1900-1983, er det dels antaget, at kvælstofoverskuddet på Limfjordsoplandet følger udviklingen i det nationale kvælstofoverskud, og dels at der er samme relation mellem kvælstofoverskud og middelvandløbskoncentration i Limfjordsoplandet, som kan findes for afstrømningen til indre danske farvande.

Kvælstofoverskuddet på danske landbrugsarealer er beregnet for perioden 1900-2002 som summen af kvælstoftilførsel i form af foder, gødning, atmosfærebidrag, kvælstoffiksering og et fradrag fra korn, grønsags- og dyreprodukter (Kyllingsbæk 2005). Denne tidsserie kan inddeles i 3 perioder med forskellige stigningsgrader. I perioden 1900-1948 stiger kvælstofoverskuddet med ca. $0,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$. Efter afslutningen af 2. verdenskrig stiger anvendelsen af handelsgødning markant og den årlige stigning øges til $1,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$. Efter 1960 accelereres denne udvikling yderligere, og forbruget stiger med $3,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ frem til 1983 (Figur 2.6A).



Figur 2.6 **A.** Tidslig udvikling i N-overskud. Udviklingen er inddelt i tre perioder: 1900-1948, 1949-1960 og 1961-1983. **B.** Relation mellem nationalt N-overskud og middel N-koncentration i vandløb. Middel N-koncentration er beregnet som N-tilførsel/afstrømning, begge til indre danske farvande i perioden 1989-2003. **C.** Beregnet udvikling i middel vandløbs N-koncentration i perioden 1900-1983. I perioden 1984-2003 er vist den observerede variation i Limfjordsoplandet.

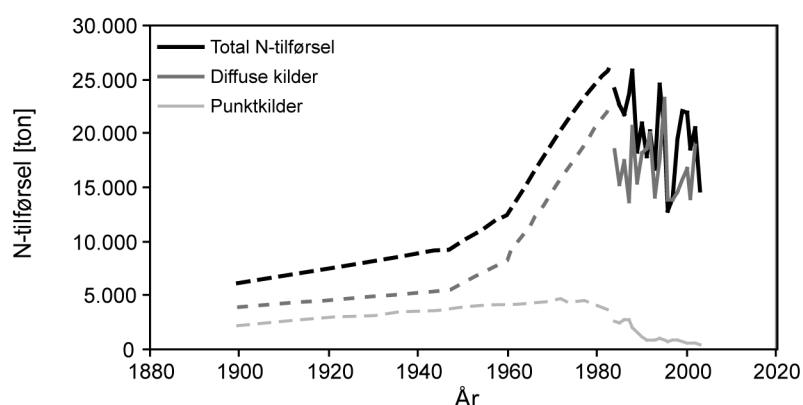
I perioden 1989-2002 kan det nationale kvælstofoverskud relateres til middelvandløbskoncentrationen (N-tilførsel/afstrømning) for alle vandløb, der bidrager til indre danske farvande (Conley *et al*, *in press*), Figur 2.6B. Udviklingen i middelvandløbskoncentration i Limfjordsoplandet er derefter beregnet ved at antage samme relation mellem kvælstofoverskud og vandløbskoncentration som nationalt. Der er imidlertid stor usikkerhed omkring den tidlige forsinkelse mellem kvælstofoverskud og vandløbskoncentration i Limfjordsoplandet, og

derfor er beregningen baseret på udviklingstrends i kvælstofoverskuddet frem for det faktiske overskud i et givet år. Den beregnede koncentration samt observerede koncentrationer i perioden 1984-2003 er vist i *Figur 2.6C*.

Udviklingen i diffus N-tilførsel i perioden 1900-1983 er derefter fundet ved at gange middelvandløbskoncentrationen med middelfaststrømning (*Figur 2.7*). Den viste kurve angiver en udviklingstrend i den diffuse N-tilførsel. Der har været store år til år variationer i denne trend, afhængigt af nedbørsforhold i de enkelte år, men da vi ikke i tilstrækkelig grad kender sammenhæng mellem kvælstofoverskud, nedbør, afstrømning og vandløbskoncentration i Limfjordsoplandet, har vi valgt ikke at forsøge at beskrive disse variationer. Desuden er effekterne af dræning på vandløbskoncentrationen i Limfjordsoplandet i perioden 1920-1970 ukendt. De mange antagelser betyder, at der er usikkerhed omkring både udviklingstendens og tilførselsniveau.

Punktkildebidraget er beregnet på baggrund af befolkningsudviklingen i perioden 1900-1972 samt indførslen af biologisk rensning i 1970'erne. Den danske befolkning stiger fra 2,5 mio. i år 1900 til 4,5 mio. i 1960. I denne beregning er det antaget, at 15% af den danske befolkning bor i Limfjordsoplandet. Det er desuden antaget, at hver person producerer 6 kg N år⁻¹ (*Henze et al. 1992*), og at alt spildevand ledes urensset til fjorden frem til 1972 (*Figur 2.7*). I begyndelsen af perioden er en del spildevand formentligt blevet komposteret, og dermed ikke ledt direkte til fjorden, men ved at antage at alt ledes direkte til fjorden, kompenseres der for manglende oplysninger om udviklingen i industrielt spildevand. I denne beregning betyder antagelserne ligeledes, at der er usikkerhed omkring det beregnede tilførselsniveau.

Den årlige kvælstoftilførsel til Limfjorden i perioden 1900-1983 er beregnet som summen af det diffuse bidrag og punktkildebidraget (*Figur 2.7*). Det understreges, at denne kurve beskriver en udviklingstendens, og at der er en høj grad af usikkerhed omkring de beregnede niveauer. I perioden 1984-2003 er der foretaget opgørelser af den årlige kvælstoftilførsel til fjorden fordelt på punktkilder, diffuse kilder



Figur 2.7 Tidslig udvikling i N-tilførsel fra diffuse kilder, punktkilder samt summen af de to bidrag. I perioden 1900-1983 er kurverne baseret på estimerede tilførsler (stiplede kurver), og der er en høj grad af usikkerhed omkring de beregnede tilførselsniveauer. I perioden 1984-2003 er N-tilførslen baseret på Limfjordsovervågningsens opgørelser (fuldt optrukne kurver), og den totale N-tilførsel i denne periode er inklusiv atmosfærebidraget.

samt et bidrag fra atmosfæren (*Limfjordsovervågningen 2004*). Tilførselskurven viser en svag stigning frem til 1960, og en meget kraftig stigning fra 1960-1980, hvorefter tilførslen falder frem til 2003. Fra år 1900 til 1980 steg tilførslen med omkring en faktor 4.

Der er ikke beregnet en tilsvarende kurve for fosfor, da der er en høj grad af samvariation mellem kvælstof og fosfor, og bidragene fra de to kilder kan ikke adskilles i den periode, hvor der ikke findes målinger.

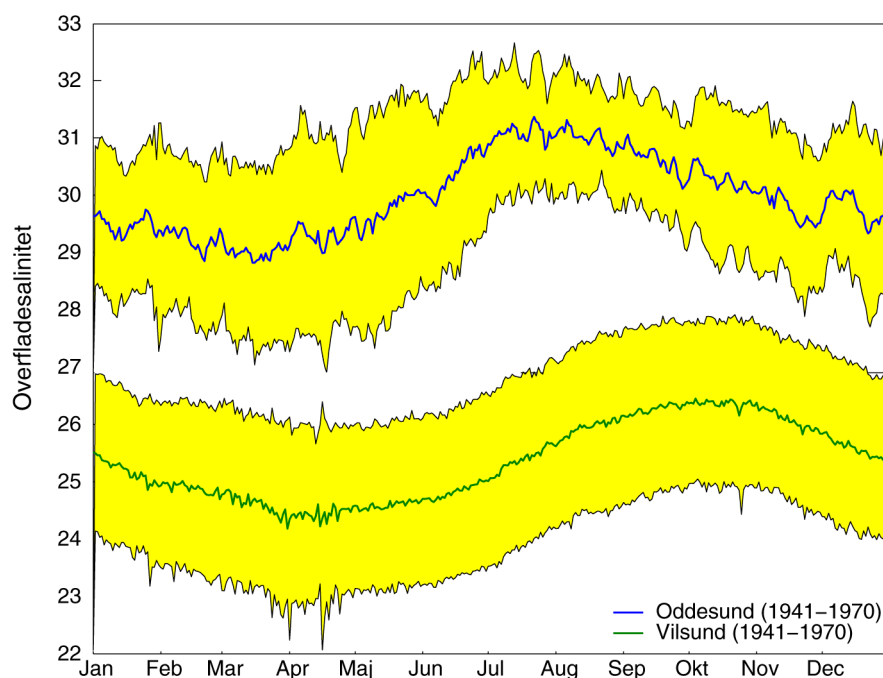
2.5 Hydrografi

Hydrografien i Limfjorden er beskrevet med tidsserier af salinitet og temperatur målt dagligt på Vilsundbroen i fire dybder i perioden 1942-2004 og på Oddesundbroen i overfladen i perioden 1893-1942 og i fire dybder i perioden 1942-1973 samt 1996-1998.

2.5.1 Saltholdighed og temperatur i overfladen

Overfladesalinitet og -temperatur ved både Oddesund og Vilsund varierer over året med en regelmæssig periode på 365 dage. På begge stationer er middelværdierne beregnet for perioden 1942-1971 (*Figur 2.8*), og spredningen for samme periode er vist. Saliniteten er ca. 4 højere ved Oddesund end ved Vilsund, men spredningen omkring middelniveauet er højere ved Vilsund (1,5 i forhold til 1). Ved Oddesund er saliniteten højst i juli-september, mens den ved Vilsund er højst i september til november.

Afvigelsen fra middelniveauet i salinitet og temperatur er beregnet for alle observationsmåneder på begge stationer, og summeret til årsværdier (*Figur 2.9*). I Oddesund er residualerne i temperatur og salinitet beregnet i perioden 1900-1973 samt i 1996-1998, og ved Vilsund

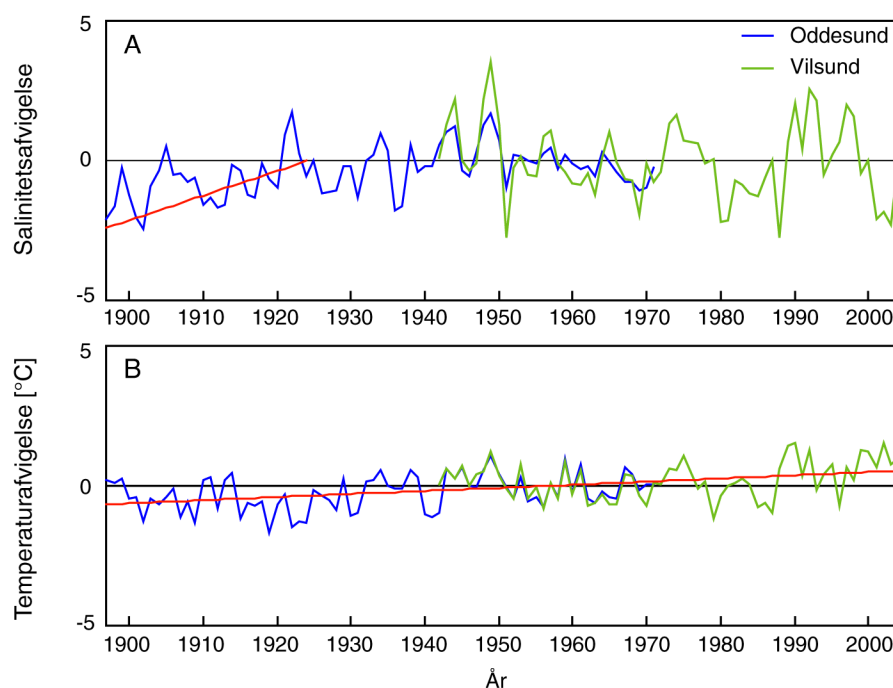


Figur 2.8 Daglig middelovertalitet ved Oddesund og Vilsund. Det gule område angiver spredningen i perioden 1942-1971.

er residualerne beregnet i perioden 1942-2004. Den større spredning i salinitet på Vilsund-stationen betyder, at residualerne på denne station varierer mere end på Oddesund-stationen, og det er derfor nødvendigt at skalere Oddesund-residualerne til Vilsund-niveau for at opnå en tidsserie, der dækker hele perioden. Dette er muligt, fordi der er en høj grad af samvariation mellem de to stationer ($r^2 = 0,74$). Temperaturen er derimod stort set ens på de to stationer, og en skalering er ikke nødvendig.

Saliniteten ved Oddesund er stigende i perioden 1900-1925, men varierer herefter omkring middelniveauet. Residualerne er desuden større i den første del af perioden 1897-1940 (Figur 2.9A). I denne periode er salinitetsresidualerne i højere grad relateret til afstrømning end i perioden 1951-1973 ($r^2 = 0,3$ mod $r^2 = 0,1$). Disse forskelle skyldes formentlig en udgravning af sejlrender i Nissum Bredning samt ændringer i Limfjordsåbningen ved Thyborøn mod bedre gennemstrømningsforhold i samme periode. I perioden 1897-1908 blev der udført kystsikring af nordre Tange, bl.a. for at afhjælpe tilsandingsproblemer, og en egentlig uddybning af Thyborøn Kanal samt en udgravning af en retlinet sejløb over Limfjordsgrundene blev påbegyndt, men aldrig afsluttet. Efter 1. verdenskrig blev Sælhundeholmsrenden etableret, og i løbet af hele perioden blev den oprindelige vest-øst retning af Thyborøn Kanal ændret til omtrent nord-syd (Limfjordskommissionens betænkning 1942).

Temperaturen er steget $1,1^\circ\text{C}$ i løbet af hele perioden (Figur 2.9B). Stigningen gælder både sommer- og vintertemperatur, dog er temperaturen steget mest i vintermånederne ($1,3^\circ\text{C}$ sammenlignet med $0,85^\circ\text{C}$).

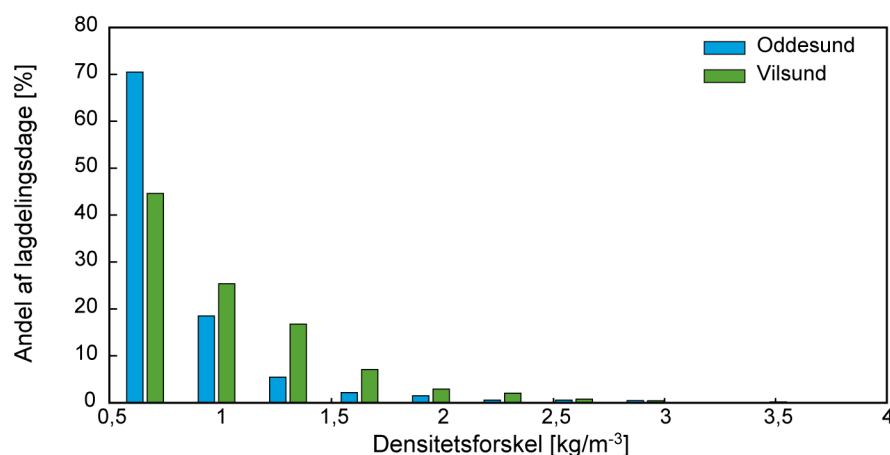


Figur 2.9 Salinitets- og temperaturafvigelser ved Oddesund og Vilsund i perioden 1897-2004. A: Salinitetsafvigelser. I perioden 1897-1925 stiger saliniteten $0,09 \text{ år}^{-1}$. Salinitetsafvigelserne ved Oddesund er relateret til afvigelserne ved Vilsund med $r^2 = 0,75$, $VS = 1,57 * OS + 0,0165$. B: Temperaturafvigelser. Hældning af linien er $0,011^\circ\text{C år}^{-1}$, altså en stigning på $1,1^\circ\text{C}$ over 100 år.

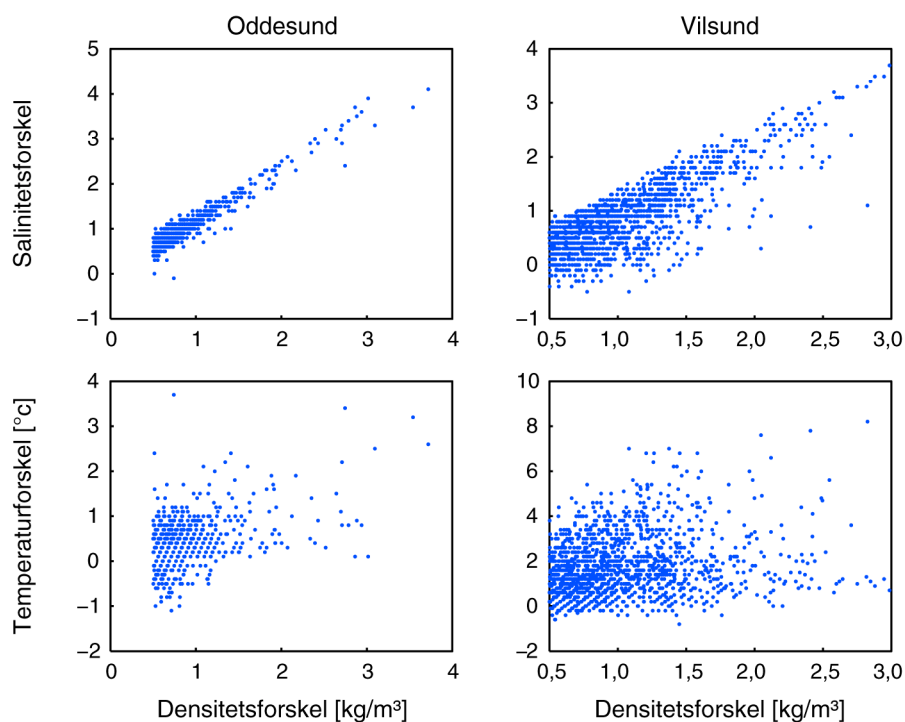
2.5.2 Lagdeling

I den periode, hvor der er målt salinitet og temperatur på flere dybder, er densiteten i overfladen, ved bunden samt forskellen mellem de to beregnet.

Lagdelingen er stærkere ved Vilsund end ved Oddesund; ca. 55% af lagdelingshændelserne har en densitetsforskel større end 1 kg m^{-3} , hvorimod den tilsvarende andel er 30% ved Oddesund (Figur 2.10). Både ved Oddesund og Vilsund er densitetsforskellen fortrinsvis relateret til salinitetsforskellen mellem overflade og bund, og i mindre grad til temperatur forskellen (Figur 2.11). Ved Vilsund kan temperaturforskelle dog blive større og vil derfor påvirke lagdelingen mere end ved Oddesund.



Figur 2.10 Andel af dage i juni-september med en densitetsforskel større end $0,5 \text{ kg m}^{-3}$ mellem overflade- og bundmåling.



Figur 2.11 Relation mellem densitetsforskel og salinitet- eller temperaturforskel ved Oddesund og Vilsund.

2.6 Sammenstilling af data

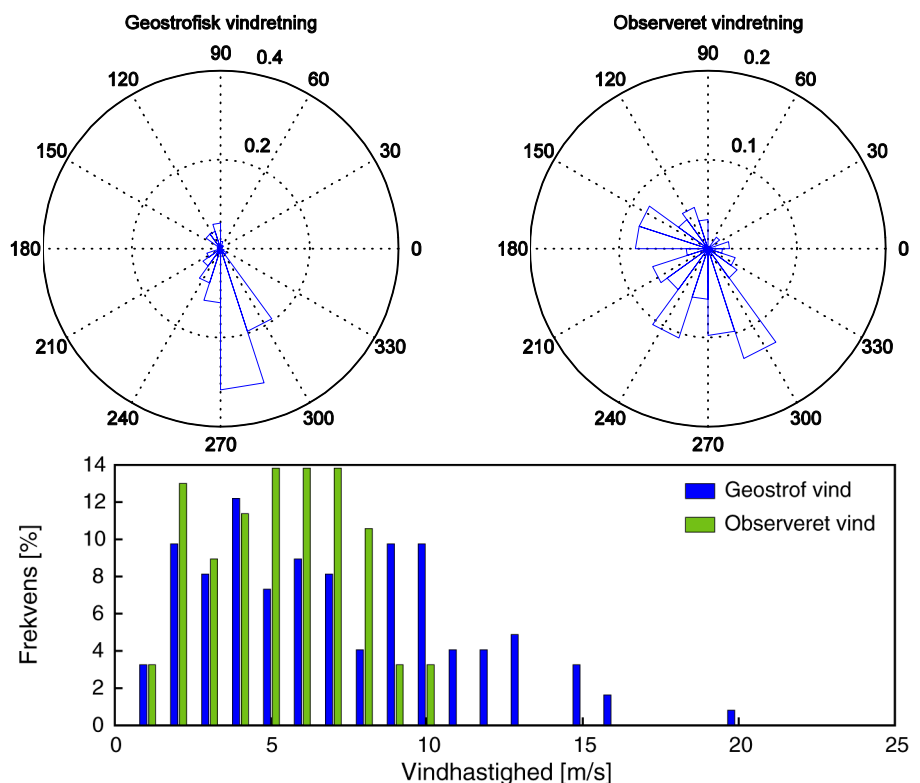
I dette afsnit er klimatiske data sammenstillet, dels som kvalitetskontrol af data og dels for at vise, hvor sammenhænge mellem forskellige datasæt kan forventes. Der har været særligt fokus på kvalitetssikring af den geostrofiske vind, da denne ikke har været anvendt i andre sammenhænge. Til det formål er vindens øst/vest og nord/syd komponenter beregnet, sådan at der kan tages hensyn til forskellig vægtning af de to retninger i beregningen.

2.6.1 Geostrofisk vind sammenholdt med observationer på Sprogø

Den geostrofiske vind er sammenlignet med vindobservationer på Sprogø i perioden 1978-1987 i 77 meters højde. Sammenligningen er af daglige middelværdier og er fortaget månedsvis.

I tidsserien for den geostrofiske vind er der en kraftig overrepræsentation af vind fra vestlige retninger sammenlignet med målingerne, og de beregnede vindhastigheder er højere end vindhastigheder observeret på Sprogø (Figur 2.12).

Sammenlignes de to hastighedskomponenter med tilsvarende observationer, ser man dog et mere systematisk billede. Øst/vest hastighedskomponenterne er velkorrelerede i alle måneder ($r^2 = 0,7-0,9$), men hældningen på relationen mellem de observerede og beregnede værdier angiver, at den geostrofiske vindhastighed er overestimeret med en faktor 2 (Tabel 2.2). Desuden er der en forskydning af den



Figur 2.12 Fordeling af observerede og beregnede daglige vindretninger og hastigheder i perioden maj-august 1979.

Tabel 2.2 Relationer mellem observeret og geostrof Ø-V og N-S vindhastighedskomponenter.

Måned	Øst/vest komponent			Nord/syd komponent		
	r^2	hældning	skæring	r^2	hældning	skæring
Januar	0,9	0,5	-0,4	0,6	0,9	0,9
Februar	0,9	0,5	-1,3	0,7	0,9	0,3
Marts	0,8	0,5	-1,2	0,7	0,9	1,2
April	0,8	0,5	-0,7	0,7	1,1	0,4
Maj	0,8	0,5	-1,3	0,7	1,0	0,5
Juni	0,8	0,5	0,0	0,7	1,1	0,7
Juli	0,8	0,5	-0,1	0,7	1,1	1,0
August	0,7	0,5	0,0	0,8	1,2	1,1
September	0,8	0,5	0,0	0,7	1,1	1,6
Oktober	0,8	0,5	0,2	0,7	1,0	1,8
November	0,9	0,5	-0,5	0,7	1,1	1,7
December	0,8	0,5	-0,2	0,7	0,9	1,9

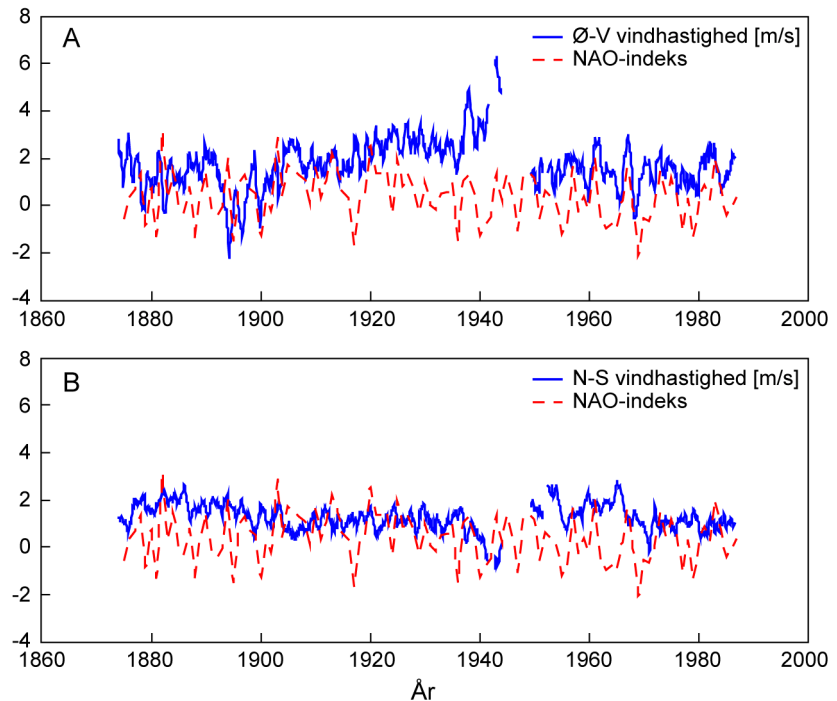
geostrofiske vind i nogle måneder på ca. $-1,0 \text{ m s}^{-1}$, hvilket dels reflekterer, at den geostrofiske vind er for høj, og dels medfører at vindretningen på dage med vindhastigheder på under 1 m s^{-1} kan være 180° forkert (negative værdier angiver vind fra øst).

Den beregnede geostrofiske nord/syd hastighedskomponent udviser større variation omkring de observerede værdier, $r^2 = 0,6-0,8$. Hældningen mellem beregnet og observeret vind er ca. 1 i alle måneder. Skæringspunktet mellem observeret og beregnet vind er ca. 1 m s^{-1} i de fleste måneder, hvilket angiver, at den geostrofiske vind i denne retning systematisk er for lav, og igen at meget lave vindhastigheder kan have den forkerte retning.

Den geostrofiske øst/vestlige hastighedskomponent er overestimeret med en faktor 2 i forhold til de tilsvarende observationer på Sprogø, og denne overestimering forklarer den manglende variation af retning i den geostrofiske vind. Den overestimerede hastighed kan skyldes, at afstanden mellem trykmålingerne i nord (Vestervig) og syd (Nordby) er relativt lille, men desværre kan en regnefejl ikke udelukkes (PV Jørgensen, pers. kom.). Da observationerne er foretaget i 77 meters højde, skal den geostrofiske vind reduceres yderligere for at blive relateret til vindhastigheden i 10 meters højde.

De to hastighedskomponenter af geostrofisk vind er skalleret jf. de relationer, som er angivet i Tabel 2.1, og den tidlige udvikling er vist i Figur 2.13. Generelt er sydvesten vind fremherskende, men der er to perioder der afviger markant. Den første er perioden 1893-1905, hvor der er en hyppigere forekomst af østenvind end i perioden i øvrigt. Den anden er fra omkring 1939 til 1950 hvor der er en tendens til stigende vindhastighed fra vest og nord. Klimaet var ekstremt med isvintre 3 år i træk i 1940-1942 (Rosenørn & Lindhardt 2000), men det er ikke muligt at afgøre, om dette er relateret til vindhastigheden. Denne trend passer desuden ikke med udviklingen i vinter NAO-indeks i samme periode, og det bør undersøges nærmere, om udviklingen er i overensstemmelse med andre vindobservationer. De trykmålinger,

der ligger til grund for de beregnede vindhastigheder, er ikke kvalitetsikrede (PV Jørgensen, pers. com.). I perioderne 1874-1939 og 1950-1987 kan det antages, at den geostrofiske vind beskriver de overordnede vindforhold i Danmark. Det er ikke undersøgt, i hvor høj grad forholdene ved Limfjorden afviger herfra.



