

## 4. VESTLIGE KATTEGAT

### 4.1 Området og prøvetagningsprogram

#### 4.1.1 Geografiske, geologiske og hydrografiske forhold

##### Geografi og geologi

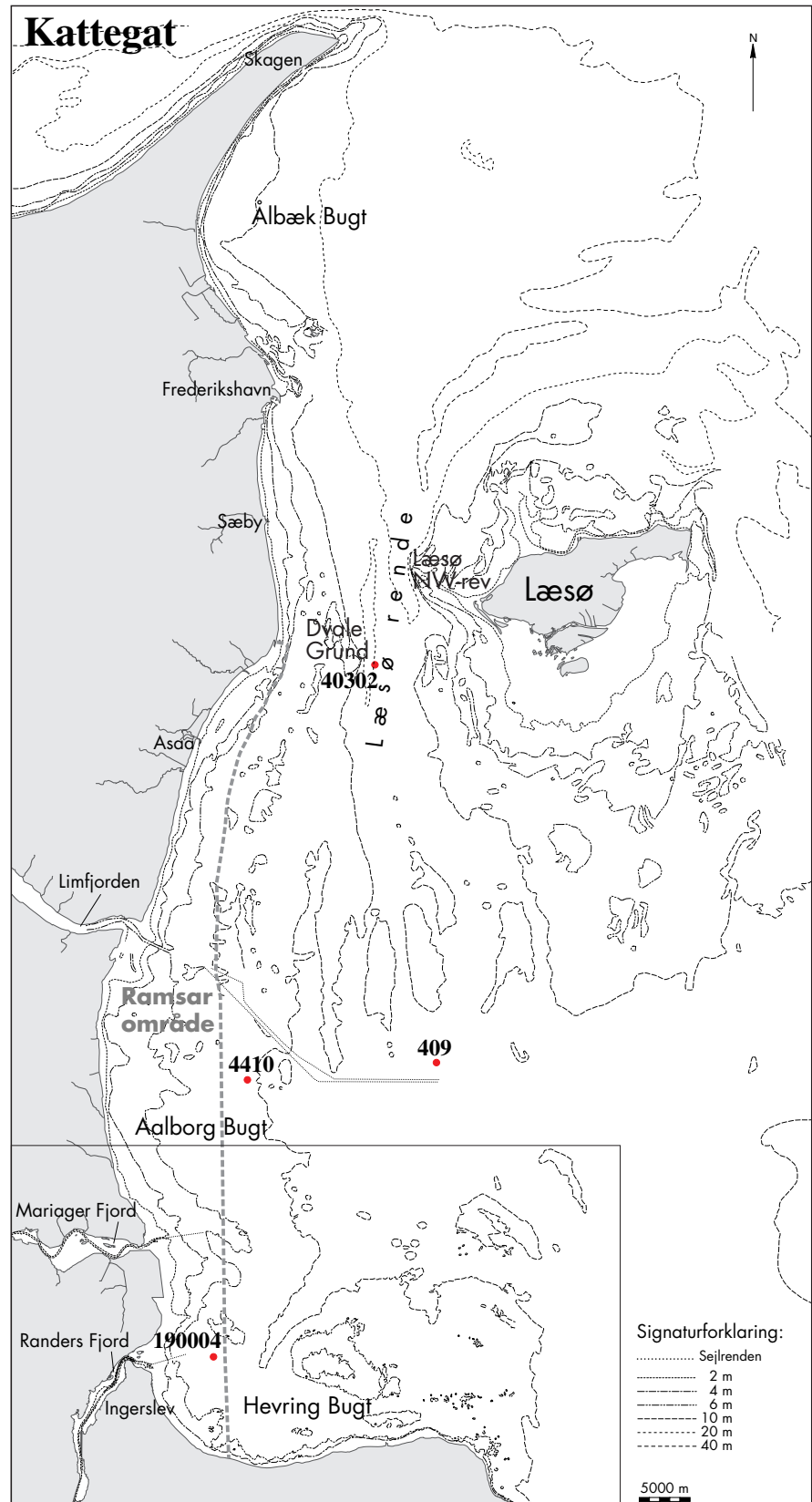
Det åbne havområde, der afrapporteres samlet for Århus og Nordjyllands Amter, består af Hevring Bugt og Aalborg Bugt.

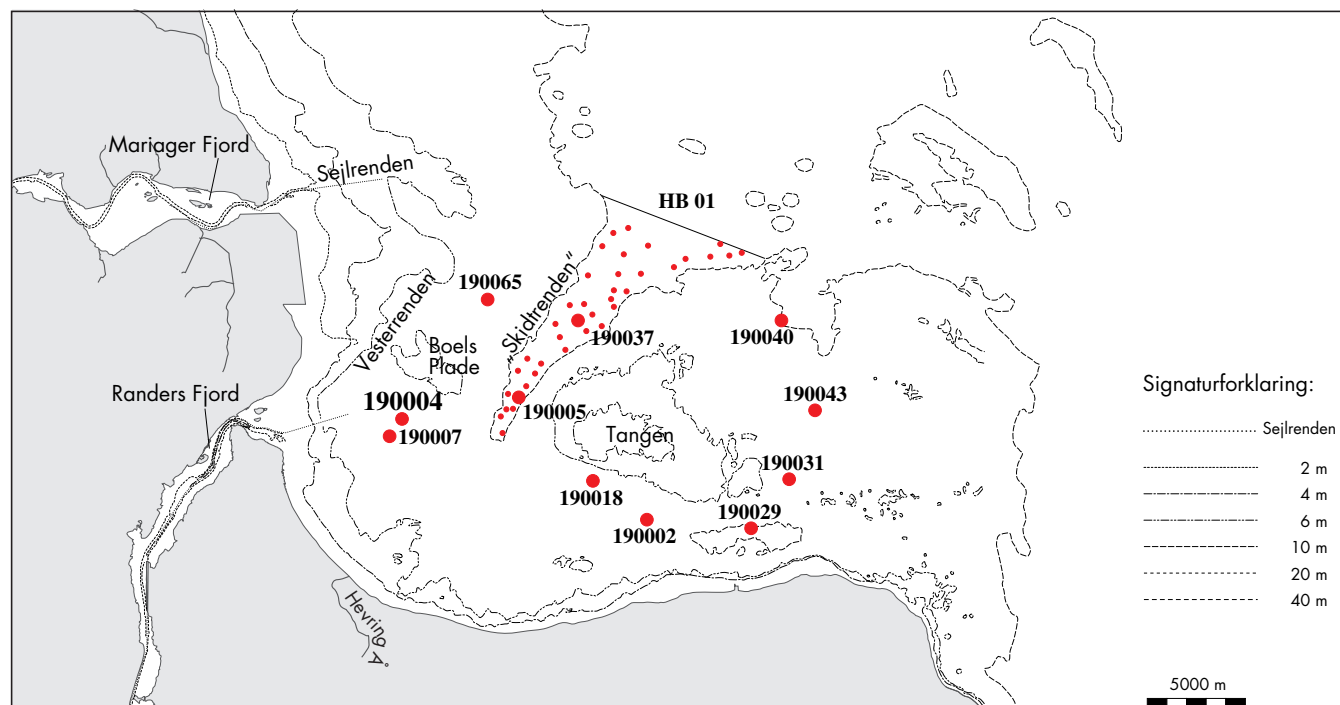
Hevring Bugt afgrænses mod syd af Djurslands nordkyst, og mod vest af kystlinien op til udløbet af Randers Fjord. Mod nord går Hevring Bugt over i Aalborg Bugt, der mod vest afgrænses af Nordjyllands østkyst, og strækker sig mod nord til Læsø Rende udfør Sæby, figur 4.1.1-1.

Aalborg Bugt kan karakteriseres som et forholdsvis lavvandede område med jævn skrånende bund, der i en afstand af ca. 10 sømil fra kysten når en dybde på 10 m. Vanddybden i Aalborg Bugt når ikke over 12-14 m. Øst for Limfjordens udmundning ligger der 10-15 sømil fra land et fossilt nord-sydgående revlesystem med vanddybder på 6-8 m.

Mod nord går området gradvist over i den dybere Læsø Rende, hvor dybdeforhold og hydrografi adskiller sig meget fra forholdene i Aalborg Bugt. Vanddybden i Læsø Rende er 15-22 m. Gennemstrømningstværnsnittet er i den vestlige del begrænset af det lavvandede område omkring Dvalegrunden og på den østlige side af lavvandede områder ud for Læsø, blandt andet Læsø NW-rev med vanddybder på 1-1,5 m.

Figur 4.1.1-1  
Placering af stationer i det vestlige Kattegat 1999.





Figur 4.1.1-2  
Placering af st. 190004 samt bundfaunastationer i Hevring Bugt.

Hevring Bugt er i åben forbindelse med Kattegat, men afskæres i nogen grad herfra af flere lavvandede flak, figur 4.1.1-2. Bugten har en middelvanddybde på 7-9 m. De mest markante lavvandede områder er Boels Plade mod nord med en vanddybde på 5-6 m og Tangen, hvor vanddybden er 2-5 m. Strømning til og fra bugten foregår gennem området mellem Tangen og Djursland, hvor vanddybden er 7-9 m samt de to render, "Skidtrenden" med en dybde på 10-13 m og Vesterrenden med en dybde på 6-8 m.

Kysten fra udmundningen af Randers Fjord til Stensnæs syd for Sæby er lavvandet og har på lange strækninger barriereøer med lavtvandede laguner indenfor. På landsiden består kysten af vidtstrakte strandengsområder.

Kysten er præget af kystparallel sedimenttransport, hvilket bl.a. flere steder ses på kystkonturerne omkring åudløb og i havbundens geomorfologiske udformning af revlesystemer o. lign. Det flade kystområde gennemskæres af kunstigt vedligeholdte sejl-

render ved indsejlingerne til Limfjorden, Mariager Fjord og Randers Fjord.

En stor del af det kystnære farvand i det vestlige Kattegat er udpeget som Ramsarområde og EF-fuglebeskyttelsesområde.

### Hydrografi

De hydrografiske forhold i Aalborg Bugt afspejler de overordnede forhold i Kattegat. Aalborg Bugt er at betragte som et forholdsvis lavvandet overvejende velblandet estuarie, mens Læsø Rende mod nord er et lagdelt estuarie med en skillefladedybde på ca. 15 m.

Ved udstrømning fra Østersøen strømmer brakt vand med en saltholdighed på 12-25 ‰ ud gennem de danske stræder og som overfladevand op gennem Kattegat. Strømningen fordeles øst og vest (Læsø Rende) om Læsø. Læsø Rende tilføres primært vand fra Storebælt med saltholdigheder på 20-25 ‰.

Det noget mindre gennemstrømningsareal i Læsø Renden (ca. 1/10) sam-

menlignet med gennemstrømningsarealet øst for Læsø giver anledning til en større modstand mod strømmingen i forhold til øst om Læsø, ligesom Corioliskraften vil søge at koncentrere udstrømmende vand mod øst langs den svenske kyst. Læsø Rende og Aalborg Bugts forskellige karakteristika med hensyn til, dybdeforhold og lagdeling resulterer i en trykgradient under øst- og vestlige vinde, der er i stand til at drive en henholdsvis nord- eller sydgående strøm i Læsø Rende, og dermed delvis kompenserer for den større friktion (Poulsen, 1991). Resultatet er store strømhastigheder i Læsø Rende, hvilket er i overensstemmelse med observationer i renden, der viser, at alt fint materiale er spulet væk.

Den forholdsvis større strømning øst om Læsø i forhold til gennem Læsø Rende kan i udstrømningssituationer resultere i næsten øst-vest gående gradienter i saltholdigheden i overfladelaget i Kattegat, med de største saltholdigheder i den vestlige del af Kattegat (Aalborg Bugt).

På grund af bathymetrien i Hevring Bugt opfører bugten sig som et delvist lukket bassin, der er forbundet med Kattegat gennem et par smalle kanaler med forholdsvis stor modstand mod strømmingen. Dette bekræftes i et studie af strømforholdene i Hevring Bugt fra 1984 (Christoffersen og Kaalund, 1984), hvor strøm og salinitetsforhold blev målt på to stationer. En station umiddelbart øst for bassinet ud for Djurslands nordøstlige hjørne og en i selve bugten syd for Boels Plade tæt på den nuværende st. 190004. Undersøgelsen viste, at der i høj grad er tale om lokale blandings- og strømforhold i Hevring Bugt.

De hyppigst (ca. 60 % af tiden) forekommende strømretninger ved st. 190004, Hevring Bugt er mod nordvest og nord (Christoffersen og Kaalund 1984). Det generelle tidevands genererede strømmønster er vestgående strøm ind i bugten og op mod Boels Plade, ved stigende vandstand, og nordgående strøm gennem Vestrenden og Skidrenden ved faldende vandstand. Dette betyder, at udstrømmende vand fra Randers Fjord oftest vil blive presset mod nord og dermed ikke i så høj grad som forventet påvirker forholdene i Hevring Bugt.

#### 4.1.2 Prøvetagningsprogram

##### St. 190004, Hevring Bugt

I Hevring Bugt har der i årene 1985 og 1989-99 været gennemført en række målinger, dels som led i det Regionale Overvågningsprogram, dels som led i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram og NOVA 2003. Målingerne er foretaget på st. 190004, Hevring Bugt bortset fra fladebeskrivelserne af bundfauna og sediment, som også er foretaget på en række andre stationer i bugten. Tabel 4.1.1 viser en samlet oversigt over undersøgelserne.

Vanddybden på st. 190004 er 8,8 m.

##### St. 4410, Dokkedal

I de kystnære områder af Kattegat i Nordjyllands Amt, har der i perioden 1989-97, i henhold til Vandmiljøplanens Overvågningsprogram været foretaget rutinetilsyn på et fast referencetransekt, beliggende ud for Dokkedal i Aalborg Bugt.

Alle stationer er med NOVA 2003 udgået af overvågningsprogrammet. Måleprogrammet på den yderste station (tidligere benævnt st. 4410, Dokkedal 10 m) er delvist fortsat og data er, af hensyn til sammenligning med de øvrige stationer og på grund af den lange tidsserie, behandlet i denne rapport.

Vanddybden på st. 4410 er ca. 10 m.

Aktivitet	Stationsantal	Gennemført frekvens i -99 (planlagt frekvens)	Periode
Profilmålinger (Sal. Temp. Ilt. Flour.)	1	27	1985, 1989 - 99
Vandkemi (1 m, 1 m o. bund)	1	26	1985, 1989 - 99
Klorofyl (1 m, blandingspøve 1, 3, 5, 7, 9 m)	1	26	1985, 1989 - 99
Primær produktion	1		1985, 1989 - 97
Fytoplankton (Kvali- og kvantitativ)	1	26	1989 - 99
Bundfauna (Kvali- og kvantitativ)	10 (10), 45*	1	1989 - 99
Sediment	14	1	1989 - 99
Vegetation Transekter	3**		90, 92, 94, 96,99

Tabel 4.1.1

Prøvetagningsprogram i Hevring Bugt i årene 1985 og 1989-99.

\* I 1998 blev indsamlingen af bundfauna i forbindelse med Vandmiljøplanens Overvågningsprogram ændret fra at omfatte 14 stationer jævnt fordelt over bugten med 10 hapsprøver pr. station, til 10 stationer med 10 hapsprøver pr. station (Regionale Overvågningsprogram) samt 45 hapsprøver indsamlet i et stationsområde i Skidrenden (NOVA 2003), se figur 4.1-2.

\*\* I 1999 blev der som led i det Regionale Overvågningsprogram indsamlet prøver fra 3 af de 4 transekter. Resultaterne er rapporteret særskilt.

Aktivitet	Stationsantal	Gennemført frekvens i -99 (planlagt frekvens)	Periode
Profilmålinger (Salt., Temp., Ilt, Flour.)	1	27(30)	1989 - 99
Vandkemi (1 m, 1 m o. bund)	1	26(30)	1989 - 99
Klorofyl (Dybder som vandkemi)	1	26(30)	1989 - 99

Tabel 4.1.2

Prøvetagningsprogram for st. 4410, Dokkedal i årene 1989-99.

Aktivitet	Stationsantal	Gennemført Frekvens i -99 (planlagt frekvens)	Periode
Profilmålinger (Salt., Temp., Ilt, Flour.)	1	29(30)	1998 - 99
Vandkemi (1m, 5m, 10m, 15m og 1m o. bund)	1	29(30)	1998 - 99
Klorofyl (Dybder som vandkemi)	1	29(30)	1998 - 99

Tabel 4.1.3  
 Prøvetagningsprogram for st. 40302, Læsø Rende i årene 1998-99.

Aktivitet	Stationsantal	Gennemført frekvens i -99 (planlagt frekvens)	Periode
Profilmålinger (Salt., Temp., Ilt, Flour.)	1	26(30)	1998 - 99
Vandkemi (1m, 5m, 1m o. bund)	1	26(30)	1998 - 99
Klorofyl (Dybder som vandkemi) og på PP prøver)	1	26(30)	1998 - 99
Primærproduktion	1	26(30)	1998 - 99
Fytoplankton (Kvali- og kvantitativ)	1	26(30)	1989 - 99
Zooplankton	1	(ikke udført)	1998 - 99

Tabel 4.1.4  
 Prøvetagningsprogram for st. 409, Aalborg Bugt i årene 1998-99.

### St. 40302, Læsø Rende

St. 40302, Læsø Rende er ny i det overvågningsprogram, som Nordjyllands Amt fra og med 1998 er ansvarlig for. Stationen har tidligere været besøgt af DMU (HELCOM 403).

Nordjyllands Amt har ikke tidligere haft stationer med det formål at beskrive de hydrografiske og vandkemiske forhold i Læsø Rende.

Vanddybden på st. 40302 er ca. 22 m.

### St. 409, Aalborg Bugt

St. 409 i Aalborg Bugt er ny i det overvågningsprogram, som Nordjyllands Amt fra og med 1998 er ansvarlig for. Stationen har tidligere været besøgt af DMU (HELCOM 409).

Vanddybden på st. 409 er ca. 14 m.

Målinger af sedimentets sulfidbufferkapacitet måles årligt i februar og september, første gang var i 1999. Bestemmelse af næringssaltpuljer i sedimentet blev bestemt i 1999.

Figur 4.2.1-1  
 Temperaturen (°C) i overfladen og ved bunden på st. 4410, Dokkedal og st. 40302, Læsø Rende.

## 4.2 Resultater

### 4.2.1 Fysiske forhold

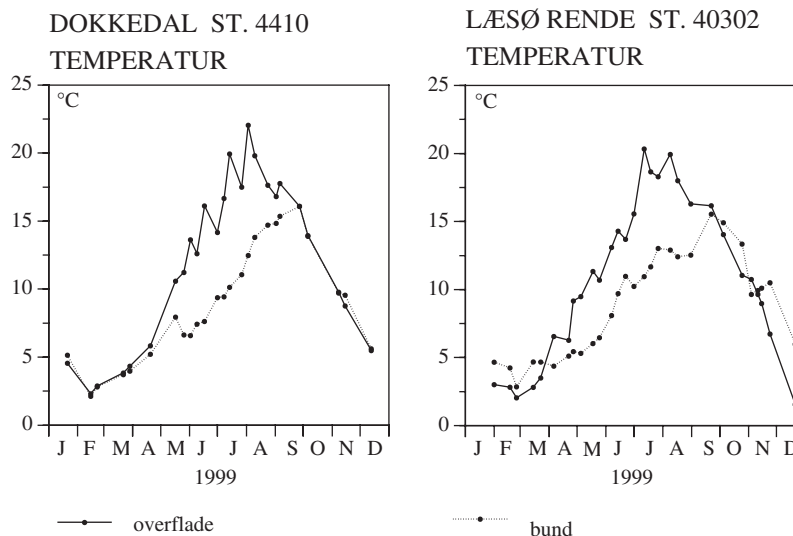
De fysiske forhold i Kattegat Vest er influeret af de overordnede meteorologiske forhold. Passagen af høj- og lavtryk over Skandinavien påvirker strømmingen ind og ud af Østersøen og dermed strømmingen gennem de indre danske farvande. I januar og februar var der ingen væsentlig nettostrømning gennem de indre danske farvande. Perioden marts til midt september var præget af en stor nettoud-

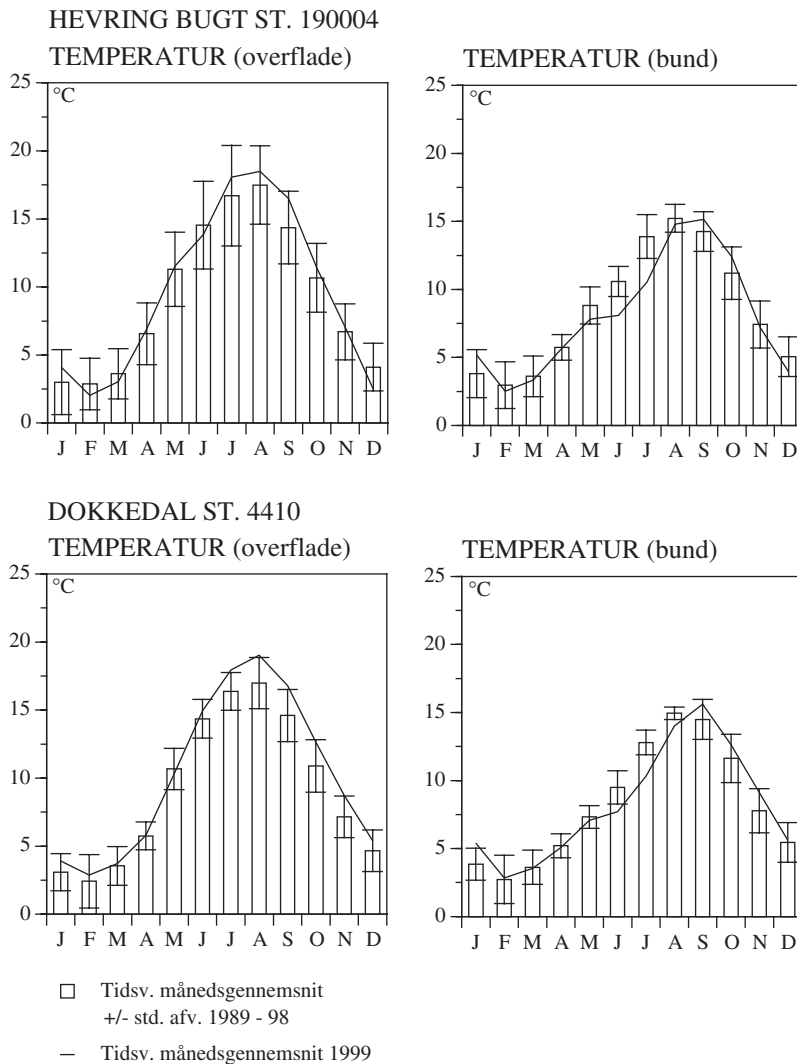
strømning af vand fra Østersøen (560 km<sup>3</sup>), mens den resterende del af året vekslede mellem netto ud- og indstrømning af ca. en måneds varighed hver (DHI, 2000). Nettostrømmingen er beregnet for et øst-vest snit gennem Kattegat på højde med Læsø.

### Temperatur

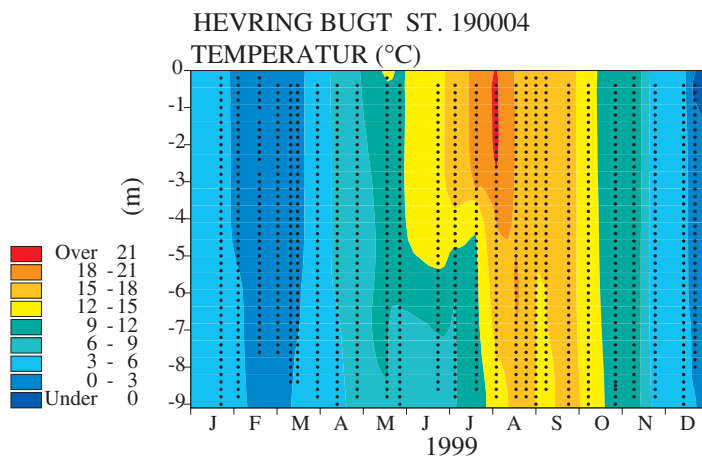
#### Året der gik

Temperaturen målt på de fire stationer i Kattegat Vest udviste den samme overordnede variation over året, se figur 4.2.1-1. Fra januar til marts var vandsøjlen på st. 4410 og st. 409 homogen med temperaturer mellem 2





Figur 4.2.1-2  
Månedsgennemsnit af temperaturen (°C) på st. 190004, Hevring Bugt og st. 40302, Læsø Rende i 1999 samt gennemsnit og standardafvigelse for perioden 1989-98.



Figur 4.2.1-3  
Isoplet af temperaturen (°C) på st. 190004, Hevring Bugt i 1999.

og 5 °C, mens der var en svag temperaturlagdeling på st. 190004 og st. 40302. Fra april registreredes på alle stationer en tydelig lagdeling af vand-søjlen på 6-10 °C. Temperaturlagdelingen blev nedbrudt i begyndelsen af september/oktober, hvor vinden tiltog i styrke og øgede opblandingen af vandmasserne.

I overfladen var temperaturerne tæt på gennemsnittet for perioden 1989-98 i de første seks måneder af 1999 (se figur 4.2.1-2). Fra juli blev der registreret noget højere temperaturer end langtidsgennemsnittet på grund af de høje lufttemperaturer og rolige vindforhold i sommermånederne. På st. 190004, Hevring Bugt var temperaturerne igen tæt på langtidsgennemsnittet for oktober, mens temperaturen holdt sig over gennemsnittet helt frem til december på de øvrige stationer i Kattegat Vest.

I det nedre lag var temperaturen generelt omkring langtidsgennemsnittet i årets første måneder, januar – maj. Derefter fulgte nogle måneder, juni – august, hvor temperaturerne generelt lå under gennemsnittet for perioden 1989-98, hvilket sandsynligvis skyldes en kombination af en forholdsvis stor transport af salt Nordsø-bundvand ind i det vestlige Kattegat og manglende vertikal opblanding. Fra september og året ud lå temperaturerne over gennemsnittet sandsynligvis på grund af opblanding med det varmere overfladevand og på grund af perioder med nettoindstrømning til Østersøen.

### Saltholdighed

#### Året der gik

Samtlige stationer udviste den samme generelle variation i saltholdigheder og lagdeling i 1999.

Årets første måneder, januar – februar, var domineret af vind fra syd og sydvestlige retninger uden væsentlig nettostrømning gennem Kattegatsnittet.

ΔS	St. 190004 1985, 1989-1998 %	St. 4410 1985, 1989-1998 %	St. 190004 1999 %	St. 4410 1999 %
< 2 ‰	45,1	45,7	40,8	30,8
2-4 ‰	27,0	16,3	11,1	3,8
4-6 ‰	12,6	11,7	14,8	3,8
6-8 ‰	7,4	9,6	22,2	19,2
8-10 ‰	5,1	9,0	7,4	11,6
> 10 ‰	2,8	7,7	3,7	30,8

**Tabel 4.2.1**  
Hyppighedsfordeling (%) af forskellen i saltholdighed (Δs) mellem overfladen og bunden for året 1999 og perioden 1989-98. Det skal bemærkes, at fordelingen skal tages med forbehold idet den bygger på et relativt lille antal målinger i forhold til de variationer, der kan optræde i saltholdigheden.

I marts skiftede vinden kortvarigt til øst, hvilket satte gang i en kraftig nettoudstrømning af opstuvet vand fra Østersøen. Der var nettoudstrømning frem til midt september. Sammen med de rolige vindforhold i sommermånederne juni – august blev resultatet en meget kraftig lagdeling på op til 15 ‰ og saltholdigheder i overfladen noget under langtidsgennemsnittet, se figur 4.2.1-4 og 4.2.1-5.

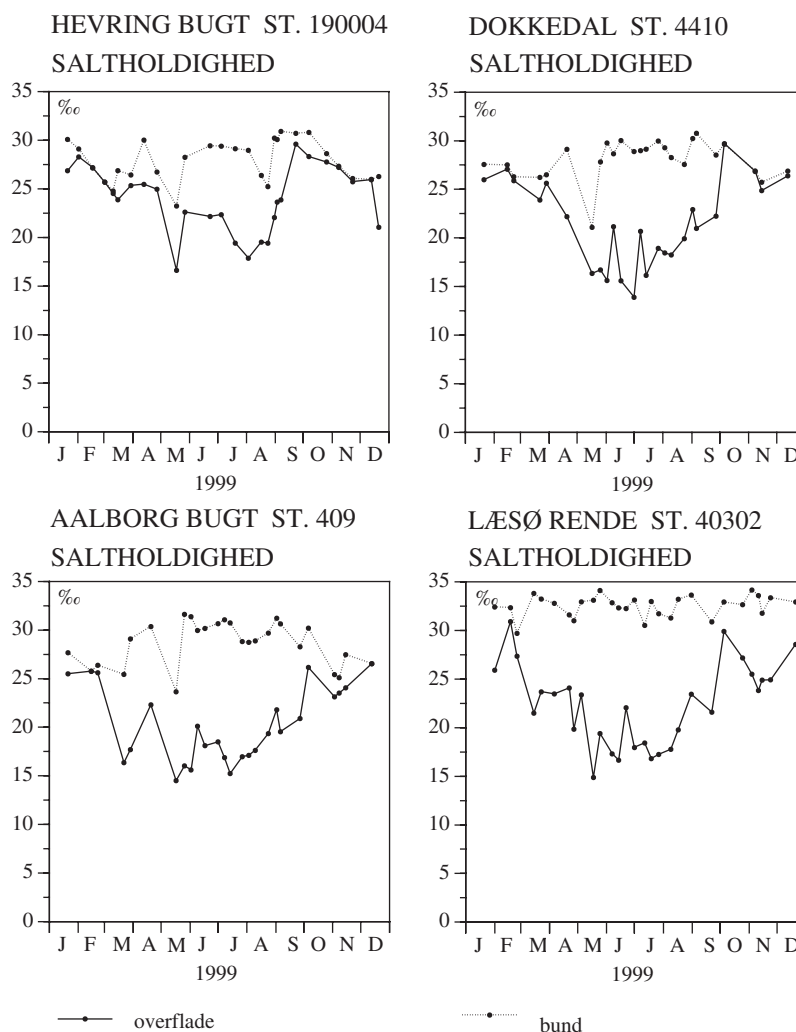
I juni – september fik bundlaget i de centrale dele af Kattegat tilført salt Nordsø-bundvand, som bragte saltholdigheden op på 30 ‰. På st. 40302, Læsø Rende lå saltholdigheden i bundlaget på næsten konstant 33 ‰ svarende til Nordsø vand.

