

Miljøministeriet



Danmarks
Miljøundersøgelser

Danmarks hydrografi 1989

Faglig rapport fra DMU, nr. 11

Ian Sehested Hansen,
Dansk Hydraulisk Institut,

Gunni Ærtebjerg,
Leif Albert Jørgensen,
Afdeling for Havmiljø og Mikrobiologi

Miljøministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser
December 1990

Titel: Danmarks hydrografi 1989

Serietitel: Faglig rapport fra DMU, nr. 11

Udgiver: Miljøministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser (C)

Udgivelsesår: 1990

Forfattere: Ian Sehested Hansen, Dansk Hydraulisk Institut,
Gunneri Ertebjerg og Leif Albert Jørgensen, Afdeling
for Havmiljø og Mikrobiologi

Redigering: Ian Sehested Hansen

ISBN: 87-7772-009-1

ISSN: 0905-815x

Papirkvalitet: Dansk Miljøpapir

Trykkeri: Tutein & Koch

Oplag: 75 eks.

Sideantal: 70

Pris: kr. 100,00 (incl. moms, excl. forsendelse)

Emneord: Vandmiljøplan, overvågning, marin, hydrografi,
kvælstof, ilt.

Bedes citeret: Sehested Hansen, I., Ertebjerg, G. & Jørgensen, L.A.
(1990). Danmarks hydrografi 1989. Danmarks
Miljøundersøgelser. 70 s - Faglig rapport fra DMU,
nr. 11.

Gengivelse kun tilladt med tydelig kildeangivelse.

Købes hos:
Danmarks Miljøundersøgelser
Afdeling for Havmiljø og Mikrobiologi
Jægersborg Allé 1B, Charlottenlund
Tlf. nr.: 31 61 14 00

<u>INDHOLDSFORTEGNELSE</u>		<u>SIDE</u>
1	INDLEDNING	1-1
2	RESUME	2-1
3	DRIVENDE PROCESSER	3-1
	3.1 Vind	3-1
	3.2 Nedbør	3-5
	3.3 Afstrømning	3-6
4	HYDRAULISK RESPONS I INDRE DANSKE FARVANDE	4-1
	4.1 Udstrømning fra Østersø	4-1
	4.2 Temperatur, saltholdighed og lagdeling	4-2
	4.3 Opblanding og nettostrøm	4-9
 <u>SÆRLIGE ANALYSER</u>		
5	KVÆLSTOFBIDRAG FRA DEN JYSKE KYSTSTRØM	5-1
	5.1 Meteorologisk forudsætning	5-1
	5.2 Målinger i Nordsøen og Skagerrak	5-2
	5.3 Kvælstof indstrømning til de indre danske farvande	5-6
6	KVÆLSTOFBALANCE OG ILTFORHOLD I DE INDRE DANSKE FARVANDE	6-1
	6.1 Vandkemiske data	6-1
	6.2 N-balance øvre lag	6-3
	6.3 Iltsvind	6-5

Indholdsfortegnelse (fortsat)SIDE

7	VANDSKIFTE I UDVALGTE OMRÅDER	7-1
7.1	Randers Fjord - Hevring Bugt	7-1
7.2	Århus Bugt - Kalø Vig	7-3
7.3	Farvandet nord for Fyn - Vejle Fjord	7-6
7.4	Farvandet syd for Fyn - sydlige Lillebælt	7-9
8	REFERENCER	8-1

1 INDLEDNING

Nærværende rapport indeholder en analyse af de hydrografiske forhold i de danske farvande for året 1989.

Analysen er gennemført af Dansk Hydraulisk Institut i samarbejde med Danmarks Miljøundersøgelser (DMU).

Formålet med analysen har været at tilvejebringe en beskrivelse for 1989 af de processer, der indvirker på hydrografien i de danske farvande, samt resultatet heraf på hydrografien og vandkemien. Denne beskrivelse skal danne grundlag for en statusrapportering fra DMU om tilstandene i de danske farvande i henhold til Vandmiljøplanen.

Analysen lægger hovedvægten på forholdene i 1989, idet der dog så vidt muligt relateres til tidligere års forhold (langtidsstatistikker for hydrografiske forhold m.v.). Endvidere er hovedvægten lagt på forhold, der har betydning for forholdene i de indre danske farvande.

En fuldt dækkende analyse af hydrografien i de indre danske farvande i 1989, incl. behandling af alle hydrografiske målinger m.v., er uden for de opstillede tidsmæssige og økonomiske rammer. I stedet har hensigten været at give en overordnet beskrivelse af de generelle hydrografiske forhold, idet der suppleres med forhold af lokal betydning for udvalgte områder.

Undersøgelsen omfatter følgende forhold:

- Meteorologi i 1989 (vind, nedbør (afstrømning)).
- Udvikling generelt gennem 1989 i hydrografien i de indre danske farvande (lagdeling, medrivning, vandret vandfornyelse, skillefladedybde).

- Beskrivelse af indstrømningen fra Skagerrak til Kattegats bundvand, herunder muligheden for indtrængning af vand fra den Jyske Kyststrøm.
- Udviklingen gennem 1989 i næringssalt koncentrationer og i iltforholdene i de indre danske farvande .
- Vurdering af muligheden for vandskifte i udvalgte kystnære områder:
 - Randers Fjord - Hevring Bugt
 - Århus Bugt - Kalø Vig
 - Farvandet nord for Fyn - Vejle Fjord
 - Farvandet syd for Fyn - sydlige Lillebælt

De indhentede og analyserede meteorologiske, hydrografiske og vandkemiske data udgør et omfattende materiale. I selve rapporten er kun udvalgte data præsenteret sammen med de gennemførte analyser.