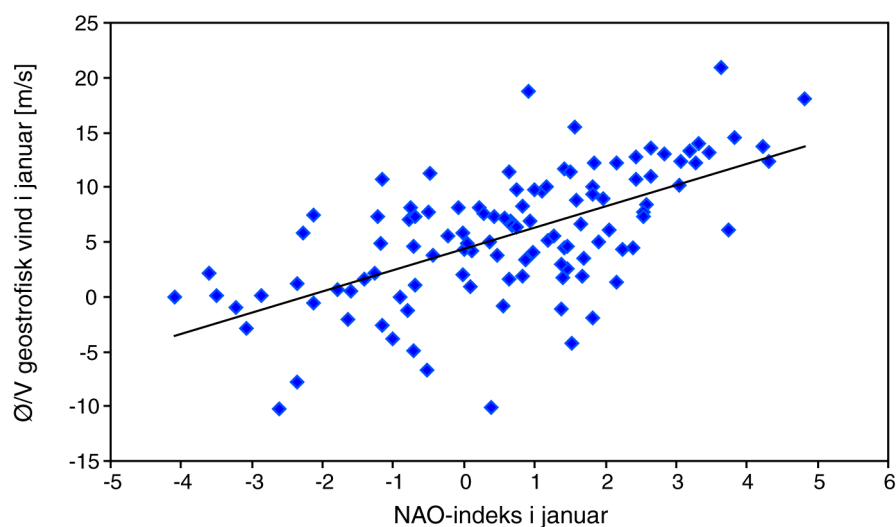
Figur 2.13 **A.** 12 måneders glidende gennemsnit af Ø-V geostrofisk vindhastighed skalleret til Sprogø-niveau. Negative hastigheder er fra øst, positive fra vest. **B.** 12 måneders glidende gennemsnit af N-S geostrofisk vindhastighed skalleret til Sprogø-niveau. Negative hastigheder er fra nord, positive fra syd. Desuden er udviklingen af vinter NAO-indeks vist i begge paneler.

2.6.2 Geostrofisk vind og NAO-indeks

Der forventes en grad af relation med den geostrofiske vind og NAO-indekset. Månedens middelværdien af den øst/vestlige geostrofiske vind er korreleret med NAO-indekset. Den højeste forklaringsgrad opnås i januar, hvor $r^2 = 0,4$ (Tabel 2.3). Generelt betyder denne relation, at høje middelvindhastigheder fra vest er forbundet med år med højt NAO-indeks, og middelvindhastigheder fra øst er forbundet med år med lavt NAO-indeks, men også at der er stor variation (Figur 2.14). I sommermånederne april-september er NAO-indekset en utilstrækkelig indikator for vindforholdene i Danmark.

Tabel 2.3 Relation mellem Ø-V geostrofisk vind og NAO-indeks.

Måned	r^2 -værdi
Januar	0,4
Februar	0,3
Marts	0,2
April	0,0
Maj	0,2
Juni	0,0
Juli	0,1
August	0,1
September	0,0
Oktober	0,2
November	0,2
December	0,1



Figur 2.14 Relation mellem øst/vest geostrofisk vind og NAO-indeks i januar.

2.6.3 Salinitet, lagdeling og geostrofisk vind

Saltholdighed og temperatur i overfladen

Salinitetsafvigelserne ved Vilsund er relateret til vind og afstrømning. Tidsserien er inddelt i tre perioder, 1978-1997, hvor der er foretaget målinger ved Sprogø, 1942-1987, hvor den geostrofiske vindhastighed er beregnet og 1984-2003, hvor afstrømningen til Limfjorden er beregnet på månedsbasis. For hver tidsserie er månedsmiddelværdier beregnet, og for hver måned er der beregnet en r^2 -værdi.

Afstrømningen forklarer en større del af variationen i salinitetsafvigelser end vinden, og mest i januar samt i sommermånederne maj-august (30-40%) (Tabel 2.4). Hverken den geostrofiske vindhastighed, eller hastigheden af vind målt på Sprogø, forklarer variationen i salinitetsafvigelser, men når den observerede vind inddeles på retninger, forklares en lille andel af variationen.

Tabel 2.4 r^2 -værdier for Vilsund salinitetafvi­gelser og observeret og beregnet vindhastigheder samt afstrømning.

Måned	Sprogø vind (1978-1997)			Geostrof vind (1942-1987)			Afstrømning (1984-2003)
	Hastighed	Ø-V	N-S	Hastighed	Ø-V	N-S	
Januar	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4
Februar	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
Marts	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2
April	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Maj	0,0	0,2	0,0	0,1	0,1	0,0	0,4
Juni	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Juli	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4
August	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3
September	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0
Oktober	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
November	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
December	0,2	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1

Salinitetsafvi­gelserne ved Oddesund er forsøgt forklaret med den geostrofiske vindhastighed og den retningsbestemte hastighed i peri­oden 1897-1973. Igen er månedsmiddelværdier beregnet for hver tidsserie, og for hver måned er der beregnet en r^2 -værdi. Den geostrofiske hastighed forklarer ikke salinitetsafvi­gelserne (Tabel 2.5), dog forklares en lille del af variationen med den øst/vestlige hastig­hedskomponent.

De månedlige overflade salinitetsresidualer ved Oddesund og Vilsund er i bedste fald kun svagt relateret til den geostrofiske vind i samme måned. Ved Vilsund forklares salinitetsafvi­gelserne i flere måneder bedre med afstrømning end med vind. Dette er ikke overras­kende, da overfladesaliniteten er følsom overfor afstrømning. Vand-

Tabel 2.5 r^2 -værdier for sammenhæng mellem månedlig salinitetsafvi­gelse og vind ved Oddesund.

Måned	Hastighed	Ø-V	N-S
Januar	0,0	0,1	0,0
Februar	0,0	0,1	0,0
Marts	0,1	0,2	0,1
April	0,0	0,1	0,0
Maj	0,1	0,2	0,0
Juni	0,1	0,1	0,0
Juli	0,1	0,1	0,0
August	0,2	0,0	0,0
September	0,0	0,1	0,0
Oktober	0,1	0,1	0,0
November	0,0	0,2	0,1
December	0,1	0,2	0,1

skiftet er større ved Oddesund end ved Vilsund, og derfor ses denne relation ikke i samme grad ved Oddesund.

Den maksimale forklaringsgrad af salinitetsafvigelserne ved Oddesund og Vilsund med årsafstrømning og retningsbestemt vind som forklarende variable er bestemt med multipel regression. Salinitetsafvigelsen i et givet år er relateret til den normaliserede årsafstrømning fra Lindholm Å og til den midlingsperiode for vind i hhv. øst-vest og nord-syd retningen, der giver den største forklaringsgrad. Den årlige salinitetsafvigelse er i lidt højere grad relateret til afstrømning året før, og derfor er denne anvendt. Dermed bliver regressionsligningen:

$$SA_{\text{år}} = \alpha_w W_x + \alpha_{\text{afs}} Q_{\text{år}-1} + \beta$$

hvor $SA_{\text{år}}$ er salinitetsafvigelsen i et givet år, W_x er middelvindhastighed i perioden x og $Q_{\text{år}-1}$ er afstrømningen året før. Koefficienterne α_w , α_{afs} og β er angivet i *Tabel 2.6*, hvor også r^2 -værdien for den bedste relation er anført.

Resultaterne af denne analyse viser, at effekten af afstrømning altid er negativ (koefficienten α_{afs} er altid negativ), hvilket også er intuitivt rigtigt: højere afstrømning giver lavere salinitet. Koefficienten for afstrømning er ca. dobbelt så stor ved Vilsund i perioden 1942-1987 som ved Oddesund i 1919-1973. Når Oddesund inddeles i 2 perioder, ses dog at afstrømningen har en koefficient på størrelse med den ved Vilsund i perioden 1919-1940. Dette skyldes formentligt, at de fysiske ændringer, der er sket i forbindelse med etableringen af Thyborøn Kanal, har forårsaget et større vandskifte i Nissum Bredning end tidligere.

Tabel 2.6 Midlingsperiode og koefficienter for relationer der bedst forklarer salinitetsafvigelser ved Vilsund og Oddesund.

Station	x (midlingsperiode for vind)	β	α_w [m ⁻¹ s]	α_{afs}	r^2
Vilsund 1942-1987					
Øst-vest	september + 13 måneder	-1,8	0,4	-0,7	0,6
Nord-syd	november + 8 måneder	-0,2	-0,4	-0,7	0,4
Oddesund 1919-1973					
Øst-vest	december + 9 måneder	-0,8	0,1	-0,4	0,3
Nord-syd	november + 8 måneder	-0,2	-0,4	-0,4	0,3
Oddesund 1919-1940					
Øst-vest	februar + 10 måneder	-2,6	0,4	-0,8	0,5
Nord-syd	november + 12 måneder	-0,2	-1,9	-0,4	0,6
Oddesund 1940-1973					
Øst-vest	december + 7 måneder	-0,5	0,1	-0,1	0,4
Nord-syd	ikke sign.				

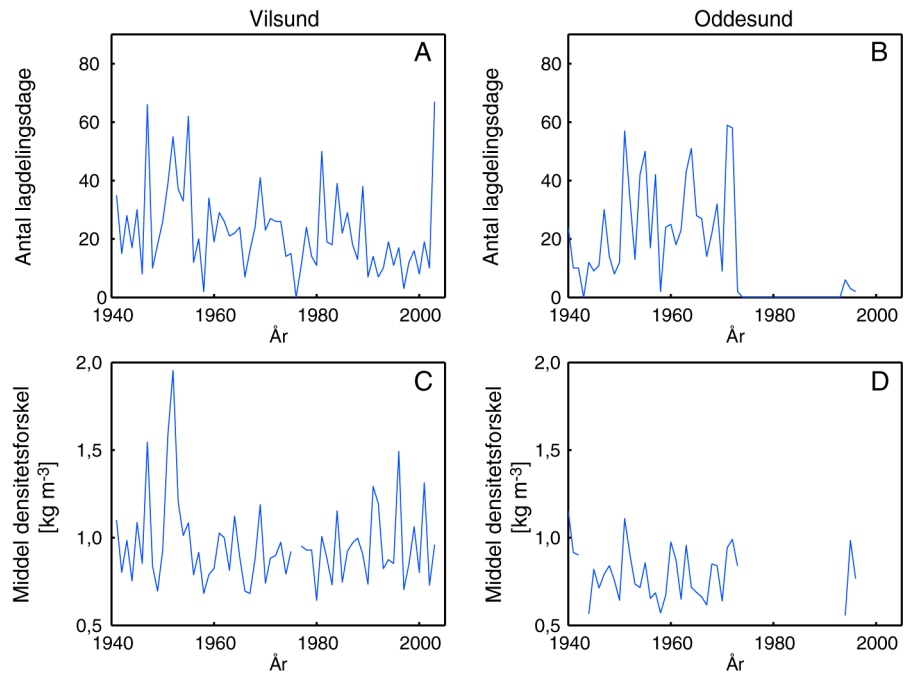
Fortegn af koefficienten for vind angiver retning for positiv effekt. Dvs. ved begge stationer medfører syd- og vestenvind salinitet over middelniveauet, hvorimod nord- og østenvind medfører salinitet under middel. De optimale midlingsperioder begynder alle i vintermånederne og varer mindst 7 måneder, altså har vindforholdene i de fleste af årets måneder betydning for middelsalinitetsafvigelsen. Der er ofte en tidsforskydning mellem begyndelsen af vindens midlingsperiode og perioden for salinitetsafvigelsen (som er et kalenderår). Mest ekstremt ses det, at tidsforskydningen mellem øst-vestlig vind og salinitetsafvigelse ved Vilsund er ca. 4 måneder: vinden i september, oktober, november og december bidrager bl.a. til at forklare salinitetsafvigelsen det følgende kalenderår. For Oddesund er tidsforskydningen 1-2 måneder. Tidsforskydningen for både afstrømnings- og vindeffekten samt de lange midlingsperioder for vind betyder, at overfladesaliniteten på et givet tidspunkt udvikles gennem en periode på 6-12 måneder, hvor vinden er kraftigst og som et samspil mellem både vind og afstrømning. Den del af variationen som ikke er forklaret skyldes formentlig manglende tidlig opløsning på afstrømningen samt at den bedste midlingsperiode for vinden formentlig varierer mellem år.

Lagdeling

I de perioder, hvor salinitet og temperatur er målt på flere dybder, er densitetsforskellen mellem overfladevand og bundvand beregnet. Lagdeling er defineret til at være en forskel større end $0,5 \text{ kg m}^{-3}$ mellem målingen i overfladen og i bunden, og på baggrund af denne forskel er dage med lagdeling i juni-august fundet. For hvert år er det samlede antal dage med lagdeling i de tre måneder beregnet (maksimalt 92 dage), og middeldensitetsforskellen på disse dage er bestemt som et mål for styrken af lagdelingen.

Antallet af dage med lagdeling ved Vilsund varierer mere mellem år end ved Oddesund, og der er ikke sket en egentlig udvikling i antal dage med lagdeling (*Figur 2.15A, B*). Der er dog særligt mange år med et stort antal lagdelingsdage i perioden 1945-1960 på Vilsundbroen og flere år med meget få lagdelingsdage i 1990'erne.

Middeldensitetsforskellen er lavere ved Oddesund end ved Vilsund, og i 1945-1960 er densitetsforskellen ved Vilsund høj i flere år (*Figur 2.15C, D*). Selvom der er få dage på denne station med lagdeling i 1990'erne, er densitetsforskellen relativt stor, når den opstår. Dette betyder, at der på Vilsundbroen er en udvikling mod færre dage med kraftigere lagdeling i 1990'erne. På Oddesund-stationen er der ikke observeret en udvikling i graden af lagdeling.



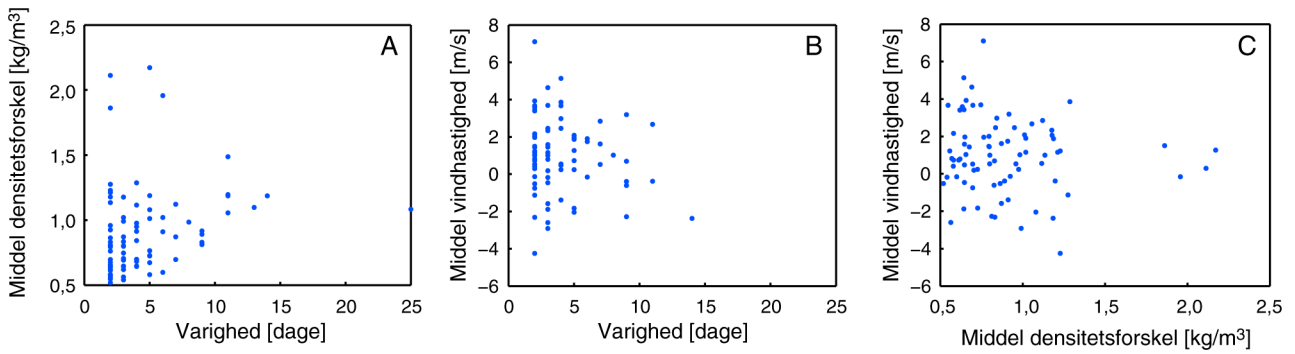
Figur 2.15 A og B: Antal lagdelingsdage i juni-august ved hhv. Vilsund og Oddesund. C og D: Middeldensitetsforskellen på dage med lagdeling ved hhv. Vilsund og Oddesund.

Lagdelingshændelser

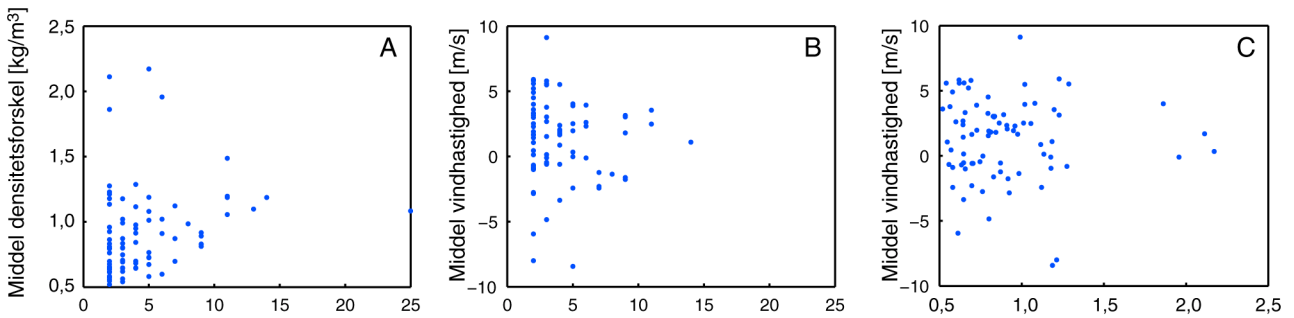
Dage med lagdeling på de to stationer er inddelt i hændelser, hvor varigheden af en hændelse er opgjort som antallet af sammenhængende dage med densitetsforskel større end $0,5 \text{ kg m}^{-3}$, og for hver hændelse er middelhastigheden af de to vindhastighedskomponenter beregnet. Vindhastigheden er bestemt ud fra observationer på Sprogø (1978-1997) eller geostrofisk vind (1940-1973). De observerede vindhastigheder er relateret til densitetsforskelle ved Vilsund, hvorimod den geostrofiske vind er relateret til densitetsforskelle ved Oddesund.

Ved Oddesund er der en tendens til, at densitetsforskellen bliver større med længere varighed af hændelserne (Figur 2.16A). Densitetsforskellen opstår ved nord/syd vindhastigheder mellem -4 og 4 m s^{-1} (Figur 2.16B) samt øst/vest vindhastigheder mellem -6 og 6 m s^{-1} (Figur 2.17B), men der er ikke nogen samvariation mellem middelvindhastighed og hændelsens varighed eller styrke (Figur 2.16C og Figur 2.17C) for nogen af hastighedskomponenterne. Tilsvarende beregning er foretaget ved Vilsund, men igen er der ikke fundet relationer mellem lagdelingshændelser og vind (Figur 2.18 og Figur 2.19). Da der ikke er fundet relationer mellem lagdelingshændelser og observeret vind ved Vilsund, er relationen mellem lagdeling og geostrofisk vind ikke undersøgt.

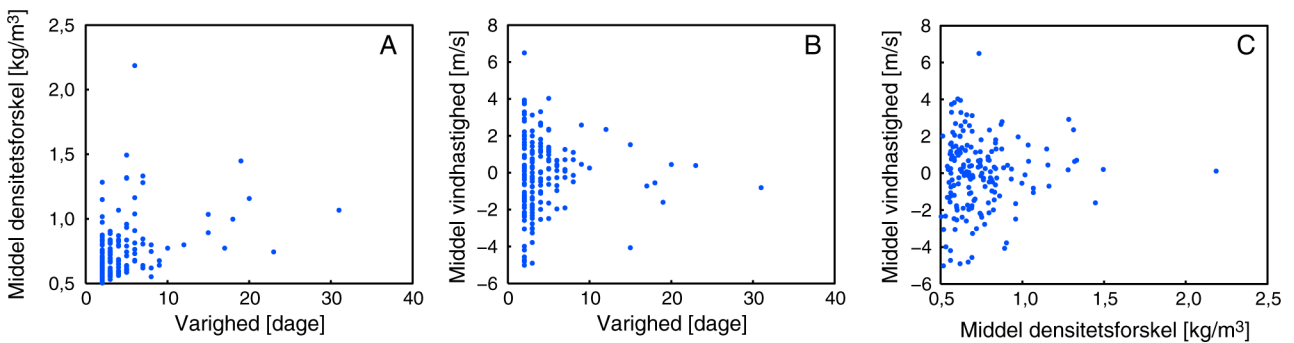
Den manglende relation skyldes formentligt, at sammenhængen mellem lagdeling og vind er kompleks, og at tidsskalaen for etablering af lagdeling er meget variabel. Desuden kan afstrømning være af betydning for udvikling af lagdeling, men er ikke medtaget i denne analyse, da månedsværdier kun findes for en lille del af perioden.



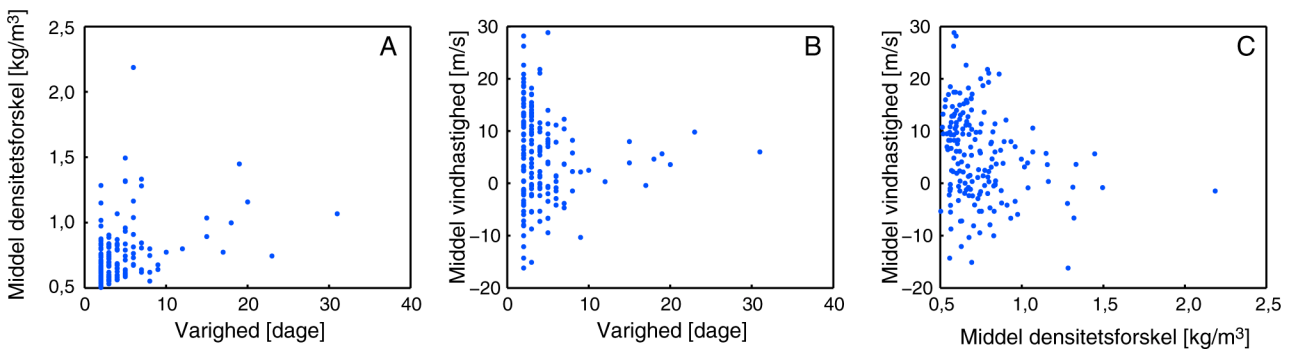
Figur 2.16 Beskrivelse af lagdelingshændelser i juni-august 1941-1973 ved Odde-sund. **A:** densitetsforskel som funktion af hændelsesvarighed. **B:** middel nord/syd geostrofisk vindhastighed som funktion af hændelsesvarighed. **C:** middel nord/syd vindhastighed som funktion af middeldensitetsforskel.



Figur 2.17 Beskrivelse af lagdelingshændelser i juni-august 1941-1973 ved Odde-sund og middel øst/vest geostrofisk vindhastighed. **A-C:** som Figur 2.16.



Figur 2.18 Beskrivelse af lagdelingshændelser i juni-august 1978-1997 ved Vilsund og middel nord/syd vindhastighed målt ved Sprogø. **A-C:** som Figur 2.16.



Figur 2.19 Beskrivelse af lagdelingshændelser i juni-august 1978-1997 ved Vilsund og middel øst/vest vindhastighed målt ved Sprogø. **A-C:** som Figur 2.16.

3 Bentisk biomasse

Formålet med denne undersøgelse er at få et indblik i, hvordan den tidlige udvikling i den bentiske biomasse har været i Limfjorden gennem de sidste 100 år. Det er undersøgt, hvorvidt udviklingen i den bentiske biomasse kan forklares ud fra ændringer i de fysiske parametre, kvælstoftilførsel, temperatur, salinitet og klimaindekset NAO.

Som kvalitetssikring af datamaterialet er de anvendte biomasser for blåmuslinger, der er dominerende i hovedparten af Limfjorden gennem undersøgelsesperioden, sammenholdt med opgørelser over blåmuslingebestanden foretaget af Danmarks Fiskeriundersøgelser (DFU). Ydermere er den totale bentiske biomasse sammenholdt med blåmuslingelandinger fra Limfjorden i perioden 1978-2003.

Afsluttende er der set på den tidlige udvikling for 9 udvalgte arter, med særlig vægt på hvilke arter, der er indvandret til og udvandret fra Limfjorden i løbet af de sidste 100 år.

3.1 Materialer og metoder

Det biologiske datamateriale i denne undersøgelse består af bundfaunaprøver indsamlet i perioderne fra 1910-1952 af Dansk Biologisk Station og fra 1978-2003 af Limfjordsamterne, som en del af den nationale og regionale overvågning. Indsamlingen af datamaterialet har varieret en del gennem tiden, både hvad angår prøveantal og -størrelse, stationsantal og -placering, etc.

3.1.1 1910-1952

Det er begrænset, hvad der er af information omkring de anvendte prøvetagningsmetoder, men det er dog sikkert, at prøverne fra 1911 blev indsamlet med en 0,1 m² Petersen grab. Prøverne blev sigtet gennem sigter med en maskevidde på 1,25-1,75 mm (*Petersen & Boysen Jensen 1911, Kaas & Markager 1998*). Sortering og sandsynligvis også vejning af prøverne blev formodentlig foretaget om bord på skibet af Biologisk Stations videnskabelige personale eller af søfolk på skibet (*Petersen & Boysen Jensen 1911, Varming 1987*). Som hovedregel var der 2 togter årligt, enkelte år har der været flere, andre slet ingen. Der blev altid foretaget én prøve på hver station, men antallet af stationer varierede med tiden, både inden for den enkelte bredning og bredningerne imellem (*Varming 1987, Hylleberg 1992*). Den præcise placering af stationerne er ikke kendt, men der findes kort med stationernes omtrentlige placering i Rigsarkivet.

3.1.2 1978-2003

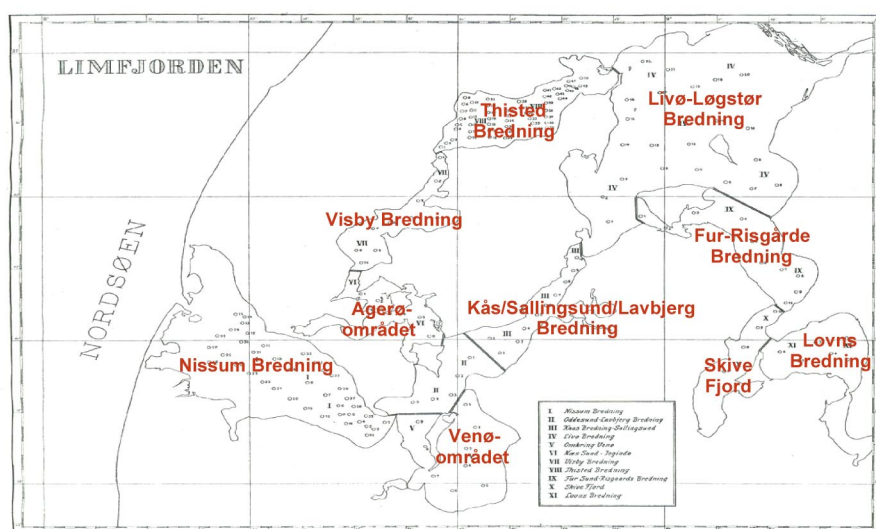
Materialet blev indsamlet af Limfjordsamterne og oparbejdet af Hedeselskabet (tidligere Marin Id) gennem hele perioden. Fra 1978 til midt i 1983 blev prøverne taget med en Van Veen grab med et prøveareal på 0,1 m². Herefter blev bundprøverne taget med haps, der har et prøveareal på 0,0143 m². I perioden 1978-1998 blev der generelt ta-

get 10 haps på hver station. I 1998 var der en revision i prøvetagningsstrategien for bundfaunaen. Denne revision betød, at der fra 1998 og frem blev indsamlet enkeltprøver fra mange stationer inden for undersøgelsesområderne, hvor der tidligere blev indsamlet flere prøver på færre stationer.

I datamaterialet fra 1978-1998 er der en systematisk fejl i opgørelsen af blåmuslingebiomasserne. Hapsprøver, som ramte ned i muslingebanker, blev kasseret og erstattet af nye. Dette betyder, at biomassen af blåmuslinger er underestimeret for denne periode. Efter 1998 er alle prøver oparbejdet. Gennem hele perioden fra 1978-2003 blev hver enkelt hapsprøve sigtet gennem en sigte med en maskevidde på 1 mm. Prøverne blev fikseret, sorteret, talt, artsbestemt og vejnet efter retningslinierne i 'Retningslinier for marin overvågning' (Miljøstyrelsens Havforureningslaboratorium 1988) og 'Tekniske anvisninger for marin overvågning' (Kaas & Markager 1998).

Der er for hele undersøgelsesperioden foretaget opgørelser for antal og biomasse, men da der ikke er anvendt samme sigtestørrelse gennem hele perioden, vil forekomsten af små arter være underestimeret i de tidlige data (1910-1952) i forhold til senere data (1978-2003). Denne underestimering vil have større indflydelse på individantallet end på biomassen. Vi har derfor anvendt biomassen frem for antal individer til at undersøge de ændringer, der er sket i bundfaunaen i Limfjorden gennem de sidste 100 år.

De upræcise stationsplaceringer i det gamle materiale (1910-1952) samt det vekslende antal stationer og de skiftende stationsplaceringer betyder, at der i dette projekt er valgt at arbejde med biomasserne af bundfaunaen i 10 områder, hvoraf de fleste repræsenterer en enkelt bredning i Limfjorden. De enkelte områders afgrænsning og placering fremgår af Figur 3.1.



Figur 3.1 Inddelingen af Limfjorden i områder og bredninger. Bredninger og områder er afgrænset af de grå linier. Kås/Sallingssund/Lavbjerg Bredning omfatter dog hele området fra Livø-Løgstør Bredning til Oddesund. (Boysen Jensen 1919).