Midt i september begyndte forholdene at blive mere ustabile og resten af året var præget af perioder med vekslende nettoud- og indstrømning. I oktober tiltog vinden i styrke, hvilket resulterede i en opblanding af vandmasserne og saltholdigheder over middel i overfladen resten af året.

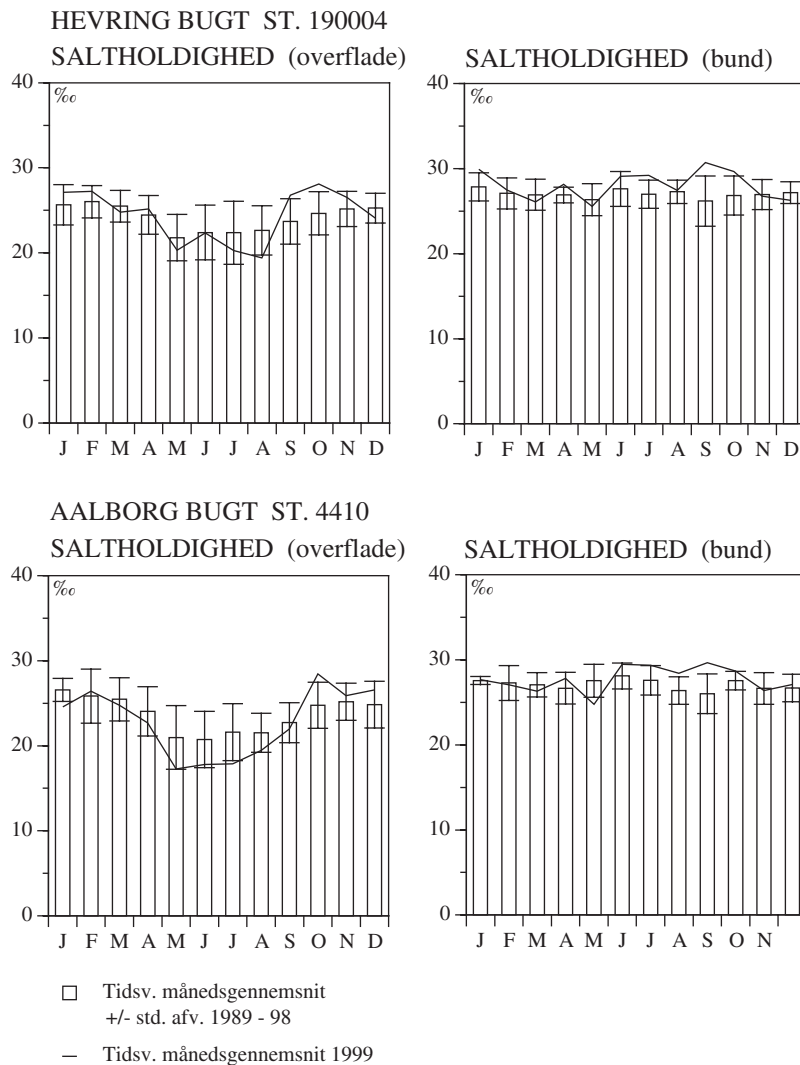
Sammenlignes hyppighedsfordelingen af saltholdighedsforskelle mellem overflade og bund på st. 190004 og st. 4410 for året 1999 med langtidsgennemsnittet for perioden 1989-1998

ses, at lagdelingen på de to stationer var noget kraftigere end normalt, tabel 4.2.1.

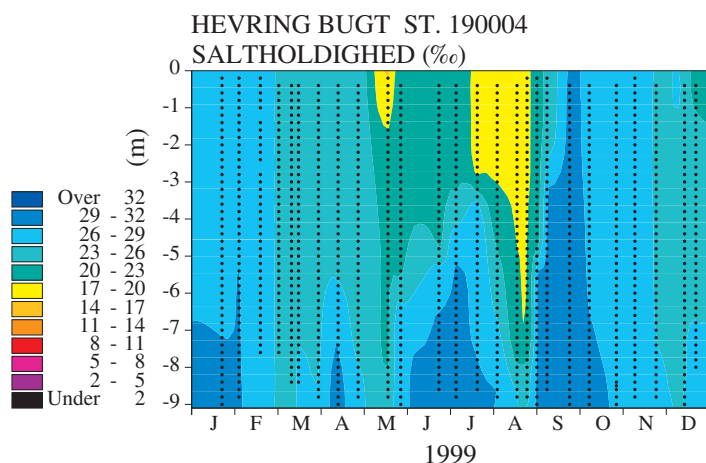
Sammenlignes de målte saltholdigheder på st. 190004, Hevring Bugt med st. 4410, Dokkedal ses, at saltholdigheden generelt er højere i overfladen i Hevring Bugt end ved Dokkedal, mens saltholdigheden ved bunden er lavere. En analyse af langtids månedsgennemsnittene for perioden 1989-98 fra de to stationer viser, at saltholdigheden i overfladen på st. 4410, Dokkedal er signifikant lavere end på st. 190004. Den forventelige stigende saltholdighed i overfladen fra syd mod nord pga. medrivning kan således ikke påvises.



**Figur 4.2.1-4**  
Saltholdigheden (‰) i overfladen og ved bunden på st. 190004, st. 4410, st. 409 og st. 40302.



Figur 4.2.1-5  
Månedsgennemsnit af saltholdigheden (‰) samt gennemsnit og standardafvigelse for perioden 1989-98 på st. 190004 og st. 4410.



Figur 4.2.1-6  
Isoplej af saltholdigheden (‰) på st. 190004, Hevring Bugt i 1999.

En analyse af gradienten i saltholdigheden mellem overfladevandet og bundvandet (se tabel 4.2.1) viser, at perioder med svag eller ingen lagdeling (forskel i saltholdighed < 2 ‰) forekommer i ca. 45% af tiden på begge stationer. I perioder med væsentlig lagdeling (her defineret som perioder med saltholdighedsforskel > 2 ‰) er lagdelingen kraftigere på st. 4410, Dokkedal end på st. 190004, Hevring Bugt. Årsagen hertil er formentlig, at der sker en større lokal opblanding i det delvist lukkede bassin i Hevring Bugt. En forklaring kan også være, at der under visse strøm- og vindforhold for eksempel ved sydgående strømretninger i Kattegat dannes en højre drejende hvirvel i Aalborg Bugt/Hevring Bugt, således, at saltholdigt bundvand trænger ind fra øst langs Djurslands nordkyst. Yderligere har en hydrografisk undersøgelse af Hevring Bugt påvist, at der ved kraftig nordvest gående strøm ved Fornæs tilsyneladende sker en saltkileindtrængning fra øst mod vest langs nordkysten af Djursland til Hevring Bugt (Christoffersen og Kaalund 1984).

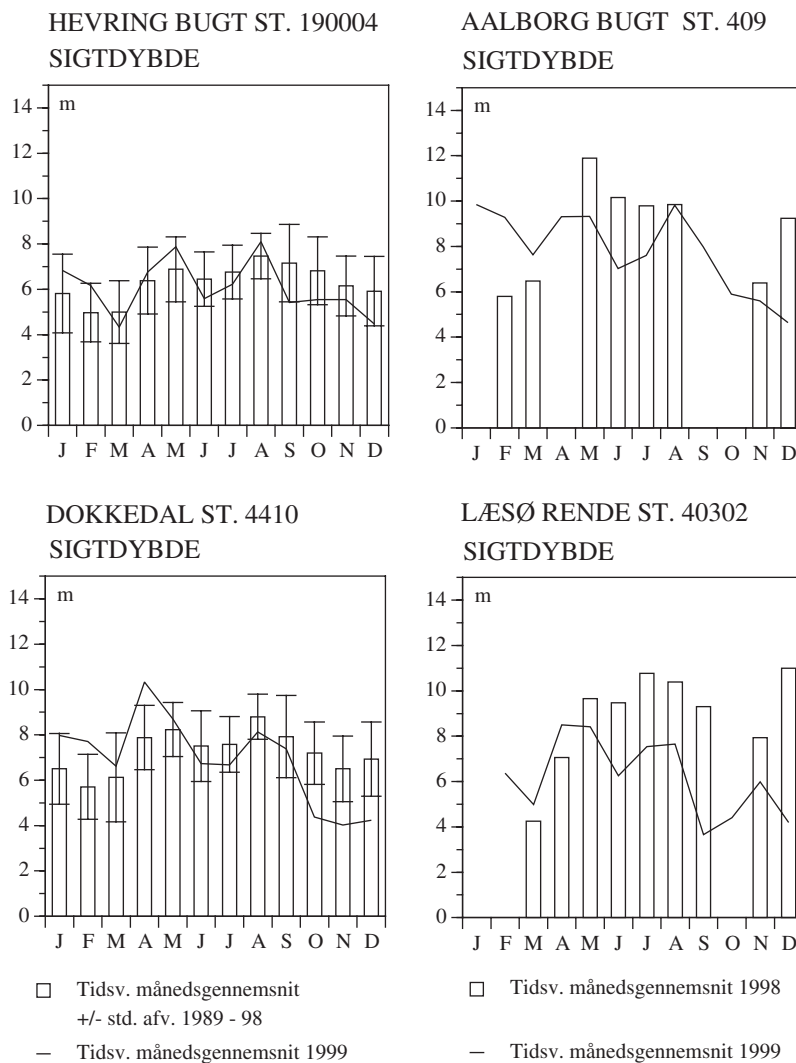
#### Tidslig udvikling

Der kan i undersøgelsesperioden ikke registreres nogen tidslig udvikling i hverken temperatur eller saltholdighed i det vestlige Kattegat.

#### Lys – sigtddybe og lyssvækkelseskoefficient

##### Året der gik

I årets første måneder, januar – maj, var sigtddyben generelt højere end langtidsgennemsnittet for perioden 1989-98, se figur 4.2.1-7. I forbindelse med forårsopblomstringen og den store afstrømning fra land i marts blev sigtddyben reduceret. Reduktionen var specielt tydelig på st. 190004, Hevring Bugt, hvor forårsopblomstringen i marts gav anledning til klorofylkoncentrationer og kulstofbiomasser langt over middel (figur 4.2.5-2). Henfaldet af alger i april/maj gav sig



Tidslig udvikling

Ved anvendelse af Kendalls tau-b test er der ikke fundet nogen signifikant udvikling i de tidsvægtede års- eller sommergennemsnit for sigtddybden på st. 190004 eller st. 4410 i perioden 1989-99 (se bilag 3.4.14).

Figur 4.2.1-7  
Månedsgennemsnit af sigtddybden (m) samt gennemsnit og standardafvigelse for perioden 1989-1998 på st. 190004, st. 409, st. 40302 og st. 4410.

udslag i højere sigtddybder, se figur 4.2.1-8.

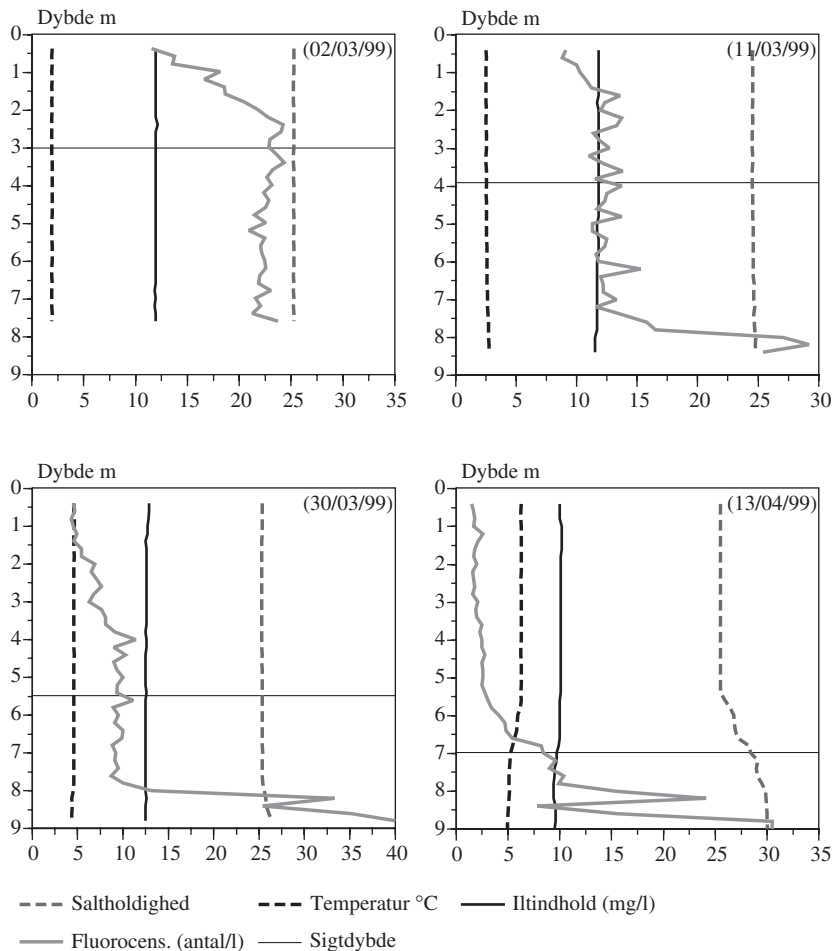
Fra juni og året ud lå sigtddybderne generelt under gennemsnittet for perioden 1989-98. I august var der en stigning i sigtddybden. Dette skyldtes en kombination af at planteplanktonet befandt sig i 7-8 m dybde nær skillefladen til det mere næringsrige bundvand efterhånden som næringsstofferne i det øvre lag blev opbrugt og, at cellerne havde et lavt indhold af klorofyl (se afsnit 4.2.5). Sigtdybden i det vestlige Kattegat varierer i mange tilfælde mere i forhold til planteplanktonets forde-

ling i vandsøjlen (fysiske forhold) end i forhold til mængden (se bilag 3.4.10).

Sensommerproduktionen i september medførte igen et kraftigt fald i sigtddybden, ligesom forholdsvis høje planteplanktonforekomster i oktober – november gav lave sigtddybder.

Lyssvækkelseskoefficienten er udregnet for st. 409 for første gang i 1999. På figur 4.2.1-9 ses variationen over året, hvilket svarer til variationen i sigtddybden.

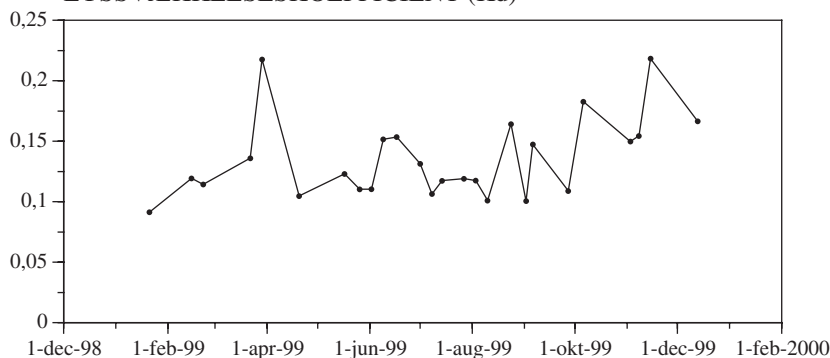
## HEVRING BUGT ST. 190004



Figur 4.2.1-8

Sigt dybde (m) samt profiler af saltholdighed (‰), temperatur (°C), iltindhold (mg/l) og fluorocens (antal/l) for udvalgte dage i 1999 på st. 190004.

## AALBORG BUGT ST. 409

LYSSVÆKKELSESKOEFFICIENT (K<sub>d</sub>)

Figur 4.2.1-9

Lyssvækkelseskoefficient på st. 409, Aalborg Bugt.

## 4.2.2 Stoftilførsler

Næringsstoftilførslen til det vestlige Kattegat kan opgøres fordelt på 4 kilder:

- Eksport fra fjorde, (Randers Fjord, Mariager Fjord og Limfjorden).
- Afstrømning fra små vandløbsoplande, langs de åbne kystafsnit.
- Bidrag fra atmosfæren.
- Udveksling med omkringliggende havområder.

Der er i denne beskrivelse kun inddraget tilførsel fra den åbne kyst og eksport fra fjordene, dvs. landbaserede kilder. Atmosfærebidraget er vanskeligt at opgøre, da man ikke kan afgrænse det vestlige Kattegat. Estimerer fra Hevring Bugt viser, at atmosfærebidraget i dette relativt velafgrænsede område udgør ca. 10 % af den samlede tilførsel af kvælstof og ca. 5 % af den samlede tilførsel af fosfor (Århus Amt 1992).

Nettoeksporten fra Mariager Fjord og Limfjorden er estimeret på grundlag af beregninger med boksmøller. Boksmøllerne beregner en vandføring i fjordsystemet, ud fra et konstant vandvolumen, ferskvandstilførslen og for Limfjordens vedkommende forskelle i saltholdigheder mellem Nordsøen og Kattegat. Vandføringen danner grundlag for en beregning af import og eksport af næringsstoffer til/fra Kattegat. Beregningerne er specielt i perioden 1990-92, behæftet med relativt store usikkerheder på grund af et beskedent antal prøver med varierende kvalitet.

Nettoeksporten fra Randers Fjord er beregnet på grundlag af hydrografiske undersøgelser foretaget i 1994-95. I den forbindelse blev der opstillet en stoftransportmodel. Der blev beregnet en månedlig kvælstof- og fosfortilbageholdelse/frigivelse, som efterfølgende blev anvendt til estimering af nettoeksporten for årene 1990-99. For 1999 resulterede beregningerne i en tilbageholdelse på 11% af kvælstof-

tilførslen til fjorden og 6% af fosfortilførslen til fjorden. Det vurderes, at estimatet er behæftet med relativ stor usikkerhed, da der ikke er taget højde for hydrografiske og meteorologiske variationer i perioden.

Der er i dette afsnit fokuseret på den totale tilførsel af kvælstof og fosfor. Der er ikke foretaget en kildeopsplitning, da dette ikke giver mening i forbindelse med modelberegnete nettoeksporter.

### Kvælstof

#### Året der gik

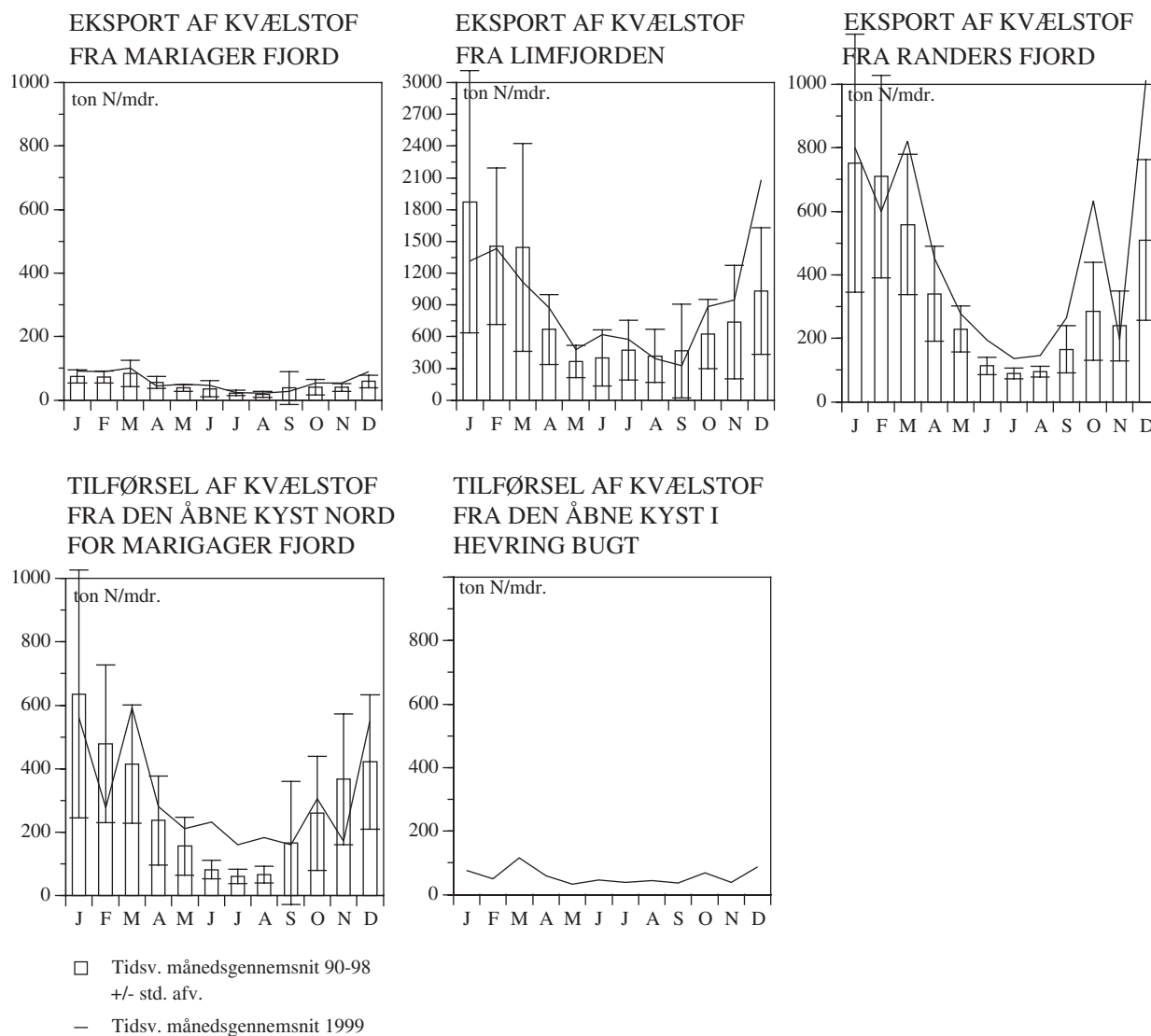
Belastningen med kvælstof var generelt høj i 1999. Den samlede kvælstofbelastning fra land (fjorde og åbne kyststrækninger) var i 1999 på ca. 21700 ton (mindste belastning i perioden 1990-1999 var 9975 ton, største belastning var 27116 ton).

Bidraget fra Randers og Mariager Fjorde lå over gennemsnittet hele året undtagen februar og november for Randers Fjord og april for Mariager

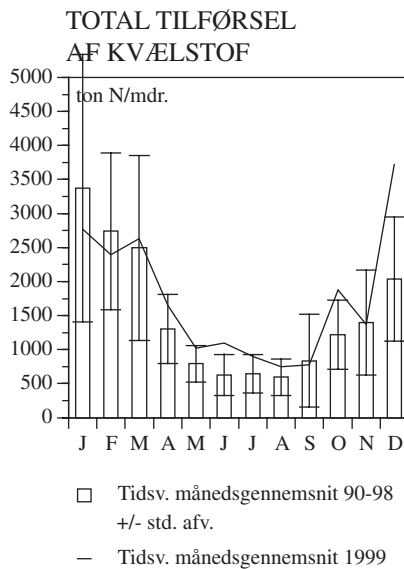
Fjord. De store mængder skyldtes den høje afstrømning forårsaget af nedbørmængder, der generelt lå over middel i 1999.

Randers Fjord er karakteriseret ved en stor ferskvandstilledning og en kort opholdstid. Mariager Fjord er fortrinsvis grundvandsfødt og eksporten fra fjorden varierer derfor i mindre grad med afstrømningen.

For Randers Fjord og de åbne kyster gav de våde måneder marts og december tydeligt respons i afstrømningen.



Figur 4.2.2-1 Tilførsel af kvælstof (ton kvælstof/mdr.) som månedsgennemsnit for 1999 samt gennemsnit og standardafvigelse for perioden 1990-98 for Mariager Fjord, Limfjorden, Randers Fjord og de åbne kyststrækninger. Bemærk forskelle i y-aksen.

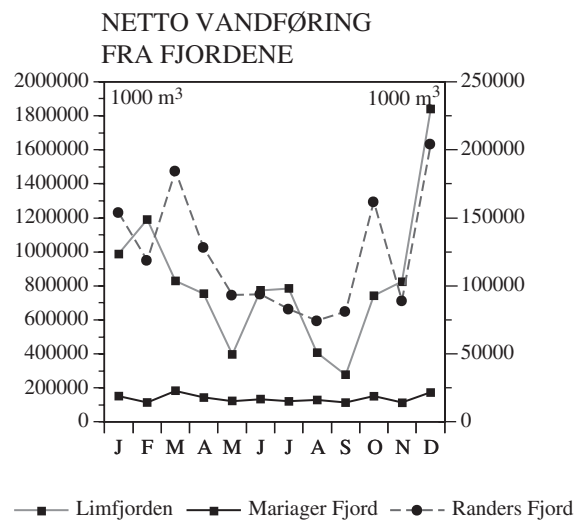


Figur 4.2.2-2  
Total tilførsel af kvælstof (ton kvælstof/mdr.) som månedsgennemsnit for 1999 samt gennemsnit og standardafvigelse for perioden 1990-98.

Den megen nedbør i juni og august blev fortrinsvis brugt til at fylde magasinerne og gav ikke anledning til forøget afstrømning, mens den efterfølgende nedbør i september/oktober gav anledning til en høj afstrømning i oktober. November måneds begrænsede nedbør afspejledes i afstrømningen fra de åbne kyster samt Randers Fjord.

Limfjorden adskiller sig fra de øvrige fjorde, idet vandskiftet i fjorden er betinget af forskelle i det hydrostatiske tryk (vandstand og saltholdighed) mellem Nordsøen og Kattegat samt vindfriktionen. Bidraget fra Limfjorden kan derfor ikke i samme grad sammenholdes med afstrømningen, men vil i højere grad være betinget af, om strømningen er øst eller vestgående i Limfjorden. Kvælstofbidraget fra Limfjorden lå under eller omkring middel i årets første tre måneder samt august og september, mens den lå lidt over middel i den øvrige del af året.

Figur 4.2.2-1 viser kvælstofeksporpen fra fjordene. Det ses, at Limfjorden adskiller sig fra de øvrige ved at give



Figur 4.2.2-3  
Nettovandføring (1000 m<sup>3</sup>/mdr.) til Kattegat fra Mariager Fjord, Randers Fjord og Limfjorden. Mariager Fjord og Randers Fjord relateres til højre y-akse.

store bidrag i juni/juli. Figur 4.2.2-3 viser nettovandføringen fra fjordene til Kattegat. Det ses hvorledes vandføringen fra specielt Randers Fjord er korreleret til afstrømningen fra land, mens det samme ikke er tilfældet for Limfjorden.

#### Tidslig udvikling i tilførslen fra den åbne kyst

Den direkte tilførsel fra de åbne kystområder omfatter området fra det nordlige Djursland til Skagen. Bidraget fra det nordlige Djursland op langs Jyllands østkyst til munden af Mariager Fjord (excl. Randers Fjord) udgør ca. 4 % af den totale tilførsel. Bidraget fra de nordjyske kyster, der omfatter en række større åplande og punktkilder, såsom Frederikshavn og en stor del af den østjyske fiskeindustri, ligger i perioden uforandret på ca. 17-19 % af den totale tilførsel.

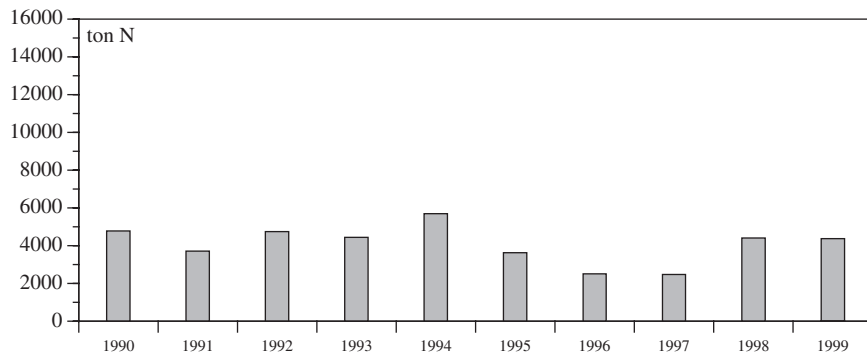
Der kunne i perioden 1990-99 ikke registreres nogen signifikant udvikling i tilførslen af kvælstof til det vestlige Kattegat, fra punktkilder og oplande til de åbne kyster (figur 4.2.2-4).

#### Tidslig udvikling i eksporten fra fjordene

Der er i perioden 1990-99 ikke registreret en signifikant udvikling i nettoeksporten af kvælstof fra fjordene til det vestlige Kattegat.