2 RESUME

De drivende processer for forholdene i de danske farvande i 1989 er meteorologiske, herunder specielt vinden og nedbøren.

Vinden var i perioden november 1988 til marts 1989 meget stabil fra SV retning (fig. 3.1-2). Denne vindretning er en forudsætning for at den Jyske Kyststrøm langs Jyllands vestkyst når helt frem til Skagen og indgangen til Kattegat. Samtidig giver denne vindretning typisk indstrømning til Østersøen gennem de danske bæltter. Den stabile periode med SV-vind er ikke typisk for månederne januar-marts, og har derfor givet anledning specielle muligheder for kvælstofindstrømning til Kattegat i vinteren 1988-89.

1989 havde i øvrigt kraftige vindperioder omkring medio februar, ultimo marts, ultimo juli og medio december, mens maj-medio juli havde svagere vind end normalt (fig. 3.3).

Nedbøren var generelt 20% mindre end normalt. Kun marts og oktober lå over de normale månedsværdier (fig. 3.4). Den lokale afstrømning fra land var ligeledes under normalen (70%), specielt havde januar og februar meget lav afstrømning (fig. 3.5). Den lave afstrømning har betydning for kvælstofafstrømningen fra land.

SV-vinden i årets begyndelse resulterede i netto ca. 60 km³ sydgående vandtransport gennem Storebælt i januar-medio februar (indstrømning til Østersøen, fig. 4.1). Dette gav forhøjet saltholdighed i de indre danske farvande (fig. 4.4). Fra ultimo februar til ultimo maj var der kraftig nordgående vandtransport gennem Storebælt (netto 300 km³), afbrudt af en kortere sydgående strømperiode i slutningen af marts. Den kraftige udstrømning har medført lav saltholdighed i området. Den sidste halvdel af 1989 havde ingen egentlig nettovandtransport i Storebælt, men der var

en kortvarig kraftig ind/udstrømning medio juli og en længerevarende svagere medio september-medio november. I bundlaget var der dog generelt svag sydgående nettotransport (30 km^3 , fig. 4.2).

Observationer af lagdelingen mellem det øvre ferskere og det nedre salte lag i de indre danske farvande viser, at den dynamiske periode medio februar svækkede stabiliteten kraftigt (fig. 4.5). Endvidere er registreret reduceret stabilitet i det sydlige Storebælt og i Fehmarn Bælt medio oktober. I Kattegat har der gennem året været en tendens til 5-10 m højere skillefladeniveau ved Jyllands østkyst end ved den svenske kyst.

Beregninger har vist, at blandingen mellem nedre og øvre lag var kraftigere end normalt i februar, primo april, omkring 1. august og medio december, mens maj-medio juli generelt havde lille lodret blanding (fig. 4.8). Det samme mønster gælder indstrømningen fra Skagerrak til Kattegats bundvand. Samlet viser primærproduktionsperioden marts-september en typisk blanding opad, mens blandingen nedad formodentlig har været lidt større end normalt.

På DMU's togter i de indre danske farvande registreredes i begyndelsen af 1989 indstrømmende vand fra den Jyske Kyststrøm til Kattegat med op til 27 umol/l uorg. kvælstof (fig. 5.1, 5.4-5). Den typiske vinterværdi i 1980'erne er omkring 12 umol/l . Indstrømningen strakte sig over perioden februar-april. Den extra N-uorg. mængde i nedre lag er opgjort til min. 13-17.000 ton N-uorg. Vandmassen var på de følgende togter ført sydover, samtidig med at den var medrivet til øvre lag (fig. 5.5-11). I august var der endnu spor tilbage i Øresund og omkring Storebælt af den sidste del af indstrømningen.

Analysen af DMU's iltregistreringer i 1989 viser at indstrømningen fra Skagerrak har haft lavere iltindhold i maj (fig. 6.1) sammenlignet med middelværdien for de øvrige år i 1980'erne. I de indre farvande var iltkoncentrationen relativt lav fra pri-

mærproduktionsperiodens start (tabel 6.2). Herefter faldt iltkoncentrationen i Kattegat jævnt til 3,4 ml/l i slutningen af september, hvor forholdene i området blev meget dynamiske. I Bælthavet faldt koncentrationen frem til juni. Specielt registreredes kraftig ilt-sænkning frem til togtet i april. Fra juni til juli var koncentrationen næsten uændret, hvorefter den faldt til den målte minimumsværdi på 2,8 ml/l (middel for Bælthavet) midt i august. Frem til slutningen af september, hvor området blev udsat for kraftig dynamik, holdt iltkoncentrationen sig omkring dette niveau. I V.Østersø var variation omtrent parallel med forholdene i Bælthavet, men der er nogen usikkerhed om iltkoncentrationen i september, da nedre lag her var relativt afgrænset.

Med en tidligere opstillet, simpel dynamisk massebalancemodel er N-balancen for øvre lag og iltvariationen i nedre lag beregnet. Denne model har været anvendt til analyse af årene 1980-87. Resultatet for 1989 er (tabel 6.3), at den samlede N-mængde til rådighed for ny-produktion i øvre lag var 5% større (+15.000 ton N) end middel for perioden 1980-87. Den forøgede nettomængde fremkommer som resultat af hovedsageligt mindre landafstrømning (-22.000 ton N), en større N-opblanding fra nedre lag (+39.000 ton N, jvf. bidraget fra den Jyske Kyststrøm) og et mindre atmosfærebidrag (-7.000 ton N).

Iltsimuleringen (fig. 6.2) stemmer godt overens med de registrerede forhold, på nær i Bælthavet og V.Østersø i april, hvor der er registreret usædvanlig lave iltkoncentrationer for årstiden. Simuleringen viser endvidere, at der formodentlig ikke i 1989 har været store svingninger i iltforholdene som ikke er beskrevet ved DMU's målinger fra togterne.