3.2 Analyse og resultater

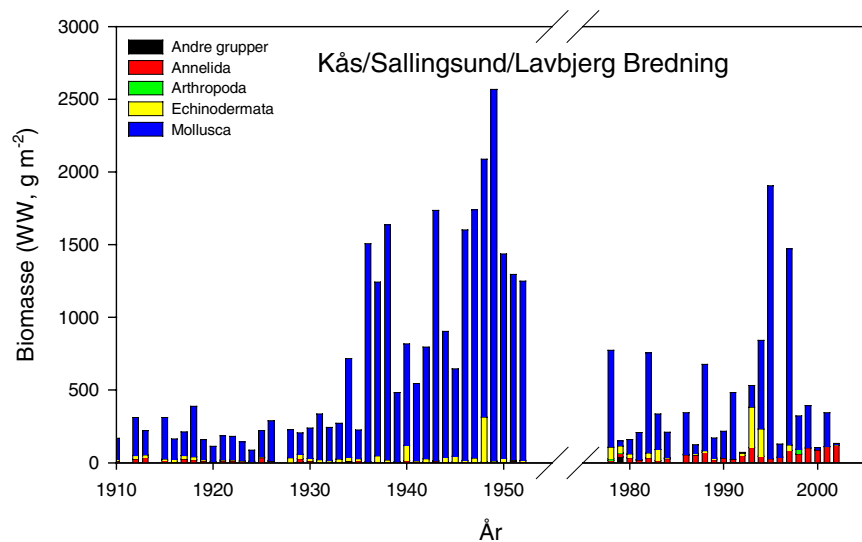
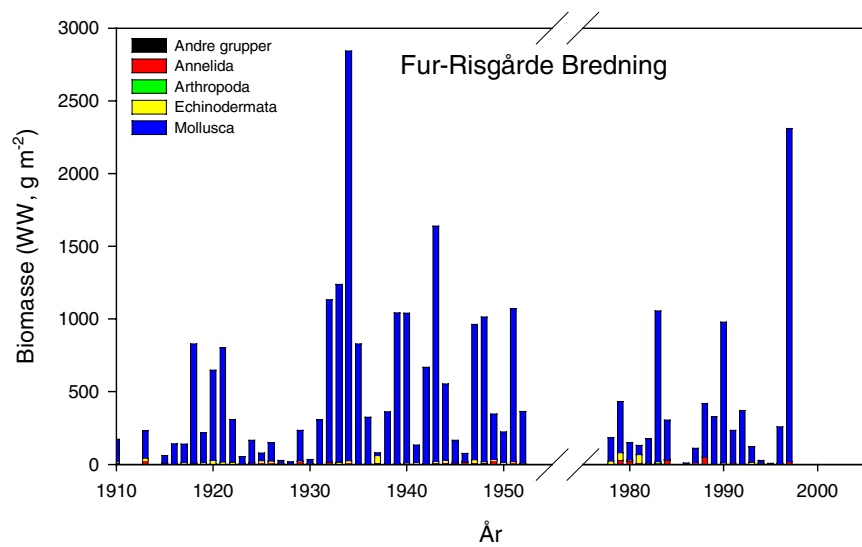
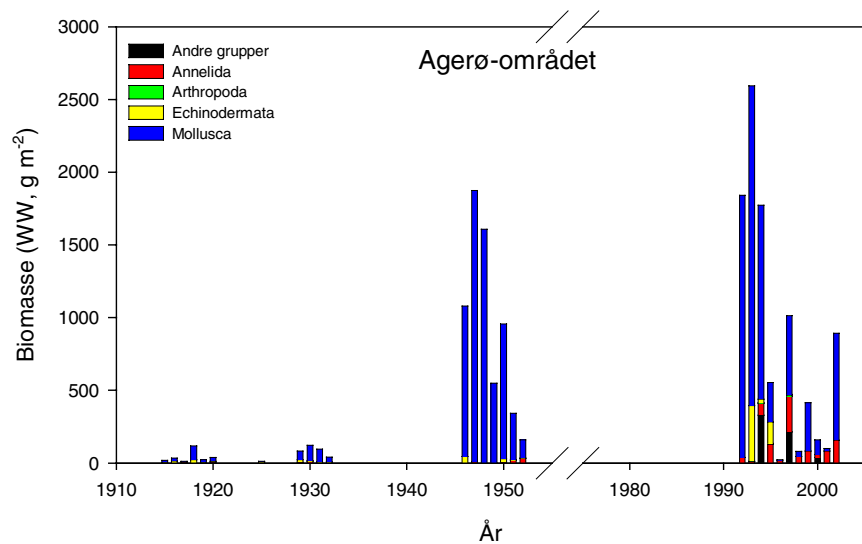
3.2.1 Den tidlige udvikling i den bentiske biomasse

Den tidlige udvikling i den bentiske biomasse for hvert af de 10 områder er vist i *Figur 3.2 - Figur 3.5*. Den totale biomasse i alle områderne er inddelt i grupperne: annelider, arthropoder, echinodermer, mollusker og andre. I hele undersøgelsesperioden er den bentiske biomasse domineret af mollusker. I enkelte områder som Kås/Salling-sund/Lavbjerg og Nissum Bredning udgør annelider og echinodermer dog i perioder en væsentlig andel af den samlede biomasse.

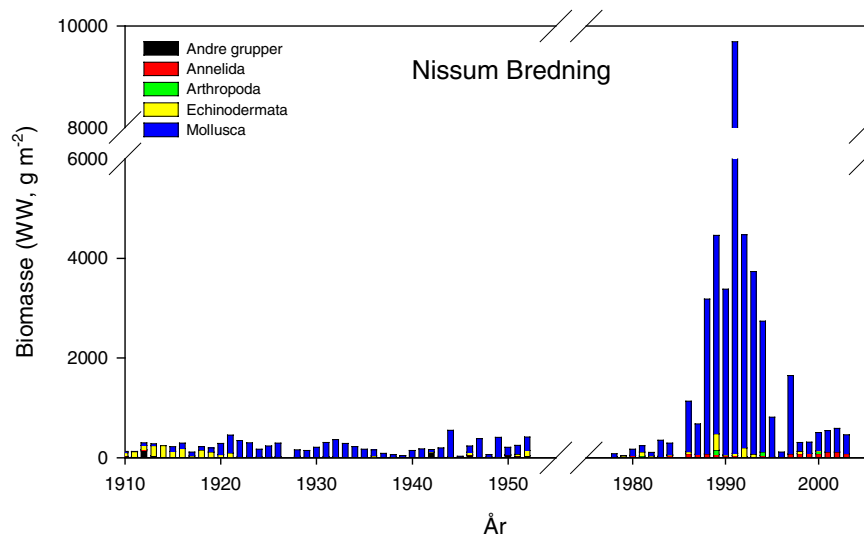
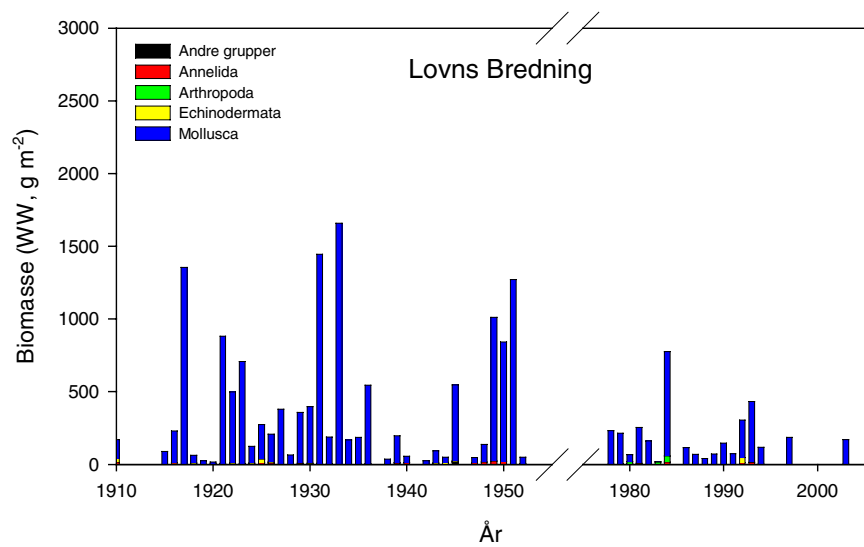
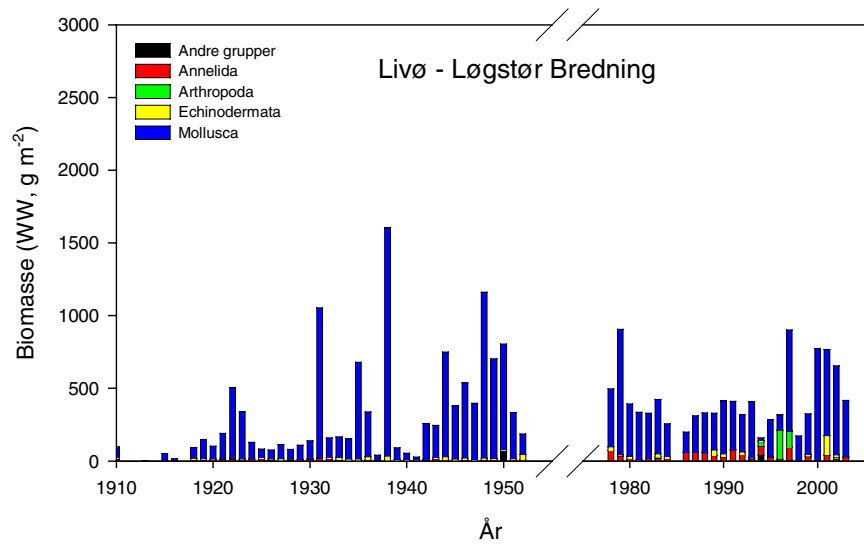
På trods af, at der ikke er foretaget prøvetagninger af bundfaunaen i alle bredninger gennem hele perioden, og at biomasserne ikke varierer ens for alle bredninger gennem hele perioden, så er der alligevel nogle generelle tendenser, som gør sig gældende. Biomassen i 1940-1950'erne er generelt højere end i 1910'erne i hovedparten af bredningerne. I enkelte bredninger er der mindre toppe inden for perioden, men den overordnede trend er en stigning i biomassen fra 1910-1950. I perioden fra 1978-2003 er der et maksimum i biomassen omkring 1990. Dette maksimum er mere udpræget i visse områder fx Agerø-området, Nissum og Thisted Bredning end i andre (*Figur 3.2 - Figur 3.5*).

Den tidlige udvikling for hele Limfjorden, som et gennemsnit af biomasserne fra de enkelte bredninger og områder, viser tydeligt den generelle trend: en stigning i biomassen fra 1910-1952 og et maksimum i biomassen omkring 1990 (*Figur 3.6*). I figuren vises også den tidlige udvikling i kvælstoftilførslen.

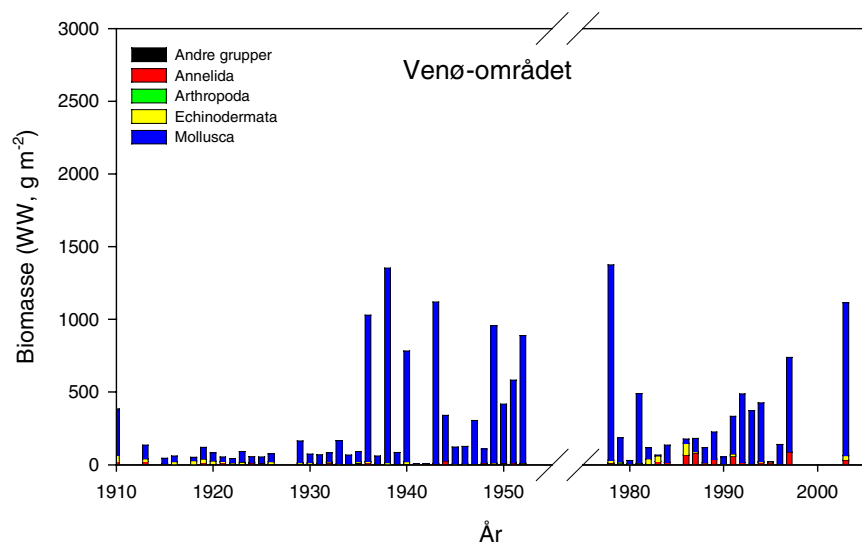
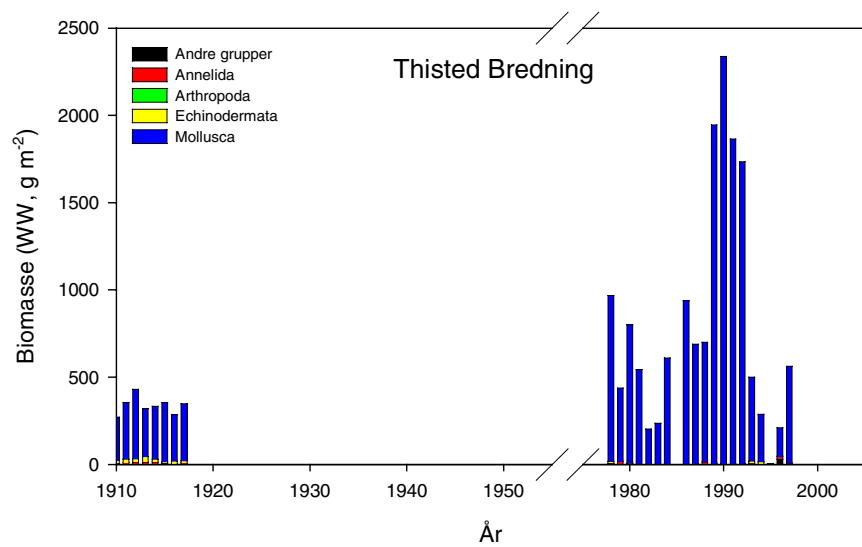
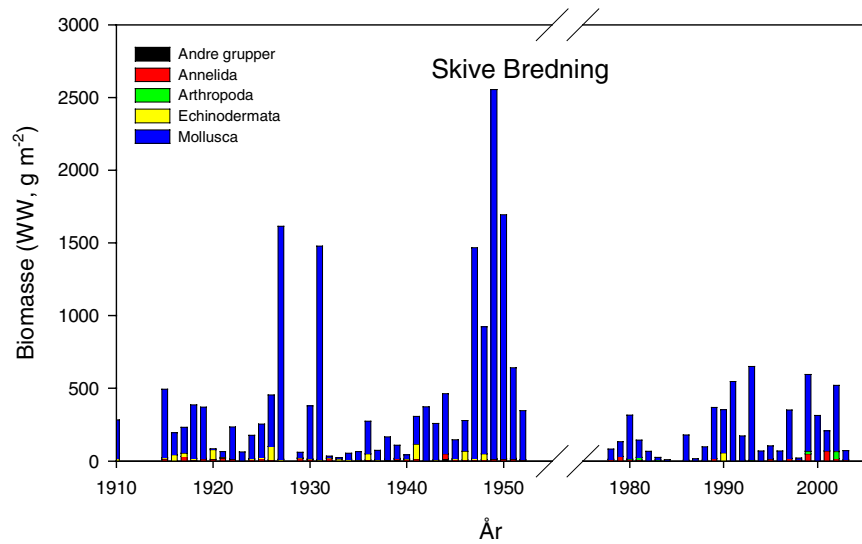
For at biomasserne i alle områder kommer til at vægte lige meget for gennemsnittet, er biomasserne for hvert enkelt område normaliseret, så biomasserne i det enkelte område får et gennemsnit på 0 og en spredning på 1. Gennemsnittet af de normaliserede biomasser for de 10 bredninger er vist i *Figur 3.7*, hvor de lodrette linier angiver spredningen mellem bredningerne i det pågældende år. De normaliserede biomasser viser en stigning i biomassen fra 1910-1952, og at niveauet efter 1978 er i flere år lavere end før 1952, og at især år med høje biomasser er forbundet med stor variation mellem bredningerne.



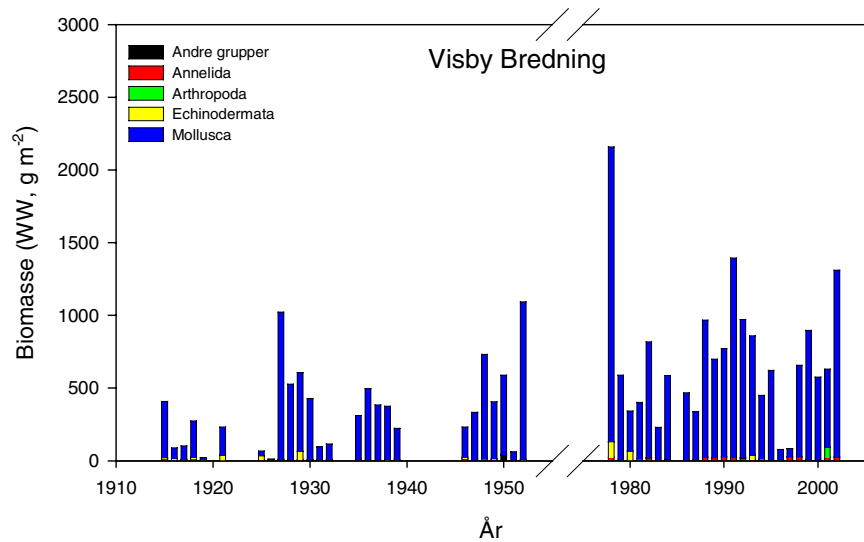
Figur 3.2 Den tidlige udvikling i den benthiske biomasse i Agerø-området, Fur-Risgårde og Kås/Sallingsund/Lavbjerg Bredning. Biomassen er opdelt i grupperne: andre grupper, annelider, arthropoder, echinodermer og mollusker.



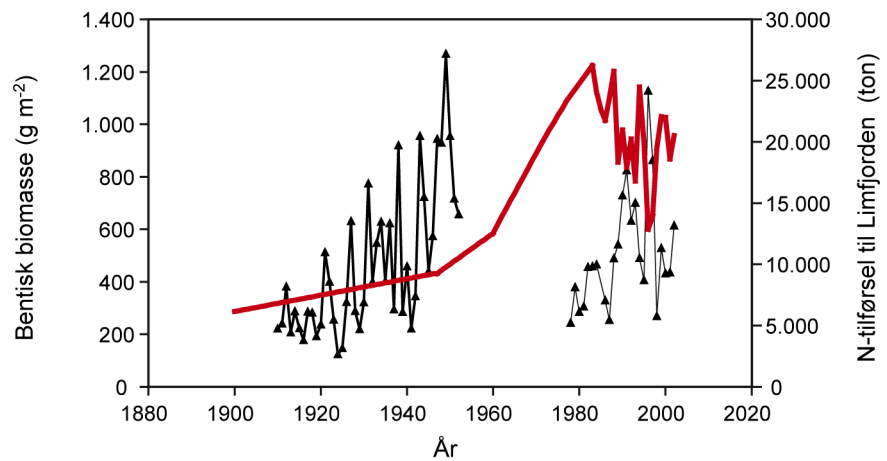
Figur 3.3 Den tidlige udvikling i den benthiske biomasse i Livø-Løgstør, Lovns og Nissum Bredning. Biomassen er opdelt i grupperne: andre grupper, annelider, arthropoder, echinodermer og mollusker.



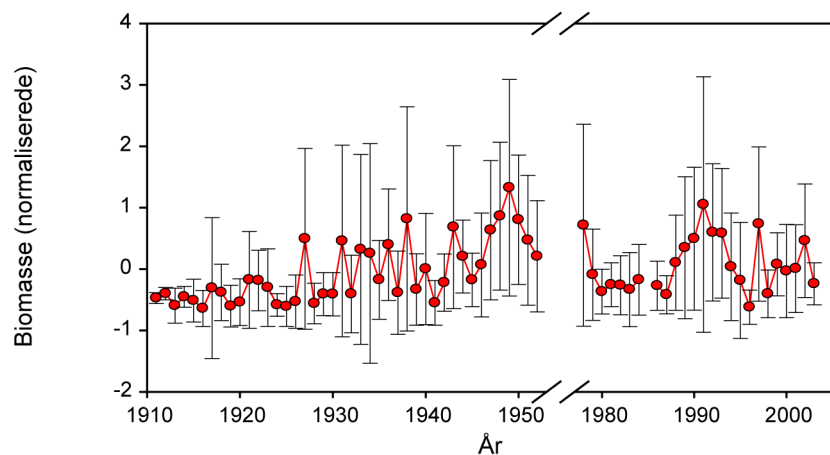
Figur 3.4 Den tidlige udvikling i den benthiske biomasse i Skive Fjord, Thisted Bredning og Venø-området. Biomassen er opdelt i grupperne: andre grupper, annelider, arthropoder, echinodermer og mollusker.



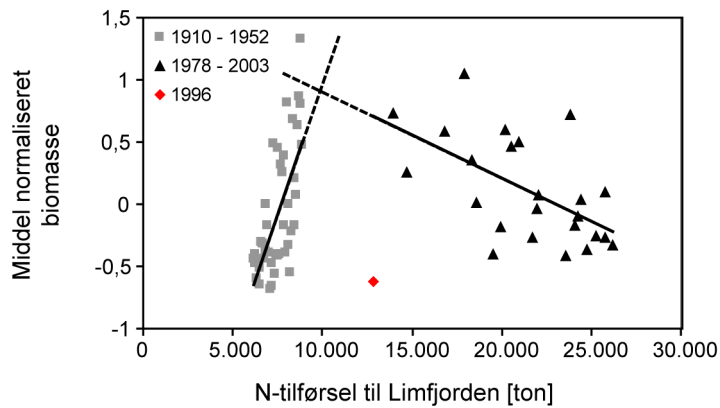
Figur 3.5 Den tidlige udvikling i den bentske biomasse i Visby Bredning. Biomassen er opdelt i grupperne: andre grupper, annelider, arthropoder, echinodermer og mollusker.



Figur 3.6 Den tidlige udvikling i den bentske biomassen (vv, g m^{-2}) og kvælstoftilførslen (ton). Biomassen er et gennemsnit af alle 10 områder.



Figur 3.7 Udviklingen i biomassen i Limfjorden. Data fra alle bredninger og områder er normaliseret til et gennemsnit på 0 og en spredning på 1.



Figur 3.8 Sammenhængen mellem kvælstoftilførslen og den bentiske biomasse. Datamaterialet er opdelt i perioderne 1910-1952 og 1978-2003. Hvert punkt repræsenterer et enkelt år i undersøgelsesperioden.

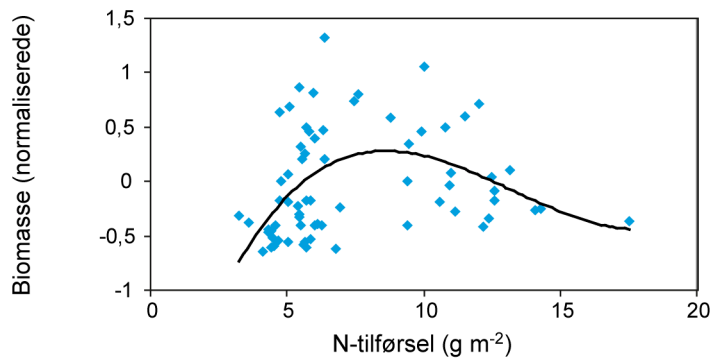
3.2.2 Sammenhængen mellem kvælstoftilførsel og den bentiske biomasse

De årlige middelværdier af normaliseret biomasse er sammenholdt med kvælstoftilførslen i det pågældende år (Figur 3.8). Undersøgelsen af sammenhængen mellem kvælstoftilførslen og den bentiske biomasse er foretaget for 2 forskellige perioder, 1910-52 og 1978-2003. For perioden 1910-1952 var der en signifikant positiv sammenhæng mellem kvælstoftilførslen og den bentiske biomasse. Ændringen i kvælstoftilførslen beskriver 50% af ændringen i biomassen (Tabel 3.1).

For perioden 1978-2003 var forholdene lidt mere komplicerede. Der blev ikke fundet en signifikant sammenhæng mellem årlig kvælstof tilførsel og biomasse når alle år blev medtaget i analysen. Dette skyldes forholdene i et enkelt år, 1996, hvor biomasse var meget lav sam-

Tabel 3.1 r^2 -værdierne for sammenhængene mellem middel normaliseret bentisk biomasse og de fysiske parametre, kvælstoftilførsel, temperatur, salinitet og NAO-indeks. P-værdi angiver signifikans på 95% konfidensniveau.

X	Y	r^2 -værdi	p-værdi	Figur
Kvælstoftilførsel (1910-1952)	bundfaunabiomasse	0,5	10^{-7}	Figur 3.8
Kvælstoftilførsel (1978-2003)	bundfaunabiomasse	0,1	i.s.	Figur 3.8
Kvælstoftilførsel (1978-2003 uden 1996)	bundfaunabiomasse	0,3	$6 \cdot 10^{-3}$	Figur 3.8
Kvælstoftilførsel (hele perioden)	bundfaunabiomasse	0,0	i.s.	Figur 3.9
Temperatur	bundfaunabiomasse	0,3	10^{-5}	Figur 3.11
Temperatur (1910-1952)	bundfaunabiomasse	0,3	$6 \cdot 10^{-4}$	ikke vist
Temperatur (1978-2003)	bundfaunabiomasse	0,3	0,01	ikke vist
Salinitet (Vilsund)	bundfaunabiomasse	0,3	$2 \cdot 10^{-4}$	Figur 3.12
Salinitet (Vilsund 1910-1952)	bundfaunabiomasse	0,3	$9 \cdot 10^{-4}$	ikke vist
Salinitet (Vilsund 1978-2003)	bundfaunabiomasse	0,15	i.s.	ikke vist
Salinitet (Oddesund)	bundfaunabiomasse	0,2	i.s.	Figur 3.12
NAO (vinter)	bundfaunabiomasse	0,0	i.s.	Figur 3.13
NAO (år)	bundfaunabiomasse	0,1	i.s.	Figur 3.13



Figur 3.9 Udviklingen i den bentiske biomasse sammenholdt med den arealspecifikke kvælstoftilførsel til den vestlige Limfjord i hele perioden. Areal = 1.345 km². Ligningen for kurven er: $BM = 0,0018N^3 - 0,0732N^2 + 0,8512N - 2,797$.

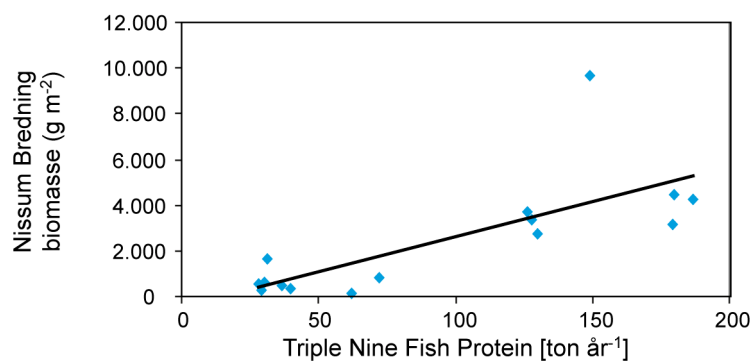
tidig med at kvælstof tilførslen også var meget lav, formentligt som følge af at langvarig lagdeling dette år forårsagede kraftigt iltsvind i fjorden (Jensen et al, 1997). Hvis der ses bort fra forholdene i 1996, findes en signifikant og negativ sammenhæng mellem kvælstof tilførsel og biomasse (Tabel 3.1). Perioden for denne negative sammenhæng falder sammen med den periode hvor der er estimeret de højeste kvælstoftilførsler i Limfjorden inden for de seneste 100 år.

Sammenhængen mellem bundfaunabiomasse og den arealspecifikke kvælstoftilførsel i hele undersøgelsesperioden, er vist i Figur 3.9. Som det fremgår af figuren, er der en stigning i biomassen med stigende Kvælstoftilførsel, indtil tilførslen er omkring 7-8 g m⁻², derefter er biomassen aftagende med en stigende tilførsel.

3.2.3 Sammenhæng mellem bentisk biomasse og kvælstoftilførsel til Nissum Bredning

Som et specialtilfælde er N-tilførslen til Nissum Bredning sammenholdt med udviklingen af biomassen i perioden 1988 til 2002. I denne periode er der sket en kraftig reduktion af N-tilførslen fra fabrikken Triple Nine Fish Protein, der udleder til Nissum Bredning.

Det ses, at der er en tæt kobling mellem fabrikkens udledninger af biologisk let tilgængelige ammoniumforbindelser og den bentiske biomasse i Nissum Bredning, selvom denne fabriks udledninger kun



Figur 3.10 Sammenhæng mellem N-tilførsel fra Triple Nine Fish Protein og bentisk biomasse i Nissum Bredning i 1988-2002 ($r^2 = 0,55$, $p = 0,0001$).

udgør ca. 10% af tilførslen i 1988 (*Figur 3.10*). Udledningerne falder i perioden 1993-1996 og forbliver derefter lave. Det første år i udledningsopgørelserne er 1988, og der kan derfor ikke opstilles en relation, der beskriver udviklingen under stigende tilførsel. Dog kan det konstateres, at biomasserne i Nissum Bredning steg en faktor 5 fra 1987 til 1988 (*Figur 3.3*).