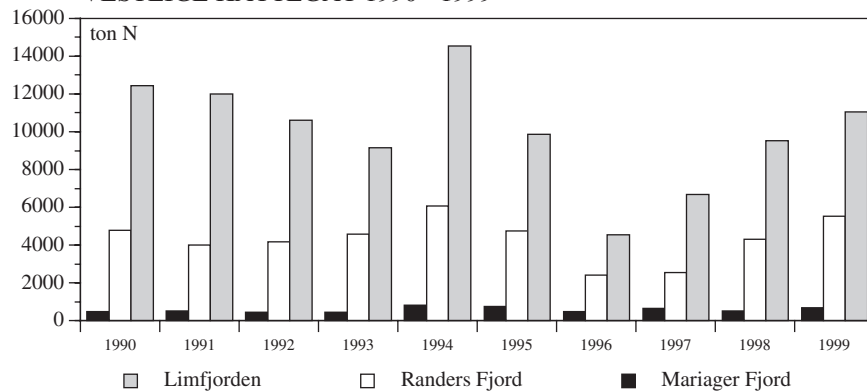
Mariager Fjord bidrager med ca. 2-5 % af den totale kvælstoftilførsel til Kattegat. Situationer med omfattende iltvind øger den interne belastning og dermed eksporten til Kattegat betragteligt på grund af frigivelsen af store mængder ammonium+ammoniak. Iltvindshændelsen i 1997 resulterede således i en stigning i eksporten fra fjorden på trods af, at den eksterne belastning til fjorden i 1997 var ca. 200 ton mindre end i 1996. I 1998 var både eksporten og forholdet mellem belastning og eksport på sammen niveau som 1996, hvilket tyder på, at de ændrede biologiske forhold i fjorden efter iltvindet i 1997, ikke påvirkede den totale nettoeksport til Kattegat. I 1999 var kvælstofeksporpen og afstrømningen på niveau med 1990, 1991 og 1992.

TILFØRSEL AF KVÆLSTOF FRA ÅBNE KYSTSTRÆKNINGER  
1990 - 1999



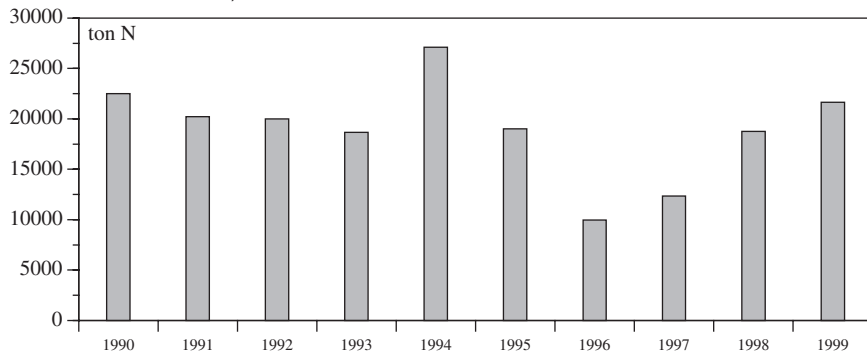
Figur 4.2.2-4  
Kvælstof (ton kvælstofår) tilførsel fra de åbne kyststrækninger til det vestlige Kattegat i perioden 1990-99.

NETTOEKSPORT AF KVÆLSTOF FRA FJORDE VED DET  
VESTLIGE KATTEGAT 1990 - 1999



Figur 4.2.2-5  
Nettoeksporten af kvælstof (ton kvælstofår) fra fjordene til det vestlige Kattegat i perioden 1990-99.

TOTAL TILFØRSEL AF KVÆLSTOF FRA LAND 1990 - 1999



Figur 4.2.2-6  
Total-kvælstof (ton kvælstofår) tilførsel til det vestlige Kattegat i perioden 1990-99.

Randers Fjords bidrag til den totale kvælstoftilførsel til det vestlige Kattegat ligger konstant omkring 20 %. Randers Fjord er ikke ramt af omfattende iltsvindshændelser, og det må derfor forventes, at den interne kvælstofbelastning er ret begrænset.

Limfjordens relative bidrag til den samlede tilførsel af kvælstof til det vestlige Kattegat, ligger konstant på omkring 50 % gennem perioden. Den meget høje eksport i 1994 skyldtes sandsynligvis omfattende iltsvindshændelser, som forventes at have udløst en stor intern kvælstoffrigivelse i form af ammonium+ammoniak. Iltsvindshændelserne i 1997 gav ikke udslag i en tilsvarende stor eksport, fordi nettotransporten fra Limfjorden mod Kattegat det år var mindre end gennemsnittet.

Tidlig udvikling i total kvælstoftilførsel fra land

Der er ingen signifikant udvikling i total tilførslen af kvælstof til Kattegat. Der er i perioden 1990-99 ikke sket en væsentlig reduktion i belastningen, udover hvad der kan tilskrives den begrænsede nedbør i 1996 og 1997. Tilførslen i 1999 på 21700 ton lå på niveau med årene 1990, 1991 og 1992, hvor afstrømningen målt som vandføring var 20 % lavere end i 1999. Tilførslen var forholdsvis høj, ca. 15 % højere end gennemsnittet for undersøgelsesperioden 1990-99 på 19025 ton. Variationerne i den årlige tilførsel skyldes primært forskelle i afstrømningen, mindste belastning var på 9975 ton i det tørre år 1996 og højeste belastning 27116 ton i det våde år 1994.

Det skal dog bemærkes, at eventuelle udviklingstendenser kan være overskygget af fordelingen af våde og tørre år i den relativt korte periode, der betragtes (1990-99).

## Fosfor

### Året der gik

Den totale tilførsel af fosfor fra land (fjorde og åbne kyst strækninger) var i 1999 karakteriseret ved lave værdier i vintermånederne, januar-marts, og september og tilførsler på eller over gennemsnittet i resten af året. Den totale fosfortilførsel fra land var i 1999 på ca. 1054 ton (mindste belastning i perioden 1990-99 var 577 ton, største belastning var 1263 ton).

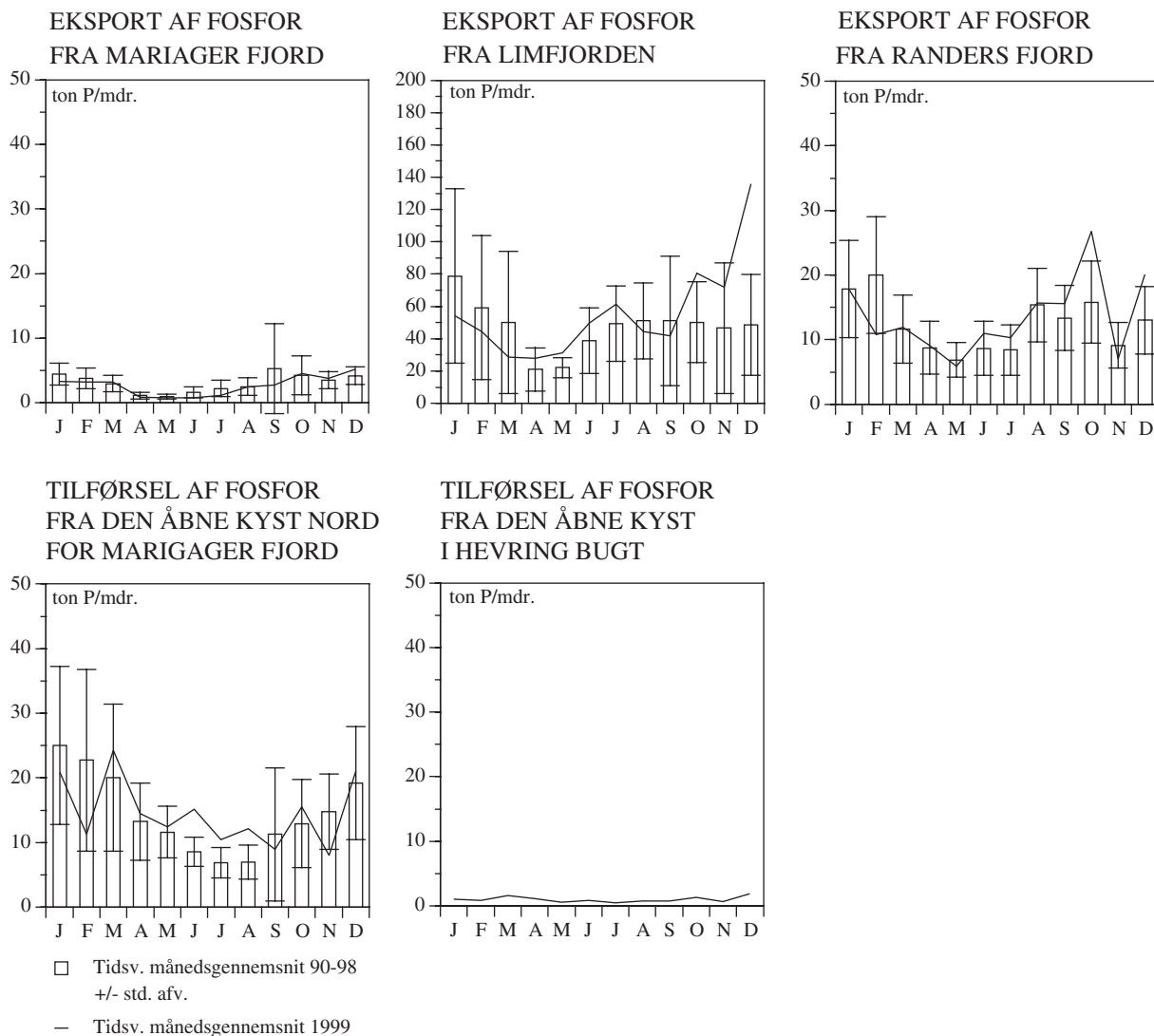
Eksporten af fosfor fra Randers Fjord lå på eller under gennemsnittet hele året undtagen juni/juli, september/-

oktober og december. De høje mængder i juni/juli skyldtes sandsynligvis afstrømning af partikulært bundet fosfor (tilførslen af kvælstof lå ikke tilsvarende over gennemsnittet). Fosforen kan enten have været bundet til de store mængder alger, der strømmede til fra Gudenåen eller til uorganisk materiale, som blev resuspenderet under de meget intensive regnskyl i specielt juni måned. I juni var nedbørsmængden noget over gennemsnittet, men en del af nedbøren blev forbrugt til at fylde magasinerne og juni måneds afstrømning var derfor ikke tilsvarende stor, omend større end gennemsnittet. De store tilførsler af fosfor i oktober og

december skyldtes den store afstrømning i disse måneder.

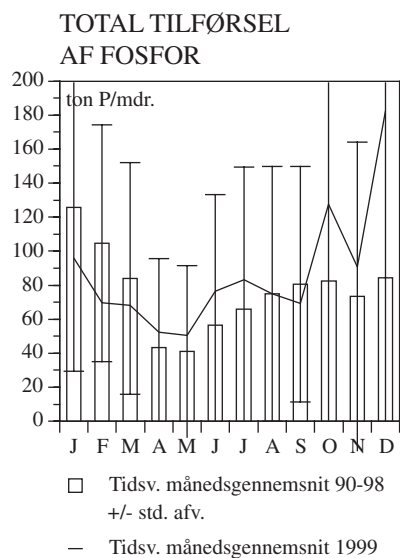
Fra den åbne kyst var tilførslerne høje i juni – august og igen i oktober og december. Effekter af variationer i afstrømningen udviskes en smule, fordi den åbne kyst nord for Mariager Fjord omfatter en række større industrielle udløb.

De høje værdier i eksporten fra Limfjorden i juni/juli og oktober – november skyldtes en kombination af høj afstrømning og stor nettostrom mod øst.



Figur 4.2.2-7

Tilførsel af fosfor (ton fosfor/mdr.) som månedsgennemsnit for 1999 samt gennemsnit og standardafvigelse for perioden 1990-98 for Mariager Fjord, Limfjorden, Randers Fjord og de åbne kyststrækninger. Bemærk forskelle i y-aksen.



Figur 4.2.2-8  
Total tilførsel af fosfor (ton fosfor/mdr.) som månedsgennemsnit for 1999 samt gennemsnit og standardafvigelse for perioden 1990-98.

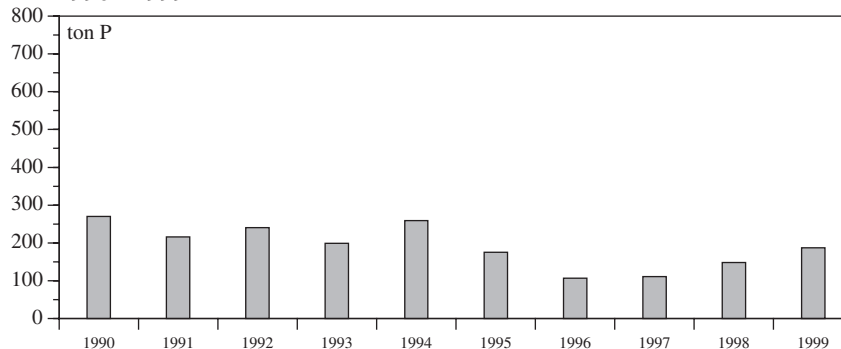
Mariager Fjord adskiller sig fra de øvrige områder ved, at eksporten fra fjorden lå under eller omkring gennemsnittet frem til og med september. I oktober og december lå eksporten en smule over gennemsnittet, som følge af den høje afstrømning. September måneds middel er for Mariager Fjord usædvanlig høj pga. den store eksport i 1997 som følge af iltsvindet.

Tidlig udvikling i tilførsel fra den åbne kyst

Den direkte tilførsel fra de åbne kystområder omfatter området fra det nordlige Djursland til Skagen. Bidraget fra det nordlige Djursland er mindre end 3 % af den totale tilførsel. Der kunne i perioden 1990-99 registreres et signifikant fald i fosfortilførslen fra den åbne kyst langs det nordlige Djursland.

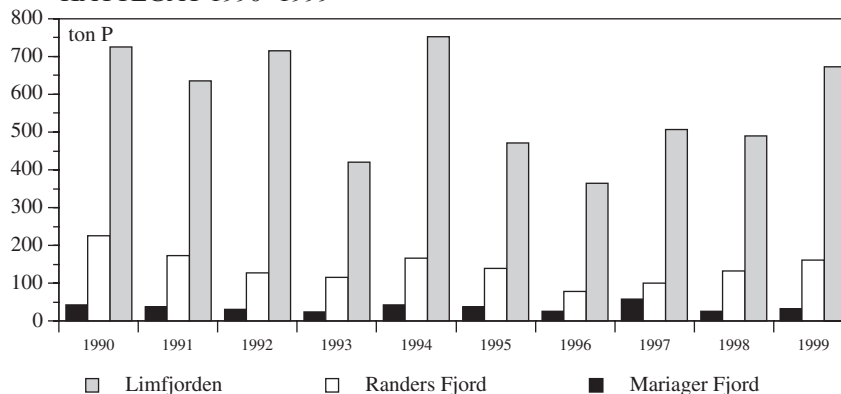
Bidraget fra de Nordjyske kyster, der omfatter en række større åoplande og punktkilder, såsom Frederikshavn og en stor del af den østjyske fiskeindustri, udgør 17-20 % af den totale

TILFØRSEL AF FOSFOR FRA ÅBNE KYSTSTRÆKNINGER 1990 - 1999



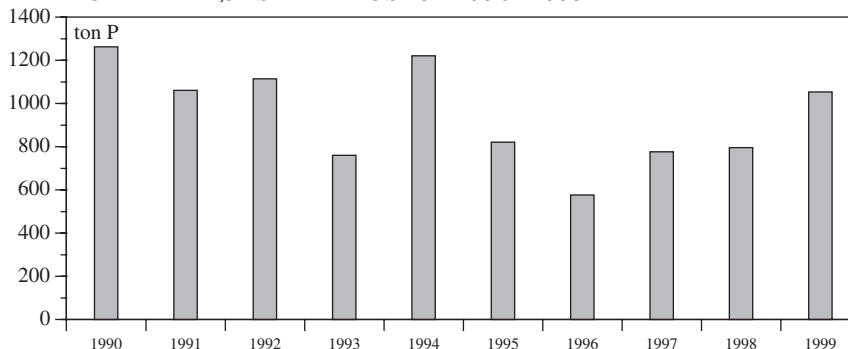
Figur 4.2.2-9  
Fosfortilførsel (ton fosfor/år) fra de åbne kyststrækninger til det vestlige Kattegat i perioden 1990-99.

NETTOEKSPORT AF FOSFOR FRA FJORDE VED DET VESTLIGE KATTEGAT 1990 -1999



Figur 4.2.2-10  
Nettoeksporten af fosfor (ton fosfor/år) fra fjordene til det vestlige Kattegat i perioden 1990-99.

TOTAL TILFØRSEL AF FOSFOR 1990 - 1999



Figur 4.2.2-11  
Total-fosfor tilførsel (ton fosfor/år) til det vestlige Kattegat i perioden 1990-99.

tilførsel. Der er ikke tale om signifikante udviklingstendenser i perioden 1990-99, hvilket først og fremmest skyldes, at det fald i tilførslen, der har været på grund af forbedret spildevandsrensning, både fra industri og byområder, lå forud for den betragtede periode.

#### Tidlig udvikling i eksporten fra fjordene

Der kan for fjordene ikke registreres nogen signifikant udvikling i nettoeksporten af fosfor til Kattegat. Effekten af den forbedrede spildevandsrensning i slutningen af 80'erne slog i oplandet til Kattegat Vest, kraftigst igennem forud for den betragtede periode 1990-99.

Mariager Fjords bidrag til den totale fosfortilførsel til Kattegat Vest ligger generelt på 3-5 %, bortset fra 1997, hvor det ekstreme iltsvind resulterede i en puls på 40 ton kvælstof, der øgede Mariager Fjords bidrag til 7 %.

Randers Fjords bidrag til den totale tilførsel er relativt uændret gennem perioden 1990-99 på 13-17 %. Fjordens kanalagtige topografi giver en hurtig gennemstrømning, og iltsvind og potentiel fosforfrigivelse er derfor begrænset til mindre områder i fjordens indre dele.

Limfjorden er et stort og meget komplekst fjordsystem, der i perioder med iltsvind præges af en stor intern fosforbelastning. Omfattende iltsvindhændelser, som registreret i 1994 og 1997, sendte en puls på ca. 200 ton fosfor ud i det vestlige Kattegat. Resuspension i fjordens lavvandede dele bidrager ligeledes til mobiliseringen af fosforpuljen og dermed til belastningen af Kattegat. Limfjorden bidrager med 60-65 % af den totale belastning.

Den reducerede belastning som følge af en forbedret spildevandsrensning gør, at andelen af fosfor der stammer fra den interne fosforbelastning af

Limfjorden og til dels Mariager Fjord er øget gennem perioden. Sedimentbundne organiske og uorganiske fosforpuljer, opbygget i forbindelse med tidligere tiders udledning af urensset spildevand får således, i takt med at den aktuelle belastning reduceres, en større og større betydning.

#### Tidlig udvikling i total fosfortilførsel fra land

Der er ikke registreret nogen signifikant udvikling i total tilførslen af fosfor til Kattegat. Den samlede fosforbelastning fra land var i 1999 på ca. 1054 ton på niveau med belastningen i årene 1991, 1992, hvor afstrømningen målt som vandføring var ca. 20 % mindre end i 1999. Tilførslen var forholdsvis høj ca. 12 % højere end gennemsnittet for perioden på 945 ton.

### 4.2.3 Næringsstoffer i vandet

De kystnære stationer st. 190004, Hevring Bugt og st. 4410 Dokkedal er tydeligt mere påvirket af årstidsvariationen i afstrømningen og dermed tilførslen af næringsstoffer end havstationerne st. 409, Aalborg Bugt og st. 40302, Læsø Rende. Her synes variationerne i højere grad at være styret af overordnede meteorologiske og hydrografiske forhold, hvor ændringer i den dominerende vind- eller strømretning påvirker opblandingsforhold og dermed de resulterende næringsstokkoncentrationer.

På de kystnære stationer er overfladekoncentrationerne generelt højere end bundkoncentrationerne, hvorimod det modsatte ofte ses på havstationerne. Undtagelser herfra er situationer, hvor overfladevandet stammer fra mere lavvandede områder, hvor resuspension og iltsvind kan have påvirket næringsstofniveauerne.

På havstationer ses generelt større næringsstofgradienter mellem top og bund, end på de kystnære stationer.

### Prøvetagningspraksis og undersøgelsesperiode

Udviklingen i næringsstofniveauerne i overfladevandet er belyst ved, at sammenholde månedsgennemsnit for 1999 med langtidsmånedsgennemsnit for perioden 1989-98. På st. 190004, Hevring Bugt og st. 4410, Dokkedal foreligger der datasæt for hele perioden 1989-99.

Beskrivelse af den tidlige udvikling i års-, vinter- og sommergennemsnit for næringsaltfraktionerne i perioden 1989-99 vanskeliggøres imidlertid af en ændring i proceduren for udtagning af vandprøver til næringsaltanalyse.

I perioden 1989-97 blev vandprøver med henvisning til "Retningslinier for marin overvågning, 1988" udtaget som integrerede prøver over et eventuelt skilleflade med delprøver for hver anden meter. Siden NOVA 2003 trådte i kraft 1. januar 1998, har det været foreskrevet i "Teknisk Anvisning for marin overvågning", at vandprøverne til næringsaltanalyse udtages som enkeltprøver i faste dybder (1 m, 5 m, 10 m, osv. samt 1 m over bund).

Analysen af den tidlige udvikling i overfladen baseres nu på 1 m prøven mod tidligere den integrerede prøve for det øvre lag (over skillefladen). Den ændrede prøvetagningspraksis medfører, at eventuelle alger, der befinder sig i skillefladen dybere end 1 m under overfladen nu ikke indgår i næringsstokkoncentrationen. Resultatet har været, at der ved de statistiske analyser er fundet et urealistisk fald i koncentrationerne af næringsalte på st. 4410 (total-kvælstof, ammonium+ammoniak, total-fosfor og orthofosfat) og analysen af den tidlige udvikling er derfor udtaget. På st. 190004 ser resultaterne mere realistiske ud, og analysen af den tidlige udvikling er derfor gennemført for denne station.

**Kvælstof**

Året der gik – total-kvælstof

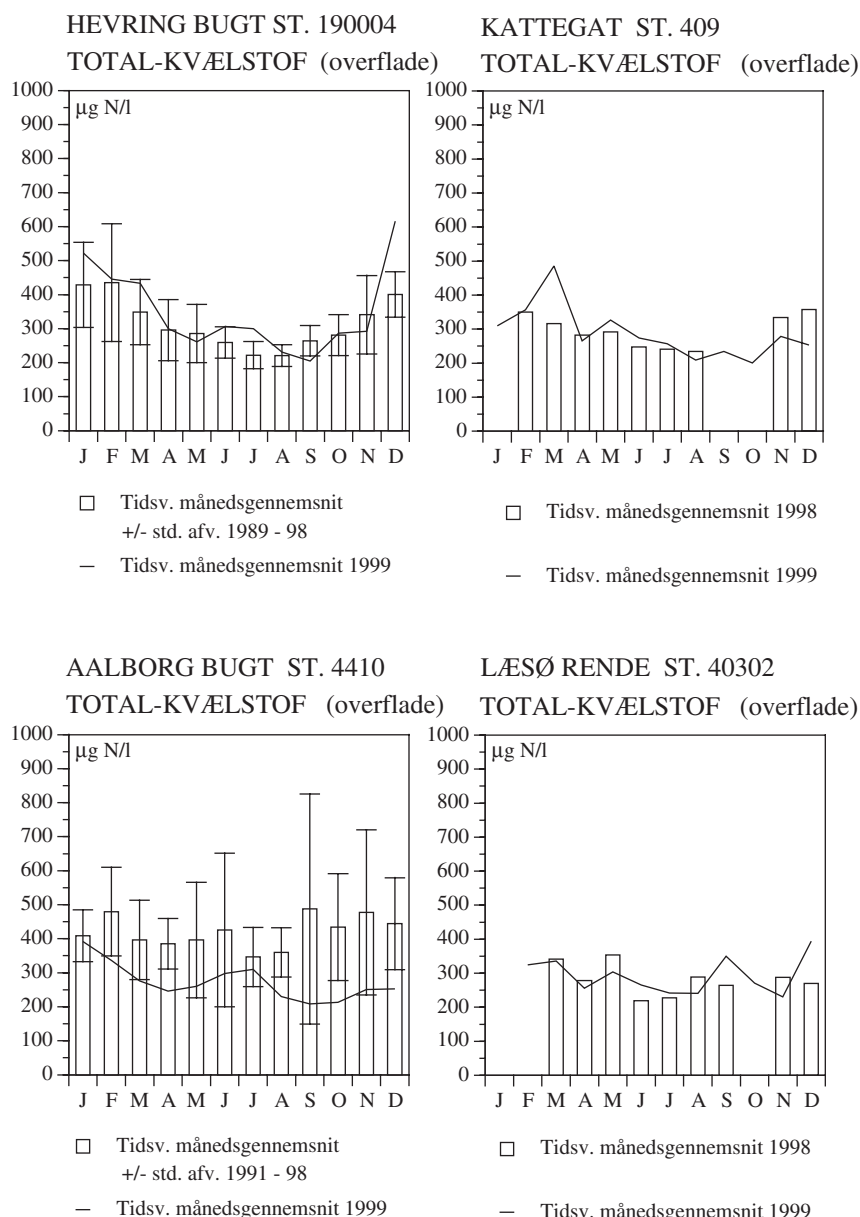
For st. 409, Dokkedal, st. 4410, Aalborg Bugt og st. 190004, Hevring Bugt viste koncentrationen af total-kvælstof et forløb over året med en række kortvarige udsving omkring et middelniveau på 250-300 µg/l.

For st. 190004, Hevring Bugt lå månedsgennemsnittene for total-kvælstof i 1999 på eller over langtidsgennemsnittene, se figur 4.2.3-1. Høje værdier i marts og december kunne direkte korreleres med store nedbørsmængder og en høj afstrømning (se afsnit 4.2.2) fra Randers Fjord (Gudenåen). I december steg koncentrationen fra omkring 300 µg/l til ca. 1000 µg/l. Stigningen sås også i ammonium- og nitratkoncentrationerne. De øvrige stationer i det vestlige Kattegat er ikke på samme måde direkte påvirket af større enkelt kilder.

I juni/juli sås på st. 190004 og st. 4410 en stigning i koncentrationen som følge af remineralisering af forårets afgødsel.

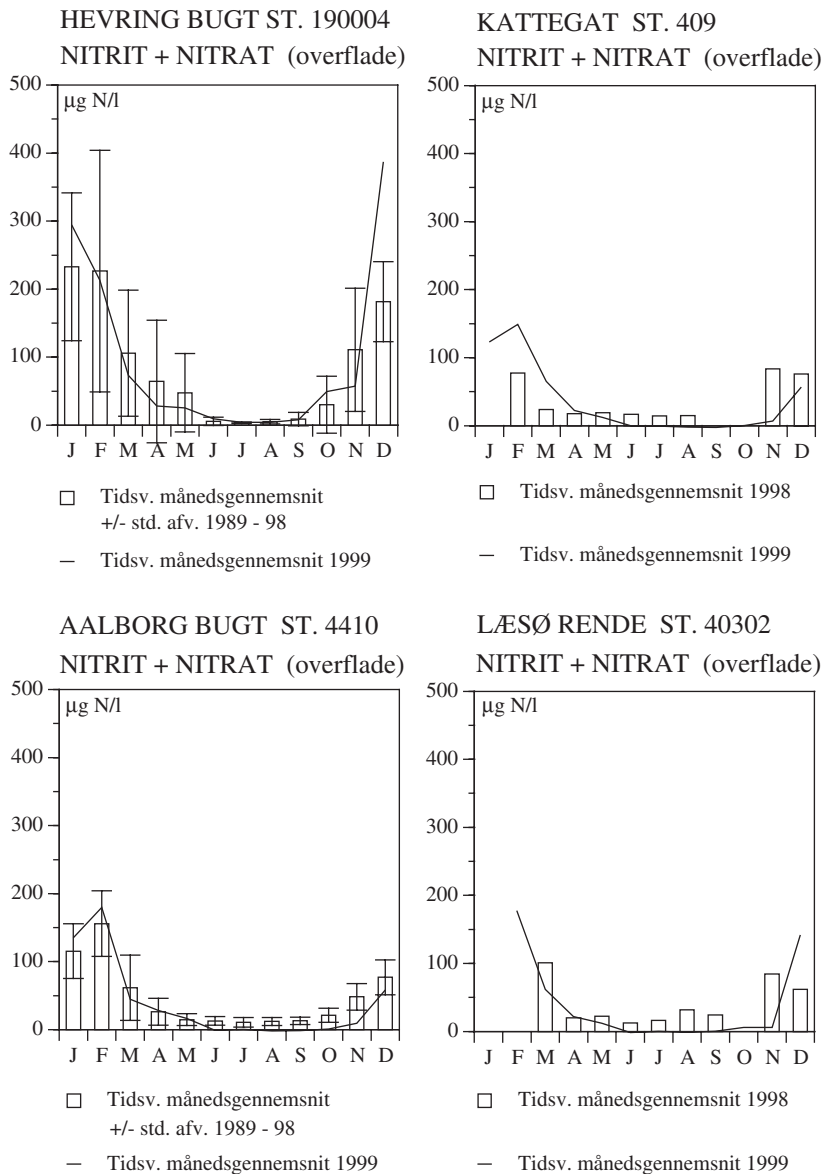
På st. 40302, Læsø Rende lå månedsmidlerne i 1999, på niveau med og havde med undtagelse af september, oktober og december, omtrent samme forløb, som for st. 4410, Dokkedal.

På st. 409 blev der midt marts observeret en stigning i total-kvælstof, først i overfladelaget senere i bundlaget. Hændelsen var sammenfaldende med et fald på ca. 10 % i saltholdigheden, hvilket kunne tyde på, at de centrale dele af Aalborg Bugt i en kort periode fik tilført vandmasser med højere kvælstofniveauer fra områder med lavere saltholdighed. På st. 4410 var der i samme periode højere saltholdigheder og lavere koncentrationer.



**Figur 4.2.3-1**  
 Koncentrationen af total-kvælstof (µg/l) i overfladen på st. 190004, Hevring Bugt, st. 4410, Dokkedal, st. 409, Aalborg Bugt og st. 40302, Læsø Rende. Tidsvægtet månedsgennemsnit for 1999 mod tidsvægtet langtidsgennemsnit for perioden 1989-99. For st. 4410 er årene 1989-90 udtaget på grund af fejl i målingerne. For st. 409 og st. 40302 foreligger der kun data fra årene 1998-99.