Yderligere er undersøgt N-balancen og iltforholdene i 1988, som var et af de kraftigt iltsvindsår i 1980'erne (se bl.a. fig. 6.4).

For de 4 udvalgte lokale områder er i afsnit 7 givet en gennemgang af de overordnede vandskifteforhold baseret på de analyserede regionale forhold og amternes lokale overvågningsregistreringer.

3 DRIVENDE PROCESSER

3.1 Vind

Til analysen er indhentet vindregistreringer fra 2 stationer:

- Sprogø (måles af Risø for A/S Storebæltsforbindelsen, SBF), middelvinden i 10 minutters interval hver 3. time, transformeret til standardniveauet for vindmålinger 10 m over havniveau.
- Fanø (måles af Danmarks Meteorologiske Institut, DMI, st. 25140), middelvinden 3 gange daglig (kl. 8, 14, 21).

I fig. 3.1 og 3.2 er vist det progressive vektordiagram fra de 2 stationer. Begge stationer viser en næsten konstant SV vindretning fra januar til marts måned med middelvindhastighed 8-9 m/s. Specielt februar var meget vindrig. Langtidsregistreringer fra Fanø (fig. 3.2B) viser, at den stabile SV-vind ikke er typisk for denne periode, idet middelflytningen i de første måneder af året er meget ringe. Det skal bemærkes, at den meget ringe middelflytning i langtidsstatistikken ikke er et udtryk for at normalt er meget vindsvag, men derimod for at vinden ikke har en dominerende hovedretning.

I perioden april til juni har vinden generelt været aftagende (fra månedsmiddelværdi 6,8 m/s til 4,4 m/s) og har varieret i retning. Juli og august måned har begge været domineret af vestlige vinde (månedsmiddelhastighed 6-7 m/s). I september var vindretningen skiftende og månedsmiddelhastigheden 5,5 m/s. Oktober måned var domineret af vestlige vinde med middelhastighed på 6,5 m/s, mens november og december havde skiftende vindretninger og middelvindhastighed 6-7 m/s.