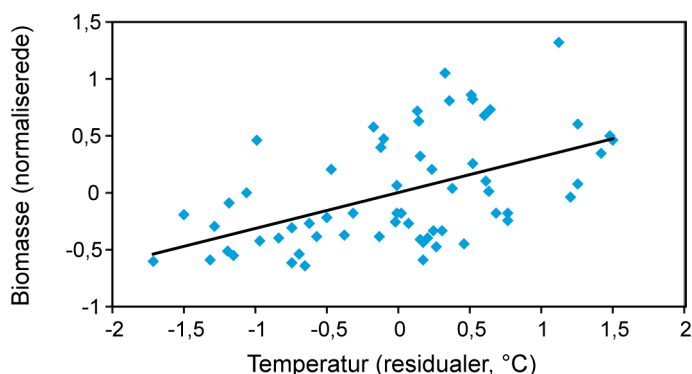
3.2.4 Sammenhængene mellem den bentiske biomasse og temperatur, salinitet og NAO-indeks

Sammenhængen mellem den bentiske biomasse og de fysiske faktorer, temperatur, salinitet og klimaindekset NAO, er ligeledes undersøgt for at se, om disse faktorer er med til at regulere forekomsten af den bentiske biomasse i Limfjorden.

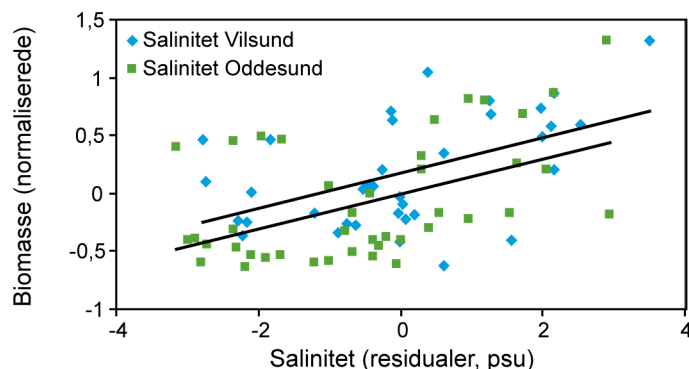
Den bentiske biomasse er, som det fremgår af *Figur 3.11*, stigende med stigende temperaturer, og sammenhængen for hele perioden 1910-2003 er signifikant med en r^2 -værdi på 0,3. (*Tabel 3.1*). Ved inddeling i de to perioder forklarer temperaturen stadig 30% af variationen i biomassen i perioden 1910-1952, mens sammenhængen ikke er signifikant i 1978-2003.

Der er ligeledes en signifikant positiv sammenhæng mellem ændringer i saliniteten og ændringen i den bentiske biomasse (*Figur 3.12*). I 1910-1952 var forklaringsgraden 30%, mens der ikke blev fundet sammenhæng i 1978-2003. Der er ikke fundet nogen sammenhæng mellem klimaindekset NAO og den bentiske biomasse, hverken når biomassen sammenholdes med vinter NAO-indekset, eller for det årlige NAO-indeks (*Figur 3.13*, *Tabel 3.1*).

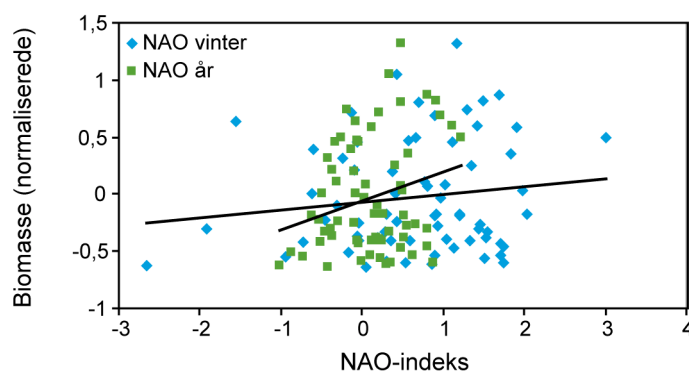
Korrelationen mellem biomasse og temperatur samt biomasse og salinitet i perioden 1910-1952 er formentligt ikke udtryk for en årsags-sammenhæng. Stigningen i temperatur og salinitet udgør en lille andel af den årlige variation, og generelt påvirker små temperatur- eller salinitetsændringer ikke den biologiske omsætning. Desuden er de organismer, der findes i Limfjorden, tilpasset meget varierende salt- og temperaturforhold, og derfor vurderes det, at de årlige variationer i middelsalinitet eller temperatur ikke påvirker biomassen. Desuden følger bundfaunabiomassen ikke variationer i salinitet og temperatur før 1940; sammenhængen med salinitet og temperatur er drevet af samvariation i årene 1941-1952.



Figur 3.11 Sammenhængen mellem temperatur (residualer, °C) og de normaliserede bentiske biomasser.



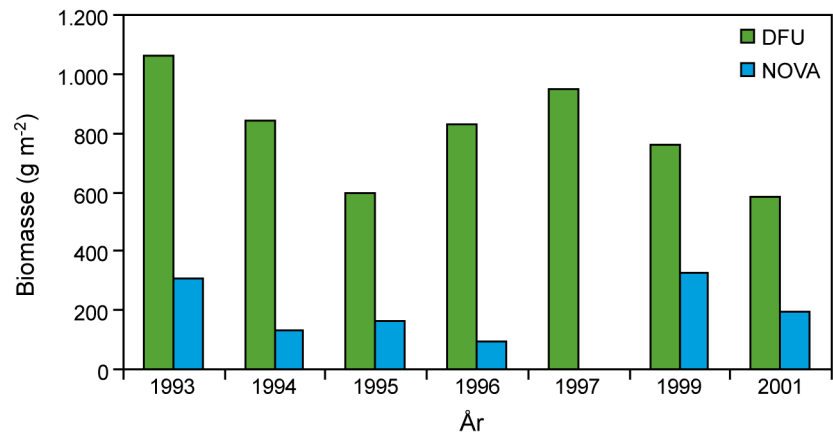
Figur 3.12 Sammenhængen mellem salinitet (Vilsund og Oddesund) og den bentiske biomasse (normaliserede) for Limfjorden. Saliniteten i Oddesund er skalleret i forhold til saliniteten i Vilsund.



Figur 3.13 Sammenhængen mellem NAO-indekset, hhv. vinter- og årsværdier, og den bentiske biomasse (normaliserede).

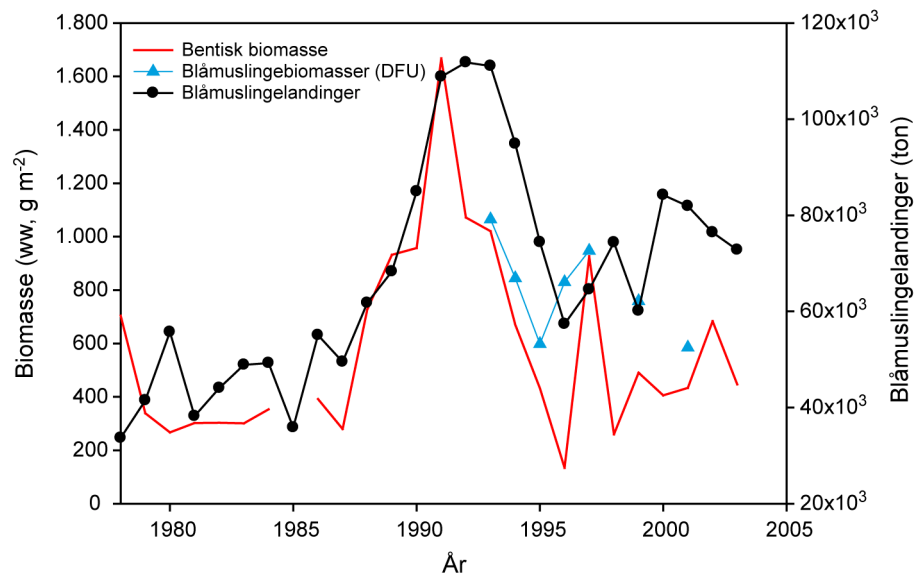
3.2.5 Sammenligning af blåmuslingebiomasser fra den nationale overvågning (NOVA, hapsprøver) og DFU's opgørelser over blåmuslingebiomassen i Limfjorden

Der har, som det kort er beskrevet i materialer og metoder, i perioden fra 1978-1998 været en systematisk fejl i indsamlingen af den bentiske biomasse i Limfjorden under NOVA-programmet. De hapsprøver, som ramte i muslingebanker, blev smidt ud og erstattet med nye prøver. Dette betyder, at blåmuslingebiomassen er underestimeret i denne periode. For at se hvor stor denne underestimering er, kan blåmuslingebiomasserne fra NOVA-programmet sammenlignes med opgørelser af blåmuslingebiomassen foretaget af DFU fra samme periode. Som det fremgår af Figur 3.14, er der en væsentlig forskel på de to opgørelser af blåmuslingeforekomsten. Forekomsten er væsentligt mindre pr m^2 ifølge NOVA, end den er for DFU's opgørelser. NOVA-opgørelserne er kun mellem 11-43% af DFU-opgørelser. På trods af, at den systematiske fejl kun var i perioden 1978-1998, er opgørelserne over blåmuslingebiomassen fra DFU også væsentligt højere end de tilsvarende NOVA-opgørelser i 1999 og 2001. I 1993-1996 udgjorde blåmuslingebiomassen, estimeret i NOVA, således i gennemsnit 21% af den af DFU estimerede biomasse, mens den i perioden 1999-2001 i gennemsnit udgjorde 38%.



Figur 3.14 Sammenligning af opgørelserne af blåmuslingebestanden fra NOVA (haps) og DFU (skrab).

I Figur 3.15 er den totale biomasse af bundfaunaen pr. m² fra NOVA vist sammen med opgørelserne over blåmuslingebiomassen og blåmuslingelandingerne fra DFU. Som det fremgår af figuren, så følger variationerne i den bentiske biomasse (NOVA) variationerne i blåmuslingebiomassen og –fangsten i Limfjorden (DFU), på trods af den systematiske fejl i perioden 1978-2003.



Figur 3.15 Sammenligning af den totale bentiske biomasse (NOVA) med opgørelser af blåmuslingebiomassen (DFU) og blåmuslingelandinger (DFU).

3.2.6 Ændringer i artssammensætningen i Limfjorden gennem de sidste 100 år

Det er ikke kun den samlede bentiske biomasse, som kan afspejle ændringer i et system som Limfjorden. I langt de fleste tilfælde vil der også ske et skift i artssammensætningen af den bentiske fauna, idet arter har forskellig tolerance overfor abiotiske og biotiske faktorer, såsom salinitet, temperatur, ilt- og næringsforhold samt prædations- og fangsttryk. Nedenfor er beskrevet, hvordan biomassen af ni udvalgte arter har ændret sig gennem undersøgelsesperioden. I mange tilfælde forekommer der store variationer i biomasserne af de enkelte arter, men for flere arter er der tale om generelle mønstre i de undersøgte

bredninger. To arter, *Mya truncata* og *Nucula nitidosa*, er helt eller delvis forsvundet fra inden for de seneste 100 år, mens *Mya arenaria* har bredt sig til hele fjorden. De enkelte arters udvikling er vist i Bilag 1. I Figur 3.16 er vist udviklingen af *Mytilus edulis*, *Nucula nitidosa*, *Mya arenaria* og *Mya truncata* i Skive Fjord og Kås/Sallingsund/Lavbjerg Bredning.

***Mytilus edulis* (Alm. blåmusling)**

Mytilus edulis udgør generelt den dominerende andel af den bentiske biomasse i Limfjorden. Der er dog en væsentlig år til år variation i biomassen gennem undersøgelsesperioden. Forekomsten af *Mytilus edulis* var stigende fra 1910-1930, derefter var der et fald i biomassen i starten af 1940'erne. Biomassen tiltog igen mod slutningen af 1940'erne. Biomasserne var generelt lidt lavere for perioden 1978-2003. Der var ikke noget generelt mønster for *Mytilus edulis* for denne periode. I den vestligste del af Limfjorden, Nissum Bredning, forekom *Mytilus edulis* først efter 1945.

***Nucula nitidosa* (Skinnende nøddemusling)**

Nucula nitidosa fandtes kun i Limfjorden frem til 1952. I Nissum Bredning blev der dog fundet mindre forekomster af *Nucula nitidosa* helt frem til midten af 1990'erne. Herefter blev der heller ikke observeret *Nucula nitidosa* i Nissum Bredning. Forekomsten af *Nucula nitidosa* var i hele Limfjorden aftagende gennem undersøgelsesperioden, for til sidst at forsvinde helt.

***Mya arenaria* (Alm. sandmusling)**

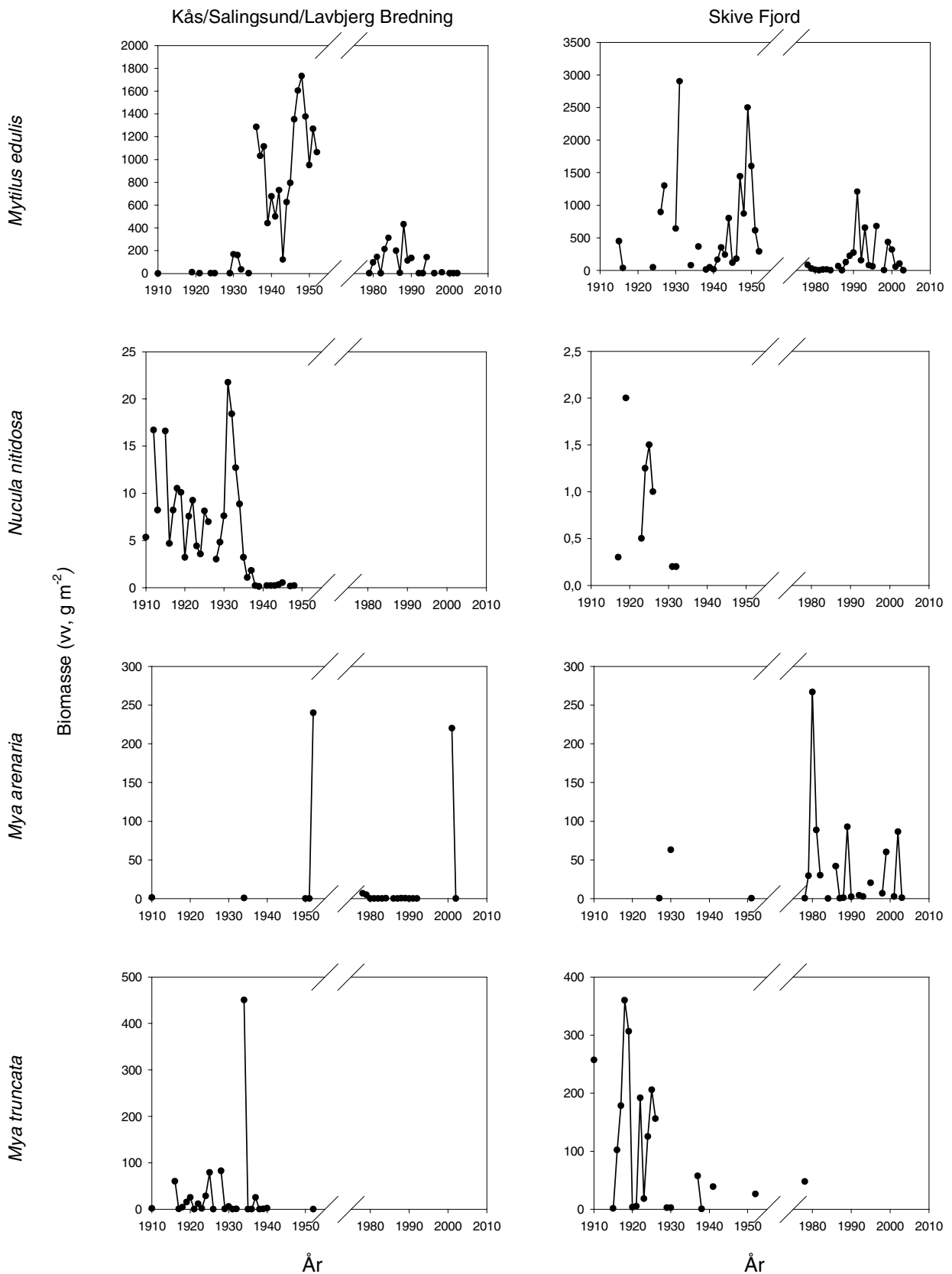
Mya arenaria var hovedsageligt til stede i Limfjorden i perioden 1978-2003. I perioden 1910-1952 blev der kun sjældent observeret forekomster af *Mya arenaria*. En enkelt undtagelse var Lovns Bredning, hvor *Mya arenaria* regelmæssigt blev fundet i perioden 1910-1952. I perioden fra 1978-2003 var *Mya arenaria* mere almindeligt forekommende i Limfjorden. Specielt i perioden fra 1980-1990 var der i flere af de undersøgte bredninger relativt høje forekomster af *Mya arenaria*.

***Mya truncata* (Afstumpet sandmusling)**

Mya truncata var hovedsageligt til stede i Limfjorden i perioden fra 1910-1952. Forekomsten af *Mya truncata* var i flere områder aftagende igennem perioden. I Skive Fjord, Fur-Risgårde, Thisted og Visby Bredning udgjorde *Mya truncata* i perioden omkring 1920 en væsentlig andel af den samlede biomasse. *Mya truncata* blev kun i sjældne tilfælde observeret i Limfjorden i perioden fra 1978-2003.

***Cultellus pellucidus* (Lille knivmusling)**

Forekomsten af *Cultellus pellucidus* var generelt aftagende gennem undersøgelsesperioden og den var mod slutningen af undersøgelsesperioden fraværende i hovedparten af Limfjorden. En undtagelse fra dette mønster var Nissum Bredning, hvor biomassen af *Cultellus pellucidus* har været forholdsvis konstant gennem de seneste 100 år.



Figur 3.16 Eksempler på den tidlige udvikling i biomassen af *Mytilus edulis*, *Nucula nitidosa*, *Mya arenaria* og *Mya truncata* fra henholdsvis Kås/Sallingsund/Lavbjerg Bredning og Skive Fjord.

***Abra* sp. (Pebermusling)**

Der var ikke noget generelt mønster for udbredelsen af *Abra* sp. i Limfjorden. Med undtagelse af Kås/Sallingsund/Lavbjerg og Nissum Bredning, var biomassen dog lavere i perioden 1978-2003, end i perioden fra 1910-1952.

***Pectinaria koreni* (Lige kambørsteorm)**

Pectinaria koreni er en af de eneste annelider, som er artsbestemt gennem hele perioden. Der var ikke nogen generel tendens for forekomsten af *Pectinaria koreni* gennem de sidst 100 år. I flere områder (Kås/Lavbjerg/Sallingsund, Nissum Bredning, Skive Fjord og Venøområdet) var biomassen af *Pectinaria koreni* dog aftagende i undersøgelsesperioden.

***Cerastoderma edule* (Alm. hjertemusling)**

Cerastoderma edule var ikke til stede i hele Limfjorden i hele undersøgelsesperioden. Biomassen af *Cerastoderma edule* var meget varierende både inden for de enkelte områder og områderne imellem. I flere bredninger, bl.a. Kås/Sallingsund/Lavbjerg og Nissum Bredning, udgjorde *Cerastoderma edule* i perioder en væsentligt andel af den årlige bentiske biomasse.

***Corbula gibba* (Hampefrømusling)**

Der var ikke nogen generel tendens i den tidlige udbredelse af *Corbula gibba*. Forekomsten af *Corbula gibba* så ud til at variere i forhold til ændringen inden for de enkelte bredninger og ikke så meget på ændringer, som var generelle for hele Limfjorden.

3.3 Diskussion

3.3.1 Den tidlige udvikling i den bentiske biomasse

Molluskerne udgjorde, som forventet, den dominerende andel af den bentiske biomasse gennem hovedparten af undersøgelsesperioden. Annelider og echinodermer udgjorde dog periodevist en væsentlig andel af den samlede bentiske biomasse i enkelte områder (bl.a. Nissum Bredning og Kås/Sallingsund/Lavbjerg Bredning).

Bundfaunaen viste en generel stigning i biomassen fra 1910-1952 og maksimum omkring 1990. Dette generelle mønster var ikke lige tydeligt i alle områder. Afvigelserne i de enkelte bredninger fra det generelle mønster kan skyldes, at de undersøgte parametre på et givent tidspunkt har varierende indflydelse på bundfaunaen i de enkelte områder. Andre faktorer, såsom iltsvind, prædation m.m., kan ligeledes variere mellem områder og dermed forårsage variationerne i biomassen.

3.3.2 Biomasse og kvælstoftilførsel

Sammenhængen mellem kvælstoftilførslen var signifikant og positiv i årene 1910-1952. I denne periode blev næringssalttilførslen næsten fordoblet, og det vurderes, at stigningen i bundfaunabiomasse er drevet af stigningen i kvælstoftilførsel.

Der blev ikke fundet en signifikant sammenhæng mellem kvælstoftilførsel og bundfaunabiomasse i årene 1978-2003. Imidlertid findes en signifikant og negativ sammenhæng mellem middelbiomasse og kvælstoftilførsel, hvis der ses bort fra forholdene i 1996. Året 1996 falder uden for denne udvikling, fordi biomasserne i dette år er meget lave, samtidig med at kvælstoftilførslen er lav. De lave biomasser i 1996 er formentligt relateret til lave biomasser i 1995 samt forekomsten af iltsvind i sommeren 1996. Vi fortolker den negative relation med kvælstoftilførsel som øget indflydelse af specielt iltsvind under høj næringstilførsel. Iltsvind kan, når klimatiske forhold betinger særlig kraftig lagdeling, også opstå under relativt lave tilførselsforhold. Dette bekræftes af forholdene i 1996, hvor iltsvind formentligt forårsagede de meget lave biomasser, selvom kvælstoftilførslen dette år var lav (*Jensen et al. 1997*).

Den negative respons ved høje næringstilførsler er ligeledes fundet i en tidligere undersøgelse (*Josefson & Rasmussen 2000*). I undersøgelsen så man på, hvordan den bentiske biomasse i 14 estuarier afspejlede den arealspecifikke kvælstoftilførsel. *Josefson & Rasmussen (2000)* fandt, at biomassen af den bentiske fauna, på tværs af de 14 estuarier, var stigende med stigende næringstilførsel indtil en næringstilførsel omkring 90 g m^{-2} . Ved højere næringstilførsler var der en tendens til, at biomassen var aftagende på trods af den øgede næringstilførsel. Denne undersøgelse tyder altså på, at det er muligt at genfinde de af *Josefson & Rasmussen (2000)* fundne tendenser inden for et system som Limfjorden, selv om den arealspecifikke næringstilførsel til Limfjorden er væsentligt lavere end i sammenligningen af 14 forskellige systemer. At der i Limfjorden ser ud til at være negative sammenhænge mellem kvælstoftilførsel og biomasse ved lavere tilførsler, end det fremgår af *Josefson og Rasmussen (2000)*, kan til dels skyldes, at der ikke er taget højde for opholdstiden, og dermed hvor længe næringsstofferne er i systemet. Årsagen til den negative sammenhæng mellem kvælstoftilførsel og biomasse ved høje næringstilførsler kan ikke fastlægges ud fra analyserne foretaget i denne undersøgelse, men øgede forekomster af iltsvind ved høje næringskoncentrationer kan være en sandsynlig forklaring. Hyppigheden og udbredelsen af iltsvind i Limfjorden er dog meget forskellig mellem bredningerne. I nogle områder er iltsvindshændelser hyppige (Skive Fjord og Lovns Bredning), mens andre områder som Kås/Sallingsund/ Lavbjerg og Nissum Bredning sjældent eller aldrig har iltsvind (*Limfjordsovervågningen 2004*).

Der blev fundet en positiv sammenhæng mellem kvælstoftilførsel og bundfaunabiomasse i årene 1988-2003 i Nissum Bredning, hvor der blev fundet en signifikant positiv sammenhæng mellem udledning af kvælstof fra Triple Nine Fish Protein og bundfaunabiomasse i dette område (*Figur 3.10*). I årene 1988-1994, hvor udledningerne fra denne fabrik var størst, var bundfaunabiomasserne i middel en faktor 10 større end i 1998-2003. Denne positive udvikling med øget kvælstoftilførsel i Nissum Bredning er ikke generel for perioden 1978-2003 og skyldes formentligt, at Nissum Bredning ikke er så følsom over for iltsvind som andre områder af Limfjorden, fordi vandskiftet her er større. Denne sammenhæng bekræfter, at der er en relation mellem bundfaunabiomasse og kvælstoftilførsler.

Reduktion af N- og P-tilførsler siden midten af 1980'erne har medført lavere tilførsel og højere bundfaunabiomasse i slutningen af perioden. Ved at ekstrapolere sammenhængen mellem biomasse og tilførsel fra 1978-2002 til det kvælstoftilførselsniveau, der fandtes midt i 1950'erne og tilsvarende ekstrapolere sammenhængen mellem biomasse og tilførsel fra 1910-1952, ses en tålegrænse for bundfauna, der svarer til en N-tilførsel på 10-11.000 tons N år⁻¹ (Figur 3.8). Det skal dog understreges, at der er betydelig usikkerhed omkring det beregnede tilførselsniveau, jf. afsnit 2.4.

3.3.3 Blåmuslingebiomasser og -landinger

Sammenligningen af opgørelserne over blåmuslingebiomassen, foretaget af henholdsvis Limfjordsamterne (NOVA) og DFU, viste, at biomasserne fra NOVA gennemgående var lavere end DFU's opgørelser. En del af forskellen mellem de to estimater må skyldes, at blåmuslingerne i NOVA-undersøgelserne er underestimeret som følge af den systematiske fejl i perioden 1978-1998. Men da der ligeledes er forskelle imellem estimaterne af blåmuslingebiomassen i årene 1999 og 2001, hvor der ikke længere er den systematiske fejl i NOVA-opgørelserne, må en del af forskellen mellem de to estimater ligeledes skyldes forskelle i indsamlingsmetoderne.

Sammenholdes den samlede benthiske biomasse med blåmuslingelandingerne fra den samme periode, viser det sig, at udviklingen i de to parametre varierer nogenlunde ens for perioden 1978-2003. Det er ikke muligt ud fra denne undersøgelse at vurdere, om det er de store blåmuslingelandinger omkring begyndelsen af 1990'erne, der er skyld i nedgangen af bundfaunabiomassen, eller om det omvendt er de lave forekomster af bundfauna, eventuelt som følge af iltsvind, som er skyld i de faldende blåmuslingelandinger.

3.3.4 Artssammensætningen af bundfaunaen

Undersøgelsen af 9 arters tidlige udvikling i Limfjorden gennem de sidste 100 år viser, at der ikke kun sker en ændring i den totale benthiske biomasse, men at der også sker et skift i artssammensætningen. Flere af de udvalgte arter varierede væsentligt i perioden, men for *Mya arenaria*, *Mya truncata* og *Nucula nitidosa* var der tale om en reel ind- eller udvandring af Limfjorden. Således forsvandt *Mya truncata* og *Nucula nitidosa* stort set fra Limfjorden omkring 1950. Ændringen i artssammensætningen kan tolkes som en respons på en øget næringsstofftilførsel, hvor arter som *Mya truncata* og *Nucula nitidosa* ikke kan tolerere høje tilførsler, fx fordi de kræver et veliltet sediment. Dette støttes af at de trives længst tid i Nissum Bredning, hvor iltforholdene generelt er gode. Generelt er Nissum Bredning mindre påvirket af eutrofiering en resten af fjorden pga. vandudskiftning med Nordsøen og en kraftig vindpåvirkning og deraf følgende resuspension. Omvendt synes *Mya arenaria* at blive stimuleret af næringsstofftilførsler. Således er Lovns Bredning, hvor den også var almindelig før 1952, en af de mest påvirkede dele af fjorden, og dens spredning til resten af fjorden sker i en periode hvor hele fjorden bliver kraftigt påvirket af næringsstofftilførsler.

Det er også muligt at tolke udbredelsen ud fra salinitet. I Nissum Bredning, der har den højeste salinitet i Limfjorden, blev der fundet *Nucula nitidosa* helt frem til 1990'erne, derfor er det muligt, at salinitet havde en indflydelse på nedgangen i *Nucula nitidosa*. Forskellene i salinitet er dog ret små mellem de åbne vestlige dele af fjorden, så forklaringer er måske mindre sandsynlig. *Mya truncata* var ligeledes aftagende i perioden 1910-1952 og blev kun i enkelte tilfælde observeret i Limfjorden fra 1978-2003. Forekomsten af *Mya truncata* har i tidligere undersøgelser vist sig at have en nordligere udbredelse, og stigningen i temperaturen i Limfjorden gennem undersøgelsesperioden kan derfor være en mulig forklaring på den kraftige nedgang i *Mya truncata* (Varming 1987 samt referencer heri). I modsætning til *Nucula nitidosa* og *Mya truncata*, var der en introduktion af *Mya arenaria* i hovedparten af bredningerne i perioden 1978-2003. Kun i Lovns Bredning var *Mya arenaria* til stede i store forekomster i perioden 1910-1952. *Mytilus edulis* udgjorde gennemgående den dominerende andel af den bentiske biomasse. Andre arter – specielt *Cerastoderma edule* og *Corbula gibba* – udgjorde dog i perioder en meget stor andel af biomassen. Den tidlige udvikling af *Mytilus edulis* følger således i grove træk udviklingen i den bentiske biomasse. *Mytilus edulis* var ikke til stede i Nissum Bredning før omkring 1950, måske som følge af konkurrence med østers.