På st. 409, Aalborg Bugt og st. 40302, Læsø Rende foreligger der kun data fra og med 1998. Sammenligning af årets værdier med langtidsgennemsnit er derfor ikke mulig, med baggrund i den korte tidsserie.



Figur 4.2.3-2

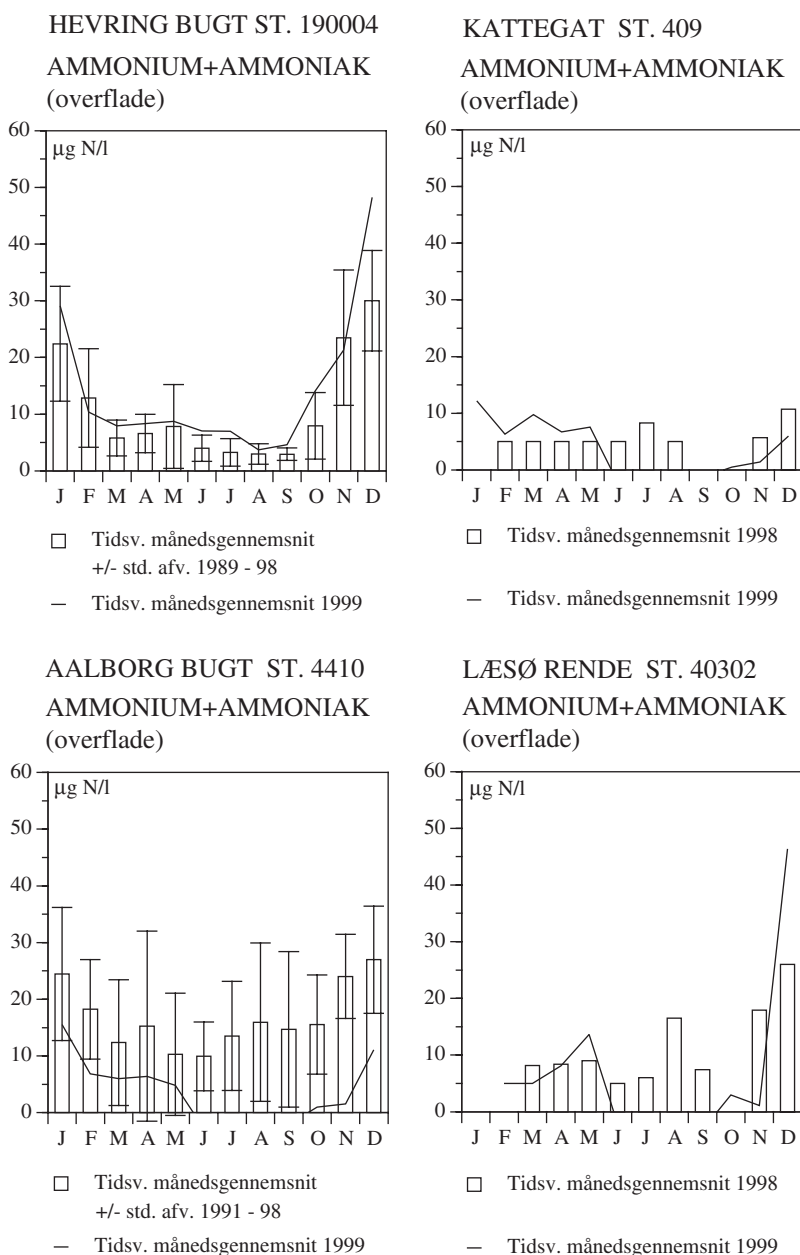
Koncentration af nitrit+nitrat-kvælstof ( $\mu\text{g/l}$ ) i overfladen, 1m, på st. 190004, Hevring Bugt, st. 4410, Dokkedal, st. 409, Aalborg Bugt, st. 40302 Læsø Rende. Tidsvægtet månedsgennemsnit for 1999 mod tidsvægtet langtidsgennemsnit for perioden 1989-99. For st. 409 og st. 40302 foreligger der kun data fra årene 1998-99.

#### Året der gik – nitrit+nitrat

Vinterkoncentrationen (januar – februar) af nitrit+nitrat lå på 150-225  $\mu\text{g/l}$ , på st. 4410, st. 409 og st. 40302, mens den var ca. 300  $\mu\text{g/l}$  på st. 190004. Koncentrationen af nitrit+nitrat faldt markant sidst i februar i takt med forårsopblomstringen, der nåede sit maximum, målt som klorofyl *a* koncentration, i slutningen af marts. Koncentrationen af nitrit+nitrat forblev derefter lav gennem sommeren og efteråret.

Fra midten af november, blev der på st. 4410 og st. 409 målt en stigning i nitrit+nitratkoncentrationen til omkring 60  $\mu\text{g/l}$ , og i Læsø Rende til ca. 180  $\mu\text{g/l}$  som følge af remineralisering af organisk materiale ved udgangen af den produktive periode. I Hevring Bugt registreredes et særdeles højt niveau på 800  $\mu\text{g/l}$  i december, hvilket skyldtes den store afstrømning fra Gudenåen.

Forløbet gennem året på st. 190004, Hevring Bugt ligger meget tæt på langtidsgennemsnittet, med undtagelse af december hvor månedsgennemsnittet er ca. det dobbelt af langtidsgennemsnittet, se figur 4.2.3-2. På st. 4410, Dokkedal lå koncentrationen af nitrit+nitrat over middel i årets første måneder, hvorefter den faldt til under gennemsnittet. Forløbet på st. 40302 og 409 ligner det for st. 4410.

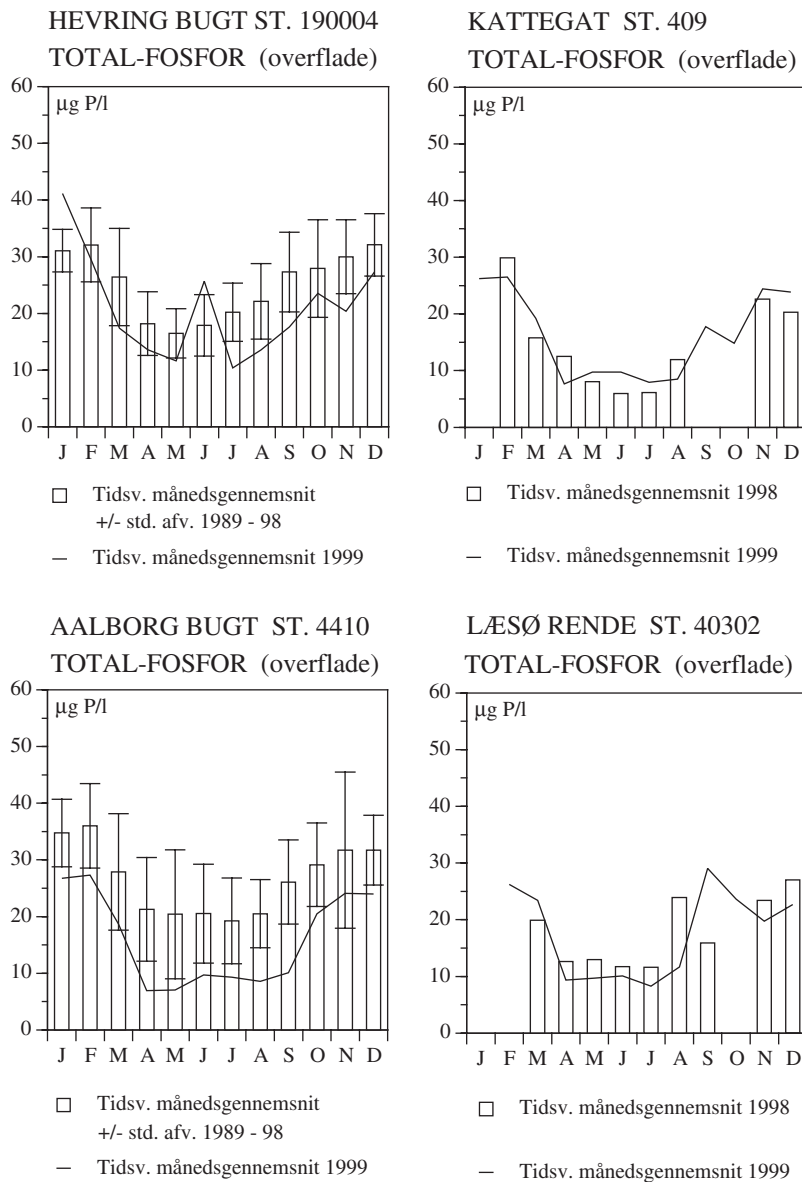


Året der gik – ammonium+ammoniak  
 På st. 4410 og st. 409 var udviklingen i koncentrationen af ammonium+ammoniak over året næsten ens. Fra en vinterkoncentration på omkring 10 µg/l faldt niveauet til 0 µg/l sidst i maj. Det lave niveau holdt sig frem til november, hvor koncentrationen igen steg. På st. 40302, Læsø Rende steg koncentrationen i december kraftigt til 65 µg/l efter at have været nær 0 hele sommeren. Den lave november-værdi havde baggrund i den lavere afstrømning fra land.

På st. 190004 var koncentrationen hen over sommeren forholdsvis høj, 5-8 µg/l. I december steg koncentrationen kraftigt som følge af den store afstrømning. Månedsgennemsnittene lå på eller ganske tæt på langtidsgennemsnittet, med undtagelse af december, hvor værdien var tæt på det dobbelte, se figur 4.2.3-3.

I Læsø Rende på st. 40302, sås også værdier på nul i perioden fra juni til september, og et højt månedsgennemsnit på knapt 50 µg/l.

Figur 4.2.3-3 Koncentration af ammonium+ammoniak-kvælstof (µg/l) i overfladen på st. 190004, Hevring Bugt, st. 4410, Dokkedal, st. 409, Aalborg Bugt og st. 40302, Læsø Rende. Tidsvægtet månedsgennemsnit 1999 mod tidsvægtet langtidsgennemsnit for perioden 1989-99. For st. 4410 er årene 1989-90 udtaget på grund af fejl i målingerne. For st. 409 og st. 40302 foreligger der kun data fra årene 1998-99.



Figur 4.2.3-4

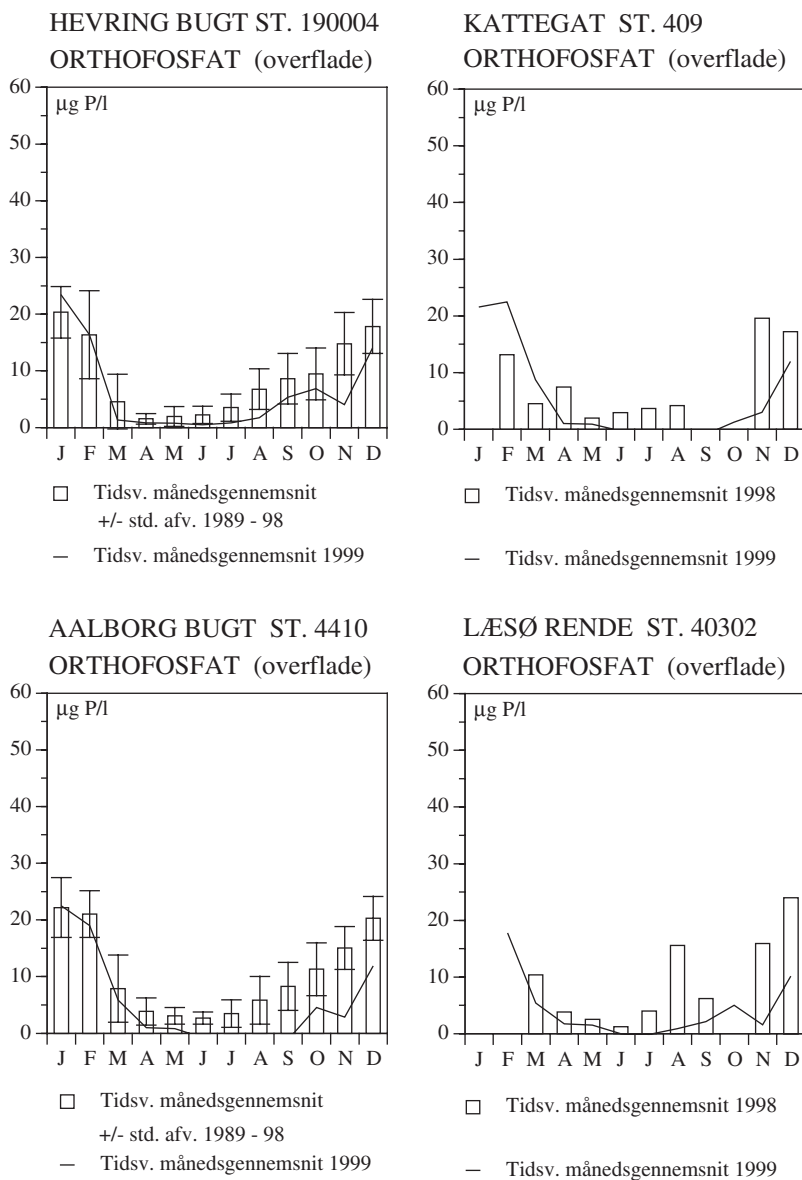
Koncentration af total-fosfor ( $\mu\text{g/l}$ ) i overfladen, 1m på st. 190004, Hevring Bugt, st. 4410, Dokkedal, st. 409, Aalborg Bugt og st. 40302, Læsø Rende. Tidsvægtet månedsgennemsnit for 1999 mod tidsvægtet langtidsgennemsnit for perioden 1989-99. For st. 409 og st. 40302 foreligger der kun data fra årene 1998-99.

#### Året der gik – total-fosfor

I Aalborg Bugt på st. 4410 og st. 409, faldt koncentrationen af total-fosfor fra knap 30  $\mu\text{g/l}$  i vintermånederne til 5-10  $\mu\text{g/l}$  efter forårsopblomstringen, et niveau der holdt sommeren over frem til september. Et tilsvarende forløb blev konstateret på st. 190004, Hevring Bugt og st. 40302, Læsø Rende. Fra september steg koncentrationen igen, kun afbrudt at et lavt niveau i november, på grund af den lave afstrømning i denne måned.

På st. 190004, Hevring Bugt lå niveauerne generelt lavere end langtidsgennemsnittet. Koncentrationen af total-fosfor steg kortvarigt i juni som følge af den formodede afstrømning af partikulært bundet fosfor fra Randers Fjord. Koncentrationen af orthofosfat steg ikke tilsvarende, figur 4.2.3-4. I slutningen af juli stiger koncentrationen i bundlaget som følge af sedimentation af alger og senere i august på grund af frigivelse af fosfor fra sedimentet som følge af lave iltkoncentrationer.

Data fra st. 409, Aalborg Bugt og st. 40302, Læsø Rende er stort set sammenfaldende med forløbet og niveauerne på st. 4410, Dokkedal. På st. 40302 sås en høj koncentration i august/september som sandsynligvis skyldtes frigivelse af fosfor fra sedimentet i forbindelse med iltsvind. Der blev i samme periode konstateret iltsvind på st. 190004 og st. 4410, men på disse stationer var frigivelsen af et mindre omfang.



Figur 4.2.3-5  
 Koncentration af orthofosfat (µg/l) i overfladen på st. 190004, Hevring Bugt, st. 4410, Dokkedal, st. 409, Aalborg Bugt og st. 40302, Læsø Rende. Tidsvægtet månedsgennemsnit for 1999 mod tidsvægtet langtidsgennemsnit for perioden 1989-99. For st. 409 og st. 40302 foreligger der kun data fra årene 1998-99.

Året der gik – orthofosfat

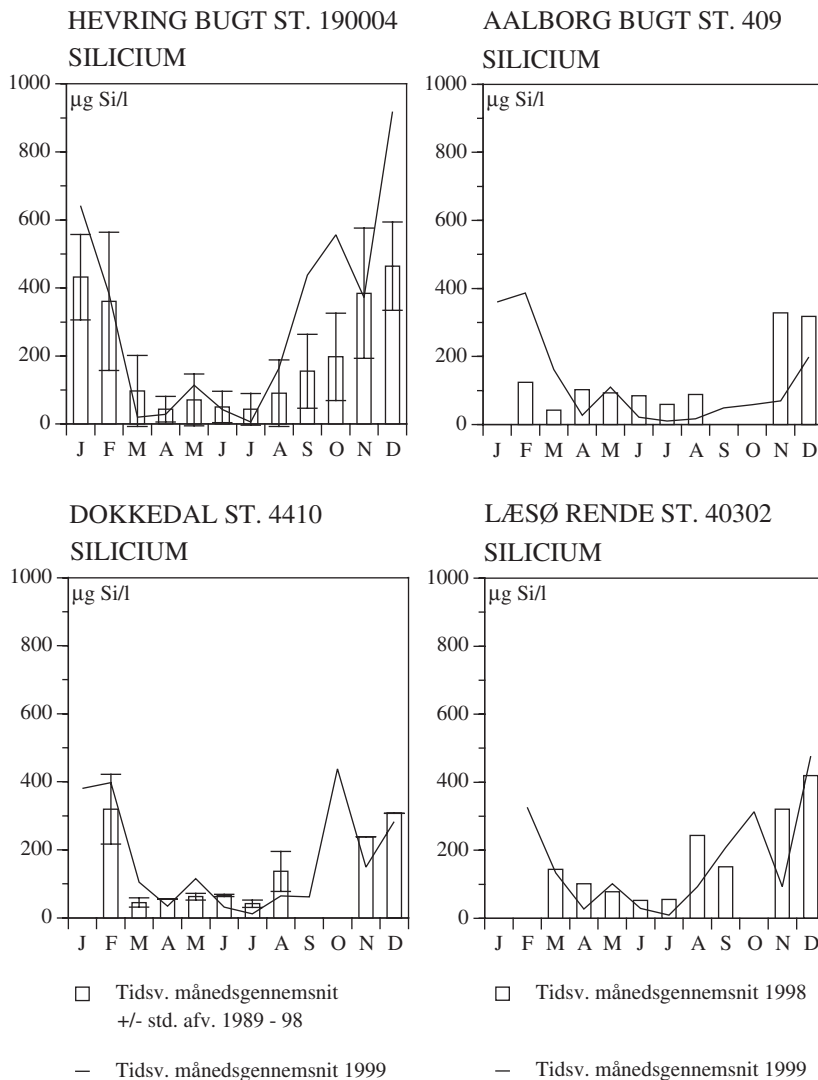
Fra et vinterniveau på knap 25 µg/l faldt koncentrationen af orthofosfat på st. 4410 og st. 409 til nær 0 i løbet af marts måned. Dette var helt sammenfaldende med faldet i nitrit+nitratkoncentrationen, og stigningen i koncentrationen af klorofyl i forbindelse med forårsopblomstringen. I slutningen af september/begyndelsen af oktober steg koncentrationen igen svagt, som følge af remineralisering.

På st. 190004, Hevring Bugt faldt koncentrationen ligeledes til ca. 1 µg/l i løbet af marts, men allerede i august steg koncentrationen igen i forbindelse med en periode med lavt iltindhold i august-september, der medførte en frigivelse af fosfor fra sedimentet. I oktober og december var afstrømningen høj, mens den lå under gennemsnittet i november. Den lille afstrømning i november afspejledes i lavere koncentrationerne af orthofosfat, tydeligst på st. 40302, Læsø Rende og st. 4410, Dokkedal.

Månedsgennemsnittet af koncentrationen af orthofosfat for st. 190004, Hevring Bugt fulgte niveauet eller var lavere end langtidsgennemsnittet, se figur 4.2.3-5.

For st. 4410, Dokkedal mindede niveauer og forløb i 1999 meget om st. 190004, Hevring Bugt, blot strakte perioden med potentiel fosforbegrænsning sig over månederne juni – september. Forløbet på st. 409, Aalborg Bugt var stort set parallelt hermed.

Forløbet og niveauerne for st. 40302, Læsø Rende lignede også st. 190004, Hevring Bugt, blot var der kun tale om potentiel fosforbegrænsning i månederne juni – juli.



Figur 4.2.3-6

Koncentration af silicium ( $\mu\text{g/l}$ ) i overfladen på st. 190004, Hevring Bugt, st. 4410, Dokkedal, st. 409, Aalborg Bugt og st. 40302, Læsø Rende. Tidsvægtet månedsgennemsnit for 1999 mod tidsvægtet langtidsgennemsnit for perioden 1989-99. For st. 409 og st. 40302 foreligger der kun data fra årene 1998-99.

#### Året der gik – silicium

Silicium blev opbrugt fuldstændigt under forårsopblomstringen og nåede for alle stationer  $0 \mu\text{g/l}$  sidst i marts. I maj sås en lille top i siliciumkoncentrationen på  $150 \mu\text{g/l}$  på grund af remineraliseringen af henfaldet plankton, som dog hurtigt blev brugt til produktion af kiselalger.

I bundlaget steg koncentrationen fra og med juni/juli som følge af remineralisering og sandsynligvis også affødt af en frigivelse fra sedimentet som følge af iltsvindet på st. 190004, st. 4410 og st. 40302. I overfladen registreredes først en mindre stigning i august på st. 190004, st. 4410 og st. 40302 sammenfaldende med de konstaterede iltsvind, men først i september/oktober steg koncentrationen kraftigt som følge af opblandingen med det næringsrige bundvand.

I december registreredes på st. 190004 i Hevring Bugt en meget høj top i siliciumkoncentrationen på  $1400 \mu\text{g/l}$ , som var relateret til den meget store afstrømning i december.

	St. 190004	St. 4410	St. 409	St. 40302
Perioder med potentiel kvælstof begrænsning	27/5 - 8/11 (undtagen 7/10, 26/10)	22/3 - 15/11 (undtagen 20/4)	22/3 - 15/11 (undtagen 20/4)	23/3 - 24/11 (undtagen 22/4, 5/5)
Perioder med potentiel fosfor begrænsning	2/3 - 23/11 (undtagen 23/9, 7/10)	22/3-15/11	22/3-15/11	23/3 - 24/11 (undtagen 5/10)
Perioder med potentiel silicium begrænsning	2/3 - 11/3, 30/3 - 13/4, 23/6 - 3/8, 7/9	22/3 - 6/9 (undtagen 17/5 - 2/6, 24/8)	22/3 - 6/9 (undtagen 17/5, 2/6)	23/3 - 27/4, 14/6 - 9/8, 11/11 - 15/11

Tabel 4.2.2  
Potentielt næringsbegrænsede perioder.

### Perioder i 1999 med potentielt næringsstofbegrænset primærproduktion

Ved udpegningen af perioder i 1999, hvor der var potentielt næringsstofbegrænsning (tabel 4.2.2), er nedenstående grænser benyttet.

Næringsstofs begrænsning:

NO<sub>2+3</sub> og NH<sub>3+4</sub> 2 μ mol/l ~ 28 μg/l  
 PO<sub>4</sub>-P 0,2 μ mol/l ~ 6,2 μg/l  
 Si 2 μ mol/l ~ 56 μg/l

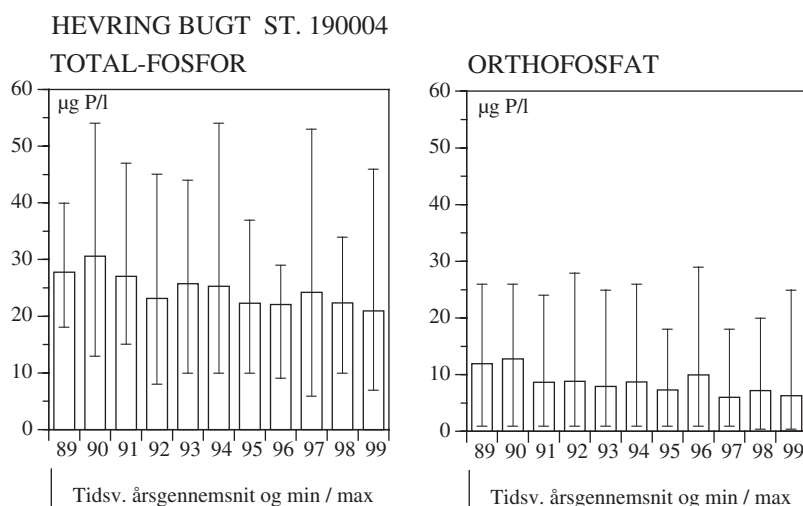
Primærproduktionen var på alle stationer potentielt begrænset som følge af lave niveauer af et eller flere næringsstoffer fra midten af marts til midten af november. Perioden strakte sig således fra afslutningen af forårsopblomstringen til det tidspunkt på året, hvor lysindstrålingen begrænser primærproduktionen.

#### Tidlig udvikling

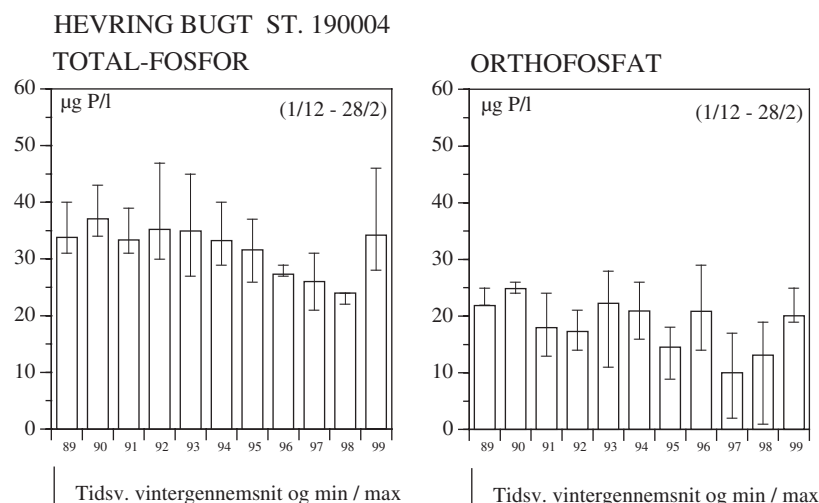
De statistiske beregninger er, trods vanskeligheder med fortolkningerne på grund af ændret prøvetagningspraksis, udført ved anvendelse af forekrevne Kendalls tau test. Resultaterne er sammenstillet i bilag 3.4.14.

På st. 4410 er der med de nævnte forbehold ingen signifikant ændring i næringsstofkoncentrationen.

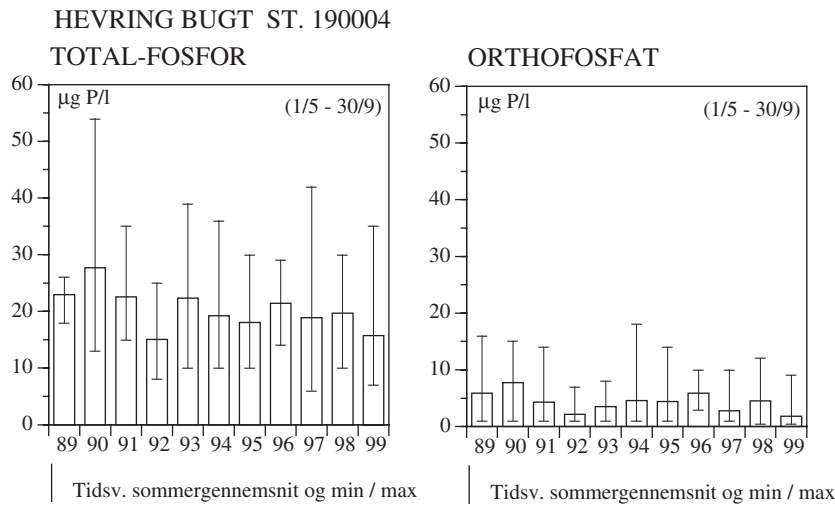
På st. 190004 er der over perioden 1989-99 fundet signifikante fald i koncentrationerne af total-fosfor og orthofosfat. Tidsvægtede gennemsnit



Figur 4.2.3-7  
Årgennemsnit af koncentration af total-fosfor og orthofosfat på st. 190004, Hevring Bugt. Signifikante udviklinger.



Figur 4.2.3-8  
Vintergennemsnit af koncentration af total-fosfor og orthofosfat (μg/l) på st. 190004, Hevring Bugt. Signifikante udviklinger.



Figur 4.2.3-9

Sommergennemsnit af koncentrationen af total-fosfor og orthofosfat ( $\mu\text{g/l}$ ) på st. 190004, Hevring Bugt. Signifikante udviklinger.

opgjort som årgennemsnit, vintergennemsnit og sommergennemsnit er vist i figurerne 4.2.3-6 – 4.2.3-8. De lavere niveauer af fosfor på de kystnære stationer afpejler en kombination af reduktionen i fosfortilførslen fra land på grund af den mere effektive spildevandsrensning, der slog igennem sidst i 80'erne og begyndelsen af 90'erne i Danmark og eventuelle reduktioner i øvrige tilførsler til området (atmosfære bidrag og bidrag fra omkringliggende farvande).

#### 4.2.4 Iltforhold

##### Året der gik

Der blev i 1999 registreret iltsvind på st. 4410, Dokkedal ved målinger 2. og 6. september og st. 40302, Læsø Rende 31. august (figur 4.2.4-1). Der blev konstateret iltsvind i Hevring Bugt i Skidtrenden fra 17. august til 31. august og i de mere lavvandede dele af Hevring Bugt (st. 190004) var der iltsvind i samme periode, dog afbrudt af forbedrede iltkoncentrationer ved målinger på stationen d. 24. august.