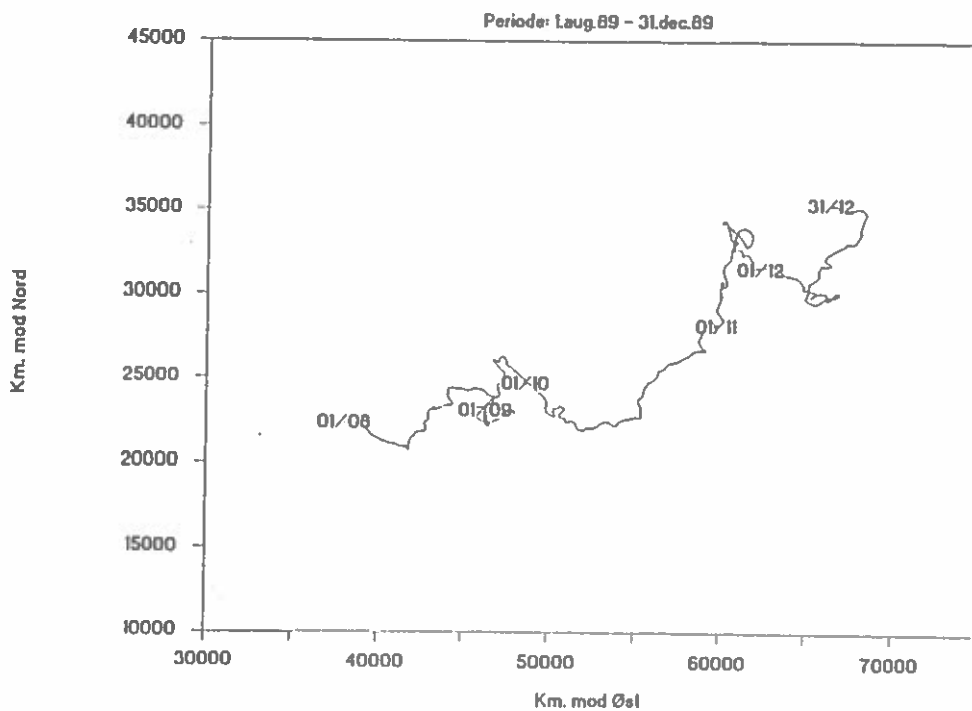
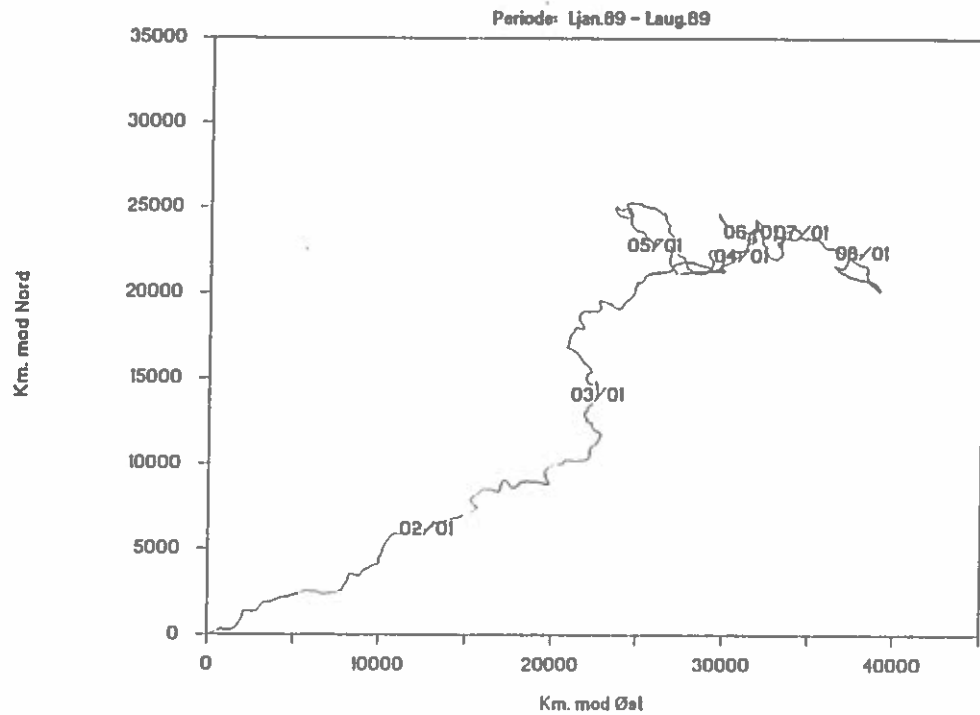
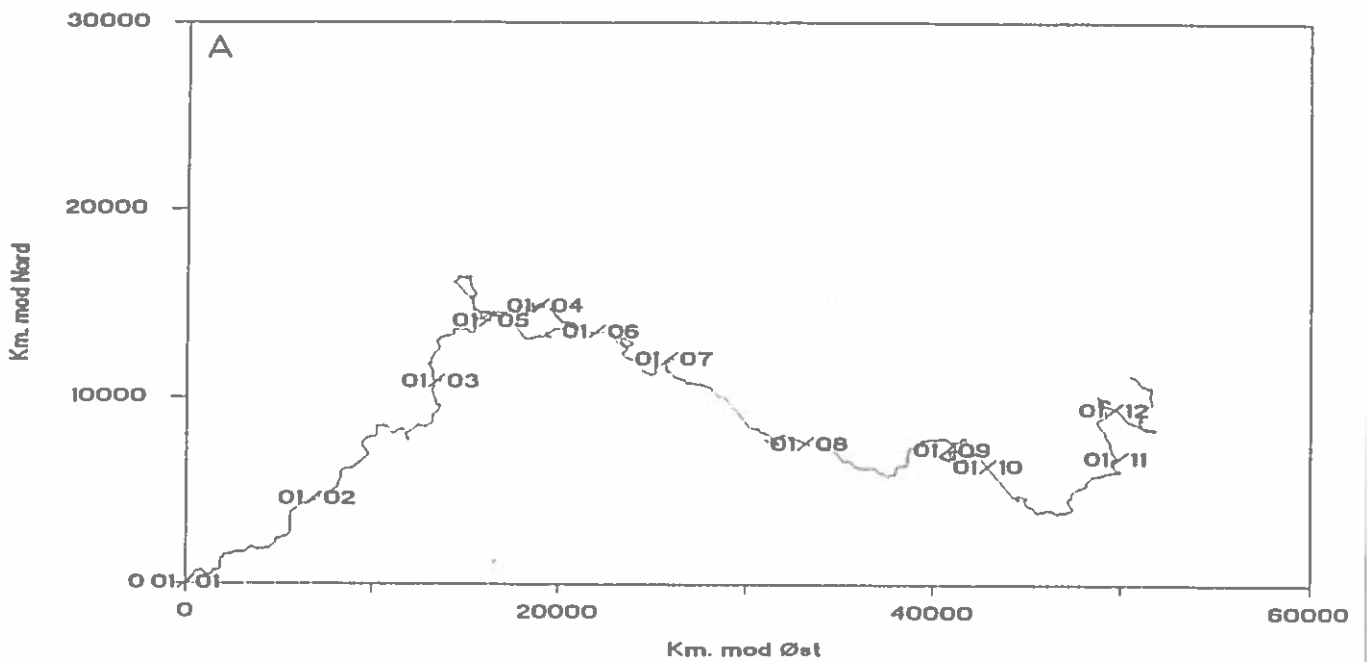


Fig. 3.1 Progressivt vektordiagram ("vindflytning") for vind målt på Sprogø i 1989. Kilde: Risø.