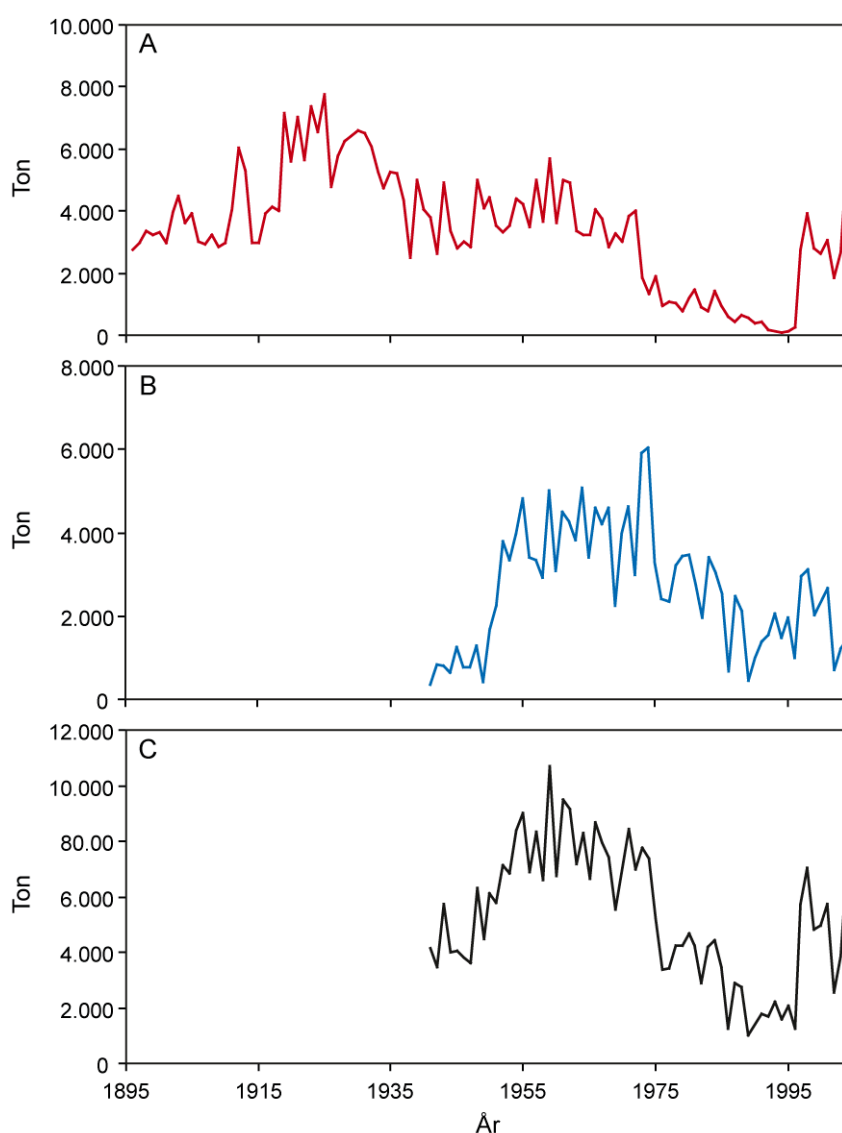
3.4 Konklusion

I årene 1910-1952 stiger bundfaunabiomassen med stigende nærings-tilførsel, mens den falder med stigende tilførsel i årene 1978-2002. I 1910-1952 har stigningen i kvælstoftilførsel betydet, at det marine økosystem i Limfjorden er blevet gødet og dermed mere produktivt. Efter 1978 er de negative konsekvenser af tilførslen af næringsstoffer, som fx øget frekvens af iltsvindshændelser, blevet så store, at bundfaunabiomassen ikke kan opretholdes på det høje niveau, der fandtes omkring 1950. Dette reflekteres også i den ændrede artsammensætning, hvor arter som *Mya truncata* og *Nucula nitidosa* muligvis er forsvundet, fordi de kræver et veliltet sediment. Til trods for reduktioner i næringssalttilførsler på 70% for fosfor og 15% for kvælstof siden midten af 1980'erne, er bundfaunabiomassen endnu ikke på samme niveau som før 1952. De analyser, der er lavet her, viser, at tålegrensen for bundfauna svarer til en kvælstoftilførsel til Limfjorden på det niveau, som fandtes i 1950-1955. Dette niveau er med meget stor usikkerhed estimeret til i størrelsesordenen 10.000 tons pr. år.

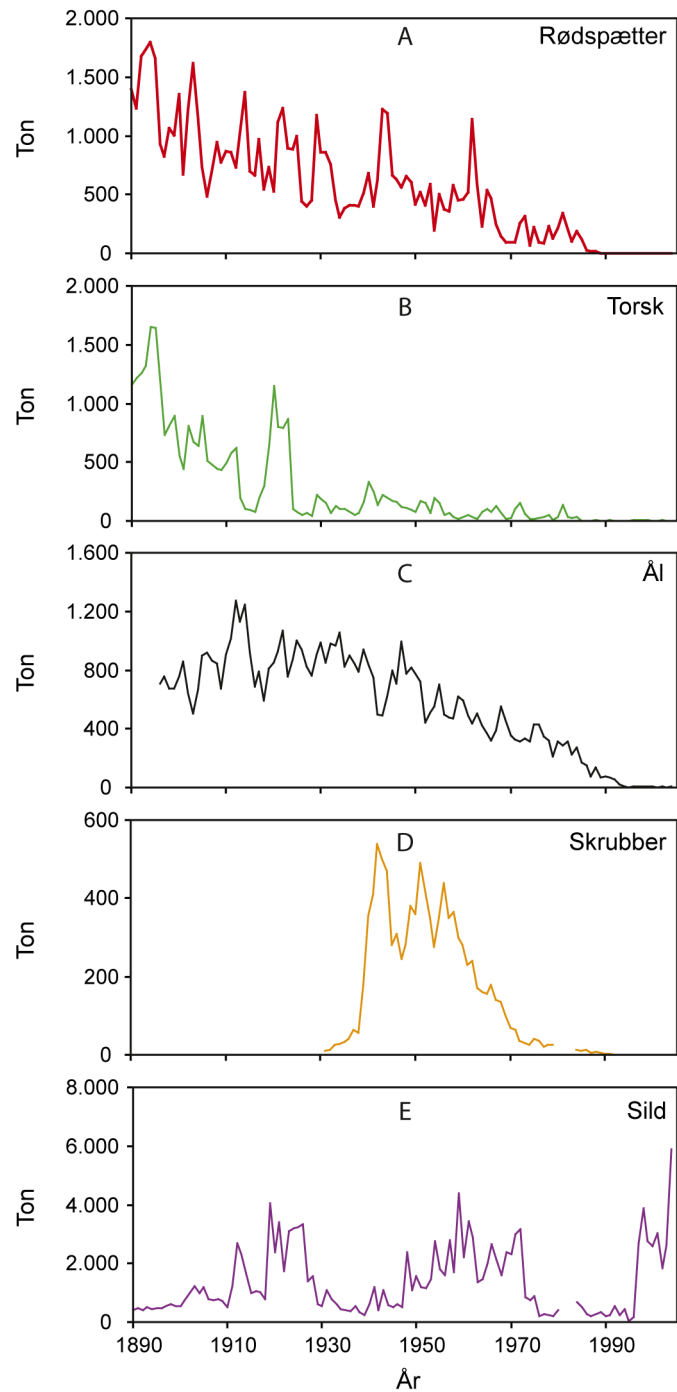
4 Fisk

Formålet med denne analyse er at undersøge og forklare den tidlige udvikling i Limfjordens fiskebestande de sidste 100 år. Datamaterialet anvendt i analysen stammer dels fra fiskerierhvervets fangststatistikker for perioden 1900-2004 (Figur 4.1 og Figur 4.2), dels fra prøvefiskeri udført af Danmarks Fiskeriundersøgelser i perioden 1980-2004 (se afsnittet *Tidsmæssig udvikling i forsøgsfiskeriet – analyser og resultater*).

I de statistiske analyser vil betydningen for Limfjordens fiskebestande af tilførsel med næringssalte og regionale og lokale klimafaktorer indgå, ligesom også betydningen af fiskeriintensitet, prædation og andre faktorer vil blive diskuteret. Desuden vil anvendeligheden af fiskerierhvervets landinger som bestandsestimater blive evalueret.



Figur 4.1 Udviklingen i fiskerierhvervets landinger af konsumfisk (A), industrifisk (B) og totale landinger (C) fra Limfjorden.



Figur 4.2 Udviklingen i fiskerierhvervets landinger af rødspætte, torsk, ål, skrubbe og sild fanget til konsum fra Limfjorden.

4.1 Materialer, metoder og resultater

4.1.1 Tidsmæssig udvikling i erhvervsfiskeriets landinger – analyser og resultater

Udvikling

Erhvervsfiskeriets landinger af henholdsvis konsumfisk, industrifisk samt totale landinger fremgår af Figur 4.1. Landingerne af konsumfisk (Figur 4.1A), fortrinsvis rødspætte, torsk, ål og sild, stiger fra

starten af perioden til midten af 1920'erne. Derefter ses et mindre fald frem til 1940, hvor landingerne igen stiger for at kulminere i 1950'erne. Siden har landingerne generelt været faldende, kraftigst i perioden efter ca. 1970. Stigningen i konsumlandingerne efter 1996 skyldes et genoptaget fiskeri efter sild og er ikke et udtryk for generelt øgede fiskebestande. Industrifiskeriet startede først for alvor i halvtredserne, og landingerne var relativt stabile indtil halvfjerdsere, hvorefter de generelt har været faldende (*Figur 4.1B*). Udviklingen på artsniveau (*Figur 4.2*) følger generelt det samme mønster som totalfangsterne; og faldet i erhvervsfiskeriets landinger er i overensstemmelse med resultater fra forsøgsfiskeriet på rødspætte, skrubbe, ål, ålekvabbe og ulk.

Udviklingen i landingerne af fisk er altså karakteriseret ved et voldsomt fald i starten af 1970'erne, som det fremgår af *Figur 4.1*, samt en yderligere reduktion af især bundlevende arter i starten af 1990'erne, som det ses på *Figur 4.2A, B, C og D* og *Figur 4.5*, som viser udviklingen i forsøgsfiskeriet. Disse to sammenbrud/nedgange i fiskebestandene vil blive analyseret i det følgende.

Det er tidligere fundet, at effekten af kvælstoftilførslen til Limfjorden på landingerne af fisk var positiv i perioden før 1960, mens den var negativ i perioden fra 1961-2003 (*Mouritsen et al. 2005*). Datasættet er derfor analyseret både med en opdeling før/efter 1960 og før/efter 1970, hvor det voldsomste fald i landingerne ses. Resultaterne er de samme bortset fra, at effekten af kvælstoftilførslen ikke er signifikant, hvis man ser isoleret på perioden efter 1970. Da bestandene i en stor del af perioden efter 1970 har været meget lave/forsvundne, er opdelingen før/efter 1960 anvendt.

I analysen af mulige forklaringsfaktorer indgår parametrene kvælstof tilført Limfjorden, overfladetemperatur (temperatur residualer fra Vilsund og Oddeund), salinitet (salinitetsresidualer fra Vilsund og Oddeund og fra Oddeund skaleret til Vilsund) og vinterværdier for indekset for den Nordatlantiske Oscillation (NAO, gennemsnit for perioden december-marts). Effekten af NAO i indeværende år samt NAO henholdsvis 1, 2 og 3 år tidligere er medtaget i analysen. Da vi ikke har nogen parameter, som beskriver fiskeritrykket, indgår dette ikke i analysen, men diskuteres i et selvstændigt afsnit.

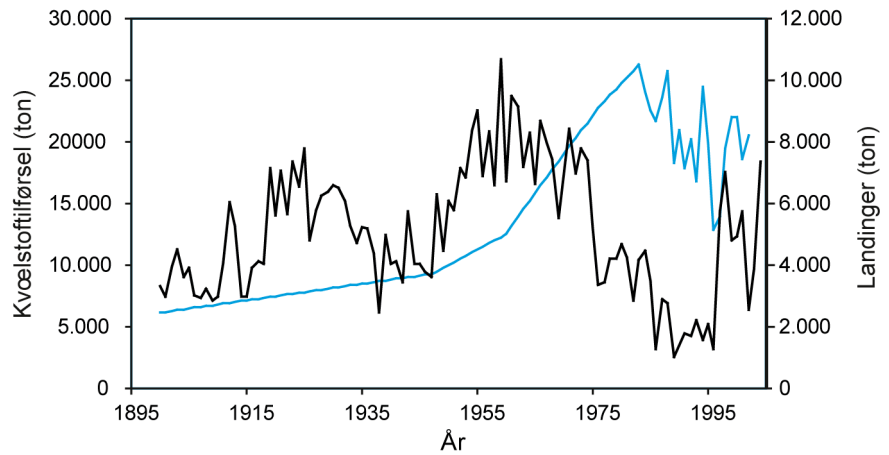
Statistiske analyser er foretaget i statistikprogrammet SPSS.

Perioden før 1960

Tilførsel

Den tidlige udvikling i kvælstoftilførslen i Limfjorden og erhvervsfiskeriet totale landinger fremgår af *Figur 4.4*.

På *Figur 4.3* er sammenhørende værdier af kvælstoftilførslen og erhvervsfiskeriets totale landinger afbildet, og det fremgår, at der i perioden før 1960 er en positiv sammenhæng mellem mængden af kvælstof tilført fjorden og mængden af fisk fanget, mens denne sammenhæng er negativ i perioden efter 1960. Analyseres denne sammenhæng statistisk, findes der således også i perioden før 1960 en signifikant positiv sammenhæng mellem fiskerierhvervets totale landinger og mængden af kvælstof tilført Limfjorden. Se *Tabel 4.1* for in-



Figur 4.4 Tidslig udvikling i kvælstoftilførslen i Limfjorden (blå kurve) og erhvervsfiskeriets totale landinger (sort kurve) i perioden 1900-2002.

formationer om testresultater. Som det ses, kan mængden af kvælstof, der årligt tilførtes Limfjorden i perioden 1900-1960, forklare ca. 40% af variationen i landingerne af fisk.

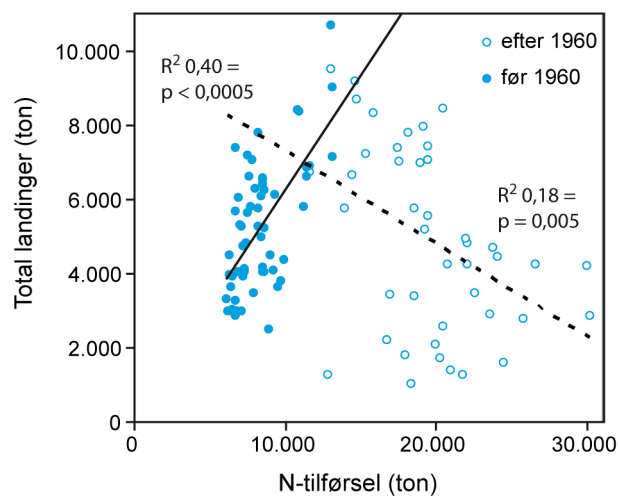
Klimaeffekter

Der er en statistisk signifikant negativ sammenhæng mellem temperatur og landinger af fisk i perioden 1900-1960, mens ingen af parametrene (salinitet og NAO) har signifikant effekt på variationerne i landinger af fisk. Se Tabel 4.1 for informationer om analysemetode og testresultater.

Perioden efter 1960

Tilførsel

Ser man på perioden efter 1960, findes der igen en signifikant effekt af tilførslen af kvælstof men med omvendt fortegn (Figur 4.3), således at sammenhængen mellem tilført kvælstof og fiskelandinger er negativ i perioden fra 1960 og fremefter. Se Tabel 4.1 for informationer om analysemetode og testresultater.



Figur 4.3 Sammenhørende værdier af årlig N-tilførsel og fiskerierhvervets totale landinger af fisk i Limfjorden. Data stammer fra perioderne 1900-1960 (●) og 1961-2003 (○). Den fuldt optrukne linie viser en lineær regression gennem datapunkterne fra perioden 1900-1960, mens den stiplede linie viser en lineær regression gennem datapunkterne fra perioden 1961-2003.

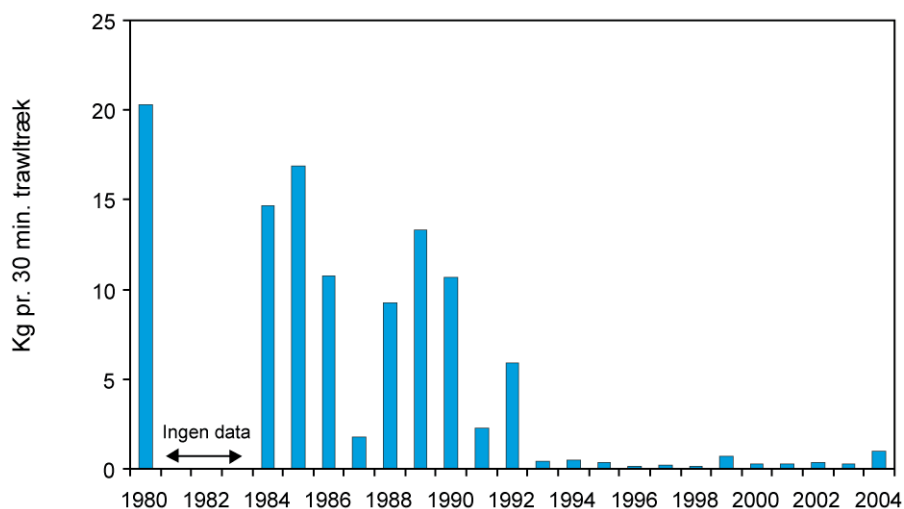
Klimaeffekter

I perioden efter 1960 var der endvidere signifikant negativ effekt på fiskelandingerne af NAO henholdsvis et, to og tre år tidligere. En sammenligning af r^2 i Tabel 4.1 viser, at NAO i tidligere år kan forklare mellem 11% og 18% af variationen i totale landinger, mens kvælstof-tilførslen forklarer 11% i en model med salinitet, temperatur, kvælstoftilførsel og NAO som forklaringsvariable. Hverken overflade-temperatur eller salinitet har statistisk signifikant effekt på landingerne. Se Tabel 4.1 for informationer om analysemetode og testresultater.

4.1.2 Tidsmæssig udvikling i forsøgsfiskeriet – analyser og resultater

Data analyseret i dette afsnit stammer fra forsøgsfiskeri i den vestlige del af Limfjorden udført af Danmarks Fiskeriundersøgelser (Hoffmann 2005). Forsøgsfiskeriet startede i 1980 og er med en afbrydelse i 1981-1984 blevet gennemført årligt i august-september i den vestlige del af Limfjorden på vanddybder mellem 3 og 18 m. Til fiskeriet anvendes indtil 1995 en såkaldt Glyngøre åletrawl, mens der fra 1996 er anvendt en speciel forsøgstrawl, nemlig et TV3 trawl. Forskellen mellem de to trawl består hovedsageligt i, at TV3 trawlen fanger bundfisk med lidt større effektivitet og pelagiske fisk med meget større effektivitet end åletrawlen (Hoffmann 2000). Det er således rimeligt at antage, at den relative nedgang i fiskebestandene observeret i forbindelse med forsøgsfiskeriet i realiteten er endnu større, end udviklingen i fangsterne antyder.

Som det ses af Figur 4.5, er der tale om en forholdsvis kort tidsserie med stor variation. Fangsterne er faldende i størstedelen af perioden, men særligt i starten af 1990'erne ses et voldsomt fald. Der er anvendt data fra fem udvalgte, tidligere meget almindelige, bundlevende arter: rødspætte, skrubbe, ål, ålekvabbe og ulk. De pelagiske arter er ikke medtaget, fordi forsøgsfiskeriets fangst af dem er sporadisk af metode-relaterede årsager.



Figur 4.5 Total fangst af rødspætte, skrubbe, ålekvabbe, ål og ulk ved Danmarks Fiskeriundersøgelser forsøgsfiskeri i den vestlige Limfjord.

Tabel 4.1 Resultater af statistiske tests af sammenhænge mellem responsvariablene: erhvervsfiskeriets landinger og data fra prøvfiskeriet og de forklarende variable: N-tilførsel, salinitet, temperatur og den Nordatlantiske Oscillation. Periode angiver den periode, testen dækker, N angiver antallet af observationer, r^2 fortæller, hvor stærk sammenhængen mellem de analyserede parametre er, og p angiver, om den forklarende variabel har signifikant effekt på udviklingen i responsvariablen. * angiver statistisk signifikante sammenhænge.

Respons variabel	Forklarende variable	Periode	Metode	N	r^2	p-værdi
Erhvervsfiskeriets totale landinger	Kvælstof	Før 1960	Multipel regression	61	0,44*	< 0,0005
	Salinitet		Model adjusted $r^2 =$		0,004	0,67
	Temperatur		0,42		0,10*	0,02
	NAO		0,05		0,09	
	NAO _{t-1}		0,004		0,65	
	NAO _{t-2}		0,0001		0,93	
	NAO _{t-3}		0,02		0,30	
Erhvervsfiskeriets totale landinger	Kvælstof	Efter 1960	Multipel regression	42	0,11*	0,04
	Salinitet		Model adjusted $r^2 =$		0,01	0,56
	Temperatur		0,58		0,0001	0,95
	NAO		0,01		0,48	
	NAO _{t-1}		0,11*		0,05	
	NAO _{t-2}		0,18*		0,009	
	NAO _{t-3}		0,18*		0,009	
Prøvfiskeri Fangst af udvalgte bundlevende arter	Kvælstof	1980, 1984 - 2004	Multipel regression	21	4,9*10 ⁻⁵	0,89
	Salinitet		Model adjusted $r^2 =$		0,03	0,93
	Temperatur		0,023		0,21	0,71
	Iltsvind		0,02		0,72	
	NAO		0,15		0,61	
	NAO _{t-1}		0,04		0,99	
	NAO _{t-2}		0,004		0,86	
	NAO _{t-3}		0,06		0,69	

Analyseres effekten af kvælstof, overfladetemperatur, salinitet, areal ramt af iltsvind og NAO på forsøgsfiskeriet i lighed med analysen af erhvervsfiskeriets landinger, ses ingen signifikant effekt af disse parametre på udviklingen i forsøgsfiskeriets fangster; se *Tabel 4.1*.

En analyse af datasættet før/efter 1992 bidrager ikke til at forklare det voldsomme fald omkring dette tidspunkt. En mulig forklaring er dog, at NAO-indekset i 1990'erne var mere positivt end på noget andet tidspunkt i perioden.

4.1.3 Nye/forsvundne arter

Både erhvervsfiskeriets fangststatistikker og DFU's forsøgsfiskeri viser altså en generel tilbagegang i såvel mængde som udbredelse af de fleste fiskearter registreret i Limfjorden.

Arter i tilbagegang indbefatter tidligere almindelige bundlevende arter som rødspætte, skrubbe, torsk, ulk og stenbider, mens ål og ålekvaabbe næsten er forsvundne fra fjorden.

Der er dog også arter, som fanges i stigende antal, nemlig de pelagiske arter sild og brisling og også hestemakrel og ansjoser, som tidligere var meget sjældne i fjorden, udgør en stigende del af fangsterne ved prøvfiskeriet (Hoffmann 2005; Flintegård et al. 1982). Hestemakrel og ansjoser er arter, som typisk kræver højere vandtemperaturer, og forekomsten af disse kan med al sandsynlighed forklares med den generelle temperaturbestemte forskubning mod nord af sydlige arters udbredelsesområde. Som et andet sandsynligt eksempel på en temperaturmedieret ændring af Limfjordens økosystem kan nævnes en stigende forekomst af østers (Hoffmann 2005).

Betydningen af klimatiske variationer for udviklingen i fiskebestandene i Limfjorden vil blive nærmere behandlet i det følgende.

I en analyse af årsagerne til arters bestandssvingninger må man skelne mellem vandrefisk og standfisk.

Vandrefisk

Vandrefiskene i Limfjorden omfatter bl.a. rødspætte, torsk, stenbider, ål og til dels sild. For disse arter gælder det, at bestandsstørrelserne i Limfjorden i første omgang vil være bestemt af antallet af indvandrede fisk og dermed rekrutteringssucces/overlevelse/transport på og fra gydepladserne. For arter som rødspætte, torsk og ål, der lever en længere periode i Limfjorden, vil lokale miljøfaktorer i fjorden, såsom udbredelse af iltsvind, naturligvis også have betydning for overlevelsen af de fisk, som indvandrer. Fiskeri på disse arter i Limfjorden er derimod uden betydning for rekrutteringen og dermed for den langsigtede bestandsudvikling.

Rødspætte

Rødspætte har tidligere været en meget almindelig art i Limfjorden, dog med store årlige variationer. Erhvervsfiskeriets landinger af rødspætte har været faldende i det meste af perioden (Figur 4.2A), og efter 1992 har såvel erhvervsfiskeriets som forsøgsfiskeriets fangster af rødspætte været meget begrænsede (Hoffmann 2000). Dog er der sket en svag stigning i forsøgsfiskeriets fangst af rødspætte samt andre bundlevende arter (skrubbe, ål, ålekvaabbe og ulk) i 2004, hvilket kan tolkes som en mulig miljøforbedring i fjorden de seneste år (Hoffmann 2005). Rødspætter tilføres, som nævnt, Limfjorden som juvenile fra Nordsøen, hvor arten ifølge ICES er overfisket (ICES 2004). Det er således sandsynligt, at reduktionen i rødspættebestanden skyldes såvel manglende rekruttering som lokale forhold i Limfjorden.

Torsk

Torsk har tidligere været en vigtig art for erhvervsfiskeriet, men fanges i dag kun i mindre mængder (Figur 4.2B). Landingerne lå i starten af perioden 1900-2004 på 500-1.000 tons/år, mens de i 1990'erne lå på 3-11 tons/år og i de seneste år er der landet 2-5 tons/år. Landingerne af torsk varierer således meget fra år til år. I den periode forsøgsfiskeriet har fundet sted (1981-2004), er torsk kun sjældent fanget i den

vestlige del af Limfjorden, hvor forsøgsfiskeriet foregår (Hoffmann 2000 og 2005).

Ål

Ålen er gået kraftigt tilbage i perioden 1900-2004 i såvel Limfjorden (Figur 4.2C), som i europæiske farvande i øvrigt (Hoffmann 2005). Det er derfor vanskeligt at afgøre, hvorvidt bestandsnedgangen overvejende skyldes manglende rekruttering, eller om lokale/regionale miljø- og klimafaktorer også har haft afgørende betydning.

Sild

Fangsterne af sild har varieret meget i perioden 1900-2004 (Figur 4.2E). Denne variation skyldes, i hvert fald delvist, at sild i perioder har været fanget til konsumbrug og i andre til industribrug (hvor vi ikke har artsspecifikke opgørelser). Den voldsomme stigning i de seneste år skyldes alene et nystartet fiskeri efter sild, og menes således ikke nødvendigvis at være udtryk for en stigning i forekomsten af sild. Dog vurderes sildebestandene at være vokset i de seneste år (Hoffmann 2000 og 2005). Sild fanges kun sporadisk i forbindelse med forsøgsfiskeriet, og skiftet i redskab i 1996 har haft stor betydning for fangsteffektiviteten, hvorfor resultater fra dette fiskeri ikke er umiddelbart anvendelige i en vurdering af udviklingen i sildebestanden.

Standfisk

For standfisk, der lever hele deres liv inde i fjorden, såsom brisling, skrubbe, ulk og ålekvabbe, er bestandene i høj grad påvirket af såvel lokale miljøfaktorer som regionalt klima og fiskeritryk (Flintegård *et al.* 1982). Betydningen af fiskeri, klima og lokale miljøfaktorer for udviklingen i fjordens fiskebestande vil blive diskuteret i senere afsnit.

Brisling

Brisling har i lighed med sild i perioder været fanget til konsumbrug og i andre til industribrug, hvilket vanskeliggør en vurdering af den tidlige udvikling. Ser man på data fra forsøgsfiskeriet, er mængden af brislinger, der fanges, dog øget fra 1996 (hvorfra en trawl, som mere effektivitet fanger de pelagiske arter, er blevet anvendt) og denne stigning er fortsat siden, hvilket indikerer en faktisk stigning i forekomsten af denne art (Hoffmann 2000 og 2005).