Variationen i iltkoncentrationerne var i 1999 den samme på alle stationer. Iltsvindet slog igennem i midten af

august efter længere tids kraftig lagdeling af vandmasserne. På st. 190004 var tykkelsen af bundlaget ca. 6 m i juli, mens det i august mindskedes til 1 m samtidig med, at vejret var meget roligt, og resultatet var et akut iltsvind. Midt i september blev lagdelingen nedbrudt, og bunden blev igen tilført ilt. I slutningen af september var iltindholdet igen over 6 mg/l ved bunden. Det er vanskeligt, at sige

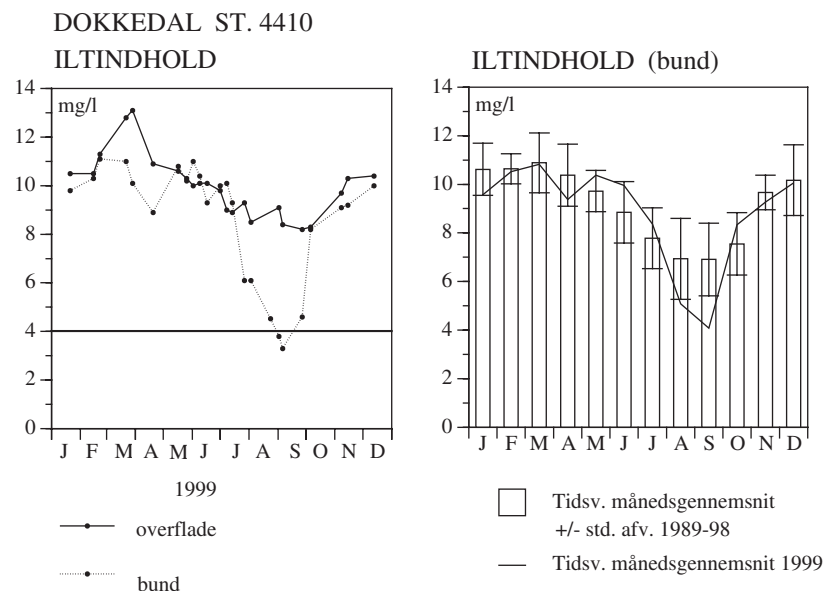
præcist hvor lang tid der var tale om iltsvind på grund af de diskrete målinger, men sandsynligvis 2-3 uger.

En sammenligning med månedsgennemsnittene for perioden 1989-98 viser, at iltindholdet i 1999 var tæt på eller over gennemsnittet bortset fra august/september, hvor de meget lave iltindhold blev registreret.

##### Tidslig udvikling

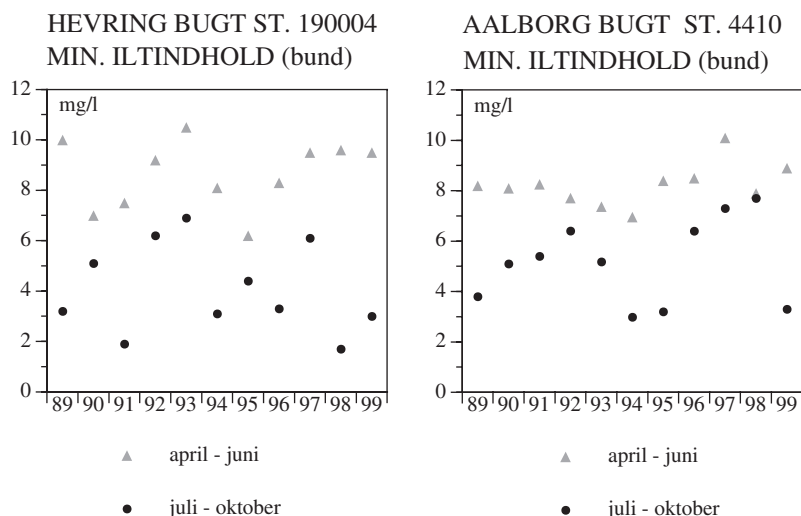
Iltforholdene i det vestlige Kattegat er overvejende styret af hydrografien og meteorologien i området. Der kan derfor heller ikke spores nogen udviklingstendenser hverken i retning af forbedrede eller forværrede iltforhold. Jævnfør figur 4.2.4-2 er der i Hevring Bugt målt iltsvind ( $< 4 \text{ mg/l}$ ) i 5 ud af 10 år og kraftigt iltsvind ( $< 2 \text{ mg/l}$ ) i 2 ud af 10 år. Samtlige iltsvindhændelser ligger i eftersommerperioden 1/7-31/10. Ved Dokkedal sker det knap så hyppigt; kraftigt iltsvind er ikke registreret i undersøgelsesperioden og iltsvind er registreret i 3 ud af 10 år.

Den lavvandede del af det vestlige Kattegat er ikke et udpræget iltsvindsområde med årligt tilbagevendende

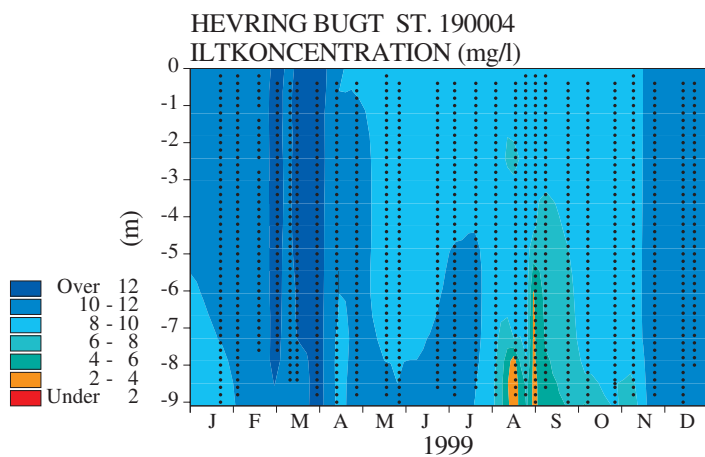


Figur 4.2.4-1

Iltindholdet ( $\text{mg/l}$ ) i overfladen og ved bunden på st. 4410 (venstre figur), månedsgennemsnit af iltindholdet samt tidsvægtet gennemsnit og standardafvigelse for perioden 1989-98 på st. 4410 (højre).



Figur 4.2.4-2  
Min. iltkoncentrationer i bundvandet på st. 190004, Hevring Bugt og st. 4410, Aalborg Bugt i sommer- og eftersommerperioderne 1989-99.



Figur 4.2.4-3  
Isoplet af iltindholdet (mg/l) på st. 190004.

langvarige iltsvindshændelser. En relativt svag lagdeling og hyppig opblanding gør, at iltsvindshændelserne er kortvarige og kun i sjældne tilfælde når at udvikle sig til kraftigt iltsvind. Kraftigt iltsvind optræder i forbindelse med, at iltfattigt vand fra Kattegats centrale og dybere dele presses ind og danner et tyndt bundlag med et lille volumen. Omsætningen vil, som det skete i 1991 og 1998 i Hevring Bugt,

kortvarigt kunne bringe iltkoncentrationen ned under 2 mg/l.

På st. 409 blev sedimentets sulfidbufferkapacitet og næringssaltpuljer bestemt i 1999, resultater findes i bilag 3.4.15.

### 4.2.5 Plankton

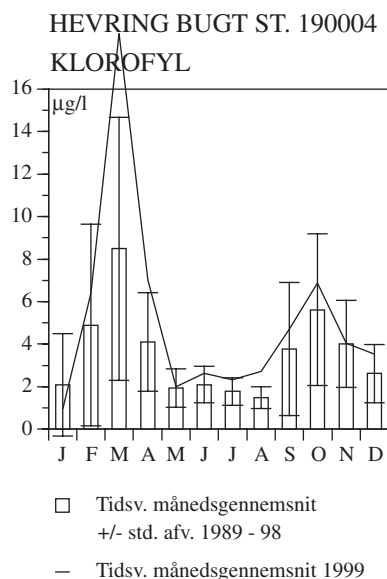
#### Klorofyl

Året der gik

– st. 190004, Hevring Bugt

Det er for denne station valgt, at behandle klorofylkoncentrationen i den integrerede blandingsprøve fra 0-10 m dybde for at fortsætte tidsserien fra 1989. Prøver i 1 m dybde er først udtaget fra og med 1998.

De tidsvægtede månedsgennemsnit for klorofylkoncentrationen lå i 1999 generelt lidt over gennemsnittet for 1989-98 (figur 4.2.5-1). De høje biomasser var sandsynligvis en effekt af de store tilførsler fra land af både kvælstof og fosfor (se afsnit 4.2.2). I marts og april måneder var klorofylkoncentrationen i forbindelse med forårsopblomstringen markant højere end langtidsgennemsnittet hvilket skyldtes at marts måned var meget våd og afstrømningen fra land stor (se afsnit 4.2.2). Til forskel fra kulstofbiomassen, der i juli og august var markant højere end langtidsgennemsnittet (figur 4.2.5-4), var klorofylkoncentrationen i disse



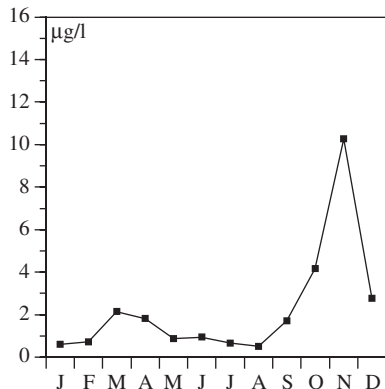
Figur 4.2.5-1  
St. 190004, Hevring Bugt., tidsvægtede månedsgennemsnit 1999 i forhold til gennemsnit 1989-98.

måneder omkring gennemsnittet på ca. 3 µg/l (figur 4.2.5-1). De lave klorofyl-koncentrationer tyder på, at planteplankton havde et lavt indhold af klorofyl (figur 4.2.5-2), sandsynligvis pga. høj lysindstråling.

Året der gik – st. 409, Aalborg Bugt og st. 40302, Læsø Rende

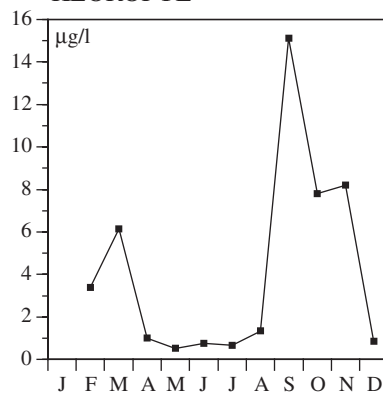
De tidsvægtede månedsgennemsnit af klorofylkoncentrationen i 1 m prøverne fremgår af figur 4.2.5-2. Koncentrationen var forholdsvis høj i marts og april, hvor forårsopblomstringen fandt sted. Denne opblomstring genspejledes også i høje auto- og mixotrofe kulstofbiomasser (figur 4.2.5-4) og arealproduktioner (figur 4.2.5-9). De høje planktonforekomster i marts skyldtes sandsynligvis en stor tilførsel fra land af både kvælstof og fosfor. Klorofylkoncentrationen var også høj i perioden september – november, stigende mod koncentrationen i november, der var årets højeste. De høje koncentrationer i efteråret hang sammen med opblanding af vandmasserne efter længere tids lagdeling, som resulterede i, at store mængder næringsstoffer i bundvandet blev tilgængelige for planteplankton i overfladen (afsnit 4.2.1 og 4.2.3). De høje koncentrationer i marts og september – december resulterede i forholdsvis lave sigtddybder (se figur 4.2.1-10).

AALBORG BUGT ST. 409  
KLOROFYL



Figur 4.2.5-2  
Tidsvægtede månedsgennemsnit 1999 af klorofyl på station 409, Aalborg Bugt.

LÆSØ RENDE ST.40302  
KLOROFYL



Figur 4.2.5-3  
Tidsvægtede månedsgennemsnit 1999 af klorofyl på station 40302, Læsø Rende.

#### Tidlig udvikling

Der er på st. 190004, Hevring Bugt ikke fundet signifikante udviklinger i perioden 1989-99 for hverken de tidsvægtede års-, sommer- eller forårsgennemsnit (se bilag 3.4.14).

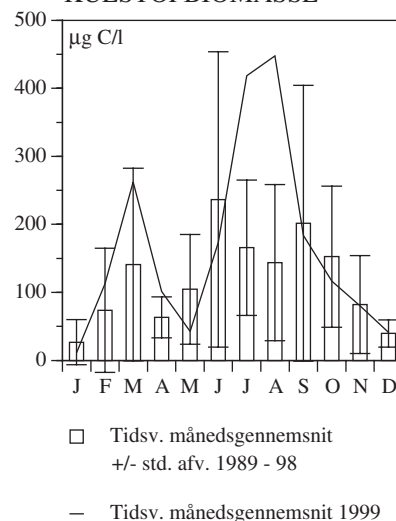
Da Nordjyllands Amt kun har forestået prøvetagningen på st. 409, Aalborg Bugt og st. 40302, Læsø Rende siden 1998, er der ikke lavet statistik på data fra disse stationer.

#### Kulstofbiomasse (auto- og mixotrof)

Året der gik – st. 190004, Hevring Bugt

Den auto- og mixotrofe biomasse på denne station afveg i de fleste måneder fra gennemsnittet for perioden 1989-98 (figur 4.2.5-4). I månederne februar – april og juli-august var gennemsnittene højere end langtidsgennemsnittet. I april afspejlede biomassen en stor forårsopblomstring, som følge af de store næringsstoffølleser fra land. I august var biomassen høj pga. en usædvanlig stor opblomstring i begyndelsen af måneden, hvor biomassen stort set udelukkende bestod af furealgen *Ceratium tripos* (se tabel i bilag 3.4.10). I januar, maj, juni og septem-

HEVRING BUGT ST. 190004  
AUTO- OG MIXOTROF  
KULSTOFBIOMASSE



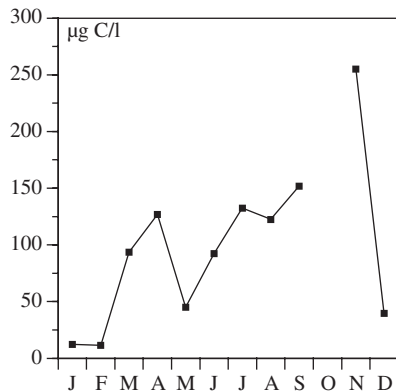
Figur 4.2.5-4  
Tidsvægtede månedsgennemsnit 1999 i forhold til gennemsnit 1989-98 af den auto- og mixotrofe kulstofbiomasse på st. 190004, Hevring Bugt.

ber – oktober var månedsgennemsnittene lave. Der var i 1999 potentielt begrænsende koncentrationer af kvælstof fra sidst i maj frem til begyndelsen af november (se afsnit 4.2.3), hvilket kan have været forklaringen på de lave biomasser i en del af sommerperioden.

Året der gik – st. 409, Aalborg Bugt

De tidsvægtede månedsgennemsnit af den auto- og mixotrofe biomasse på denne station i 1999 fremgår af figur 4.2.5-2. Forårsopblomstringen fandt sted i slutningen af marts, hvor en biomasse på 230 µg C/l blev registreret. Biomassen var meget høj, hvilket sandsynligvis skyldtes stor tilførsel fra land af både kvælstof og fosfor (se afsnit 4.2.3). Der var sommeren igennem en forholdsvis høj kulstofbiomasse på stationen, på trods af en stabil lagdeling og deraf følgende potentielt begrænsende kvælstofkoncentrationer sommeren igennem (se afsnit 4.2.3). I efteråret betød tiltagende vind, at vandmasserne blev blandet og at næringsstofferne i bundvandet blev tilgængelige for produktionen af plante-

AALBORG BUGT ST. 409  
AUTO- OG MIXOTROFE  
KULSTOFBIOMASSE



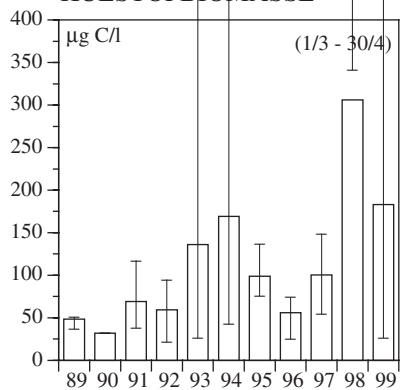
Figur 4.2.5-5  
Tidsvægtede månedsgennemsnit 1999 af den auto- og mixotrofe kulstofbiomasse på st. 409, Aalborg Bugt.

plankton. Årets største biomasser på op til 298 µg C/l blev da også registreret i november (se tabel 4.2.3).

**Tidlig udvikling**

På st. 190004, Hevring Bugt er der i perioden 1989-99 kun fundet signifikante udviklinger i de tidsvægtede forårsgennemsnit (figur 4.2.5-6). Forløbet af de øvrige sæsongennemsnit fremgår af bilag 3.4.14.

HEVRING BUGT ST. 190004  
AUTO- OG MIXOTROF  
KULSTOFBIOMASSE



Tidsv. forårsgennemsnit og min / max

Figur 4.2.5-6  
Tidsvægtede forårsgennemsnit (1/3-30/4) i 1989-99 af den auto- og mixotrofe kulstofbiomasse på st. 190004, Hevring Bugt.

Da Nordjyllands Amt kun har forestået prøvetagningen på station 409, Aalborg Bugt siden 1998, er der ikke lavet statistik på data fra stationen.

**Fluorescens**

Fluorescensprofiler over året fremgår af figur i bilag 3.4.10.

**Sammensætning og masseforekomster**

St. 190004, Hevring Bugt

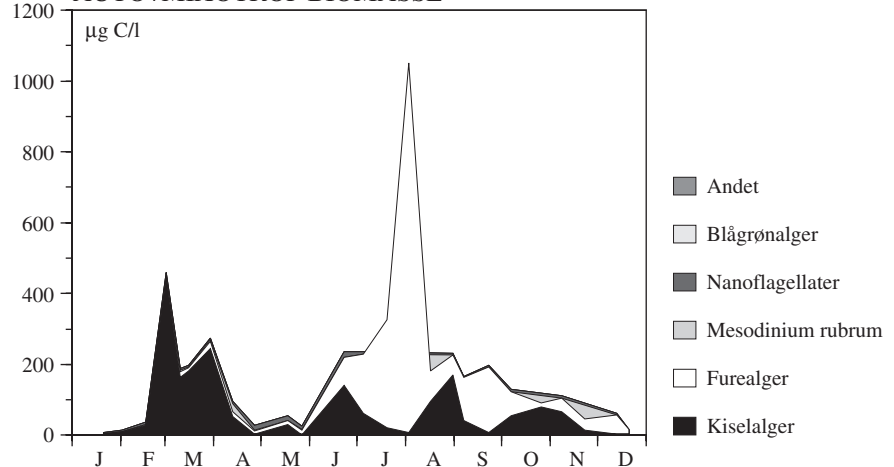
Fordelelsen af den auto- og mixotrofe kulstofbiomasse på grupper fremgår af figur 4.2.5-7. Biomassen var domineret af kiselalger indtil juni, hvorefter furealger dominerede indtil midten af august, hvor kiselalger igen voksede op. Resten af året var kisel- og furealger dominerende, med skiftende dominansforhold. Der var i 1999 en større dominans af furealger i sommer og efterår, end det normalt er set på stationen (Århus Amt og Nordjyllands Amt 1998c, 1999). Ud over kisel- og furealger var der nanoflagellater tilstede i små biomasser året igennem. I 1998 sås på stationen en stor fore-

komst af nanoflagellaten *Phaeocystis globosa* lige efter forårsopblomstringen. Denne blev ikke genfundet i 1999. I 1999 var der en lille, usædvanlig forekomst af den autotrofe ciliat *Mesodinium rubrum* i marts – april. De øvrige planteplanktongrupper var kun tilstede i meget små biomasser.

De dominerende arter fordelt på perioder, fremgår af tabel i bilag 3.4.14. I sommerperioden, fra juni til august, var der konstant dominans af furealgen *Ceratium tripos*. Specielt iøjnefaldende var, at den grønne furealge *Gymnodinium chloroform* var temmelig dominerende i planteplanktonsamfundet fra midten af august og året ud. Det var første gang, arten blev registreret på stationen (se nedenfor).

Der blev i 1999 kun registreret masseopblomstring af en enkelt art på st. 190004, Hevring Bugt, i slutningen af juli og begyndelsen af august, hvor store mængder af *Ceratium tripos* lå lige over skillefladen, i forbindelse med det næringsrige bundvand (se tabel 4.2.3).

HEVRING BUGT ST. 190004  
AUTO+MIXOTROF BIOMASSE



Figur 4.2.5-7  
Den auto- og mixotrofe kulstofbiomasse 1999, fordelt på grupper, på st. 190004, Hevring Bugt.

Tidspunkt	Art	Biomasse (µg C/l)
20/7-99	<i>Ceratium tripos</i>	300
3/8-99		1013

Tabel 4.2.3

Masseforekomster i 1999, hvor biomassen af en enkelt art var tæt på 200 µg kulstof/l på st. 190004, Hevring Bugt.

Tidspunkt	Art	Biomasse (µg C/l)
6/9-99	<i>Gymnodinium chloroformum</i>	187

Tabel 4.2.4

Masseforekomster i 1999, hvor biomassen af en enkelt art oversteg 200 µg kulstof/l på st. 409, Aalborg Bugt.

#### St. 409, Aalborg Bugt

Fordelingen af den auto- og mixotrofe kulstofbiomasse på grupper fremgår af figur 4.2.5-8. Forårsopblomstringen, der startede i slutningen af marts og klingede ud mod slutningen af april, var totalt domineret af kiselalger. Efter dette dominerede nanoflagellater biomassen et stykke tid, hvorefter furealger var dominerende fra starten af juni og stort set året ud. Der var dog hele året, bortset fra i maj, en betydelig biomasse af kiselalger, ligesom nanoflagellater konstant udgjorde en mindre del af biomassen. I marts-april var der en lille forekomst af den autotrofe ciliat *Mesodinium rubrum* og i juli måned var der i en kort periode dominans af blågrønalger på stationen.

Dominerede arter fordelt på perioder, fremgår af tabel i bilag 3.4.10. I sommerperioden, fra juni til august, var der konstant dominans af furealgen *Ceratium tripos* og fra begyndelsen af september var den grønne furealge *Gymnodinium chloroformum* tilstede på stationen, som en mere eller mindre dominerende del af biomassen. Tidligere er algen kun observeret to gange i Nordsøen, hvor den i september 1990 og 1992 var årsag til grønne misfarvninger af vandet langs den jyske vestkyst. Opblomstringen i efterår og vinter 1999 var mest udtalt i den syd-vestlige del af Kattegat og gav anledning til voldsom grønfarvning af vandet, specielt i Århus Bugt, hvor ophobning af planteplankton også gav

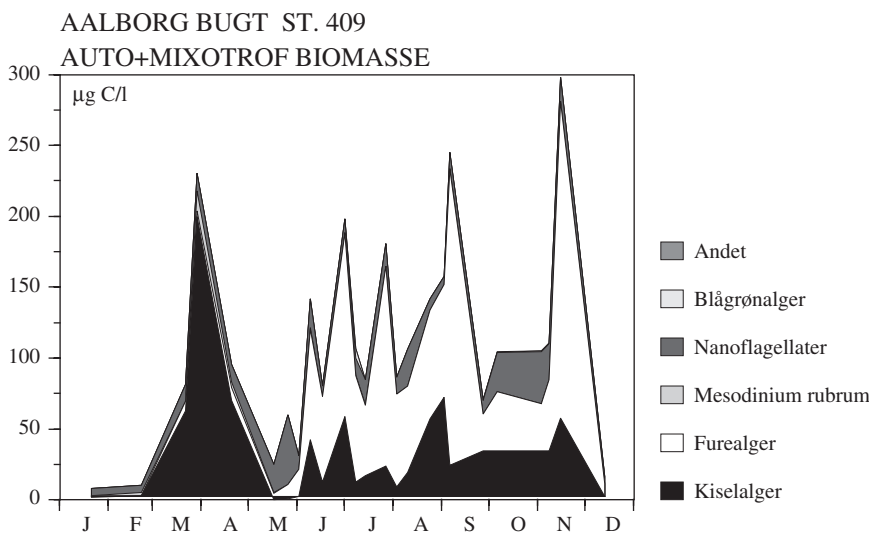
voldsomme lugtgener (Århus Amt 2000). Samtidig med denne art, der er ny for stationen, blev registreret store biomasser af kiselalger tilhørende arts-komplekset *Pseudo-nitzschia delicatissima*-gruppen.

Der blev i 1999 ikke registreret masseforekomster af en enkelt art, hvor biomassen oversteg 200 µg kulstof/l. I begyndelsen af september var forekomsten af *Gymnodinium chloroformum* 187 µg C/l (se tabel 4.2.4). Den massive biomasse hang sandsynligvis sammen med, at vandmasserne blev blandet pga. tiltagende vind og de store mængder af næringsstoffer i bundvandet dermed blev tilgængelige for planteplankton i den fotiske zone.

#### Primærproduktion

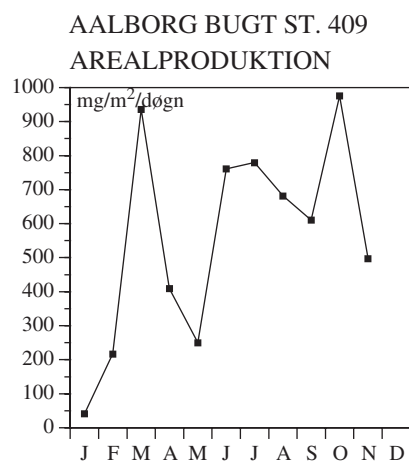
##### Året der gik – st. 409, Aalborg Bugt

De tidsvægtede månedsgennemsnit for arealproduktionen i 1999 fremgår af figur 4.2.5-9. I marts måned var produktionen høj i forbindelse med forårsopblomstringen, hvilket stemmer med de øvrige planktonparametre (figur 4.2.5-2; figur 4.2.5-4). Samtidig var der stor tilførsel fra land af både kvælstof og fosfor pga. den megen nedbør. Efter forårsopblomstringen faldt arealproduktionen frem til maj, for derefter igen at stige og være forholdsvis høj året ud, på trods af potentielt begrænsende næringssaltkoncentrationer sommeren igennem. Dette tyder på, at planteplankton i sommerperioden løbende opbrugte de næringssalte, der var til rådighed. I november var produktionen lige så høj som i marts, sammenfaldende med

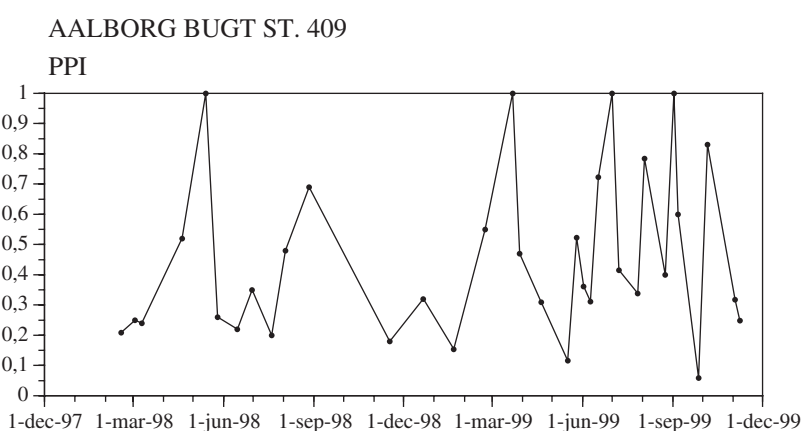


Figur 4.2.5-8

Den auto- og mixotrofe kulstofbiomasse i 1999, fordelt på grupper, på st. 409, Aalborg Bugt.



Figur 4.2.5-9  
Tidsvægtede månedsgennemsnit 1999 af arealproduktionen på station 409, Aalborg Bugt.



Figur 4.2.5-10  
PPI for 1998 og 1999 på st. 409, Aalborg Bugt.

store biomasser (se ovenfor). Dette hang sandsynligvis sammen med, at den tiltagende vind i efteråret betød, at vandmasserne blev blandet og at de store mængder næringsstoffer i bundvandet efter sommerens lagdeling blev tilgængelige for planteplankton i den fotiske zone.

#### Tidlig udvikling – st. 409, Aalborg Bugt

Da Nordjyllands Amt kun har forestået prøvetagningen på st. 409, Aalborg Bugt siden 1998, er der ikke lavet statistik på data fra stationen.

#### PPI

##### St. 409, Aalborg Bugt

PPI-værdierne for 1998 og 1999 fremgår af figur 4.2.5-10. Da PPI kun kan udregnes for disse to år, er der ikke lavet statistik på udviklingen. PPI indekset er et udtryk for produktionspotentialitet i planteplanktonsamfundet og er især afhængig af næringsaltstatus. PPI kan derfor bruges som en indikator for, om der er næringsaltbegrænsning i systemet. Hvis PPI ligger mellem 0,5 og 1 er systemet produktivt, mens lav PPI tyder på, at væksten er næringsbegrænset.

I 1999 var der sommeren igennem en stabil lagdeling på st. 409 og der var potentielt begrænsende kvælstofkoncentrationer sommeren igennem (se afsnit 4.2.3). PPI var det meste af perioden højere end 0,4, hvilket tyder på, at systemet var produktivt. I perioden lige efter forårsopblomstringen i marts-april var PPI så lav, at systemet tilsyneladende var begrænset (figur 4.2.5-10). Samstemmende med de høje PPI-værdier i sommeren, var også arealproduktionen sommeren igennem forholdsvis høj (figur 4.2.5-9). På trods af de lave koncentrationer af næringsalte, var systemet i størstedelen af sommerperioden tilstrækkeligt produktiv til at opretholde en forholdsvis høj biomasse, som tilsyneladende løbende kunne optage de næringsalte, der var til rådighed. PPI-værdierne tyder på, at væksten af planteplankton i 1999 var næringsaltbegrænset i kortere perioder end i 1998 (figur 4.2.5-10).