Vindmålinger Fanø, DMI - 1989



Statistisk Vind - Resulterende værdier

Fanø Nordby 1931-60

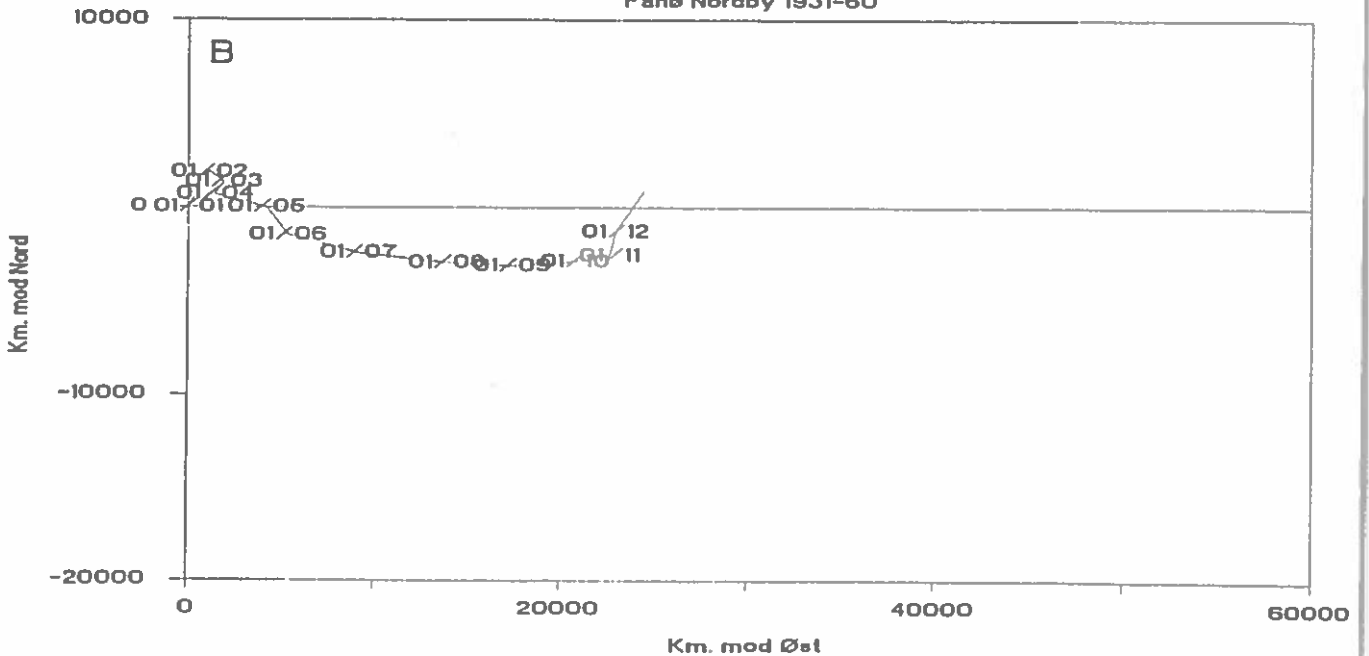


Fig. 3.2 Progressivt vektordiagram ("vindflytning") for vind målt på Fanø i 1989 (A), samt statistisk vind 1931-60 (B). Kilde: DMI.

I fig. 3.3 er vindenergien (W^3) gennem 1989 vist sammen med middelværdien for perioden 1980-89. Relativt vindrige situationer i 1989 forekom i de 3 første uger af februar, omkring 1. april, fra midten af juli til 1. uge af august samt i slutningen af december.

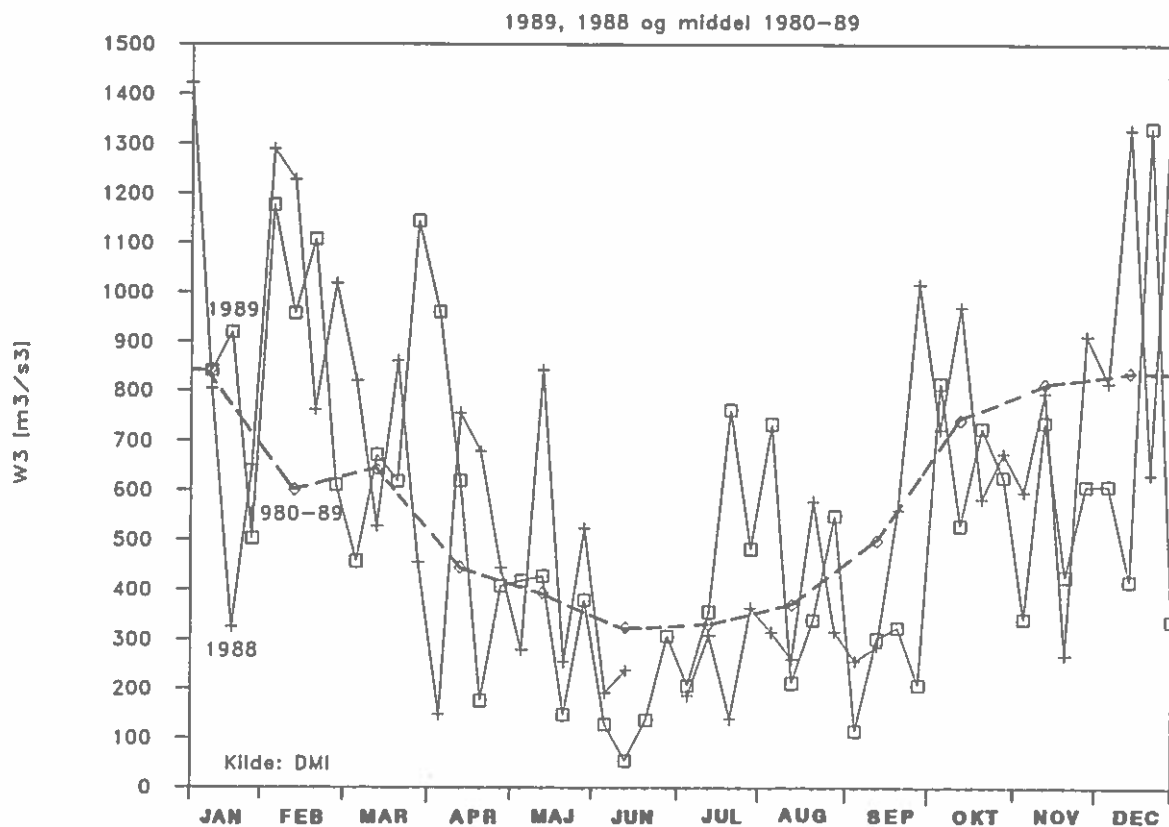


Fig. 3.3 Vindenergien (W^3 , kvartmånedlig) i 1989, 1988 og middelværdien 1980-89, målt på Sprogø.

3.2 Nedbør

Nedbørsdata for Danmark excl. Bornholm (målt af DMI) er vist på fig. 3.4. Sammenlignet med middelværdien for perioderne 1980-89 og 1950-89 ses januar, maj, september og november at have været tørre måneder, mens marts måned var vådere end normalt. Generelt har 1989 været et tørt år (593 mm mod 750 mm/708 mm for 1980-89 henholdsvis 1950-89).