Skrubbe

Erhvervsfiskeriets landinger af skrubbe (Figur 4.2D) har været voldsomt faldende i perioden fra ca. 1960 og fremefter og arten fanges i dag kun i meget begrænsede mængder (Flintegård *et al.* 1982; Hoffmann 2005). Skrubbe fanges kun sporadisk i forbindelse med forsøgsfiskeriet, da den opholder sig på lavere vand i den periode fiskeriet foregår, så data herfra kan ikke inddrages i en vurdering af skrubbebestanden.

Ulk

Ulken har tidligere været en meget almindelig fisk i Limfjorden, men i løbet af 1980'erne reduceredes bestanden kraftigt, og i dag fanges kun få eksemplarer i forbindelse med forsøgsfiskeriet (Hoffmann 2005).

Ålekvabbe

Ålekvabben har tidligere været en af de mest almindelige arter i Limfjorden, men i dag er de kommercielle fangster af denne art ophørt, ligesom forsøgsfiskeriet viser en voldsom tilbagegang (*Hoffmann 2005*).

4.2 Diskussion og konklusion

Resultaterne af analyserne af såvel erhvervsfiskeriets fangststatistikker som forsøgsfiskeriet viser en tilbagegang for størstedelen af Limfjordens fiskearter. Tilbagegangen ses hos såvel standfisk som vandrefisk, men er betydelig mere udtalt hos bundlevende arter end hos pelagiske arter, der endog i flere tilfælde synes at være steget i antal. Årsagerne til bestandsudviklingerne kan være mange, som analyserne ovenfor indikerer, og i det følgende vil vi diskutere resultaterne af de statistiske analyser og behandle andre mulige forklaringer, som ikke har kunnet testes pga. manglende data. Først vil vi dog diskutere anvendeligheden af fiskerierhvervets landinger som bestandsestimater.

4.2.1 Anvendelighed af data

Erhvervsfiskeriets landinger

I fiskerierhvervets fangststatistik angives landingerne fordelt på konsumfangst og industrifangst. I modsætning til industrilandingerne, er konsumlandingerne opdelt på arter.

I disse analyser anvendes landingerne af fisk direkte som bestandsestimater, idet udviklingen i landinger fortolkes som et udtryk for bestandsudviklingen. Denne antagelse kan, som nedenstående gennemgang vil vise, være problematisk af flere årsager. Fangststatistikkerne er dog det bedste overordnede udtryk for bestandsudviklingen gennem de seneste godt hundrede år, vi har til rådighed. Desuden er resultaterne af forsøgsfiskeriet, der giver et mere reelt billede af bestandsstørrelserne, i fuld overensstemmelse med udviklingen i fiskerierhvervets landinger.

Den første årsag til, at det kan være problematisk at anvende variation i landinger som udtryk for bestandsudviklinger, er, at en sådan sammenhæng forudsætter, at landingerne udgør en konstant procentdel af den samlede bestand. Dette kan ikke nødvendigvis antages for samtlige arter i hele perioden, da fangsten af en given art må forventes bl.a. at afhænge af udbredelse, fredninger og naturligvis salgspriser.

Fangsten afhænger naturligvis også af indsatsen, men da der er sket en voldsom udvikling dels i fiskeriteknologi (resulterende i højere effektivitet), dels i antallet af registrerede erhvervsfiskere (faldende antal fiskere) i Limfjorden i perioden, er det vanskeligt at afgøre, hvorvidt fiskeritrykket har været konstant gennem hele perioden.

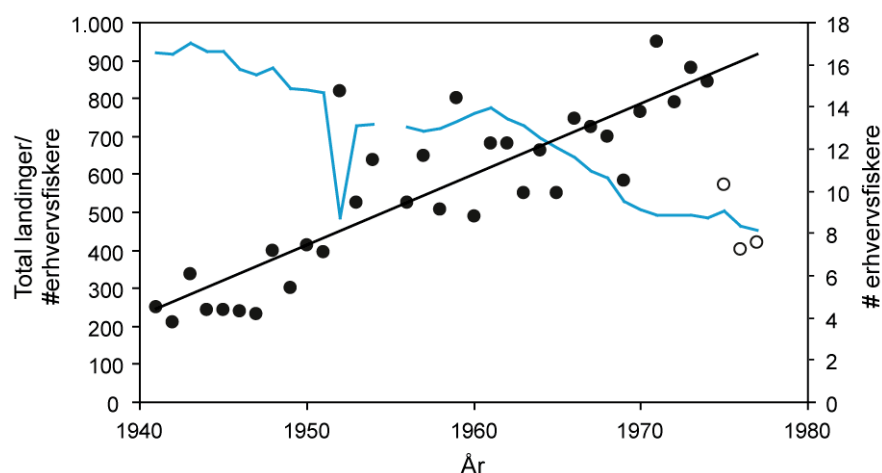
Effektiviteten i fiskeriet, beregnet som den totale landing delt med antallet af registrerede erhvervsfiskere (Figur 4.6), var relativt konstant indtil ca. 1950, hvorefter den steg voldsomt forårsaget af et mere industrielt fiskeri med større kuttere, kraftigere motorer, ny teknologi og anvendelse af nylonnet (Østergaard 2001). Trods henvendelser til Danmarks Fiskeriundersøgelser og Fiskeridirektoratet har det desværre ikke været muligt at fremskaffe data over antallet af registrerede fiskere efter 1977, men det vides, at der i dag kun er ganske få registrerede erhvervsfiskere tilbage, der ernærer sig ved fiskefangst i Limfjorden. Effektivitetsændringerne i perioden vanskeliggør anvendelse af antallet af fiskere som udtryk for fiskeriintensiteten.

Der er dog ikke umiddelbart grund til at antage at 'effekten af fiskeriintensiteten', opgjort som den relative andel af en fiskebestand der fjernes ved fiskeri, har været faldende i perioden, da Limfjorden er 'nært og bekvemt' farvand at fiske i – ikke mindst for mindre fartøjer, der også i større omfang kan tilpasse sig ændringer i artssammensætning af fiskebestandene. Det er derfor rimeligt at tro, at den observerede nedgang i landingerne afspejler faktiske bestandsnedgange, hvilket understøttes af resultaterne fra forsøgsfiskeriet.

Kvantitativt betydningsfulde arter som sild og brisling udgør et specielt problem i fangststatistikkerne, da de i perioder er blevet fanget til konsum- og i andre til industribrug og derfor ikke er registreret på samme måde i hele perioden.

For at imødegå de nævnte problemer med at anvende landinger som udtryk for bestandsudviklinger, er alle analyser lavet på størst mulige dele af datamaterialet. Ved anvendelse af fx total fangst dæmpes betydningen af fluktuationer i fiskeritryk på enkelte arter.

Det vurderes derfor, at analyserne på fiskerierhvervets totale landinger af fisk i Limfjorden er anvendelige i en diskussion af udviklingen i fiskeforekomster i Limfjorden.



Figur 4.6 Fiskeriet effektivitet beregnet som totale landinger af fisk/antallet af registrerede erhvervsfiskere i Limfjorden (•), en statistisk signifikant lineær regression ($r^2 = 0,75$, $p < 0,0001$) mellem disse punkter (sort linie) samt antallet af registrerede erhvervsfiskere (blå kurve).

4.2.2 Diskussion af årsager til udviklingen

Tilførsel af næringsalte

Som man har set det i andre havområder, kan stigende næringsalttilførsler i første omgang resultere i en stigende primærproduktion fulgt af en generel stigning i områdets sekundærproduktion (fx *Nielsen & Richardson 1996; Tatara 1991*), og denne analyse tyder på, at dette også har været tilfældet i Limfjorden.

Analysen af sammenhængen mellem tilførslen af kvælstof til Limfjorden og erhvervsfiskeriets landinger indikerer, at den stigende eutrofiering i første omgang har 'gødet' systemet. Tilførslen af kvælstof til Limfjorden har således haft en stærk positiv effekt på størrelsen af landingerne i perioden 1900-1960, idet næsten 44% af variationen i landingerne kan forklares med ændringer i kvælstoftilførslen (*Tabel 4.1*). Analysen af sammenhængen efter 1960 viser en negativ sammenhæng mellem kvælstof og fiskelandinger, hvilket antyder, at sammenhængen bliver negativ, når kvælstoftilførslen når et kritisk højt niveau. En sandsynlig årsag til dette er, at en forøget primærproduktion, udover at muliggøre en større produktion på højere trofiske niveauer, forårsager en større sedimentation af organisk materiale til bunden, hvor det omsættes under forbrug af ilt. Herved øges risikoen for iltsvind ved bunden, og det ses da også, at det procentvise areal i Limfjorden, som årligt rammes af iltsvind, har været stigende i perioden 1973-2004 (*Mouritsen et al. 2005*). Under iltsvind stresses fiskene, som enten dør eller flygter fra de ramte områder og ind på lavere vand, hvor iltforholdene generelt er bedre (*Jørgensen 1980; Christensen et al. 2004*). Lavtvandsundersøgelser viser også, at arter, som før blev fanget på dybere vand (fx ålekvabbe og ulk), nu overvejende fanges på meget lavt vand. Denne forklaringsmodel støttes af, at det hovedsageligt er bundfiskene, der er forsvundet fra fjorden, idet de naturligvis er langt mere sårbare overfor fx iltsvindshændelser end de pelagiske arter.

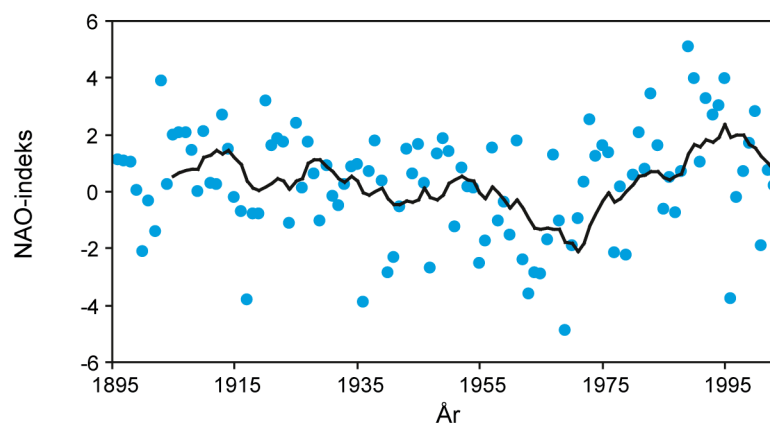
I analysen af forsøgsfiskeriet findes ikke statistisk signifikante effekter af kvælstoftilførslen på fangsterne, men da forsøgsfiskeriet kun har eksisteret i en periode efter det mest markante fald i fiskeforekomsterne fandt sted i starten af 1970'erne, og samtidig med at tilførslen af kvælstof langsomt begyndte at falde, er dette ikke i modstrid med ovenfor beskrevne sammenhænge.

Klima

Af de klimatiske parametre fandtes klimaindekset, den Nordatlantiske Oscillation (*Figur 4.7*), at have større betydning end mere lokale parametre som overfladetemperatur, hvilket er i overensstemmelse med andre undersøgelser af fiskebestande i estuarier (*Atrill & Power 2002*). I perioden før 1960, hvor bestandene var store, havde NAO ingen signifikant effekt, mens NAO (i årene forud for fangsttidspunktet, dvs. de år hvor de fangne fisk var juvenile) havde stor betydning i perioden efter 1960.

Disse resultater er i overensstemmelse med andre undersøgelser, som har vist, at effekten af klimatiske variationer – som fx NAO – er størst for meget små bestande (*Brander 2005*), hvilket forklarer, at vi finder

en effekt af NAO i den senere periode, hvor bestandene har været faldende/meget små. En anden sandsynlig årsag til den negative effekt af NAO i den senere periode er, at NAO siden midten af 1970'erne hovedsageligt har været i en positiv fase, som det ses på *Figur 4.7*, hvilket har en negativ effekt på rekrutteringssuccesen hos rødspætte og torsk i Nordsøen (*Brander & Mohn 2004; Wegner et al. 2003*). De nævnte undersøgelser konkluderer, at den negative effekt af et højt NAO-indeks på rekrutteringssucces hos rødspætte og torsk i Nordsøen sandsynligvis er forårsaget af temperaturstigninger. Det er dog umuligt på nærværende grundlag at udtale sig om, hvorvidt det er de samme årsagssammenhænge mellem NAO-indeks og bestandsstørrelser, der gør sig gældende for Limfjordens bestande af standfisk og andre arter end rødspætte og torsk, og det er derfor vanskeligt at forudsige mulige effekter af fremtidige klimaforandringer.



Figur 4.7 Den Nordatlantiske Oscillation (•) (vintergennemsnit: december-marts) samt bevægeligt gennemsnit af 10 år (sort kurve).

Fiskeri

Antallet af erhvervsfolkere har, som tidligere nævnt, været stærkt faldende gennem perioden. Effektiviteten har dog samtidig været stærkt stigende, hvorfor fiskeritrykket vurderes at have været relativt højt i hele perioden. Overfiskning som forklaring på de drastiske fald i mange af fjordens fiskebestande er dog kun relevant for Limfjordens standfisk, da reproduktionssuccesen for vandrefiskene ikke påvirkes af fiskeri i Limfjorden. Det er endvidere ikke sandsynligt, at fiskeri vil føre til, at arter helt forsvinder fra et område, da det typisk vil være urentabelt at fiske på en meget lille bestand, hvorfor fiskeritrykket vil aftage i takt med, at arten forsvinder (*Flintegård et al. 1982*). Lokal overfiskning vurderes altså ikke at være hovedårsagen til det generelle fald i fiskebestandene i Limfjorden, og at tidligere almindelige fisk i dag kun fanges meget sporadisk (*Hoffmann 2005*). For arterne rødspætte og torsk, der migrerer fra Nordsøen ind i Limfjorden som juvenile, er det indlysende, at bestandene i Limfjorden vil være stærkt påvirket af moderbestandene i Nordsøen. Sammenligner man landingerne af rødspætte og torsk i hhv. Nordsøen (data fra ICES) og Limfjorden, er disse da også statistisk signifikant korrelerede ($r_s = 0,73$; $p < 0,0005$). Bestandene af rødspætte og torsk er, ifølge ICES, i dag overfiskede i Nordsøen, hvilket forklarer i hvert fald en del af det drastiske fald i forekomsten af disse arter i Limfjorden (*ICES 2004*). Tilføres Limfjorden få juvenile individer, er der selvfølgelig færre fisk

at fange, men omvendt er opvækstbetingelserne inde i Limfjorden afgørende for, at de juvenile fisk, der tilføres fjorden, kan overleve.

Prædation

Prædation fra rovfisk vurderes ikke at have haft større og/eller varig betydning for Limfjordens fiskebestande (*Hoffmann 2000*), mens prædation fra skarver og sæler ofte får skylden for reduktioner i fiskebestande i danske farvande.

Sælbestanden i Limfjorden er vokset betydeligt siden sælerne blev fredet i 1977, og sælernes prædation vurderes i dag af Danmarks Fiskeriundersøgelser at kunne have betydning for de i forvejen små bestande af arter som rødspætte og ålekvabbe (*Hoffmann 2000*).

Skarvbestanden i Limfjorden har været stigende siden midten af 1980'erne (*Hoffmann 2000*), men da den største nedgang i forekomsten af fisk i Limfjorden skete en dekade tidligere, kan denne ikke forklares med prædation fra skarver. I starten af 1990'erne, hvor den anden voldsomme reduktion i fiskebestandene blev observeret, var bestanden af skarver 20% af, hvad den var sidst i 1990'erne, så det vurderes her, at skarverne heller ikke har haft afgørende betydning for dette fald. Det kan dog ikke udelukkes, at skarver har betydning i forhold til at fastholde nogle fiskebestande (sortkutling, ålekvabbe, ulk, skrubbe og rødspætte) på et lavt niveau.

Strandkrabben menes, at være blevet meget mere almindelig i Limfjorden i de seneste årtier, og prædation af strandkrabbe på fiskeæg og juvenile fisk vurderes at kunne have betydning for eksempelvis fladfisk og ålekvabbe (*Hoffmann 2005*). Der er desværre ingen data, der kan be- eller afkræfte denne antagelse.

Andre årsager

Af andre årsager kan, som tidligere beskrevet, nævnes bestandsnedgange i de områder, hvorfra vandrefisk i Limfjorden rekrutteres, såsom Nordsøen. Derudover kan kystsikring ved kystfodring langs Agger og Harboøre tanger have haft en negativ effekt på passageforholdene samt overlevelsen for fisk, der vandrer ind i Limfjorden af denne vej (*Hoffmann 2000*). Det er desuden vist, at kystfodring reducerer fødegrundlaget for rødspætter ved Agger Tange (*Støttrup et al. 2005*).

4.2.3 Konklusion

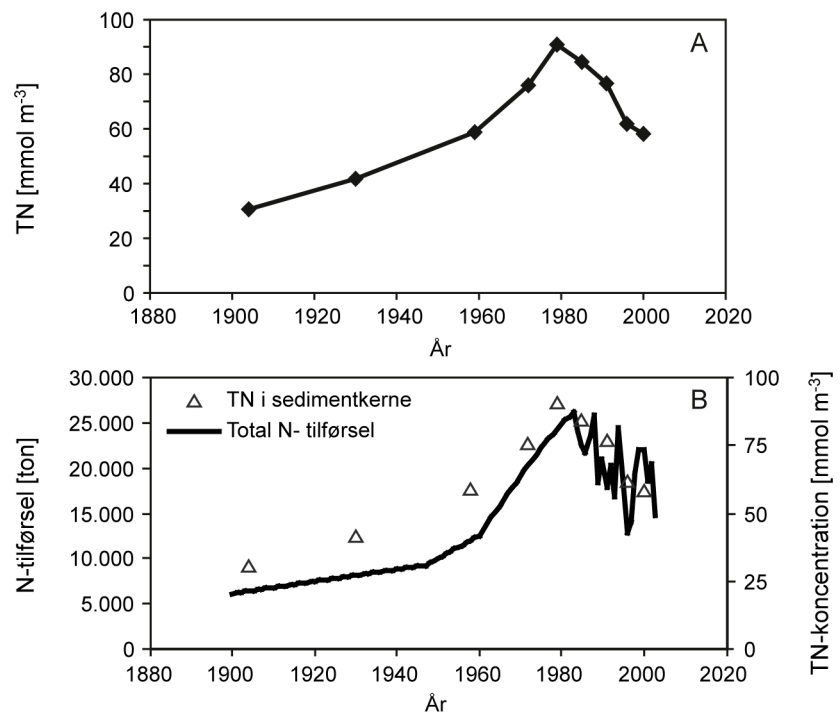
Statistikkerne over erhvervsfiskeriets landinger og resultaterne fra Danmarks Fiskeriundersøgelsers forsøgsfiskeri viser samstemmende, at bestandene af især bundlevende fisk i Limfjorden har været stærkt faldende igennem de seneste 50 år. Ud fra analyserne af tilgængelige data synes udledningen af kvælstof at have været den afgørende faktor for nedgangen. Den nedadgående tendens startede i begyndelsen af tresserne, og den efterfølgende periode fra midten af halvfjerdserne med høje værdier af indekset for den nordatlantiske klima oscillation synes at have forstærket den faldende tendens. Det vurderes derimod ikke, at erhvervsfiskeriet i form af lokal overfiskning har haft afgørende betydning for bestandsudviklingen, skønt et højt fiskeritryk naturligvis vil bidrage negativt til udviklingen.

5 Sedimentkernedatering

Der er udført datering af en sedimentkerne, hvor TN-koncentrationen i Skive Fjord er estimeret. Dateringsrapporten er vedlagt som Bilag 2.

Der er ikke lavet en vurdering af sammenhængen mellem den estimerede TN-koncentration i Skive Fjord og tilførsel, og dateringen er ikke anvendt i denne rapport, da den først er modtaget den sidste uge af projektføreløbet.

Den tidlige udvikling af TN-koncentrationen er sammenholdt med den anvendte tilførselskurve, og det ses, at de to kurver viser nogenlunde samme tidlige forløb (Figur 5.1).



Figur 5.1 TN-koncentration i sedimentkerne som funktion af år. **A.** Tidlig udvikling. **B.** Sammenligning med observeret TN-koncentration i Skive Fjord og den beregnede kvælstoftilførsel anvendt i denne analyse.

6 Konklusion

I årene 1900-1983 steg kvælstoftilførslen fra ca. 6.000 tons pr. år i år 1900 til mere end 25.000 tons pr. år i 1980'erne, ca. svarende til en firedobling i perioden. Udviklingen skyldes, at befolkningen i Limfjordsoplandet er blevet ca. fordoblet, at der er blevet indført kloakering, en stigning i udledninger af næringsrigt industrielt spildevand og landbrugets forbrug af kunstgødning. Den største stigning fandt sted fra 1950 til 1980 (fra ca. 10.000 tons pr. år til ca. 25.000 tons pr. år), fordi landbrugets forbrug af kunstgødning steg kraftigt i denne periode. Siden midten af 1980'erne er kvælstoftilførslen faldet med ca. 18% som følge af øget spildevandsrensning og reduceret forbrug af kunstgødning. I samme periode er der også sket en stigning i nedbør og dermed i afstrømning fra oplandet, men disse ændringer er små sammenlignet med ændringerne i arealanvendelse, og de er ikke medtaget i denne analyse.

I den undersøgte periode varierede vandets årlige middeltemperatur med $\pm 1,5^\circ \text{C}$, og den har en stigende tendens på ca. $0,08^\circ \text{C}$ pr. år. Disse variationer er dog små sammenlignet med variationen i temperatur inden for et år.

I begyndelsen af 1900-tallet steg den årlige middelsalinitet ved Odde-sund med ca. 2, formentligt fordi der skete store ændringer af Limfjordens åbning mod vest i forbindelse med etableringen af Thyborøn Kanal. Siden 1925 har saliniteten varieret med $\pm 2,5$ pr. år ved Vilsund. Salinitetsmålingerne ved Vilsund viser desuden, at graden af lagdeling i fjorden varierer meget mellem år. I 1940'erne var lagdelingen i flere år væsentligt kraftigere end i de efterfølgende år. Faktisk er lige så kraftig lagdeling kun observeret i 1996. Dermed kan kraftig lagdeling i perioder forekomme hyppigere end observeret i de seneste 30 år. Da styrken af lagdelingen har betydning for fjordens følsomhed for iltsvind, viser disse observationer, at fjorden tidligere har været mere følsom for iltsvind, end den har været i de seneste 30 år.

I årene 1900-1960 steg både bundfaunabiomasse og fiskebestandenes størrelse. For bundfauna er denne udvikling blevet sammenholdt med udviklingen i salinitet, temperatur, NAO-indeks og kvælstoftilførsel. Der blev fundet positive og signifikante relationer mellem biomasse af bundfauna og salinitet, temperatur og kvælstoftilførsel i årene 1910-1952, mens der ikke blev fundet en signifikant relation mellem biomasse og NAO-indekset. I denne periode steg temperatur og salinitet med 5-10% af den årlige middelværdi ($0,8^\circ \text{C}$ og 1,5), mens kvælstoftilførslen blev næsten fordoblet. De organismer, der findes i Limfjorden, er tilpasset til meget varierende salt- og temperaturforhold, og da ændringerne er små, vurderes det, at stigningen i bundfaunaens biomasse fortrinsvis er drevet af stigningen i kvælstoftilførsel. I årene 1900-1960 er udviklingen i fiskebestandenes størrelse ligeledes blevet relateret til salinitet, temperatur, kvælstoftilførsel samt NAO-indeks i samme år, samt 1, 2 og 3 år før observationsåret. Der blev fundet en signifikant og positiv sammenhæng med kvælstoftil-

førsel, mens de øvrige parametre ikke viste en signifikant sammenhæng.

I årene 1961-2003 vendte udviklingen i biomassen af bundfauna og fiskebestand. I denne periode var der et stærkt fald i især bundlevende fisk, og ved genoptagelsen af prøvetagningen af bundfauna i 1978 ses også et stærkt reduceret niveau i forhold til 1952. De laveste bundfaunabiomasser og fiskebestande blev observeret omkring 1980, hvor kvælstoftilførslen er estimeret til at være størst. Der er fundet en signifikant negativ sammenhæng mellem bundfaunabiomasse og kvælstoftilførsel, når 1996 undtages. Året 1996 falder ud som et særligt dårligt år, fordi biomasserne i dette år var meget lave, samtidigt med at kvælstoftilførslen var lav. De lave biomasser var formentligt både relateret til lave biomasser i 1995 og til et udbredt iltsvind, der opstod som følge af kraftig lagdeling i 1996. Øvrige variable gav ikke signifikante relationer til bundfauna.

Den negative sammenhæng mellem kvælstoftilførsel og biomasse var dog ikke generel for hele fjorden. I årene 1988-2003 blev der fundet en signifikant positiv sammenhæng mellem udledning af kvælstof fra Triple Nine Fish Protein til Nissum Bredning og bundfaunabiomasse i samme område. I årene 1988-1994, hvor udledningerne fra denne fabrik var størst, var bundfaunabiomassen i middel en faktor 10 større end i 1998-2003, hvor kvælstoftilførslen fra Triple Nine Fish Protein var reduceret til en femtedel af niveauet i 1988-1994. Den positive sammenhæng i Nissum Bredning skyldes formentligt, at vandskiftet i dette område er større end i den øvrige fjord, og dermed at følsomheden for iltsvind er mindre i dette område.

Der blev også fundet en signifikant negativ sammenhæng mellem fiskebestand og kvælstoftilførsel i årene 1961-2003. Denne udvikling kan desuden være forstærket af en lavere rekrutteringssucces som følge af høje værdier af vinter NAO-indekset fra midten af 1970'erne. Det vurderes ikke, at størrelsen af erhvervsfiskeriet har haft afgørende betydning for bestandsudviklingen.

Analyserne i denne rapport sandsynliggør, at størrelsen af kvælstoftilførslen til Limfjorden er af afgørende betydning for udviklingen af bundfaunabiomasse og fiskebestande i Limfjorden. I 1900-1960 betød stigningen i kvælstoftilførsel, at det marine økosystem blev gødet og dermed mere produktivt. Efter 1960 er de negative konsekvenser af tilførslen af næringsstoffer, som fx øget frekvens af iltsvindshændelser, blevet så store, at hverken bundfauna eller fiskebestand kan opretholdes på det høje niveau, der fandtes omkring 1950-1960. Til trods for reduktioner i næringsstofforsler på 69% for fosfor og 18% for kvælstof siden midten af 1980'erne, er hverken bundfauna eller fiskebestande på samme niveau som før 1960. De analyser, der er lavet her, sandsynliggør, at tålegrænsen for bundfaunabiomasse og fiskebestande i Limfjorden svarer til en kvælstoftilførsel på det niveau, som fandtes i 1950-1955. Dette niveau er med meget stor usikkerhed estimeret til i størrelsesordenen 10.000 tons pr. år.

7 Referencer

Attrill, M.J. & Power, M. 2002: Climatic influence on a marine fish assemblage. – Nature 417: 275-278.

Bojsen Jensen, P. 1919: Studier over fiskeføden i Limfjorden 1909-1917, dens mængde variation og årsproduktion. Limfjordens Bonitering. I. - Den danske biologiske Station. XXVI: 1-45.

Brander, K.M. 2005: Cod recruitment is strongly affected by climate when stock biomass is low. – ICES Journal of Marine Science 62: 339-343.

Brander, K. & Mohn, R. 2004: Effect of the North Atlantic Oscillation on recruitment of Atlantic cod (*Gadus morhua*). – Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 61: 1558-1564.

Cappelen, J. & Jørgensen, B. 1999: Observed wind speed and direction in Denmark - with climatological standard normals, 1961-90. – DMI Technical Report 99-13.

Christensen, P.B., Schou Hansen, O. & Ærtebjerg, G. (red.) 2004: Iltsvind. Forlaget Hovedland. – Miljøbiblioteket 4: 128 s.
Findes på: http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_miljobib/rapporter/MB04.pdf

Conley, D.J., Carstensen, J., Ærtebjerg, G., Christensen, P.B., Dalsgaard, T., Hansen, J.L.S. & Josefson, A.B. *In press*: Long-term changes and impacts of hypoxia in Danish coastal waters. – Environmental Applications.

Flintegaard, H., Frier, J., Hoffmann, E. 1982: Fiskeribiologiske undersøgelser i Limfjorden 1980-81. – Intern rapport nr. 169. Danmarks Fiskeri- og havundersøgelser.

Genner, M.J., Sims, D.W., Wearmouth, V.J., Southall, E.J., Southward, A.J., Henderson P.A. & Hawkins, S.J. 2004: Regional climatic warming drives long-term community changes of British marine fish. – Proceedings of the Royal Society of London 271: 655-661.