#### Giftige alger

##### St. 190004, Hevring Bugt

Forekomsten af giftige og potentielt giftige algearter i 1999 fremgår af skema i bilag 3.4.10. I 1999 var især potentielt giftige kiselalger af slægten

*Pseudo-nitzschia* til stede i store antal, stort set hele året, men specielt i marts og oktober-november. I oktober-november var koncentrationerne af både *P. delicatissima*-gruppen og *P. seriata*-gruppen højere end den vejledende grænsekonzentration for skærpet overvågning eller lukning af fiskeområder, som Fødevaredirektoratet arbejder med. Grænserne er på henholdsvis 500.000 og 200.000 celler/l. Arter af furealgeslægten *Dinophysis* var tilstede på stationen, i forholdsvis små antal, det meste af året, hyppigst var det arten *D. norvegica*. I februar blev registreret en mindre forekomst af arter af raphidophycé-slægten *Chattonella*, som ved en masseopblomstring i maj 1998 var skyld i massiv fiskedød. Der blev ikke registreret følgevirkninger af opblomstringer af giftige alger i 1999.

##### St. 409, Aalborg Bugt

Forekomsten af giftige og potentielt giftige algearter i 1999 fremgår af skema i bilag 3.4.10. Hyppigst forekommende var i 1999 forskellige arter af furealgeslægten *Dinophysis*, der var til stede stort set hele året igennem. Fra 26. maj til og med 1. juli og igen 23. august – 2. september var koncentrationerne af *D. norvegica* højere end de

vejledende grænsekonzentrationer for skærpet overvågning eller lukning af fiskeområder, som Fødevarerdirektoratet arbejder med på 1.000 celler/l. I marts og august – december var potentielt giftige kiselalger af slægten *Pseudo-nitzschia* (*P. delicatissima*-gruppen) til stede i store antal, der fra 27. september til midt i november oversteg grænsekonzentrationerne på 500.000 celler/l. Også arter af stilkalgeslægten *Chrysochromulina* blev registreret i stort antal på stationen året igennem. Der blev ikke registreret følgevirkninger af opblomstringer af giftige alger i 1999.

#### 4.2.6 Bundvegetation

I området fra Mariager Fjord til Ingerslev, syd for Randers Fjord blev udbredelsen af ålegræs og alger undersøgt ved hjælp af flyfotografering i 1998. Undersøgelsen, som er en del af Århus Amts regionale vandmiljøtilsyn, afrapporteres hvert tredje år.

##### Arealudbredelse

De tekniske procedurer og beregninger i forbindelse med arealudbredelsen af ålegræs er beskrevet i bilag 3.4.11.

Beregning af den totale arealudbredelse af ålegræs og alger er foretaget for hele området. Ålegræs dækkede i 1998 1,74 km<sup>2</sup> af det undersøgte område fra Mariager Fjord til Ingerslev (figur 4.1.1-1). Den største samlede forekomst af ålegræs fandtes ved mundingen af Mariager Fjord og syd herfor.

##### Metodekritik

Vegetationskort udtegnet på basis af flyfotograferingen i 1998 kan anvendes til at give overblik over vegetationsforholdene i den vestlige del af Hevring Bugt ud til ca. 6 m dybde. Det vil sige kortet angiver, hvor der er større områder med ålegræsvegetation, hvor der er overvejende makroalgevegetation og hvor der er bar sandbund.

På grund af opløseligheden kan kortet ikke give meget detaljerede oplysninger, og i områder med blandet blød- og hårdbund kan disse variationer ikke fanges med den anvendte opløselighed.

Udbredelseskortet fra 1998 er derimod velegnet til at udvælge områder med sammenhængende ålegræsvegetation, som området ved mundingen af Mariager Fjord og syd for Randers Fjord. Fremover kan disse udvalgte, mindre områder følges ved hjælp af flyfotografering. Opløseligheden skal være mindst 1 x 1 m, og der skal udføres dykkertjek i flere punkter og især ved ålegræssets dybdegrænse.

Metoden vurderes, at være velegnet til at følge områderne med sammenhængende ålegræsvegetation i Hevring Bugt. Der er stort set ingen løstliggende eutrofieringsbetingede alger, som kan vanskeliggøre undersøgelsen. Der bør eventuelt foretages en ny og mere detaljeret opmåling af dybdeforholdene i ålegræsområderne.

#### 4.2.7 Bundfauna

I 1999 blev der indsamlet bundfauna-prøver i stationsområdet HB01 (figur 4.1.1-2), der blev oprettet i forbindelse med revisionen af Vandmiljøplanen og opstarten af det nye overvågningsprogram i 1998. I stationsområdet indsamles der årligt 45 hapsprøver (0,0123 m<sup>2</sup>). Stationsområdet HB01 er udlagt i den dybeste del af Hevring Bugt kaldet "Skidtrenden". Stationsområdet er udlagt i denne del af bugten, da det er her, der først og fremmest forventes en forbedring i miljøtilstanden med hensyn til bundfauna. Skidtrenden fungerer som sedimentationsområde og har vanddybder omkring og større end springlagsdybde. Dette betyder, at området oftere end den øvrige del af bugten er ramt af iltsvind.

I forbindelse med de regionale undersøgelser af miljøtilstanden i Hevring Bugt er der indsamlet bundfauna på 10 stationer med 10 haps (0,0123 m<sup>2</sup>) på hver station (figur 4.1.1-2).

I beskrivelsen af bundfaunaforholdene i Hevring Bugt er således, dels anvendt data fra stationsområdet HB01, dels data fra de 10 regionale stationer.

##### Sedimentforhold

Sedimentforholdene i stationsområdet HB01 er undersøgt i 1998. Undersøgelserne af sedimentets tørstof og glødetab i HB01 i maj 1998 viste et tørstof på 71 % og et glødetab på 1,2 % som gennemsnit for området. Sedimentet i Skidtrenden kunne således karakteriseres som sandet med et lavt indhold af organisk stof.

På de regionale stationer i de mere lavvandede dele af bugten var det organiske indhold målt som glødetab mellem 0,4 og 0,9 % af tørvægten.

##### Året der gik

##### Dominerende bunddyr

I stationsområdet HB01 var bundfaunaen i 1999 antalsmæssigt domineret af Polychaeta (2029/m<sup>2</sup>) og Mollusca (1140/m<sup>2</sup>). Biomassen var domineret af Polychaeta (111 g m<sup>-2</sup>) og Echinodermata (207 g/m<sup>2</sup>) (tabel 4.2.5).

De dominerende arter i HB01 i 1999 var først og fremmest arter af børsteorme, der dominerede både individualt og biomasse. De mest dominerende børsteorme var *Spiophanes bombyx*, *Scoloplos armiger*, *Polydora caeca* og *Galathowenia oculata* (tabel 4.2.6). De dominerende muslinger var *Macoma calcarea* og *Fabulina fabula*. På listen over dominerende bunddyr i stationsområdet findes også *Phoronis muelleri* og sømusen *Echinocardium cordatum*, der som følge af sin størrelse og en tæthed på 25 individer/m<sup>2</sup> er årsagen til, at dyregruppen Echinodermata

	1998		1999	
	Individer/m <sup>2</sup>	S.E.	Individer/m <sup>2</sup>	S.E.
Polychaeta	1259	202	2029	153
Echinodermata	36	10	38	10
Mollusca	715	69	1140	113
Crustacea	251	43	217	39
Øvrige	154	38	157	30
<b>Total</b>	<b>2415</b>		<b>3581</b>	
	g vådvægt/m <sup>2</sup>		S.E.	
Polychaeta	42,0	12,1	111,7	17,9
Echinodermata	76,6	31,3	207,1	76,2
Mollusca	81,1	19,6	85,4	21,1
Crustacea	2,1	0,4	1,6	0,3
Øvrige	17,7	5,9	18,9	7,3
<b>Total</b>	<b>219,6</b>		<b>424,7</b>	

Tabel 4.2.5  
Fordelingen af individer og biomasse (g vådvægt) på taksonomiske hovedgrupper og som total i stationsområdet HB01 i Hevring Bugt 1998 og 1999.

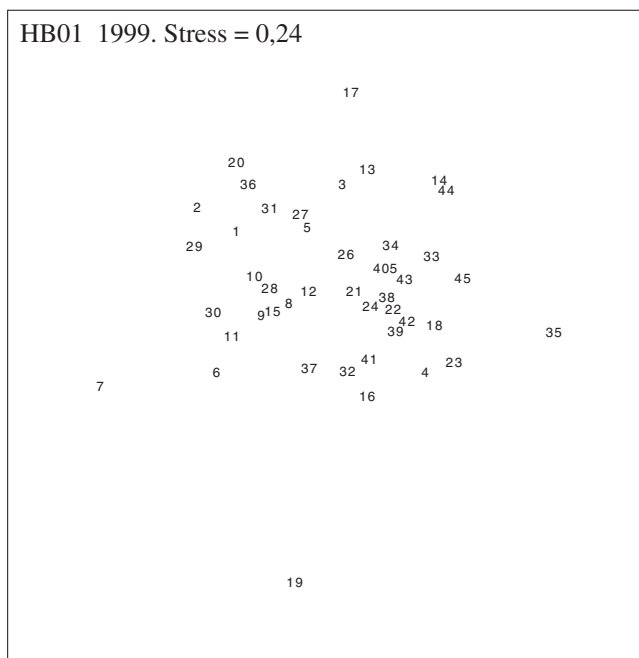
Art	Individer/m <sup>2</sup>	g vådvægt/m <sup>2</sup>
<i>Spiophanes bombyx</i>	490	68,09
<i>Scoloplos armiger</i>	627	6,99
<i>Macoma calcarea</i>	313	8,43
<i>Polydora caeca</i>	304	9,18
<i>Fabulina fabula</i>	186	13,16
<i>Phoronis muelleri*</i>	76	16,39
<i>Galatowenia oculata</i>	287	4,25
<i>Echinocardium cordatum</i>	25	207,12
* vægt incl rør		

Tabel 4.2.6  
Dominerende arter med hensyn til individantal og biomasse i stationsområdet HB01, Hevring Bugt 1999.

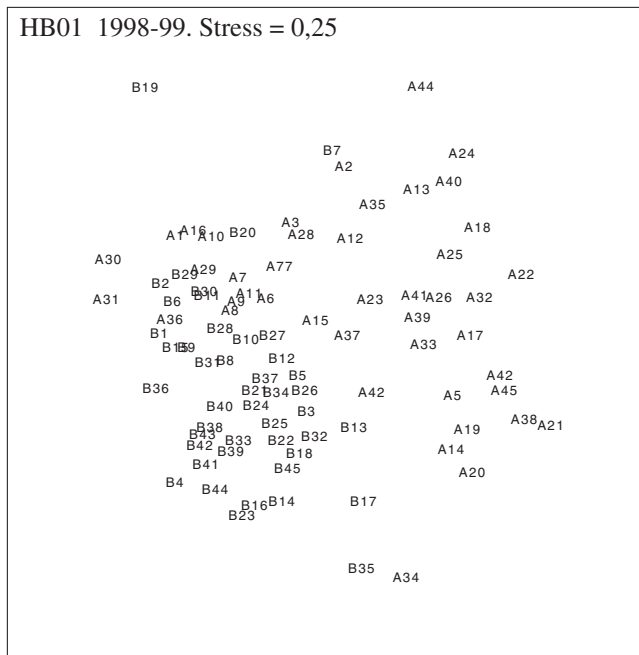
udgør den største andel af den samlede biomasse i området (tabel 4.2.5).

MDS analyse

På basis af 4. rods transformerede individantal pr. delprøve på indsamlede prøver i stationsområdet HB01 i 1999 er der foretaget en MDS analyse, for at få et indtryk af, hvor homogent bundfaunaen forekommer i området (figur 4.2.7-1). MDS analysen viser, at enkelte delprøver adskiller sig fra hovedparten af delprøver. Disse delprøver (delprøve 7, 19 og 35) er kendetegnet ved, at antallet af dyr i prøven



Figur 4.2.7-1  
MDS analyse på basis af 4. rods transformerede individantal pr. prøve (45 prøver) indsamlet i stationsområde HB01 i maj 1999.



Figur 4.2.7-2  
MDS analyse på basis af 4. rods transformerede individantal pr. prøve (45 prøver) indsamlet i stationsområde HB01 i maj 1998 og maj 1999. A = 1998 prøver og B = 1999 prøver – nummer angiver delprøvenr.

har være usædvanligt lavt. På trods af dette og på basis af individantallet, vurderes forekomsten af bundfauna i stationsområdet i 1999 at være homogen. Den gennemsnitlige similaritet mellem delprøverne i 1999 er 44 % (SIMPER).

### Tidlig udvikling i bundfaunaen

#### Stationsområdet HB01

Som det fremgår af tabel 4.2.5 er der sket en generel stigning i såvel individantallet som biomassen i stationsområdet HB01 fra 1998 til 1999. Stigningerne i forekomsten af bundfauna skyldes primært stigninger i forekomsten af børsteorme (Polychaeta), der er steget kraftigt i både individantal og biomasse, primært som en følge af en betydelig stigning i bestanden af *Scoloplos armiger*, *Spiophanes bombyx* og *Galathowenia oculata*. Bløddyrerne (Mollusca) er også steget i antal, men ikke nævneværdigt i biomasse. Dette skyldes, at stigningen i individantallet er baseret på en stor settling af juvenile *Macoma calcarea* samtidig med, at der er tale om mindre reduktioner i bestandene af *Mysella bidentata* og *Fabulina fabula*. Pighuderne (Echinodermata) er steget betydeligt i biomasse, hvilket skyldes en god vækst i biomassen af sømus (*Echinocardium cordatum*). En gennemsnitlige individbiomasse på 3,3 g vådvægt/individ i 1998 var i 1999 steget til 8,3 g vådvægt/individ for *Echinocardium cordatum*.

Den tidlige udvikling fra 1998 til 1999 i stationsområdet HB01 er også vurderet på basis af en MDS analyse foretaget på 4. rods transformerede individantal pr. delprøve indsamlet i de to år (figur 4.2.7-2).

MDS analysen viser, at der er signifikant forskel på forekomsten af bundfauna i 1998 og 1999 (ANOSIM,  $P < 0,0$  %). Similariteten mellem prøverne i 1998 var 34 %, hvorimod den i 1999 var steget til 44 % (SIM-

PER). Dette fremgår også af figur 4.2.7-2, hvor prøverne fra 1998 ligger betydeligt mere spredt end prøverne fra 1999. Den større similaritet mellem prøverne i 1999 skyldes først og fremmest, at etableringen af *Scoloplos armiger*, *Spiophanes bombyx*, *Galathowenia oculata* og *Macoma calcarea* er sket forholdsvis jævnt i hele området – disse arter tegner sig alene for 46 % af similariteten mellem prøverne i området (SIMPER). Den mindre similaritet imellem prøverne i 1998 skyldes formentlig, at der i efteråret 1997 i forbindelse med opløstningen af den toksiske alge *Gyrodinium aureolum* skete en betydelig reduktion i antallet af specielt børsteorm, men også pighuder i området ved HB01 (Århus Amt og Nordjyllands Amt, 1999). De toksiske effekter af *Gyrodinium*-opløstningen i 1997 på bundfaunaen i Hevring Bugt var primært isoleret til sedimentationsområdet "Skidtrenden", hvor HB01 er udlagt (figur 4.1.1-2) (Århus Amt og Nordjyllands Amt, 1999).

#### Regionale stationer

Ved afrapporteringen af 1997 data i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram kunne der over perioden 1989-97 konstateres signifikante reduktioner i forekomsten af krebsdyr i den østlige del af Hevring Bugt (Århus Amt og Nordjyllands Amt, 1998). Udviklingen i individantal og biomasse fordelt på taksonomiske hovedgrupper og totalt er fulgt på de stationer, der i dag indgår i den Regionale Overvågning i Hevring Bugt (bilag 3.4.12). På de regionale stationer, hvor der efterfølgende er indsamlet bundfauna frem til og med 1999 er de statistiske analyser af den tidlige udvikling fra rapporteringen i 1998 gentaget (Kendalls tau-b). De statistiske analyser viser, at de kraftige reduktioner i forekomsten af krebsdyr, der tidligere kunne konstateres i specielt den østlige del af Hevring Bugt, ikke længere er tilfældet, idet der er sket en betydelig retablering af krebsdyrbestanden på

de fleste stationer. Dog kan der stadig over årrækken 1989-99 konstateres en reduktion i krebsdyrbestanden på de nordøstlige stationer 190004 og 190037. St. 190037 ligger i stationsområdet HB01 (figur 4.1.1-2). Retableringen af krebsdyrbestanden skyldes først og fremmest en kraftig stigning i forekomsten af krebsdyret *Ampelisca brevicornis*, der også tidligere har været meget almindelig i området.

#### Iltsvind 1998

Da indsamlingen af bundfaunaprøver i Hevring Bugt foregår i maj måned, kan effekterne af iltsvind i sensommeren først vurderes på det følgende års undersøgelser.

I 1998 forekom der et kortvarigt iltsvind i Hevring Bugt målt i forbindelse med prøvetagningen d. 21. september 1998. Ved næste gennemførte prøvetagning i medio oktober var der intet iltsvind. Vurderet på baggrund af iltsvindet i Århus Bugt i 1998, der var ganske kortvarigt (15.-28. september), antages iltsvindet i Hevring Bugt også at have været kortvarigt. Udviklingen i bundfaunaens forekomst på de regionale stationer (bilag 3.4.12) og i HB01 (tabel 4.2.5) viser, at iltsvindet ikke har haft nogen effekt af betydning på bundfaunaen i 1998.

#### Iltsvind 1999

I 1999 blev der konstateret iltsvind i "Skidtrenden" og på st. 190004. Effekterne af iltsvindet på bundfaunaen kan først vurderes i forbindelse med rapporteringen af bundfaunadata indsamlet i 1999, da indsamlingen foregår i foråret.

Den stigende forekomst af bundfauna i Hevring Bugt i 1998 og 1999 skyldes, at der i 1997 og 1998 ikke har været iltsvind af betydning i bugten. Masseopløstningen af den toksiske alge *Gyrodinium aureolum* i 1997 medførte kun reduktionen i bundfaunaen i og ved stationsområde HB01.

Der har ikke tidligere kunnet konstateres nogen entydig sammenhæng mellem afstrømningen af kvælstof og forekomsten af bundfauna i Hevring Bugt, som det ellers er tilfældet for f.eks. Kattegat og Århus Bugt (Århus Amt 1999 og Ærtebjerg et al. 1998). De meget lave forekomster af bundfauna i 1996-97 og den efterfølgende retablering i 1998-99 kan dog med stor sandsynlighed begrundes i de meget lave afstrømninger til bugten i perioden medio 1995 – medio 1997 og de efterfølgende relativt høje afstrømninger i 1998 og 1999.

## 4.3 Diskussion

### 4.3.1 Miljøtilstand og tidlig udvikling

#### Total tilførsel af kvælstof fra land

Der er i perioden 1990-99 ikke sket en signifikant reduktion i belastningen, udover hvad der kan tilskrives det begrænsede nedbør i 1996 og 1997. Kvælstoftilførslen i 1999 svarer til niveaue for årene 1990, 1991 og 1992, hvor afstrømningen målt som vandføring var ca. 20 % mindre end i 1999. Forholdet mellem bidragene fra Randers Fjord, Mariager Fjord, Limfjorden og de åbne kyster var stort set den samme i 1999 som de forrige år.

#### Total tilførsel af fosfor fra land

Der er i perioden 1990-99 ikke sket en signifikant reduktion i belastningen. Fosfortilførslen i 1999 svarer til tilførslen i årene 1990, 1991 og 1992, hvor afstrømningen målt som vandføring var ca. 20 % mindre end i 1999. Forholdet mellem bidragene fra Randers Fjord, Mariager Fjord, Limfjorden og de åbne kyster var stort set den samme i 1999 som de forrige år. Den store reduktion i fosforbelastningen, som følge af den mere effektive spildevandsrensning slog, i oplandet til Kattegat Vest, kraftigst igennem i 80'erne

og ligger derfor før den betragtede periode.

Det skal dog bemærkes, at eventuelle udviklingstendenser i tilførslerne kan være overskygget af fordelingen af våde og tørre år i den relativt korte periode der betragtes (1990-99).

#### Næringsstoffer i vandet

De kystnære områder (st. 190004 og st. 4410) er tydeligt mere påvirket af årstidsvariationen i afstrømningen/tilførslen end længere fra kysten (st. 409 og st. 40302). Variationerne på havstationerne synes i højere grad at være styret af meteorologiske og hydrografiske faktorer.

Det signifikante fald i fosforkoncentrationerne for perioden 1989-98 afspejler en kombination af reduktionen i fosfortilførslen fra land på grund af den mere effektive spildevandsrensning, der slog igennem sidst i 80'erne i Danmark og eventuelle reduktioner i øvrige tilførsler til området (atmosfærebidrag og bidrag fra omkringliggende farvande). Der er ingen signifikant udvikling i kvælstofkoncentrationerne.

En ændring i prøvetagningspraksis i 1998 vanskeliggør sammenligninger med langtidsgennemsnit på st. 4410. Med de nævnte forbehold, er der ingen signifikant ændring i næringsstofkoncentrationen på st. 4410. På de øvrige stationer i Kattegat Vest kan der ikke drages konklusioner på grund af den korte tidsserie 1998-99.

Fra midten af marts til midten af november var der tale om koncentrationer af et eller flere næringsstoffer, der svarede til næringsstofbegrænsning.

#### Ilt

Den lavvandede del af det vestlige Kattegat er ikke et udpræget iltvindsområde med årligt tilbagevendende langvarige iltvindshændelser. En relativt svag lagdeling og hyppig opblan-

ding (vandsøjlen er i ca. 50 % af tiden velblandet) gør, at perioder med lave iltkoncentrationer er forholdsvis kortvarige. Iltforholdene i det vestlige Kattegat er overvejende styret af hydrografien og meteorologien i området. Der kan derfor heller ikke spores nogen udviklingstendenser, hverken i retning af forbedrede eller forværrede iltforhold.

I 1999 blev der registreret iltsvind på st. 190004, Hevring Bugt, st. 4410, Dokkedal og st. 40302, Læsø Rende. Iltsvindene optrådte i august/september efter lang tids kraftig lagdeling af vandmasserne. Varigheden af iltsvindene forventes at have været omkring 2-3 uger.

#### Plankton

Planktonets sammensætning og populationsdynamikken i det vestlige Kattegat afviger ikke fra det, der kan forventes i et eutrofieret kystnært farvand. De tidsvægtede månedsgennemsnit for klorofylkoncentrationen lå i 1999 generelt lidt over gennemsnittet for 1989-98. Der kan ikke spores nogen signifikant udvikling i perioden 1989-99 for hverken de tidsvægtede års-, sommer- eller forårsgennemsnit for klorofyl og biomasse.

Sommeren igennem var der potentielt næringssaltbegrænsning samtidig med en forholdsvis høj produktion og biomasse, som løbende opbrugte de tilgængelige næringsalte. Kun umiddelbart efter forårsopblomstringen gav næringssaltbegrænsningen anledning til fald i produktionen og biomassen på st. 409.

Sammensætningen af planteplanktonsamfundet var i 1999 stort set den samme i Aalborg Bugt og Hevring Bugt. Der var potentielt giftige alger tilstede i det vestlige Kattegat året igennem, men der blev ikke registreret følgevirkninger af evt. giftstoffer. Fra september til december var der en mere eller mindre total dominans af

den grønne furealge, *Gymnodinium chloroform*, der for første gang blev registreret i det vestlige Kattegat. Før de massive opblomstringer i Kattegat er algen kun observeret to gange tidligere i Nordsøen, hvor den i september 1990 og 1992 var årsag til grønne misfarvninger af vandet langs den jyske vestkyst.

#### Bundfauna

Bundfaunaen i Hevring Bugt er siden 1996-97 steget betydeligt i antal og biomasse. Denne retablering af bundfaunaen skyldes de relativt gode iltforhold i bugten i 1997 og 1998.

Retablering ses tydeligt hos krebsdyrerne, der ellers har været næsten forsvundet fra bugten, men i løbet af 1998 og 1999 er taget væsentligt til i antal. Krebsdyrerne er en af de dyregrupper, der er mest følsomme overfor iltsvind.

### **4.3.2 Målsætninger**

Følgende målsætninger er gældende for Hevring Bugt.

Miljøtilstanden i Hevring Bugt er målsat med en skærpet målsætning inden for RAMSAR fuglebeskyttelsesområdet og generel målsætning i områderne længere væk fra kysten. Den skærpede målsætning forudsætter, at plante- og dyre livet ikke er påvirket af kulturbetingede faktorer. Den generelle målsætning forudsætter, at plante- og dyrelivet ikke eller kun svagt påvirkes af kulturbetingede faktorer.

Vandkvalitetsplanen for Århus Amt er under revision, hvorfor kun en del af målsætningerne er behandlet.

#### Bundfauna

Den generelle målsætning er ikke opfyldt, da bundfaunaen i bugten til stadighed er påvirket af de periodiske iltsvind i området og af andre eutrofie-

ringsbetingede faktorer, som masseopblomstringer af giftige alger.

#### Bundvegetation

Vandkvalitetsplanen indeholder konkrete målsætninger for ålegræsvegetationen i Hevring Bugt. Der skal være en tæt og sammenhængende ålegræsvegetation, som i sommerperioden dækker 50-100 % af bunden i området ud for Ingerslev. Dybdegrænsen for ålegræssets hovedudbredelse skal være større end 5 m. Endvidere må dækningsgraden af eutrofieringsbetingede alger på ålegræs og flerårige alger ikke være over 25 %. Disse målsætninger var ikke opfyldt ved Århus Amts regionale tilsyn i henholdsvis 1998 (flyfotografering) og 1999.

#### Ilt

Udover de ovenfor nævnte målsætninger, er der også knyttet en række konkrete målsætninger til miljøtilstanden i Hevring Bugt:

1. Der må ikke forekomme længerevarende perioder (> 4 uger) med iltkoncentrationer under 4 mg O<sub>2</sub>/l.
2. I Skidtrenden må der ikke forekomme iltkoncentrationer under 2 mg O<sub>2</sub>/l.

Da iltsvindet i Hevring Bugt ikke var længerevarende kan denne målsætning delvis siges at være opfyldt. Delmålsætning 2 kan ikke eftervises, da der ikke er foretaget målinger i Skidtrenden i 1999.

## 5. MILJØFREMMEDE STOFFER

I NOVA 2003 indgår en udbygget overvågning af miljøfremmede stoffer og tungmetallers forekomst i marint vand, sediment og biota. Århus Bugt og Randers Fjord er udpeget som områder for overvågning i Århus Amt.

Ud over den kemiske overvågning indgår effektundersøgelser på snegle for kønsskifte (imposex), som følge af eksponering med antibegroningsmidlet TBT.

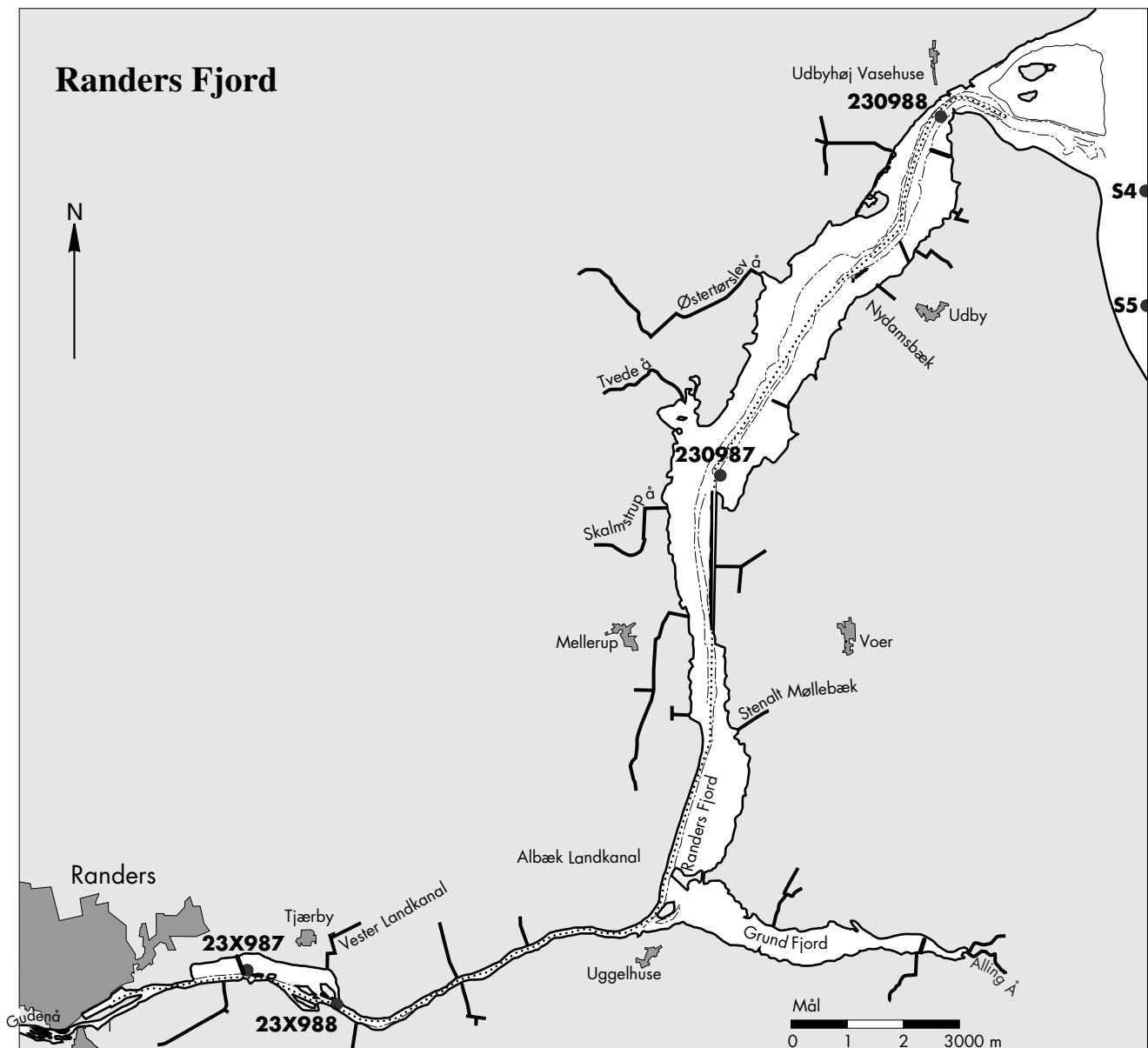
### 5.1 Området og prøvetagningsprogram

#### Randers Fjord

Stationerne for miljøfremmede stoffer og tungmetaller i Randers Fjord skal give en viden om variationen i koncentrationen af de enkelte stoffer og stofgrupper i fjorden. Stationerne er placeret i en gradient i forhold til

potentielle kilder under hensyntagen til tidligere undersøgelser i fjorden (Århus Amt, 1991 og Århus Amt, 1998b). De potentielle kilder er Randers By, Randers Havn og Gudenåen med tilhørende opland.