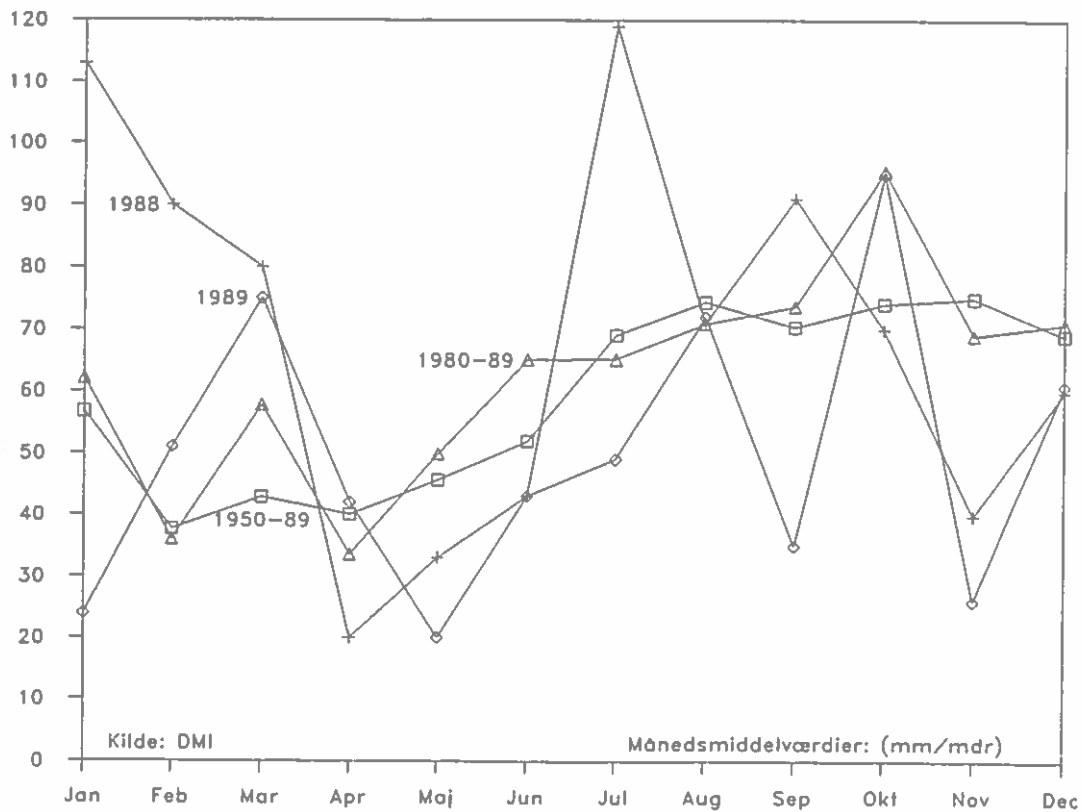


Fig. 3.4 Nedbør for Danmark (excl. Bornholm).

3.3 Afstrømning

Afstrømningen fra dansk landområde til de indre danske farvande er vist i fig. 3.5. Sammenlignet med 1980-89 og 1942-89 havde 1989 en lille afstrømning (årsmiddel henholdsvis 321 m³/s, 274 m³/s og 214 m³/s), i overensstemmelse med at 1989 var et tørt år.

Specielt var afstrømningen i januar, februar, november og december mindre end normalt.

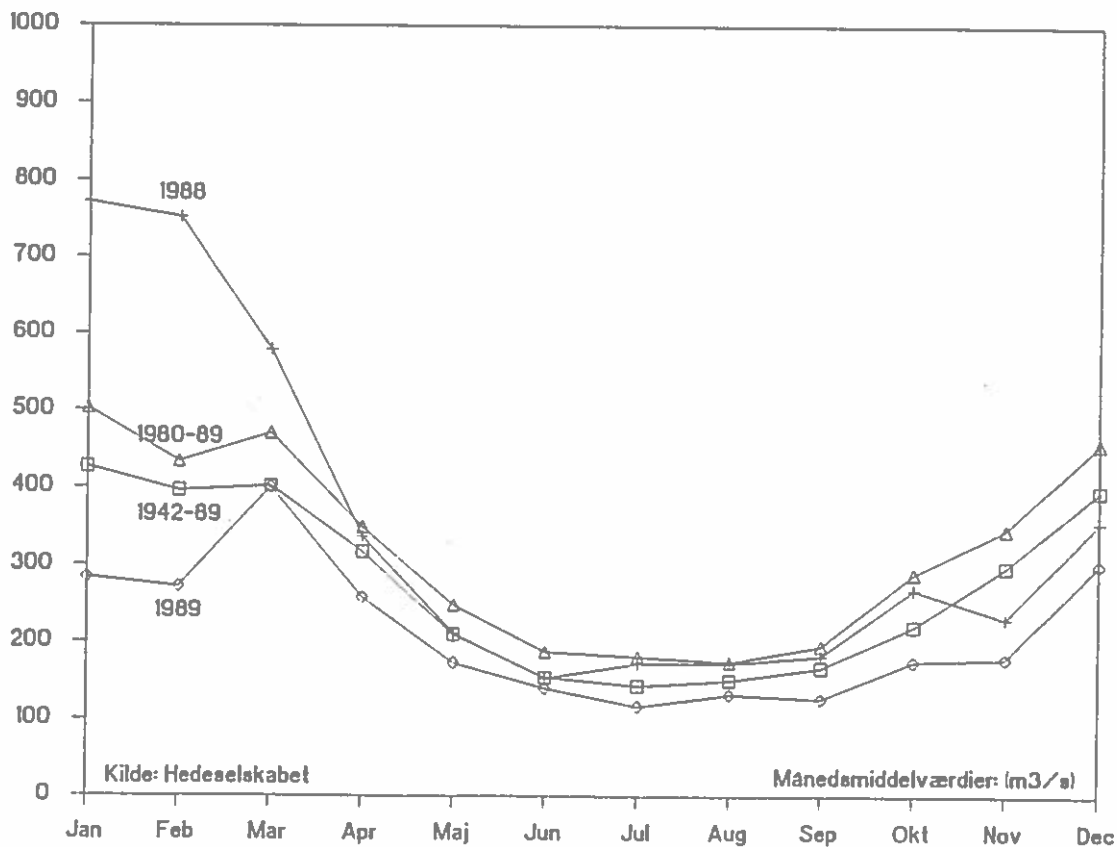


Fig. 3.5 Afstrømning fra Danmark til de indre danske farvande.