Henze, M., Harremoës, P., Jansen, J. C. & Arvin, E. 1992: Spildevandsrensning - biologisk og kemisk. Polyteknisk Forlag.

Hoffmann, E. 2000: Fisk og fiskebestande i Limfjorden 1984-1999. Danmarks Fiskeriundersøgelser.

Hoffmann, E. 2005: Fisk, fiskeri og epifauna. Limfjorden 1984-2004. Danmarks Fiskeriundersøgelser.

Hylleberg, J. 1992: Ændringer i Limfjordens dyreliv i historisk tid. – Limfjordsprojektet. Rapport nr. 4. pp.37-61.

ICES 2004: Report of the ICES Advisory Committee on Fishery Management and Advisory Committee on Ecosystems, 2004. Book 1, section 3: 274-434.

Jensen, J.N., Ærtebjerg, G., Rasmussen, B., Dahl, K., Levinsen, H., Lisbjerg, D., Nielsen, T.G., Krause-Jensen, D., Middelboe, A.L., Svendsen, L.M. & Sand-Jensen, K. 1997: Marine områder - Fjorde, kyster og åbent hav. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996. Danmarks Miljøundersøgelser. – Faglig rapport fra DMU 213: 124 s.

Josefson, A.B. & Rasmussen, B. 2000: Nutrient retention by benthic macrofaunal biomass of Danish estuaries: Importance of nutrient load and residence time. – *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 50: 205-216.

Jørgensen, B.B. 1980: Seasonal oxygen depletion in the bottom waters of a Danish fjord and its effects on the benthic community. – *OIKOS* 34: 68-76.

Kaas, H. & S. Markager (eds.) 1998: NOVA. Teknisk anvisning for marin overvågning. Benthiske parametre – Bundfauna. Miljø- og Energiministeriet. Danmarks Miljøundersøgelser.

Kyllingsbæk, A. 2005: Næringsstofbalancer og næringsstofoverskud i dansk landbrug 1979-2002. Kvælstof - Fosfor - Kalium. – DJF rapport Markbrug nr. 116, 100 s.

Larsen, S.E., Kronvang, B. & Ovesen, N.B. 2003: Udviklingen i vandafstrømningen og nedbøren i Danmark de seneste 85 år. I: J. Bøgestrand: Vandløb 2002. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. – Faglig rapport fra DMU 470: 49-59.

Findes på: http://www.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrappporter/rapporter/FR470.PDF

Limfjordskommissionen 1942: Foranstaltninger til sikring af Limfjordstangerne og Thyborøn havn og kanal. Ministeriet for offentlige arbejder.

Limfjordsovervågningen 2004: Vandmiljø i Limfjorden 2003. NOVA 2003. Marin overvågning 1998-2003, s 52-57.

Miljøstyrelsens Havforureningslaboratorium 1988: Retningslinier for marin overvågning. Retningslinier for bundfauna.

Mouritsen, L.T., Bråten, S., Hoffmann, E., Richardson, K. 2005: Fisk i Limfjorden – en saga blot? – I: Ærtebjerg et al.; Marine områder 2004 – Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser. – Faglig rapport fra DMU nr. 551.

Findes på: http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrappporter/rapporter/FR551.PDF

Müller-Wohlfeil, D.I., Kronvang, B., Larsen, S.E., Ovesen, N.B. & Wendland, F. 2001: Establishment of a harmonized tool for calculating river discharge and nitrogen loads from unmonitored areas in Denmark. – *Physics and Chemistry of the Earth, Part B, Hydrology Oceans and Atmosphere* 26 (7-8): 617-622.

Nielsen, E. & Richardson, K. 1996: Can changes in the fisheries yield in the Kattegat (1950-1992) be linked to changes in primary production? – ICES Journal of marine science 53: 988-994.

Petersen, C.G.J. & Boysen Jensen, P. 1911: Havbundens dyreliv, dets næring og mængde. Havets Bonitering I. –Den danske biologiske Station. XX.

Rosenørn, S. & Lindhardt K. 2000: Dansk vejr i 100 år. Egmont Lademann A/S.

Støttrup, J, Dolmer, P., Nielsen, E., Ingvarsdén, S., Lastrup, C., Sørensén, S.R. 2005: Kystfodring og godt fiskeri. Undersøgelse af strandnær kystfodring ved Agger Tange. – DFU-rapport nr. 156-05. 49 s.

Tatara, K. 1991: Utilization of the biological production in eutrophicated sea areas by commercial fisheries and the environmental quality standard for fishing ground. – Marine Pollution Bulletin 23: 315-319.

Varming, S. 1987: Langtidsvariationer i Limfjordens bundfauna, Nissum og Løgstør Bredning 1918-1952. (Ikke publiceret speciale, Institut for Genetik og Økologi, Århus Universitet. 157 s.)

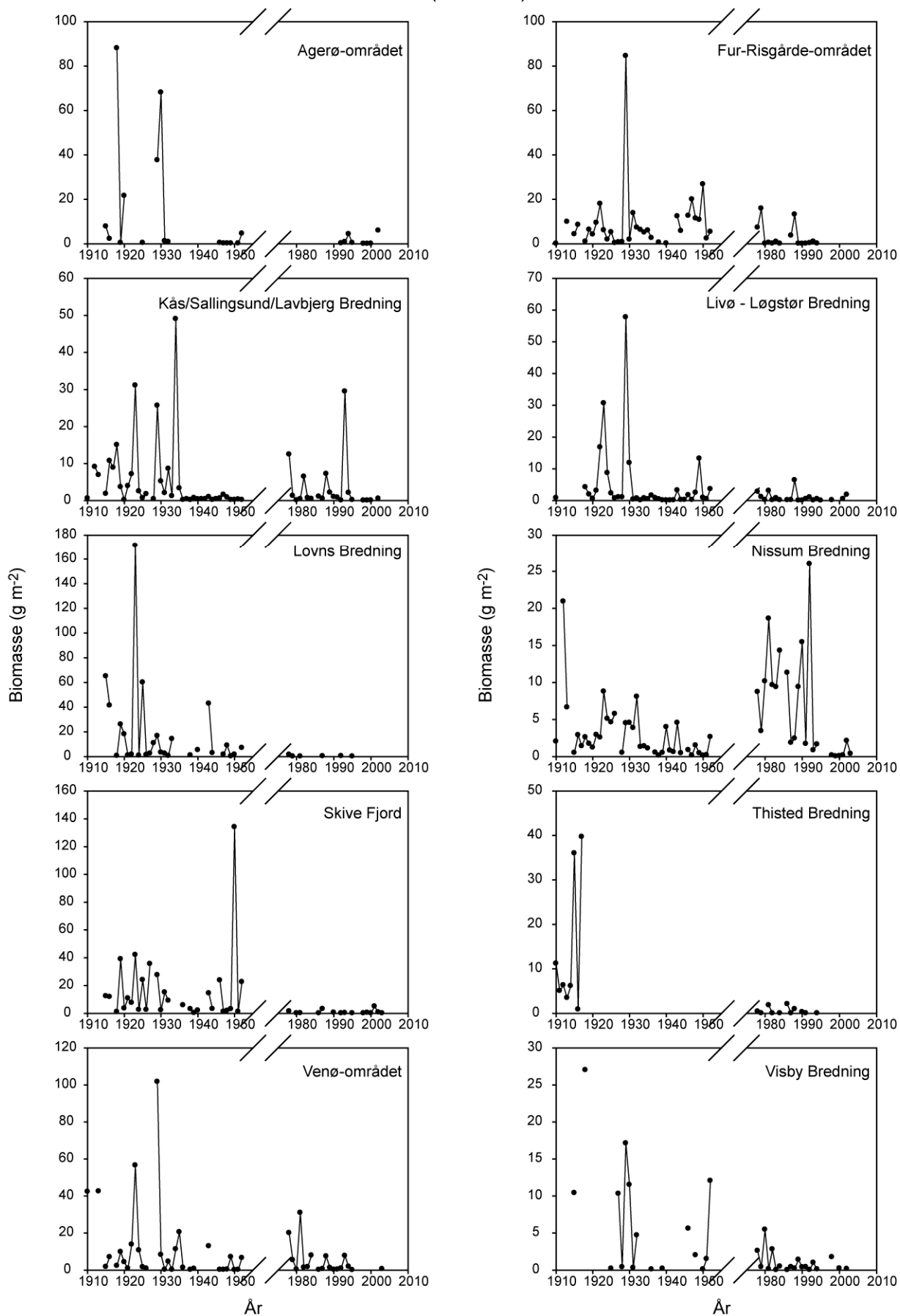
Wegner, G., Damm, U. & Purps, M. 2003: Physical influences on the stock dynamics of plaice and sole in the North Sea. – Scientia Marina 67: 219-234.

Østergaard, J. 2001: Jægere og fiskere ved Limfjorden i 100 år. Forlaget Valsted.

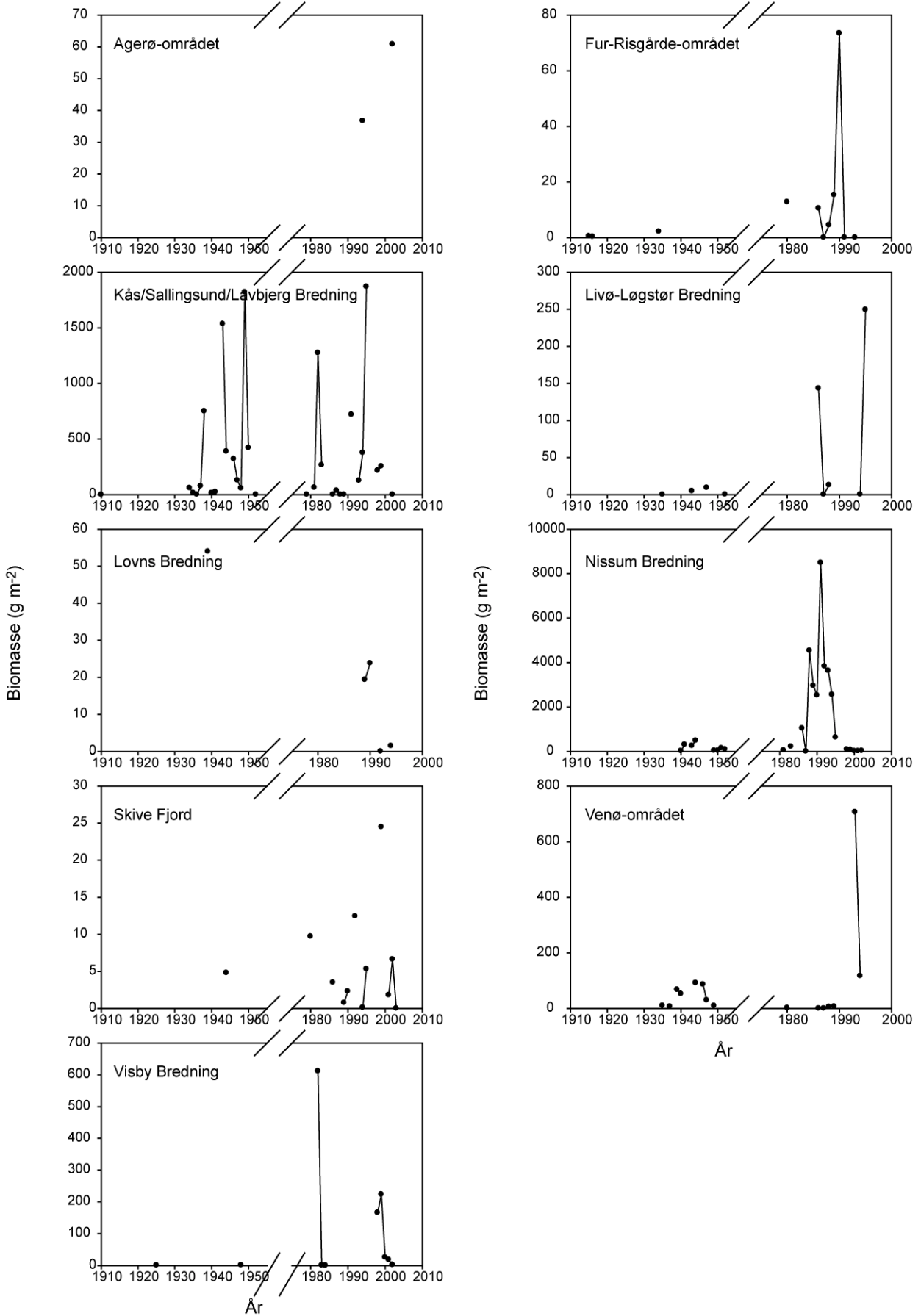
[tom side]

Bilag 1 **Udvikling i bentisk biomasse** **1910-2002 fordelt på arter og** **områder**

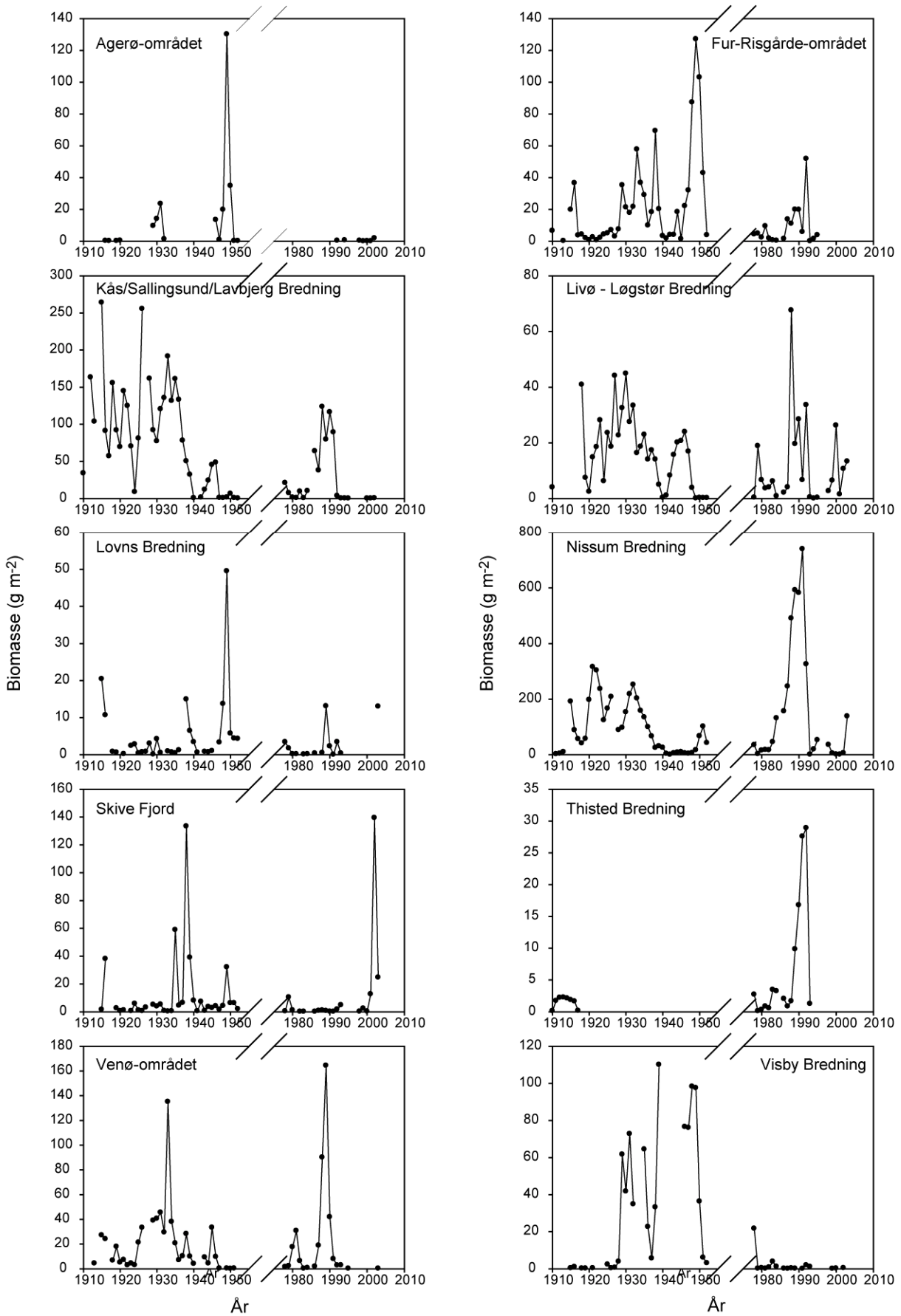
Abra (alle arter)