Det er ikke alle elementer af overvågningsprogrammet for miljøfremmede stoffer, der skal undersøges hvert år. I 1999 har Århus Amt undersøgt blåmuslinger og vand for miljøfrem-



Figur 5.1.1-1 Stationsplacering for blåmuslinger (st. 230987 og st. 230988), VOC vandprøver st. 23x987 og st. 23x988 samt imposexstationerne S4 og S5.

mede stoffer, samt foretaget effektundersøgelser på dværgkonk.

### Blåmuslinger

For undersøgelse af blåmuslinger har forekomsten af disse i Randers Fjord været afgørende for stationsplaceringen. Blåmuslinger forekommer kun i den yderste 1/3-del af Randers Fjord. Der er taget prøver af blåmuslinger på 2 stationer. På hver station er der indsamlet 3 delprøver med hver 50-70 muslinger. Stationernes placering fremgår af figur 5.1.1-1 (st. 230987 og st. 230988).

Muslingerne er analyseret for tungmetaller, chlorphenyler, pesticider, PAH'er og organiske tinforbindelser.

### Vand

Vandprøver er indsamlet henholdsvis 500 og 1000 m nedstrøms udløbet fra Randers Centralrenseanlæg. Prøvetagningen er koordineret med NOVA 2003 afløbsprøvetagningen på rensningsanlægget. Vandprøverne er analyseret for indholdet af VOC'er (flygtige halogenerede kulbrinter) samt PCP og LAS. Stationernes placering fremgår af figur 5.1.1-1 (st. 23x987 og st. 23x988).

### Effektundersøgelser

Da der ikke har kunnet fanges dværgkonk i selve Randers Fjord, er der indsamlet snegle på 2 stationer i umiddelbart forlængelse af fjorden. Stationernes placering fremgår af figur 5.1.1-1 (S4 og S5).

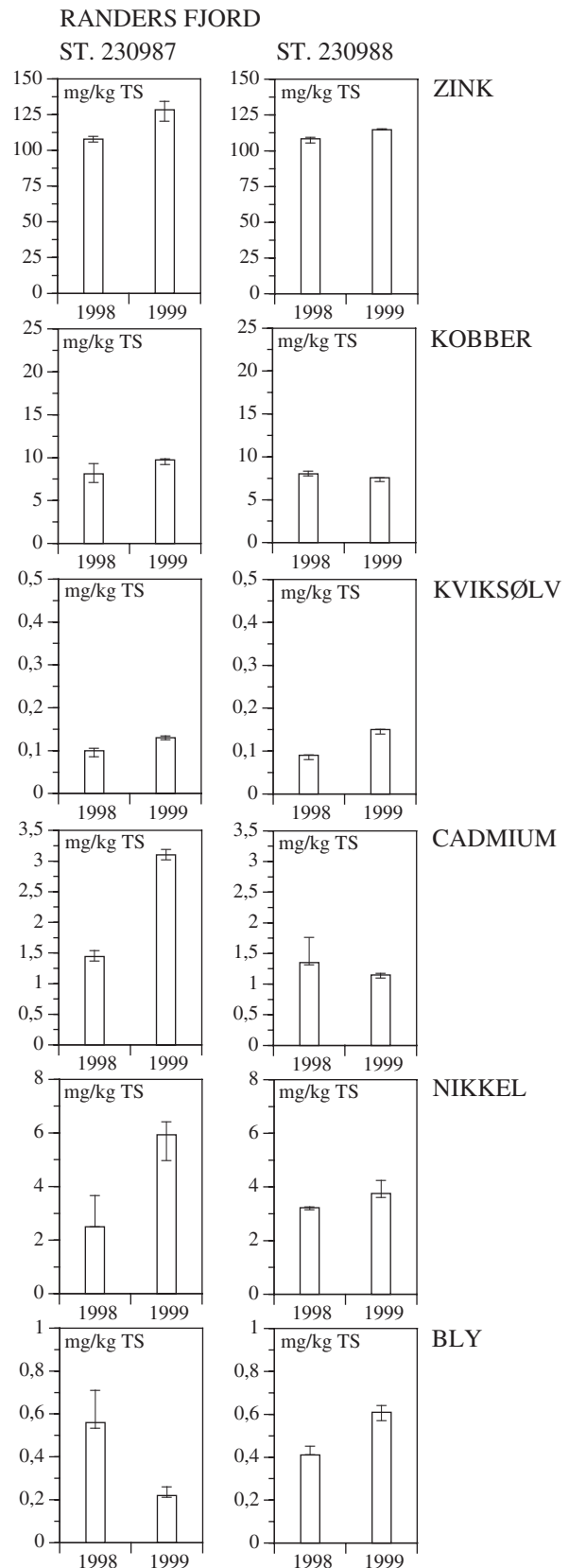
## 5.2 Resultater

Nedenstående analyseresultater af de undersøgte parametre i 1999 er sammenlignet med værdierne målt i 1998. Resultaterne er givet som medianværdier og 75 % fraktil på de forskellige stationer. For værdier mindre end detektionsgrænsen er værdien sat til nul.

Ud over ovennævnte undersøgelse foreligger der en undersøgelse af 52 miljøfremmede stoffer i sedimentet fra en række marine områder i Århus Amt. Der er udarbejdet en rapport herom: Miljøfremmede stoffer i Århus Amt- fase 2 og 3, 1997-1998 (Århus Amt, 1998b).

### 5.2.1 Tungmetalkoncentrationer

Indholdet af zink, kobber, kviksølv, cadmium, nikkel og bly i blåmuslinger fra 2 lokaliteter i Randers Fjord er vist i figurerne 5.2.1-1. De enkelte analyseresultater fra de 2 stationer er givet i bilag 3.5.1.



Figur 5.2.1-1  
Indholdet af zink, kobber, kviksølv, cadmium, nikkel og bly som mg/kg tørstof i blåmuslinger fra st. 230987 og 230988 i 1998 og 1999.

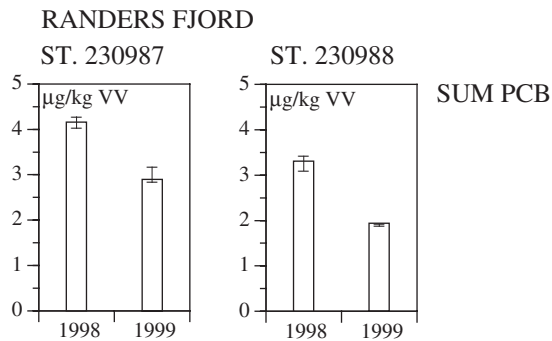
### 5.2.2 Koncentrationer af miljøfremmede stoffer

Indholdet af PCB er i figur 5.2.2-1 angivet som summen af de 10 congenere, der er obligatorisk ifølge NOVA-programmet. De enkelte analyseresultater er angivet i bilag 3.5.1.

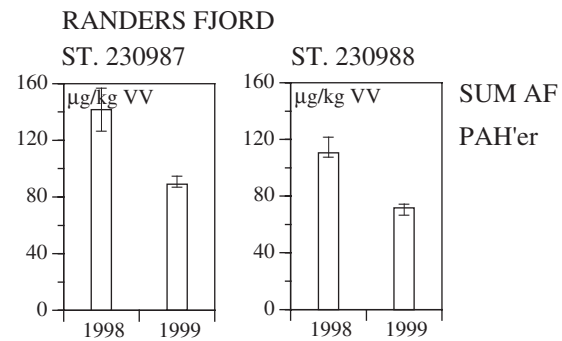
HCH og DDT er i figur 5.2.2-2 og 5.2.2-3 ligeledes angivet som sumfunktioner af stofgruppen. De enkelte analyseresultater er angivet i bilag 3.5.1.

Figur 5.2.2-4 viser summen af alle PAH'er. Figurerne 5.2.2-5 viser de lette (2-3ringede) PAH'er. Figur 5.2.2-6 viser de tunge (4-6) ringe PAH'er. Figur 5.2.2-7 viser de metylerede PAH-forbindelser. De enkelte analyseresultater er angivet i bilag 3.5.1.

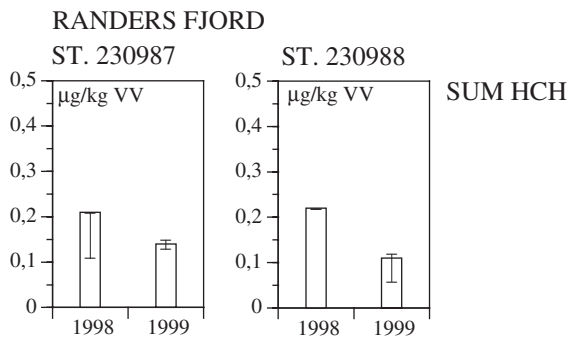
Total toksisitets-ækvivalenter beregnet på baggrund af B(a)P-TEF er fra st. 230987 og 230988 i 1998 og 1999 vist i figur 5.2.2-8.



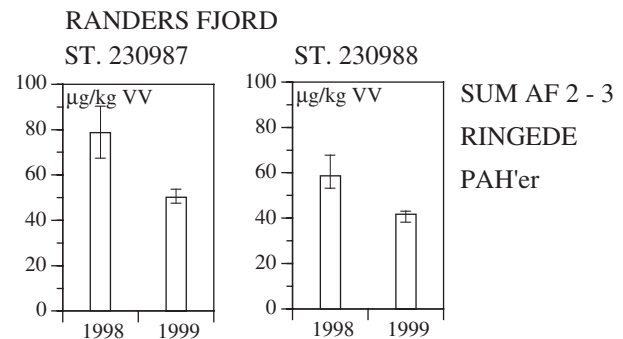
Figur 5.2.2-1. Indholdet af summen af PCB (10 congenere) i µg/kg vådvægt i blåmuslinger fra station 230987 og 230988 i 1998 og 1999. Værdierne er medianværdier angivet med 75 % fraktil.



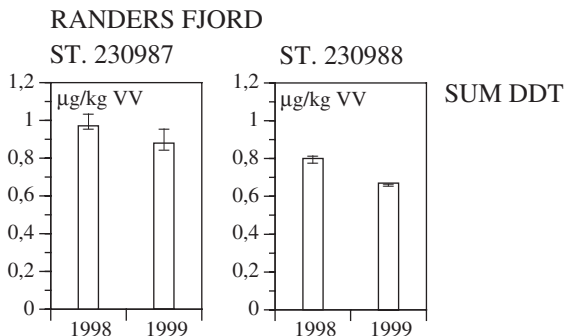
Figur 5.2.2-4. Summen af PAH'er (25 komponenter) i µg/kg vådvægt i blåmuslinger fra station 230987 og 230988 i 1998 og 1999. Værdierne er medianværdier angivet med 75 % fraktil.



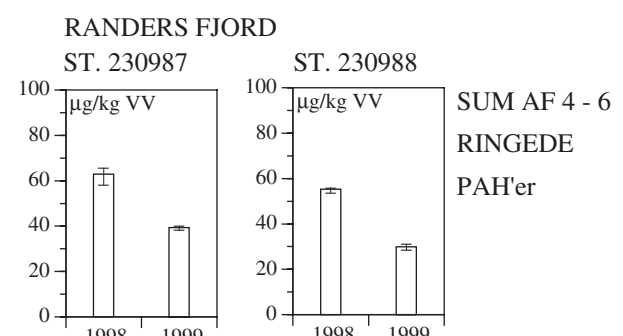
Figur 5.2.2-2. Indholdet af summen af HCH (4 komponenter) i µg/kg vådvægt i blåmuslinger fra station 230987 og 230988 i 1998 og 1999. Værdierne er medianværdier angivet med 75 % fraktil.



Figur 5.2.2-5. Summen af lette PAH'er (2-3 ringede: 13 komponenter) i µg/kg vådvægt i blåmuslinger fra station 230987 og 230988 i 1998 og 1999. Værdierne er medianværdier angivet med 75 % fraktil.



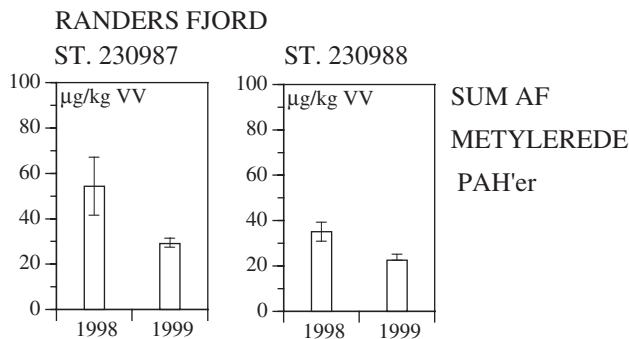
Figur 5.2.2-3. Indholdet af summen af DDT (3 komponenter) i µg/kg vådvægt i blåmuslinger fra station 230987 og 230988 i 1998 og 1999. Værdierne er medianværdier angivet med 75 % fraktil.



Figur 5.2.2-6. Summen af tunge PAH'er (4-6 ringede: 12 komponenter) i µg/kg vådvægt i blåmuslinger fra station 230987 og 230988 i 1998 og 1999. Værdierne er medianværdier angivet med 75 % fraktil.

Forholdet mellem petrogen og pyrogen PAH kontermineering er vist i tabel 5.2.1. Opdelingen er baseret på forholdet mellem komponenter, som indikerer PAH'ernes oprindelse til primært at stamme fra petrogene kilder, raffinerede og uraffinerede olieprodukter, og pyrogene kilder fra normal forbrænding eller høj-temperatur forbrændingsprocesser.

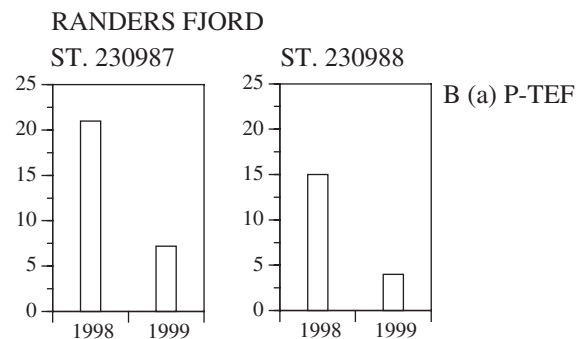
PAH-forbindelserne fundet i blåmuslingerne på de 2 stationer viser, at PAH'erne stammer fra en kombination af både petrogene og pyrogene PAH-forbindelser.



Figur 5.2.2-7  
Summen af methylerede-PAH'er (6 komponenter) i µg/kg vådvægt i blåmuslinger fra station 230987 og 230988 i 1998 og 1999. Værdierne er medianværdier angivet med 75 % fraktile.

Indholdet af TBT, DBT, MBT i blåmuslinger fra Randers Fjord er i figur 5.2.2-9 angivet som XBT- Sn µg/kg. De enkelte analyseresultater er givet i bilag 3.5.1.

VOC'er blev ikke påvist over detektionsgrænsen på 0,05 µg/l, ligeledes var PCP mindre end 0,02 og LAS mindre end 1 µg/l. Analyseresultaterne fremgår af bilag 3.5.2.

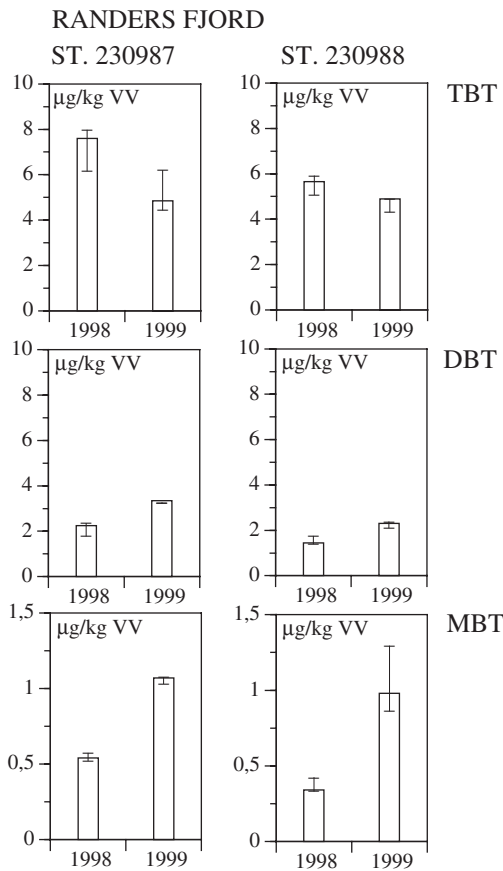


Figur 5.2.2-8  
Total toksisitets-ækvivalenter fra station 230987 og 230988 i 1998 og 1999 er beregnet på baggrund af B(a)P-TEF.

Randers Fjord	År				Petrogen		Pyrogen	
	1998	1998	1999	1999	uraffineret	rafineret	normal forbrænding	høj-temp. forbrænding
Station	230987	230988	230987	230988				
Naphthalen/phenanthren forhold > 2 indikerer petrogen kilde af uraffinerede typer	0,21	0,1	0,27	0,26		X		
Alkyl-phenanthrener/phenanthren: Højt indhold af alkylphenanthrener indikerer petrogen kilde	1,47	0,76	1,57	1,74		(X)		
Phenanthren/dibenzothiophen-forhold: Pyrogen kilder (10-100) Petrogen afraffinerede typer (5-10) Petrogen af uraffinerede typer (1-2)	55,5	97,6	74,4	54,5			X	
Anthracen/Phenanthren Et forhold nær 1 indikerer en ren pyrogen kilde Et forhold over 1 indikerer en høj-temperatur pyrogen kilde	0,04	0,02	0,01	0,03			(X)	
2-3 ringede/4-7 ringede: Petrogen kilder er rige på 2-3 ringede PAH'er (forholdet ofte 5-10). Et forhold under 5 indikerer pyrogen kilde	1,23	1,15	1,25	1,42			X	

Tabel 5.2.1

Forholdet mellem petrogen og pyrogene PAH'er, fra station 230987 og 230988 i 1998 og 1999, angivet ud fra forholdet mellem: Naphthalen/phenanthren, Alkyl-phenanthrener/phenanthren, phenanthren/dibenzothiophen, anthracen/phenanthren, 2-3 ringede/4-6 ringede.



Figur 5.2.2-9  
Indholdet af TBT, DBT og MBT µg/kg vådvægt i blåmuslinger fra Randers Fjord station 230987 og 230988 i 1998 og 1999. Værdierne er medianværdier angivet med 75 % fraktil.

### 5.2.3 Imposex hos dværgkonk

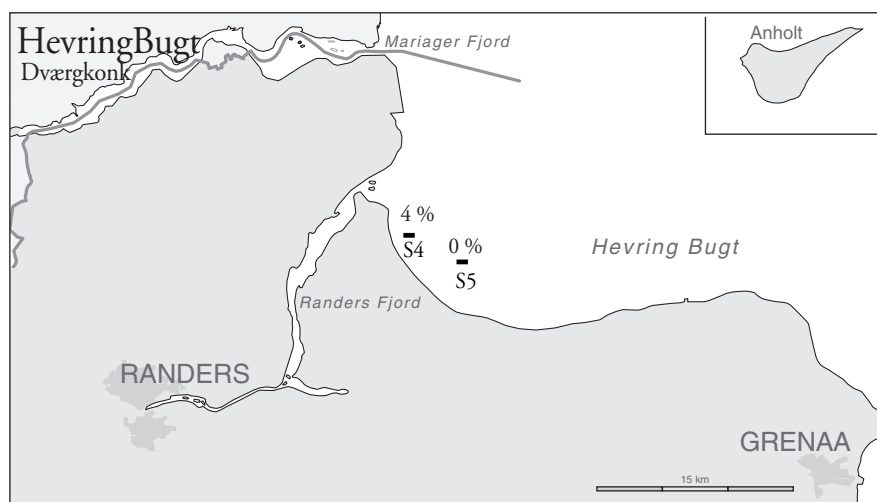
Resultaterne af imposexundersøgelserne af de enkelte snegle er vist i bilag 3.5.3. Parameterværdierne frekvens af imposex, VDSI og MSI er vist i tabel 5.2.2.

I figur 5.2.3-1 er vist frekvensen af imposex i 1999 for dværgkonk.

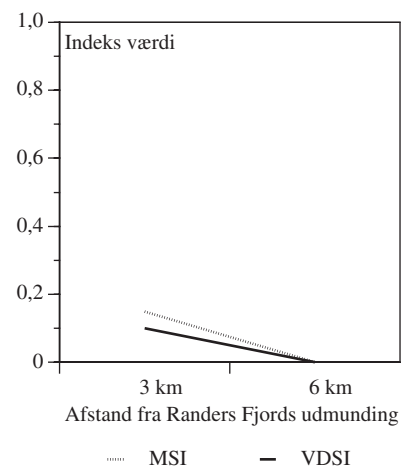
I Hevring Bugt ved Randers Fjords udmunding er der på NOVA-stationen S4 (ca. 3 km syd øst) en frekvens af imposex på 5 %. På NOVA station S5, ca. 6 km fra Randers Fjords udløb er frekvensen af imposex 0 %. Effektgraden udtrykt ved MSI og VDSI indekset er vist i figur 5.2.3-2.

Dværg konk	Hevring Bugt, 1999	
Station	S4	S5
Afstand fra Randers Fjords udmunding i km	3	6
Antal hunner undersøgt	20	20
Gennemsnitlig skalhøjde i mm	16,23	18,96
% hunner med imposex	0	5
Gennemsnits penis længde hos hunner	0	0,0745
Relativ penis længde RPLI	0	0,537
VDSI	0	0
MSI	0,1	0,15

Tabel 5.2.2  
Imposex hos dværgkonk fra Hevring Bugt og Århus Bugt NOVA-program 1998/99.



Figur 5.2.3-1  
Frekvensen i % af imposex i 1999 hos dværgkonk fra Hevring Bugt og Århus Bugt.



Figur 5.2.3-2  
Sammenhængen mellem MSI og VDSI hos dværg konk og afstanden til Randers Fjords udløb.

## 5.3 Diskussion

### 5.3.1 Miljøtilstand og tidlige udvikling

#### Metaller

Resultaterne viser, at der for de undersøgte stoffers vedkommende ikke er markant forskel mellem de 2 lokaliteter og, at der ikke er forskelle mellem de 3 puljede prøver på hver af de 2 stationer i Randers Fjord. Århus Amt har siden 1974 foretaget en række undersøgelser over forekomsten af tungmetaller i det marine miljø. Undersøgelserne har primært været udført på sediment. Resultaterne af disse undersøgelser viser, at der generelt siden 1970'erne er sket et fald i tungmetalbelastningen til Randers Fjord (Århus Amt, 1995).

De nu målte koncentrationer af tungmetaller i blåmuslinger fra Randers Fjord ligger på et forholdsvist lavt niveau, og svarer til OSPAR (Oslo-Paris Kommissionen) betegnelsen for baggrundsniveau. Sammenholdt med den norske klassificering af miljøkvaliteten i kystvande, er indholdet af tungmetaller i muslinger fra Randers Fjord, at sammenligne med tilstandsklassen "god" (SFT 1997).

#### Miljøfremmede stoffer

På baggrund af NOVA programmets målinger i 1998 og 1999, er der endnu ikke et datagrundlag til at vurdere en tidlige udvikling i de organiske miljøfremmede forbindelser.

Indholdet af PCB varierer mellem 1,9 og 4,2 µg/kg vådvægt og ligger inden for OSPAR vejledende økotoksikologiske vurderingskriterium (EAC) for sum af PCB på 1-10 µg/kg vådvægt. Det vil sige, at der kan forekomme effekter i miljøet pga. forhøjet koncentrationer af PCB.

Indholdet af PAH'er, udtrykt ved summen af PAH'er, viser i begge årene 1998 og 1999 et indhold mindre end 50 µg PAH/kg vådvægt. Det samlede indhold af PAH i blåmuslinger fra de 2 stationer i Randers Fjord ligger derfor alle i den norske klassificering af miljøkvaliteten i tilstandsklassen I: Ubetydelig forurenat.

Indholdet af TBT i blåmuslinger ligger på de 2 stationer i 1998 og 1999 mellem 4,9 og 7,6 µg TBT-Sn/kg vådvægt. Indhold af TBT i blåmuslinger fra de 2 stationer i Randers Fjord ligger derfor alle i den norske klassificering af miljøkvaliteten i tilstandsklassen II (2-10 µg TBT-Sn/kg vådvægt): Moderat forurenat.

Indholdet overstiger Oslo-Paris Kommissionens økotoksikologiske vurderingskriterier (EAC) på 0,5-5 µg TBT-Sn/kg vådvægt.

#### Imposex

Imposex hos dværgkonk ved udmundingen af Randers Fjord er ikke udbredt, og må betragtes som baggrundsniveau.

### 5.3.2 Målsætninger

I Århus Amt findes der ingen konkrete målsætninger m.h.t. indholdet af tungmetaller og organiske miljøfremmede stoffer i muslinger. Effekten af TBT på sneglene viser, at TBT-belastningen i Randers Fjord ikke umiddelbart påvirker dværgkonk ved fjordens udmunding i Kattegat, men indholdet af TBT i muslingerne indicerer en mulig påvirkning i selve fjorden.

## 6. SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER

### Klimatiske forhold

Som helhed var 1999 et fugtigt år med en nedbør, der for Århus Amt var 843 mm, hvilket er 30 % højere end normalen for perioden 1961-90. Bortset fra månederne juli og november var nedbøren større end normalt. I månederne marts og juni var nedbøren henholdsvis 102 % og 180 % over normalen.

Antallet af soltimer var trods det fugtige vejr høj og 16 % over det normale. Specielt månederne maj og juli – september havde en høj solindstråling. Den eneste måned i 1999, der havde en solindstråling under normalen, var marts måned.

Temperaturen i 1999 var samlet set for året også over normalen, og specielt månederne med høj indstråling i sommerperioden (juli – september) havde temperaturer 1-3,5 grader over normalen.

1999 var generelt mere blæsende end normalt og specielt i november – december var der en række perioder med kuling og hård kuling – storm.

### Randers Fjord

#### Saltholdighed og temperatur

Saltholdigheden i overfladen i Randers Fjord var usædvanlig lav i sommerperioden i 1999. Dette skyldtes en større ferskvandsafstrømning og lave saltholdigheder i overfladen i Hevring Bugt. I perioden september – november var lagdelingen meget kraftig i fjorden. Temperaturen i fjordvandet var normal til over middel. I månederne juli – oktober var temperaturen over mid-

#### Stoftilførsel

Den betydelige nedbør i 1999 medførte afstrømninger af kvælstof og fosfor til Randers Fjord over middel. Specielt i månederne marts, oktober og december var tilførslerne væsentligt højere end normalt. Tilførslerne af organisk stof til fjorden var også højere end normalt, specielt i oktober og december måned.

Tilførslerne af kvælstof og fosfor til fjorden er faldet signifikant i perioden 1978-99. Faldet i fosfortilførslerne er meget markant og skyldes primært den forbedrede spildevandsrensning. Faldet i kvælstoftilførslerne er ikke så markant og skyldes formentlig faldet i udledninger fra punktkilder og en forbedret retention i oplandet til fjorden. Tilførslerne af organisk stof er faldet signifikant, men ikke i sommerperioden, hvor tilførslerne er domineret af afstrømningen af ferskvandsfytoplankton fra søerne i den nedre del af oplandet.

#### Næringsstoffer i vandet

Næringsstofkoncentrationerne falder generelt ud gennem Randers Fjord i takt med at åvandet opblandes med det mere næringsfattige saltvand. De højeste kvælstofkoncentrationer måles i forbindelse med stor afstrømning fra oplandet. I 1999 måles de højeste koncentrationer af kvælstof således i marts og oktober. Der er ikke observeret potentiel kvælstofbegrænsning i fjorden i 1999. Der er dog tidligere observeret korte perioder med kvælstofbegrænsning i yderfjorden. Generelt er der ingen udvikling i kvælstofkoncentrationerne i fjorden, men en tendens til faldende koncentrationer. Der er således målt signifikante fald i kun 3 ud af de 18 tidsserier af kvælstofparametre, der er behandlet i denne rapport.

De højeste fosforkoncentrationer i Randers Fjord måles i sensommeren og efteråret i forbindelse med interne frigivelser af orthofosfat fra sedimentet. Fosforkoncentrationen var i 1999 i nogle få dage så lav i Inderfjorden, at den var potentielt begrænsende for primærproduktionen. Der forekommer næsten årligt potentiel fosforbegrænsning i nogle få dage i fjorden. Fosforkoncentrationerne er faldet markant i fjorden. Der er således konstateret signifikante fald i 9 ud af de 12 tidsserier af fosforparametre, der er behandlet i denne rapport.

#### Iltforhold

Generelt er vandmasserne i den lavvandede fjord velilte, men der opstår næsten årligt lave iltkoncentrationer i de dybere vandlag i sejlrunden i Inderfjorden. I 1999 målt de hidtil laveste iltkoncentrationer i bundvandet i inderfjorden.