4 HYDRAULISK RESPONS I INDRE DANSKE FARVANDE

4.1 Udstrømning fra Østersø

Udstrømningen fra Østersøen gennem Storebælt, Lillebælt og Øresund er betinget bl.a. af ferskvandstilstrømningen til Østersøen og vind- og lufttrykforholdene over Nordsøen, de indre danske farvande og Østersøen. Ferskvandstilstrømningen er normalt størst i april til juni, og udstrømningen er som langtids gennemsnit maksimal i maj. Der er dog stor variation fra år til år i tidspunktet for den store udstrømning som følge af de hurtigt skiftende vind- og lufttrykforhold.

Nettoudstrømningen fra Østersøen gennem Storebælt er beregnet på baggrund af vandstands differencen mellem Gedser og Hornbæk (måles af DMI), se ref. 2. Af den samlede udstrømning fra Østersøen foregår ca. 63% gennem Storebælt. Den beregnede akkumulerede vandføring i Storebælt er vist på fig. 4.1. Som følge af manglende vandstandsobservationer er der ikke beregnet nogen vandføring i juni, i begyndelsen af juli og i august og september måned.

A/S Storebæltsforbindelsen har siden juni 1989 foretaget strømmålinger på 2 stationer i Storebælt (Østerrenden henholdsvis Vesterrenden). Ved korrelationer med en verificeret 2-lags strømningsmodel (System22) er der opstillet en relation mellem den registrerede strøm i øvre og nedre lag på målepositionen i Østerrenden (SBF09) og den tilsvarende vandføring i de to lag gennem snittet Knudshoved-Halsskov. Den beregnede akkumulerede vandføring i de 2 lag er ligeledes vist i fig. 4.1.

Sammenligning af de 2 relationer for vandføringen i Storebælt ifig. 4.1 viser en rimelig overensstemmelse med hensyn til nettovandføring i Storebælt.

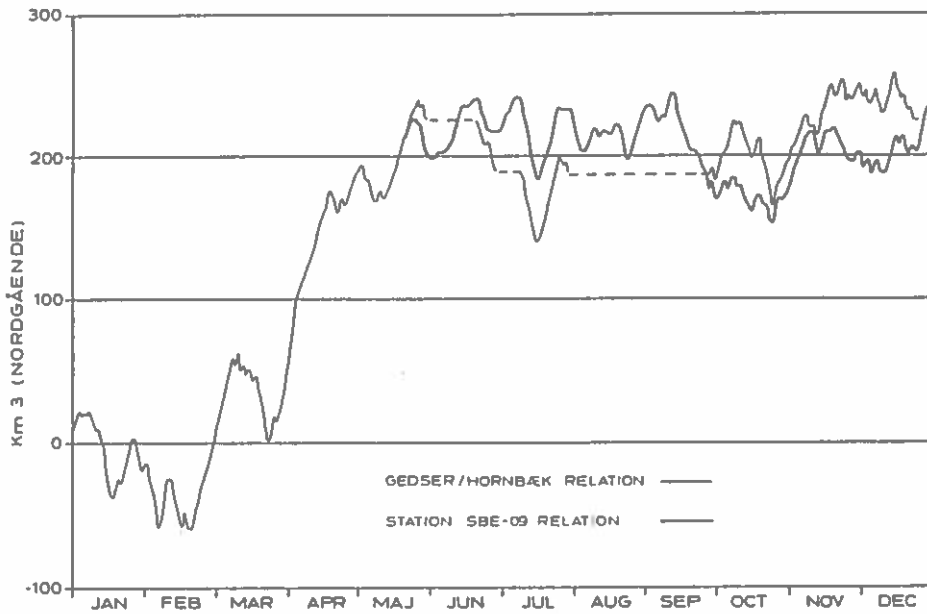


Fig. 4.1 Akkumuleret nettovandføring i Storebælt i 1989.