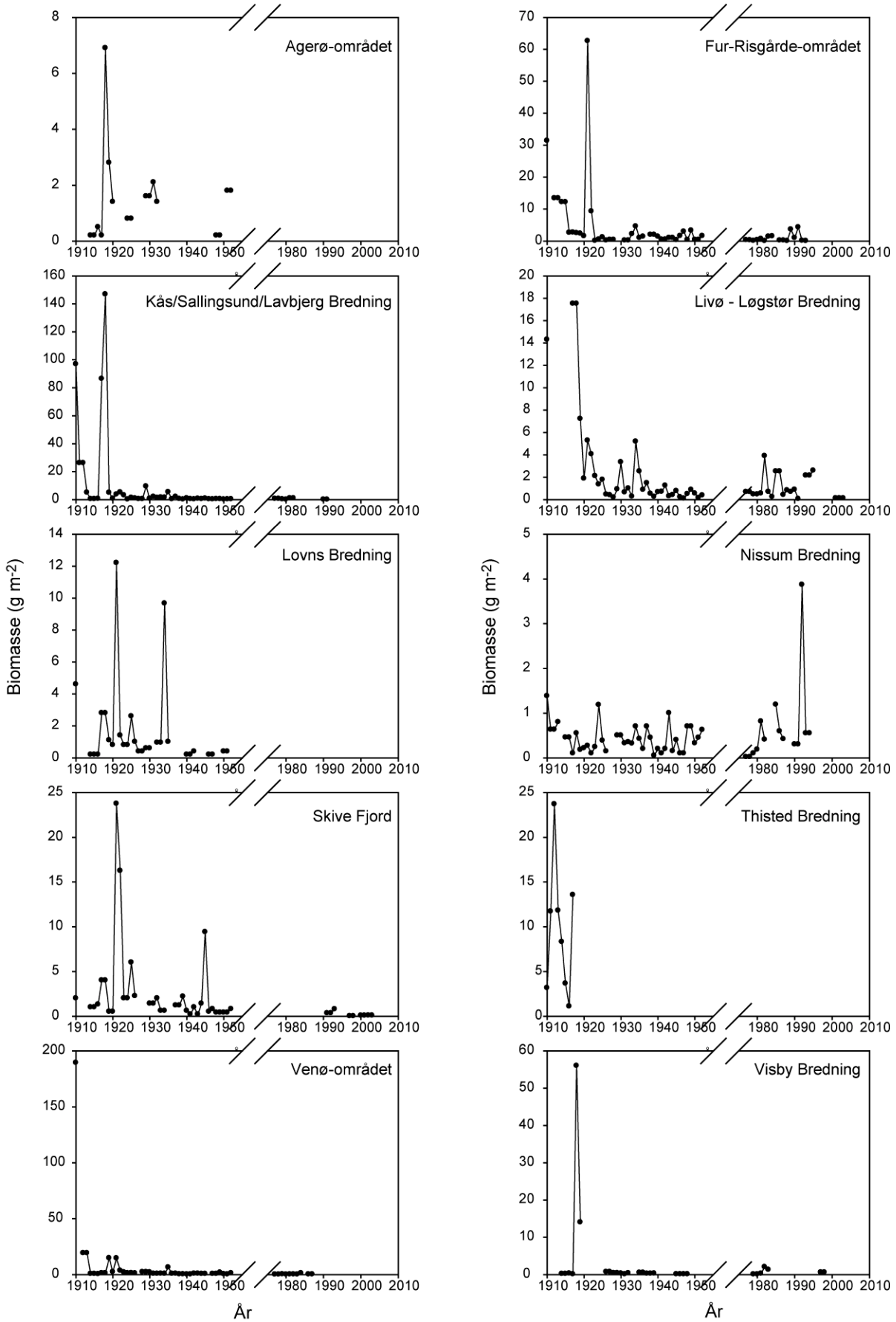
Cerastoderma edule



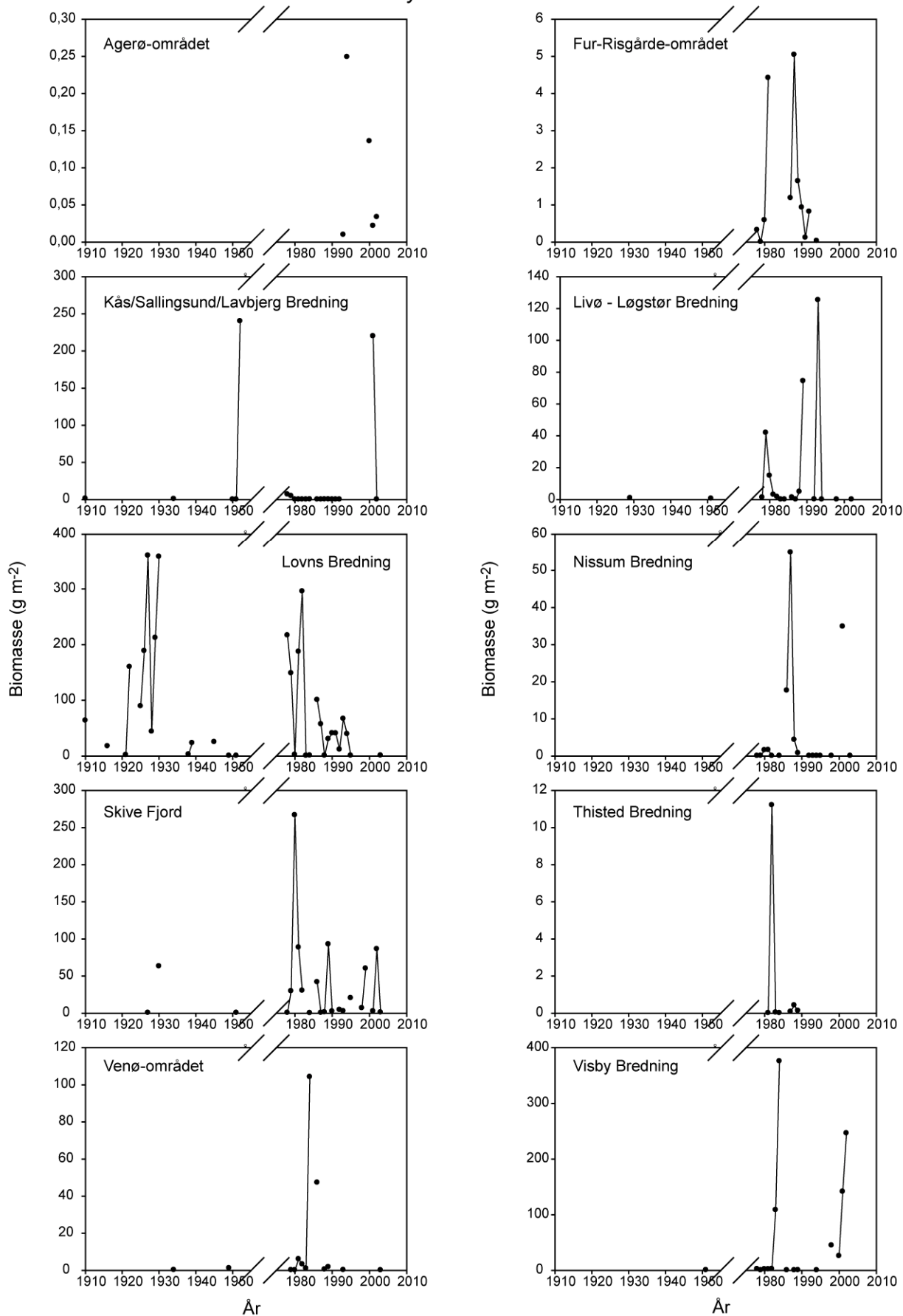
Corbula gibba



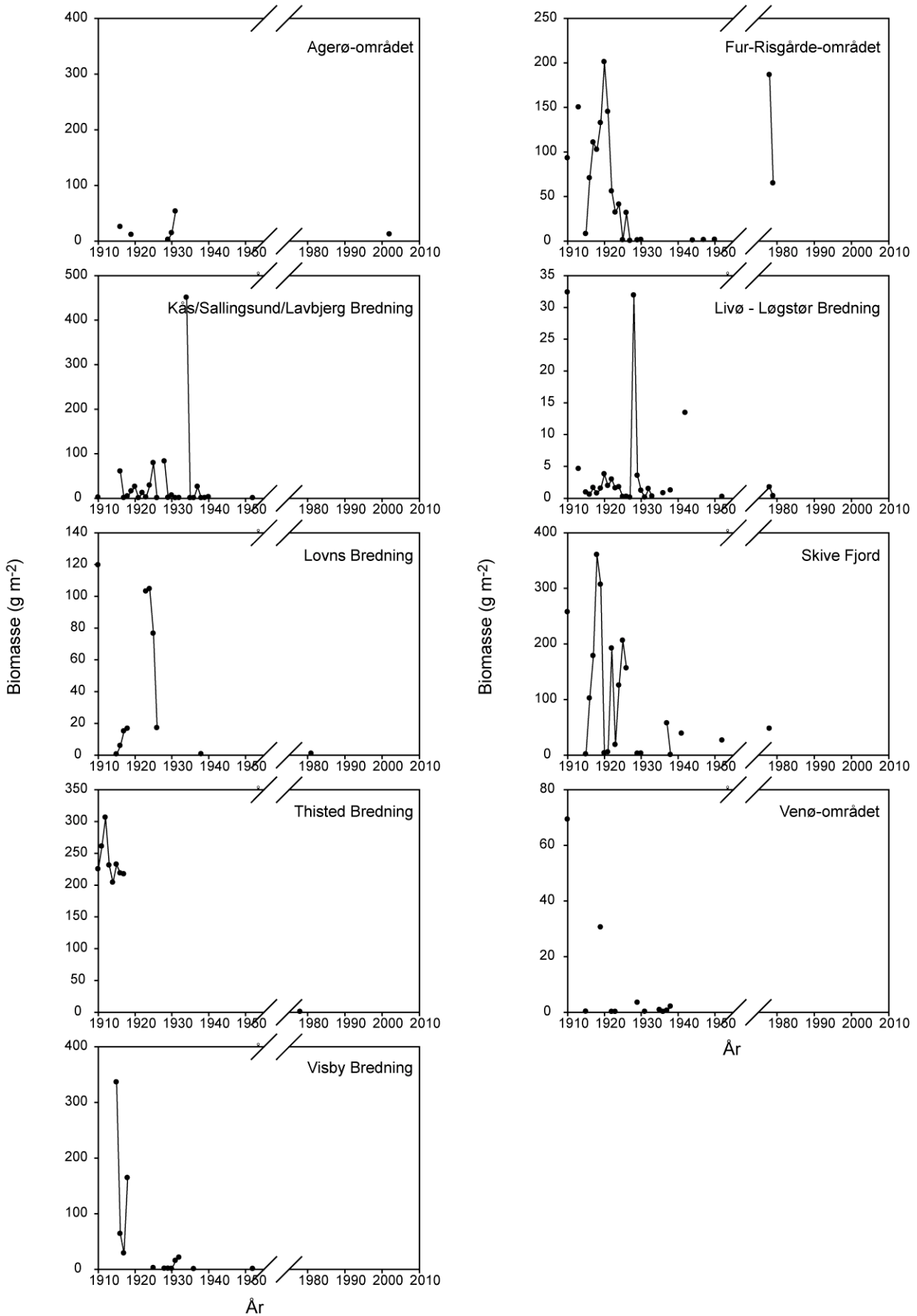
Cultellus pellucidus



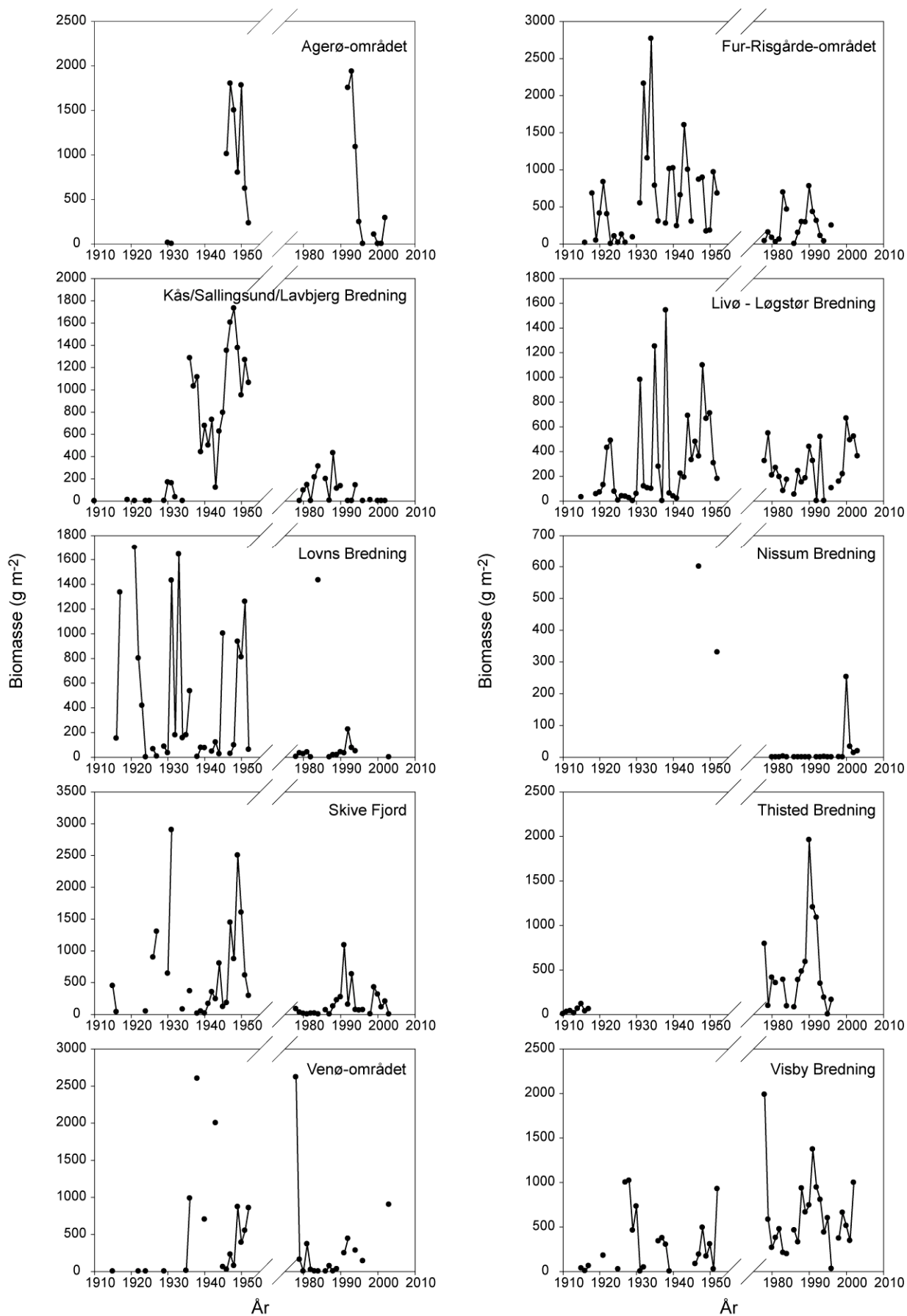
Mya arenaria



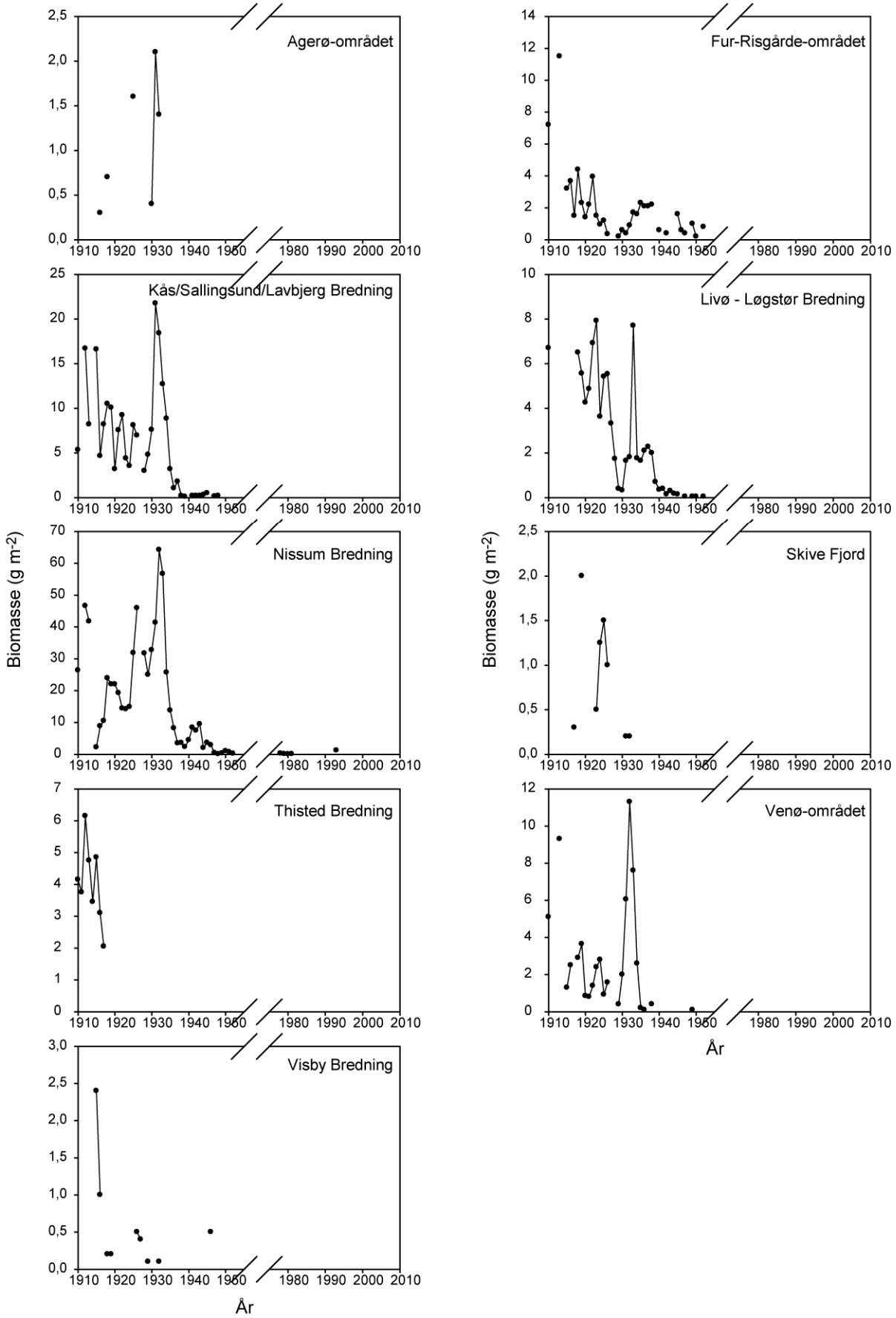
Mya truncata



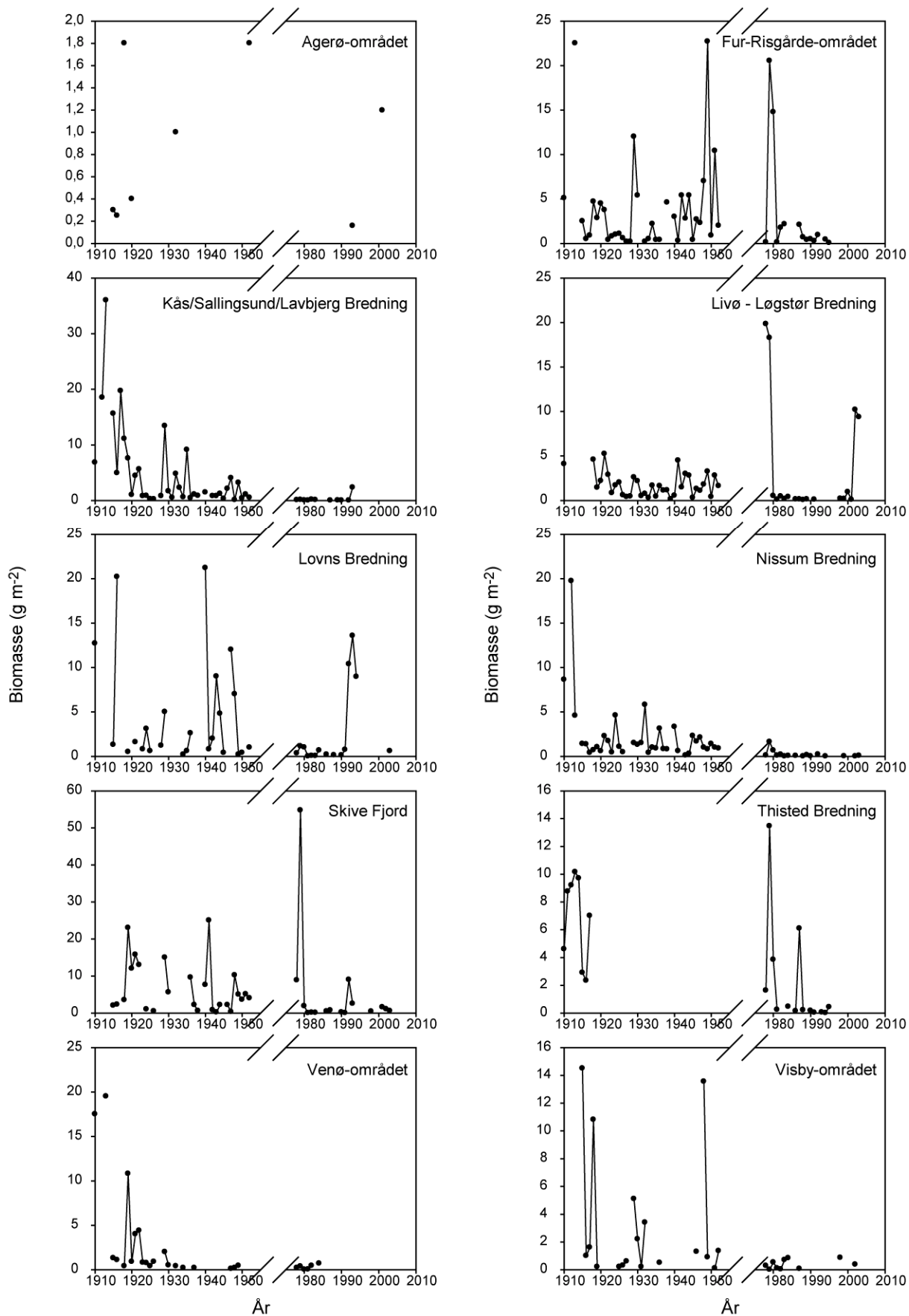
Mytilus edulis



Nucula nitidosa



Pectinaria koreni



Gamma Dating Center Copenhagen

Copenhagen, 30 November 2005

**Thorbjørn J. Andersen
Institute of Geography
University of Copenhagen
Oester Voldgade 10
1350 Copenhagen K
e-mail tja@geogr.ku.dk
phone +45 35 32 25 03
fax +45 35 32 25 01**

Dating of core “L3726”

Dating of core "L3726"

Methods

The samples have been analysed for the activity of ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs via gamma-spectrometry at the Gamma Dating Center, Institute of Geography, University of Copenhagen. The measurements were carried out on a Canberra low-background Ge-detector. ^{210}Pb was measured via its gamma-peak at 46,5 keV, ^{226}Ra via the granddaughter ^{214}Pb (peaks at 295 and 352 keV) and ^{137}Cs via its peak at 661 keV.

Results

The core showed the expected decrease in the content of unsupported Pb-210 with depth and a maximum in Cs-137 contents at -7.5 cm (table 1 and fig 1 and 2). One sample (-13.5 cm) had very high activity of unsupported Pb-210. The reason for this irregularity is unknown and the sample has been omitted in subsequent analysis. CIC-modelling (CIC=Constant Initial Concentration) have been carried out on the entire profile in order to get a robust dating of the core (table 2 and fig 2,3 and 4). The average sedimentation rate is $0.97 \pm 0.36 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$. The rather large error-margin is due to the irregular profile in the deeper part of the core. The highest activity of Cs-137 is dated to around 1982 which indicates that it is due to the Chernobyl accident and the correct year is therefore 1986 or shortly after. Note that only every other sample has been analysed at the point of the Cs-137 peak. Activity of Cs-137 below levels dated to before 1954 is caused by sediment mixing at the site. This mixing is at least partly caused by the numerous bilvalves which are found in the samples.

Due to the irregular Pb-210 profile at depth it is not considered feasible to try to analyse the data using the CRS-model (CRS=Constant Rate of Supply).

30 November 2005

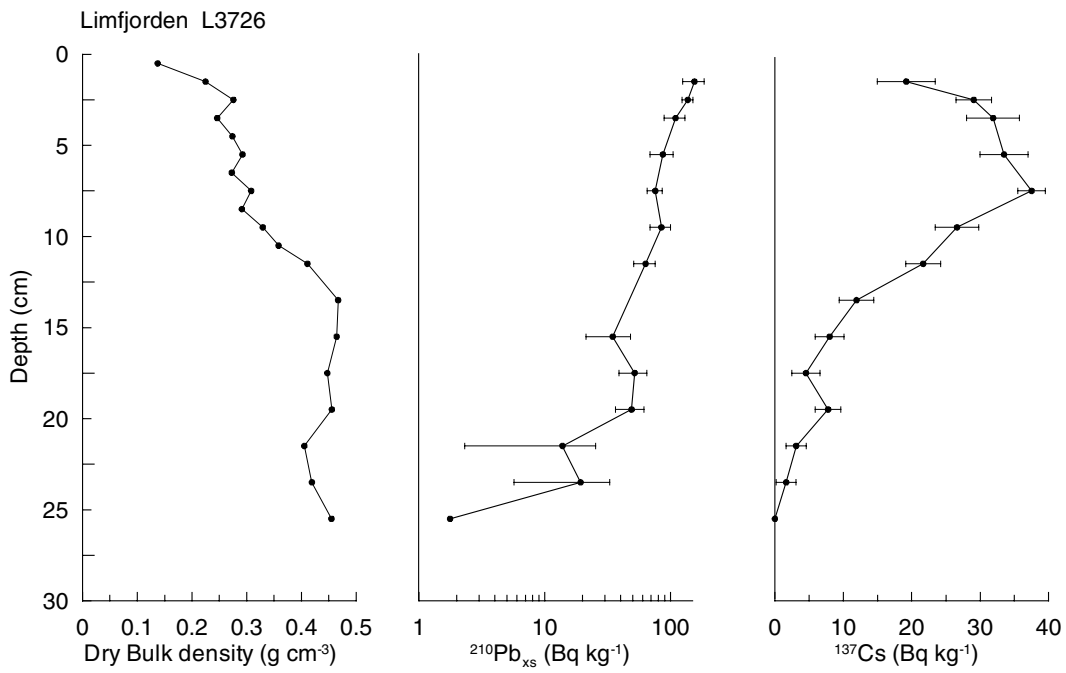
Thorbjørn J Andersen

Table 1

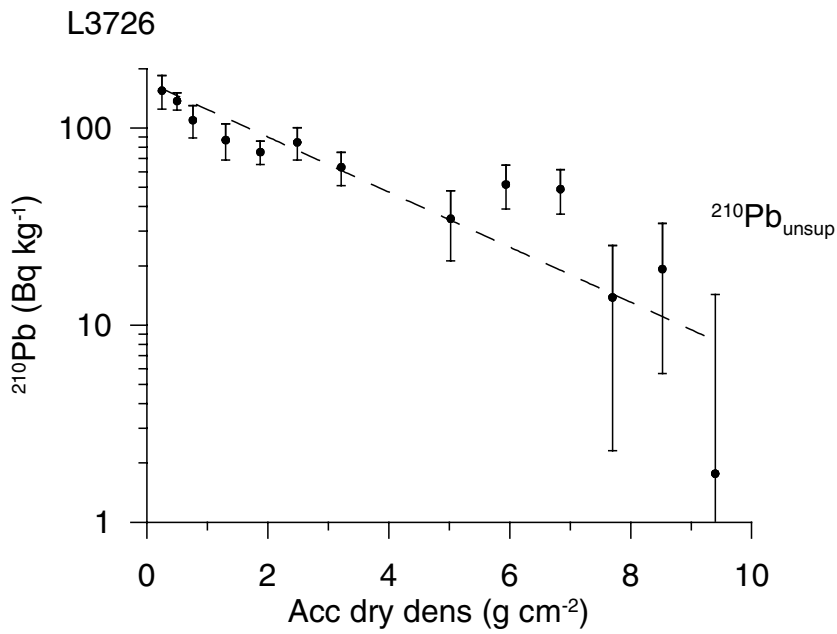
Depth	Pb-210 _{tot}	error Pb-210 _{tot}	Pb-210 _{supupp} 210Pb	error pb-210 _{sup}	Pb-210 _{unsup}	error pb-210 _{unsup}	Cs-137	error Cs-137
cm	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1	Bq kg-1
0.5								
1.5	161	24	6	18	155	30	19	4
2.5	156	13	19	4	137	14	29	3
3.5	128	20	19	3	109	20	32	4
5.5	110	18	23	4	87	18	33	4
7.5	96	10	21	3	76	10	38	2
9.5	100	16	16	1	85	16	27	3
11.5	84	12	21	1	63	12	22	3
13.5	(1027)	23	25	5	(1003)	23	12	3
15.5	51	13	16	5	35	13	8	2
17.5	72	12	20	4	52	13	5	2
19.5	68	12	19	3	49	12	8	2
21.5	36	11	22	4	14	12	3	1
23.5	37	13	18	4	19	14	2	1
25.5	22	11	21	5	2	13	0	0

Table 2

Depth	Age	Age err	Date
cm	y	y	y
0			2001
0.5	1	0	2000
1.5	3	1	1998
2.5	5	2	1996
3.5	8	3	1993
5.5	13	5	1988
7.5	19	7	1982
9.5	26	9	1975
11.5	33	12	1968
13.5	42	16	1959
15.5	52	19	1949
17.5	61	23	1940
19.5	71	26	1930
21.5	80	29	1921
23.5	88	33	1913
25.5	97	36	1904

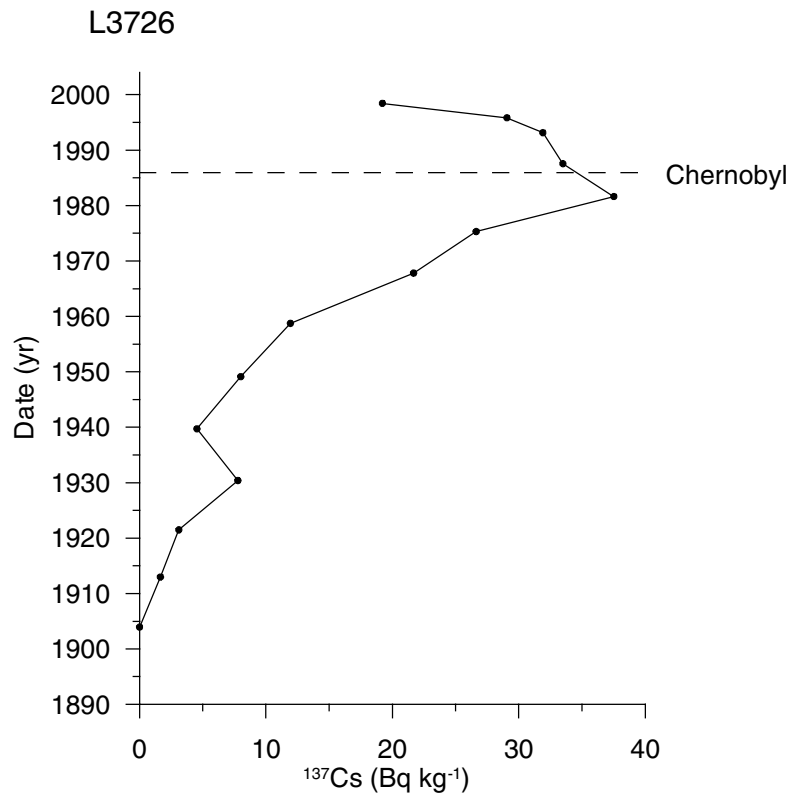


Figur 1

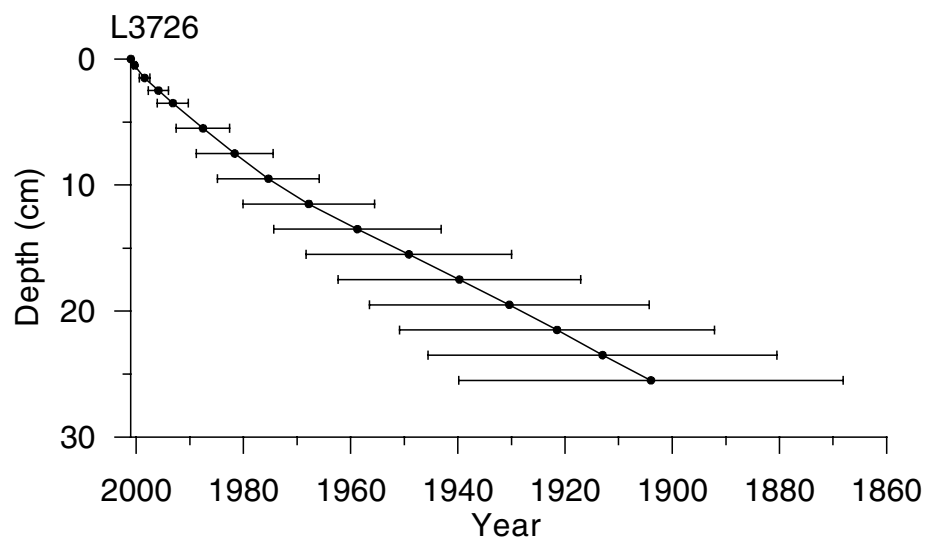


Figur 2

Figur 3



Figur 4



[Tom side]

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser – DMU – er en forskningsinstitution i Miljøministeriet.
DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for 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
Vejlsovej 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 14, Kalø
8410 Rønde
Tlf.: 89 20 17 00
Fax: 89 20 15 15

Afd. for Vildtbiologi og Biodiversitet

Publikationer:

DMU udgiver populærfaglige bøger ("MiljøBiblioteket"), faglige rapporter, tekniske anvisninger samt årsrapporter.
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

2005

- Nr. 533: Fate of mercury in the Arctic (FOMA). Sub-project atmosphere. By Skov, H. et al. 55 pp. (electronic)
- Nr. 534: Control of pesticides 2003. Chemical Substances and Chemical Preparations.
By Krongaard, T., Petersen, K.T. & Christoffersen, C. 32 pp. (electronic)
- Nr. 535: Redskaber til vurdering af miljø- og naturkvalitet i de danske farvande. Typeinddeling, udvalgte indikatorer og eksempler på klassifikation. Af Dahl, K. (red.) et al. 158 s. (elektronisk)
- Nr. 536: Aromatiske kulbrinter i produceret vand fra offshore olie- og gasindustrien. Test af prøvetagningsstrategi.
Af Hansen, A.B. 41 s. (elektronisk)
- Nr. 537: NOVANA. National Monitoring and Assessment Programme for the Aquatic and Terrestrial Environments. Programme Description – Part 2.
By Svendsen, L.M., Bijl, L. van der, Boutrup, S. & Norup, B. (eds.). 137 pp., 100,00 DKK.
- Nr. 538: Tungmetaller i tang og musling ved Ivituut 2004. Af Johansen, P. & Asmund, G. 27 s. (elektronisk)
- Nr. 539: Anvendelse af molekylærgenetiske markører i naturforvaltningen.
Af Andersen, L.W. et al. 70 s. (elektronisk)
- Nr. 540: Cadmiumindholdet i kammusling *Chlamys islandica* ved Nuuk, Vestgrønland, 2004.
Af Pedersen, K.H., Jørgensen, B. & Asmund, G. 36 s. (elektronisk)
- Nr. 541: Regulatory odour model development: Survey of modelling tools and datasets with focus on building effects. By Olesen, H.R. et al. 60 pp. (electronic)
- Nr. 542: Jordrentetab ved arealekstensivering i landbruget. Principper og resultater.
Af Schou, J.S. & Abildtrup, J. 64 s. (elektronisk)
- Nr. 543: Valuation of groundwater protection versus water treatment in Denmark by Choice Experiments and Contingent Valuation. By Hasler, B. et al. 173 pp. (electronic)
- Nr. 544: Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2004, Part 1 Measurements.
By Kemp, K. et al. 64 pp. (electronic)
- Nr. 545: Naturbeskyttelse og turisme i Nord- og Østgrønland. Af Aastrup, P. et al. 131 pp. (electronic)
- Nr. 546: Environmental monitoring at the Nalunaq Mine, South Greenland, 2004.
By Glahder, C.M. & Asmund, G. 32 pp. (electronic)
- Nr. 547: Contaminants in the Atmosphere. AMAP-Nuuk, Westgreenland 2002-2004.
By Skov, H. et al. 43 pp (electronic)
- Nr. 548: Vurdering af naturtilstand. Af Fredshavn, J & Skov, F. 93 s. (elektronisk)
- Nr. 549: Kriterier for gunstig bevaringsstatus for EF-habitatdirektivets 8 marine naturtyper.
Af Dahl, K. et al. 39 s. (elektronisk)
- Nr. 550: Natur og Miljø 2005. Påvirkninger og tilstand. Af Bach, H. (red.) et al. 205 s., 200,00 kr.
- Nr. 551: Marine områder 2004 – Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten. NOVANA.
Af Ærtebjerg, G. et al. 94 s. (elektronisk)
- Nr. 552: Landovervågningsoplande 2004. NOVANA. Af Grant, R. et al. 140 s. (elektronisk)
- Nr. 553: Søer 2004. NOVANA. Af Lauridsen, T.L. et al. 62 s. (elektronisk)
- Nr. 554: Vandløb 2004. NOVANA. Af Bøgestrand, J. (red.) 81 s. (elektronisk)
- Nr. 555: Atmosfærisk deposition 2004. NOVANA. Af Ellermann, T. et al. 74 s. (elektronisk)
- Nr. 557: Terrestriske naturtyper 2004. NOVANA. Af Strandberg, B. et al. 58 s. (elektronisk)
- Nr. 558: Vandmiljø og Natur 2004. Tilstand og udvikling – faglig sammenfatning.
Af Andersen, J.M. et al. 132 s. (elektronisk)
- Nr. 559: Control of Pesticides 2004. Chemical Substances and Chemical Preparations.
By Krongaard, T., Petersen, K.K. & Christoffersen, C. 32 pp. (electronic)
- Nr. 560: Vidensyntese indenfor afsætning af atmosfærisk ammoniak. Fokus for modeller for lokal-skala.
Af Hertel, O. et al. 32 s. (elektronisk)
- Nr. 561: Aquatic Environment 2004. State and trends – technical summary.
By Andersen, J.M. et al. 62 pp., DKK 100,00.
- Nr. 562: Nalunaq environmental baseline study 1998-2001. By Glahder, C.M. et al. 89 pp. (electronic)
- Nr. 563: Scientific and technical background for intercalibration of Danish coastal waters.
By Petersen, J.K. & Hansen, O.S. (eds.) et al. 72 pp. (electronic)

2006

- Nr. 564: Styringsmidler i naturpolitikken. Miljøøkonomisk analyse.
Af Schou, J.S., Hasler, B. & Hansen, L.G. 36 s. (elektronisk)
- Nr. 567: Environmental monitoring at the Nalunaq Gold Mine, south Greenland, 2005.
By Glahder, C.M. & Asmund, G. 35 pp. (electronic)
- Nr. 569: Anskydning af vildt. Konklusioner på undersøgelser 1997-2005. Af Noer, H. 35 s. (elektronisk)

[Tom side]

Dette projekt analyserer de forhold, som har påvirket Limfjordens økosystem i de sidste 100 år. Udviklingen i bundfaunabiomasse og fiskebestande blev sammenholdt med den klimatiske og hydrografiske udvikling i området, samt med estimeret kvælstoftilførsel til Limfjorden i årene 1900-1983, og målt kvælstoftilførsel i årene 1984-2003. Analyserne i denne rapport sandsynliggør, at størrelsen af kvælstoftilførslen til Limfjorden er af afgørende betydning for udviklingen af bundfaunabiomasse og fiskebestande. I 1900-1960 betød stigningen i kvælstoftilførsel, at det marine økosystem blev gødet og dermed mere produktivt. Efter 1960 er de negative konsekvenser af tilførslen af næringsstoffer, som fx øget frekvens af iltsvindshændelser, blevet så store, at hverken bundfauna eller fiskebestande kan opretholdes på det høje niveau, der fandtes omkring 1950-1960. Til trods for reduktioner i næringsstofftilførsler på 69% for fosfor og 18% for kvælstof siden midten af 1980'erne, er hverken bundfauna eller fiskebestande på samme niveau som før 1960. Analyserne i denne rapport sandsynliggør, at tålegrænsen for bundfaunabiomasse og fiskebestande i Limfjorden svarer til en kvælstoftilførsel på det niveau, som fandtes i 1950-1955. Dette niveau er med meget stor usikkerhed estimeret til i størrelsesordenen 10.000 tons pr. år.