#### Plankton

De højeste klorofylkoncentrationer i Randers Fjord målt i forårsperioden, hvor overfladevandet i fjorden indeholdt store mængder ferskvandsplankton, der var tilført fjorden fra søerne i den nedre del af oplandet. Der er konstateret et signifikant fald i klorofylkoncentrationen i Inderfjorden i efteråret. Dette fald skyldes faldende tilførsler af ferskvandsplankton fra oplandet. I Yderfjorden er der derimod konstateret stigende klorofylkoncentrationer målt som års- og sommergennemsnit. De stigende koncentrationer skyldes formentlig at afstrømningen af ferskvand med høje klorofylkoncentrationer har haft større påvirkning i yderfjorden i de varme somre i 1990'erne.

### Bundvegetation

De store mængder af ferskvandsalger og andet organisk stof i ferskvandet, der strømmer til fjorden, samt resuspension af sediment, betyder, at lyset ikke kan trænge særligt dybt ned i fjordvandet. Derfor er udbredelsen af bundvegetationen meget lille i Randers Fjord. Tidligere tiders udbredte ålegræsbelter i Yderfjorden og artsrige brakvandsvegetation i Inderfjorden er næsten helt forsvundet.

### Miljøtilstand

Randers Fjord er blandt de mest eutrofierede fjordområder i Danmark. Koncentrationerne af næringsstoffer er generelt meget høje på trods af, at der er sket drastiske fald i tilførslerne af fosfor og mindre reduktioner i tilførslerne af kvælstof. Der er konstateret faldende koncentrationer af specielt fosfor men også kvælstof i fjorden. Niveaulet er dog stadig højt. Koncentrationerne af næringsstoffer er kun yderst sjældent så lave i fjorden, at de er potentielt begrænsende for primærproduktionen.

Miljøtilstanden i fjorden påvirkes også af de høje tilførsler af organisk stof fra oplandet, primært i form af ferskvandsfytoplankton fra søerne i den nedre del af oplandet. Således måles der næsten årligt iltsvind i de dybere vandmasser i sejlrenden i Inderfjorden. Vandmasserne i fjordens mere lavvandede dele er velilte.

Fjordens plante- og dyreliv er generelt kraftigt påvirket af eutrofieringen af fjorden. Bundvegetationen har en meget begrænset udbredelse i fjorden, som følge af ringe lysforhold. Målsætningerne om et ikke eller kun svagt påvirket plante- og dyreliv er langt fra opfyldte.

## **Mariager fjord**

### Tilførsler af næringsalte

Den samlede kvælstoftilførsel fra land og atmosfære til Mariager Fjord var i 1999 på ca. 1640 ton. Tilførslen var dermed blandt de højeste i undersøgelsesperioden, hvor der blev målt tilførsler fra ca. 1100 til ca. 1700 ton/år. Variationerne mellem årene skyldtes primært forskelle i nedbøren, og der var ingen signifikant udvikling i den samlede tilførsel af kvælstof i undersøgelsesperioden. Vandmiljøplanens mål, om en 50 % reduktion af kvælstofudledningerne til vandmiljøet i forhold til niveauet i 1980'erne, var således ikke opfyldt for Mariager Fjord.

Den samlede fosfortilførsel fra land og atmosfære til Mariager Fjord var i 1999 på ca. 34 ton. Denne tilførsel er høj i forhold til det generelle niveau i 1990'erne. Fosfortilførslerne faldt fra 66-83 ton/år i 1978-85 til 18-27 ton i begyndelsen af 1990'erne pga. en væsentlig forbedring af spildevandsrensningen og en reduktion i udledningen fra dambrug. Den relativt store tilførsel i 1999 skyldtes et større landbrugs- og naturbidrag pga. megen nedbør. Den samlede fosfortilførslen i 1999 var reduceret med h.h.v. 49 % og 60 % i forhold til den mindste og største af tilførslerne i perioden 1978-85, og dermed var vandmiljøplanens mål om en 80 % reduktion ikke opfyldt.

### Temperatur og saltholdighed

I 1999 var der som følge af stille vejr en periode med lagdeling i temperatur og saltholdighed i omkring 5 m dybde i juli – august, samt i første halvdel af september. Lignende forhold er tidligere kun observeret i 1994 og 1997. Temperaturen og saltholdigheden er normalt ensartet fra overfladen til omkring 10 m dybde på grund af den vindskabte omrøring. Temperatur og saltholdighed ved bunden var stabil gennem året, da der ikke var ind-

strømning af koldt saltvand fra Aalborg Bugt. Indstrømning forekommer kun med års mellemrum.

### Sigtddybde

Sigtddybden var i hele 1999 mindre end langtidsgennemsnittet for perioden 1989-96. Sigtddybden var signifikant faldende fra 1989 til 1999. Faldet skyldtes, at sigtddybden i 1994-95 periodisk var lav som følge af stor nedbør og isdække, og at sigtddybden i 1997-99 var lav som følge af iltsvindet, der nedsatte muslingernes græsning af planteplankton. Sigtddybden i 1999 var dog stigende i forhold til efteråret 1997 og 1998 pga. et stigende græsningstryk fra den voksende muslingebestand.

### Næringsstoffer

Undersøgelserne af næringsstoffer viste, at forholdene i 1999, i lighed med 1998, var ændret væsentligt i forhold til årene inden iltsvindet i 1997. I den øvre vandmasse var koncentrationen af ammonium+ammoniak og total-kvælstof lavere end normalt i første halvdel af året, og orthofosfat og total-fosfor var generelt lavere end normalt hele året. Specielt var koncentrationen af orthofosfat meget lavere end tidligere, og perioden med potentiel fosforbegrænsning var helt usædvanlig lang. I bundvandet var koncentrationen af ammonium, total-kvælstof, orthofosfat og total-fosfor samt silicium usædvanligt høje hele året.

De usædvanlige næringsstofforhold skyldtes en ændret stofflux som følge af iltsvindet i 1997. Inden iltsvindet blev en stor del af planteplanktonet konsumeret af de vidt udbredte blåmuslingebanker, som hurtigt omsatte det med relativt høje koncentrationer af ammonium+ammoniak og orthofosfat til følge. Som følge af iltsvindet døde næsten alle blåmuslingerne i Inderfjorden, og der skete først en rekolonisering i løbet af 1998. I foråret 1999 var biomassen af blåmuslinger dog antagelig stadig mindre end

normalt, og en større del af det sedimenterende planteplankton blev omsat af bakterier ved bunden. På vanddybder mellem 0 og 10 m, hvor der var relativt gode iltforhold, blev en del af den frigivne kvælstof sandsynligvis denitrificeret i sedimentet. Endvidere skete der en binding af kvælstof og fosfor i den voksende muslingebestand.

Der var ingen generel udvikling i koncentrationen af kvælstof i perioden 1979-99. Dette er i overensstemmelse med, at tilførslen af kvælstof fra land var uændret i perioden. Koncentrationen af fosfor var signifikant faldende i den øvre vandmasse i perioden 1979-99. Faldet skete hovedsageligt i slutningen af 1980'erne og afspejlede det tilsvarende fald i tilførslen af fosfor fra land.

#### Plankton

Klorofylkoncentrationen var i april og juli – september høj i forhold til tidligere år. Kulstofbiomassen var tilsvarende høj i april og september. Den store afstrømning af næringssalte fra land i 1999 blev afspejlet i store mængder af planteplankton i størstedelen af vækstperioden. Årsproduktionen var på niveau med tidligere år.

Der var potentiel fosforbegrænsning i fjorden i en usædvanlig lang periode, fra april til september. Kvælstof var potentielt begrænsende i korte perioder i forbindelse med kraftige opblomstringer af planteplankton i august og september. Lave lysprocenter i 1 m dybde viste, at planteplankton var lysbegrænset i flere perioder. Til trods for disse begrænsende faktorer blev der opretholdt en stor biomasse i størstedelen af vækstperioden, og de tilførte næringssalte blev således hurtigt optaget af planteplankton.

I 1999 lignede planktonsammensætningen igen den sammensætningen, der var i årene før iltsvindet i 1997. Planteplankton blev domineret af

meget få arter, der til gengæld blev registreret i store koncentrationer. Biomassen var det meste af året totalt domineret af kiselalger, specielt *Skeletonema costatum*.

I perioden fra 1979 til 1999 var der et signifikant fald i koncentrationen af klorofyl. Faldet var særlig markant i sidste halvdel af 1980'erne, hvor også sommerkoncentrationen af fosfor faldt signifikant i takt med, at spildevandsrensningen blev forbedret. Faldet i klorofylkoncentrationen må derfor ses som resultatet af en øget fosforbegrænsning. Der var ikke noget signifikant fald i koncentrationen af klorofyl i perioden 1989-99. Kulstofbiomassen i forårsperioden steg fra 1991 til 1999, hvilket primært skyldtes en høj biomasse i foråret 1999.

#### Ilt

I en periode med stille vejr i august faldt iltmætningen ved overfladen til 60 % på st. 5503, Dybet, og der blev registreret iltsvind ( $< 4$  mg ilt/l) nær kysten på 2 m vanddybde. Situationen var således ved at udvikle sig som i august 1997, hvor hele Inderfjorden blev ramt af et alvorligt iltsvind. Mere normale vindforhold i anden halvdel af august medførte, at der atter blev velilte forhold ned til omkring 10 m dybde. I Dybet var der iltfrit ved bunden hele året. Der var ingen generel udvikling i iltmætningen ved bunden på st. 5503, Dybet i perioden 1979-99. Der er næsten konstant iltfrit, kun afbrudt af korte perioder i forbindelse med indstrømning af iltrigt vand fra Aalborg Bugt.

#### Svovlbrinte

Svovlbrinteproduktionen i Mariager Fjord var meget stor ( $4,5$  mol  $H_2S/m^2$  pr. år) pga. stor tilførsel af organisk stof til fjordbunden. Produktionen i fjordbunden var størst på det helt lave vand og mindst i Dybet, hvor der til gengæld var en meget stor produktion i det iltfrie bundvand. Den samlede årsproduktion af svovlbrinte i

Dybet svarede til årsproduktionen i de lavvandede områder. Koncentrationen af svovlbrinte i fjordbunden var mindst på lavt vand og størst i Dybet. Dette skyldtes, at tilførslen af ilt og dermed iltningen af svovlbrinte var størst på lavt vand og mindst i den næsten permanente iltfrie del i Dybet. I 1999 blev der registreret frigivelser af svovlbrinte fra bunden på lavt vand i august/september, men pga. større tilførsel af ilt fra luften fik frigivelsen ikke så alvorlige konsekvenser som i 1997.

#### Bundvegetation

I Inderfjorden blev ålegræs i 1999 kun fundet på én station, mod to i 1998. For både ålegræs og havgræs var der tale om en tilbagegang i udbredelsen i forhold til 1998, sandsynligvis pga. dårligere lysforhold. Ligesom i tidligere år var ålegræs og havgræs bevokset med epifytter i store dele af Inderfjorden. Der var som sædvanligt store forekomster af eutrofieringsbetingede grønalger, og det var igen sø-/fjordsalat der dominerede, og ikke rørhinde som dominerede i 1998.

I Yderfjorden blev ålegræs og havgræs fundet på alle tre stationer ligesom i 1998. For ålegræs er der generelt sket et fald i dækningsgraden fra 1998 til 1999, mens bevoksningen af epifytter på blomsterplanterne så ud til at være reduceret noget i forhold til 1998. Der var store forekomster af forureningsbetingede grønalger, hvoraf sø-/fjordsalat var mest udbredt.

#### Bundfauna

Bundfaunaen i Mariager Fjord har siden iltsvindet i 1997 været under retablering. Udviklingen i faunaens individantal og biomasse har vist, at der er sket en betydelig opbygning af faunabiomasse i fjorden siden iltsvindet udslettede næsten alt liv i fjorden. Bundfaunaen i Mariager Fjord er stadig begrænset i sin udbredelse i fjorden af det permanente iltsvind i de dybere dele af fjorden og af de perio-

diske iltsvind på lavere vanddybder i sommerperioden. Således bliver der kun sjældent fundet bundfauna af betydning på dybder større end 10 m.

#### Vurdering af miljøtilstand i forhold til målsætninger

Undersøgelserne af miljøtilstanden i 1999 viste, at målsætningen om et svagt til upåvirket plante- og dyreliv langt fra var opfyldt i Mariager Fjord. Den fortsatte påvirkning af plante- og dyrelivet skyldtes primært den lokale tilførsel af næringsstoffer fra land, mens tilførsel af næringsstoffer fra Kattegat var af mindre betydning. En forbedring af miljøtilstanden vil kræve en markant reduktion i tilførslen af næringsstoffer fra land.

#### Fremtidige tiltag for at begrænse næringsalttilførslen

For at reducere kvælstoftilførslen skal udvaskningen af nitrat fra dyrkede arealer nedbringes, og Nordjyllands Amt og Århus Amt opfordrer landmændene til at bruge de miljøvenlige jordbrugsforanstaltninger til at opnå støtte til ekstensivering af landbrugsdriften i f.eks. ådale.

For at reducere fosfortilførslen har Nordjyllands Amt og Århus Amt i Regionplan 1997 fastsat krav om yderligere reduktion af fosforudledningerne fra rensaanlæggene. Desuden skal spildevandet fra spredt bebyggelse renses bedre. Lukkes et dambrug i oplandet nedsættes fosforkvoten til dambrugsdrift tilsvarende.

For at opnå den nødvendige viden til at træffe beslutninger om videregående tiltag i Mariager Fjords opland har Nordjyllands Amt og Århus Amt i 1998-99 gennemført undersøgelser, der skal belyse, i hvilket omfang etablering af våde enge, skovrensning, braklægning, reduktion i gødningsforbruget, forbedret spildevandsrensning m.v. vil kunne nedbringe næringsstofftilførslerne yderligere.

## **Det vestlige Kattegat**

### Saltholdighed og temperatur

De hydrografiske forhold i Aalborg Bugt afspejler de overordnede forhold i Kattegat. I den overvejende del af tiden er forholdene velblandede.

1999 var karakteriseret ved en meget lang periode med nettoudstrømning fra Østersøen. Udstrømningen resulterede i saltholdigheder noget under middel i overfladelaget gennem hele sommeren. Da vinden samtidig var svag, blev resultatet en meget stabil og kraftig lagdeling, der varede fra marts/april til september/oktober. Temperaturen i overfladelaget var generel høj, specielt i sidste halvdel af 1999. I bundlaget var temperaturen generelt middel-høj, undtagen juni – august, hvor manglende opblanding og indstrømning af Nordsøvand til bunden resulterede i lave temperaturer.

### Stoftilførsel

Den samlede kvælstoftilførsel fra land (fjorde og åbne kyst strækninger) var i 1999 på ca. 21700 ton. Tilførslen lå på niveau med årene 1990, 1991 og 1992 og var forholdsvis høj, ca. 15 % højere end gennemsnittet for undersøgelsesperioden 1990-99. Forskellen i belastningen fra år til år skyldes primært forskelle i afstrømningen (mindste belastning var 9980 ton i det tørre år 1996 og højeste belastning ca. 27120 ton i det våde år 1994). Der kan ikke spores nogen signifikant udvikling i den samlede tilførsel af kvælstof fra land i perioden 1990-99.

Den samlede fosfortilførsel fra land var i 1999 på 1050 ton. Tilførslen lå på niveau med belastningen i årene 1991, 1992 og middel for de våde år 1994-95. Tilførslen var forholdsvis høj ca. 12 % højere end gennemsnittet for perioden 1990-99. Der er ingen signifikant udvikling i den samlede tilførsel af fosfor i perioden. Den store reduktion i fosforbelastningen, som følge af

den mere effektive spildevandsrensning slog, i oplandet til Kattegat Vest, kraftigst igennem i 80'erne og ligger derfor før den betragtede periode.

### Næringsstoffer i vandet

De kystnære områder er tydeligt mere påvirket af årstidsvariationen i afstrømningen/tilførslen end længere fra kysten. Variationerne på havstationerne synes i højere grad at være styret af de overordnede strømninger gennem Kattegat.

I Hevring Bugt lå koncentrationen af total-kvælstof på eller lidt over langtidsgennemsnittet, mens koncentrationen af fosfor generelt lå under langtidsgennemsnittet. Der er et signifikant fald i fosforkoncentrationerne i perioden 1989-98, som afspejler en kombination af reduktionen i fosfortilførslen fra land på grund af den mere effektive spildevandsrensning, der slog igennem sidst i 80'erne i oplandet og eventuelle reduktioner i øvrige tilførsler til området (atmosfærebidrag og bidrag fra omkringliggende farvande).

En ændring i prøvetagningspraksis fra 1998 vanskeliggør sammenligninger med langtidsgennemsnit på st. 4410, Dokkedal. Med de nævnte forbehold, er der ingen signifikant ændring i næringsstofkoncentrationen på denne station. På de øvrige stationer i Kattegat Vest kan der ikke drages konklusioner ang. den signifikante udvikling på grund af den korte tidsserie 1998-99.

Fra midten af marts til midten af november fandtes et eller flere næringsstoffer i koncentrationer, der var potentielt begrænsende for primærproduktionen. Perioden med potentielt næringssaltbegrænsning strakte sig således fra afslutningen af forårsopblomstringen til det tidspunkt på året, hvor lysindstrålingen begrænser primærproduktionen.

### Iltforhold

Der blev i august 1999 konstateret iltsvind i Hevring Bugt samt på stationerne st. 4410, Dokkedal og st. 40302, Læsø Rende efter lang tids lagdeling af vandmasserne. Der kan ikke spores nogen udviklingstendenser hverken i retning af forbedrede eller forværrede iltforhold.

### Plankton

Klorofylkoncentrationen var generelt høj i 1999 som følge af de store næringstilførsler fra land. I marts og april måned var der forårsopblomstring i hele det vestlige Kattegat, hvor der blev målt usædvanligt høje klorofylkoncentrationer (op til 18 µg klorofyl/l) og kulstofbiomasser (op til 275 µg kulstof/l i Hevring Bugt). I august gav en stor opblomstring af planteplankton i Hevring Bugt ikke anledning til klorofylkoncentrationer højere end 3 µg/l pga. lavt klorofylindhold i cellerne som følge af høj indstråling. I perioden september-november var klorofylkoncentrationerne og biomasserne i det vestlige Kattegat igen meget høje, som følge af opblanding af næringsrigt bundvand efter længere tids lagdeling af vandmasserne.

Forløbet af arealproduktionen i Aalborg Bugt fulgte i store træk biomassen af planteplankton. Sommeren igennem var produktionen forholdsvis høj (PPI > 0,4), på trods af en stabil lagdeling og potentielt begrænsende næringssaltniveauer.

Planteplanktonsamfundet i Kattegat Vest var i 1999 domineret af kiselalger og furealger på skift, og domnansmønstret var det samme i hele området. Under forårsopblomstringen dominerede forskellige kiselalger totalt, furealgen *Ceratium tripos* dominerede i august, hvor den dannede en masseforekomst i Hevring Bugt, hvorefter den nye art for Kattegat, *Gymnodinium chloroform* dominerede året ud.

I 1999 var der i det vestlige Kattegat i perioder potentielt giftige arter tilstede i koncentrationer, der oversteg den vejledende grænseværdi for skærpet overvågning eller lukning af fiskeområder. I maj – juni og august – september var furealgen *Dinophysis norvegica* til stede (specielt i Aalborg Bugt), og i september – november var arter af den potentielt giftige kiselalgeslægt *Pseudo-nitzschia* til stede.

### Bundfauna

Bundfaunaen i Hevring Bugt er siden 1996-97 steget betydeligt i antal og biomasse. Denne retablering af bundfaunaen skyldes de relativt gode iltforhold i bugten i 1997 og 1998. Retablering ses tydeligt hos krebsdyrerne, der ellers har været næsten forsvundet fra bugten, men i løbet af 1998 og 1999 var taget væsentligt til i antal. Krebsdyrerne er en af de dyregrupper, der er mest følsomme overfor iltsvind.

Der blev i 1999 målt iltsvind i Hevring Bugt, men effekten på bundfaunaen kan først rapporteres i 2001.

### Miljøtilstand

Miljøtilstanden i Kattegat Vest varierer i forhold til belastningen med næringsalte og de overordnede fysiske forhold. Der kan i de overvågede biologiske parametre ikke spores nogle sikre udviklingstendenser, der tyder på hverken en forbedring eller en forværring af miljøtilstanden.

Der er i perioden 1989-99 konstateret signifikant lavere fosforkoncentrationer, som følge af den forbedrede spildevandsrensning, der har mindsket tilførslen af fosfor til farvandet. At dette ikke afføder en positiv respons i miljøtilstanden skyldes sandsynligvis, at kvælstoftilførslen er uændret.

Plankton afviger ikke fra, hvad der kan forventes i et eutrofiert kystnært farvand.

De lave ilt-niveauer i 1999 betød sidst på sommeren frigivelse af ortho-fosfat fra sedimentet i Hevring Bugt og Aalborg Bugt, og har sandsynligvis haft en negativ indvirkning på bundfaunaen.

Målsætningerne i Århus Amts Vandkvalitetsplan for Hevring Bugt, om et ikke eller kun svagt påvirket plante- og dyreliv, er ikke opfyldt. En forbedring af miljøtilstanden i Kattegat Vest generelt kræver en yderligere nedbringelse af fosfortilførslen og en markant reduktion af kvælstoftilførslen. Når dette realiseres viser, resultaterne fra specielt Århus Bugten, at de biologiske systemer vil reagere hurtigt og positivt.

### Miljøfremmede stoffer

De målte koncentrationer af PAH-forbindelser og tungmetaller i blåmuslinger fra Randers Fjord ligger på et forholdsvis lavt niveau, og svarer til OSPAR (Oslo-Paris Kommissionen) betegnelsen for baggrunds-niveau.

Indholdet af PCB og TBT i blåmuslinger er fundet i koncentrationer, som kan medføre effekter på dyrelivet i Randers Fjord.

## Konklusion

Miljøtilstanden var i 1999 generelt påvirket af, at afstrømningen af næringsstoffer til vandmiljøet var betydeligt højere end normalt. Desuden betød den varme sommer og den store udstrømning af vand fra Østersøen, at der opstod en kraftig lagdeling og et kraftigt iltsvind i store dele af kystområderne.

### Randers Fjord

Tilførslerne af næringsstoffer og organisk stof til Randers Fjord var betydeligt over middel i 1999, hvilket var medvirkende årsag til det hidtil kraftigste iltsvind i inderfjordens dybere liggende vandmasser i sejltrenden.

De senere års faldende tilførsel af næringsstoffer og organisk stof til fjorden har ikke medført forbedringer i miljøtilstanden i fjorden. Udbredelsen af rodhæftet vegetation i Randers Fjord er således stadig alarmerende ringe.

### Mariager Fjord

Undersøgelserne i Mariager Fjord i 1999 viste samlet, at målsætningen om et uforstyrret plante- og dyreliv langt fra var opfyldt. Der var høje næringssaltkoncentrationer, stor primærproduktion og flere masseforekomster af planteplankton. Blomsterplanternes vækst var hæmmet af dårlige lysforhold, og der var store forekomster af eutrofieringsbetingede grønalger. Det permanente iltsvind i Dybet nåede i august usædvanlig højt op i vandsøjlen, og der var iltsvind og frigivelser af svovlbrinte fra bunden på lavt vand i august – september.

Bundfaunaen har siden iltsvindet i 1997 været under retablering, og der er sket en betydelig opbygning af faunabiomasse i fjorden. Bundfaunaen er dog stadig begrænset i sin udbredelse af det permanente iltsvind i de dybere dele af fjorden og af de periodiske iltsvind på lavere vanddybder i sommerperioden. Ålegræssets spirede spredt i 1998 efter skaderne under iltsvindet, men pga. dårlige lysforhold var udbredelsen i Inderfjorden i 1999 væsentlig reduceret i forhold til udbredelsen i 1998. Tilstanden i fjorden er derfor endnu ikke som før iltsvindet.

Den fortsatte påvirkning af plante- og dyrelivet skyldes primært den lokale tilførsel af næringsstoffer fra land, herunder specielt kvælstoftilførsel fra landbrugsområder. En forbedring af miljøtilstanden vil kræve en markant reduktion i denne tilførsel. Vandmiljøplanens mål om en 50 % reduktion af kvælstoftilførslen og en 80 % reduktion af fosfortilførslen var ikke opfyldt.

### Det vestlige Kattegat

Der blev i 1999 konstateret iltsvind i området efter længere tids lagdeling af vandmasserne. Store tilførsler af næringssalte resulterede i 1999 i store plankton biomasser.

Miljøtilstanden i det Vestlige Kattegat er præget af den generelle eutrofiering af de indre danske farvande. Der kan i de overvågede biologiske parametre ikke spores nogle sikre tendenser, i retning af hverken en forbedring eller en forværring af miljøtilstanden. Den forbedrede spildevandsrensning, der har mindsket tilførslen af fosfor til farvandet, har resulteret i signifikant lavere fosforkoncentrationer i farvandet. At dette ikke afføder en positiv respons i miljøtilstanden skyldes sandsynligvis, at kvælstoftilførslen er uændret.

En forbedring af miljøtilstanden kræver en yderligere nedbringelse af fosfortilførslen og en markant reduktion af kvælstoftilførslen.

## REFERENCER

- Christoffersen, H og Kaalund, L., 1984.**  
Hydrografisk undersøgelse af farvandet nord for Djursland, Aalborg Bugt syd. Rapport til Århus Amtskommune.
- DHI, 1995.**  
MIKE 11, ver. 3.11. Users Guide and Reference Manual.
- DHI, 2000.**  
Farvandsmodellen, Hydrografi og stoftransport, 1999.
- Fossing, H., 2000.**  
Sedimentprocesser og næringsstofudveksling i Mariager Fjord 1999. Teknisk rapport til Århus Amt og Nordjyllands Amt.
- GEUS, 1998.**  
Mariager Fjord sedimentkortlægning. Hobro -Hadsund. Udført for Århus og Nordjyllands Amter.
- Greve, T.M., 1999.**  
Iltodynamik i ålegræsmeristemer. Implikationer for vækst og overlevelse. Specialrapport. Københavns Universitet, Ferskvandsbiologisk Laboratorium 1999. 41 sider.
- Kaas, H., Møhlenberg, F., Josefson, A., Rasmussen, B., Krause-Jensen, D., Jensen, H.S., Svendsen, L.M., Windolf, J., Middelboe, A.L., Sand-Jensen, K. og Foldager Pedersen, M., 1996.**  
Marine områder. Danske Fjorde – status over miljøtilstand, årsagssammenhænge og udvikling. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1995. Danmarks Miljøundersøgelser 205 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 179.
- Markager, S., et al, 1999.**  
Marine områder. Status over miljøtilstanden i 1998. NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 290.
- Olesen, B. og Sand-Jensen, K., 1994.**  
Patch dynamics of eelgrass *Zostera marina*. Marine Ecology Progress Series Vol. 106:147-156.
- Poulsen, Ole, 1991.**  
Skagerrak-frontens dynamik. Hydrografien i Skagerrak og Kattegat. Havforskning fra Miljøstyrelsen nr.7. ISBN: 87-503-9325-1.
- Sand-Jensen, K., Nielsen, S.L., Borum, J. og Geertz-Hansen, O., 1994.**  
Fytoplankton- og makrofyludvikling i danske kystområder. Havforskning fra Miljøstyrelsen nr. 30. ISBN: 87-7810-139-5.
- Water Consult, 1997.**  
Undersøgelse af næringsalt- og vandskifteforhold 1994-95. Rapport udført for Århus Amt, 1997.
- Ærtebjerg, G., Sandbeck, P., Agger, C.T., Lundøer, S., Kaas, H., Jensen, J. N., Rasmussen, M.B., Pedersen, D. S., Christensen, P. B. og Dahl, K., 1992.**  
Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1991. Marine områder. Faglig rapport fra DMU, nr. 61, 1992.
- Ærtebjerg, G., Carstensen, J., Conley, D., Dahl, K., Hansen, J., Josefson, A., Kaas, H., Markager, S., Nielsen, T.G., Rasmussen, B., Krause-Jensen, D., Hertel, O., Skov, H. & Svendsen, L.M., 1998.**  
Marine områder. Åbne farvande – status over miljøtilstand, årsagssammenhænge og udvikling. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1997. Danmarks Miljøundersøgelser. 248 s. Faglig rapport fra DMU nr. 254.
- Århus Amt, 1991.**  
Vandmiljøet i Randers Fjord 1990.
- Århus Amt, 1992.**  
Vandmiljøet i Hevring Bugt 1990, Teknisk Rapport, Århus Amt, Miljøkontoret.
- Århus Amt, 1996.**  
Undersøgelser af miljøfremmede stoffer i Århus Amt – Fase 1, 1996.
- Århus Amt, 1997.**  
Randers Fjord 1996. Teknisk rapport, Århus Amt, Natur og Miljø.
- Århus Amt, 1998a.**  
Vestlig Kattegat. Tilstand og udvikling. Teknisk rapport.
- Århus Amt, 1998b.**  
Miljøfremmede stoffer i Århus Amt Fase 2 og 3, 1997-1998.
- Århus Amt 1999.**  
Vandmiljøet i Randers Fjord 1997. Århus Amt, Natur og Miljø. Teknisk rapport, 152 s.
- Århus Amt, 2000.**  
Århus Bugt. Status og udvikling 1999.
- Århus Amt og Nordjyllands Amt, 1998a.**  
Mariager Fjord. Udvikling og status 1997. Teknisk rapport fra Århus Amt og Nordjyllands Amt. 198 s.
- Århus Amt og Nordjyllands Amt, 1998b.**  
Mariager Fjord, Udvikling efter iltvindet i 1997. Status september 1998.
- Århus Amt og Nordjyllands Amt, 1998c.**  
Vestlige Kattegat, tilstand og udvikling, 1997.
- Århus Amt og Nordjyllands Amt, 1999.**  
Vestlige Kattegat og Tilstødende Fjorde 1998. Tilstand og Udvikling. Teknisk rapport maj 1999, 77 s.