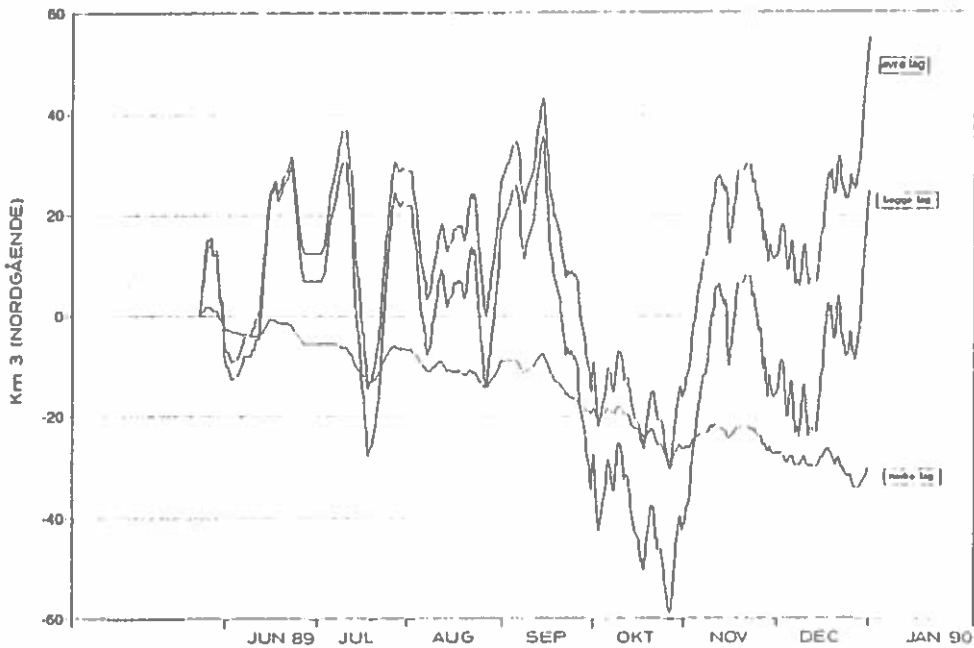


Fig. 4.2 Beregnet akkumuleret vandføring i 2. halvår 1989 i øvre og nedre lag samt totalt (netto) i Storebælt på baggrund af strømregistrering i Østerrenden (SBF09-relation).

Samlet viser fig. 4.1, at der fra begyndelsen af januar og til slutningen af februar generelt har været indstrømning til Østersøen. Omkring 1. marts og igen omkring 1. april ses der at have været 2-3 ugers perioder med kraftig udstrømning (op til ca. 180.000 m³/s i Storebælt omkring 5. april), afbrudt af en kortere periode med kraftig sydgående strøm i Storebælt. Omkring begyndelsen af maj har strømmen i Storebælt været svag og skiftende, for derefter at blive nordgående frem til ca. 1. juni.

Fra juni og til slutningen af året er der kun en meget begrænset ændring i den akkumulerede nettovandføring. Dog optrådte midt i juli, i forbindelse med kraftig vind, først en uges kraftig indstrømning afløst af en uges kraftig udstrømning. Endvidere var der fra medio september til ultimo oktober generelt indstrømning til Østersøen, som herefter blev afløst af en kraftigere udstrømning primo november.

Baseret på strømmålerrelationen fra Storebælt (SBF09) er i fig. 4.2 endvidere vist vandføringen i hvert af de 2 lag i Storebælt. I det rolige 2. halvår af 1989 ses der generelt at have været indstrømning i det nedre lag, mens øvre lag flukturerer mellem ud- og indstrømning.

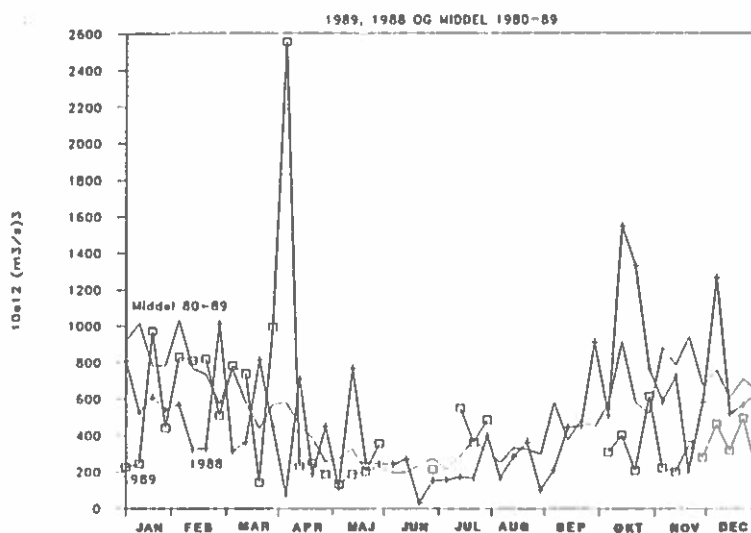


Fig. 4.3 Årlig variation i strømenergien (Q_{SB}^3) i Storebælt (baseret på Gedser/Hornbæk relationen).

Strømemergien, beregnet som den øjeblikkelige vandføring i tredje potens (Q_{SB}^3), er meget høj i udstrømningssituationen omkring 1. april, se fig. 4.3. De øvrige kvartmånedelige middelværdier af strømemergien for 1989 ligger generelt relativt lavt, specielt efter 1. november, dog optræder der 2 uger med relativ høj middelværdi omkring 1. august. Der mangler data i 1989 fra juni, primo juli, august og september.

4.2 Temperatur, saltholdighed og lagdeling

De indre danske farvande er normalt lagdelt som følge af udstrømningen af ferskere vand fra Østersøen i overfladen og en modsat rettet kompensationsstrømning af saltere vand fra Skagerrak ved bunden. Skillefladen mellem øvre og nedre lag er typisk beliggende i intervallet 10-15 m dybde, og varierer med aktuel strøm og vind. Derimod udviser skillefladens beliggenhed ingen tydelig årstidsvariation.

For saltholdighed og vandtemperatur ses generelt en årstidsvariation, men de lokale forhold er meget afhængige af den aktuelle udstrømning fra Østersøen, vinden mv. I en fast position og kote varierer forholdene også når skillefladeniveauet passerer den valgte kote.

Temperatur- og saltregistreringer fra 4 af DMI's kyststationer (Frederikshavn, Rørvig, Middelfart og Rødbyhavn) er vist på fig. 4.4. Sammenlignet med middelværdierne fra perioden 1931-60 ses vandtemperaturen i 1989 på de 4 stationer at have været 4-1°C højere i januar til maj, og også i oktober-november registreres højere temperaturer end langtidsmiddelværdien. De forhøjede vandtemperaturer passer med en høj lufttemperatur i vinteren 1988-89 og en varm september-oktober 1989.

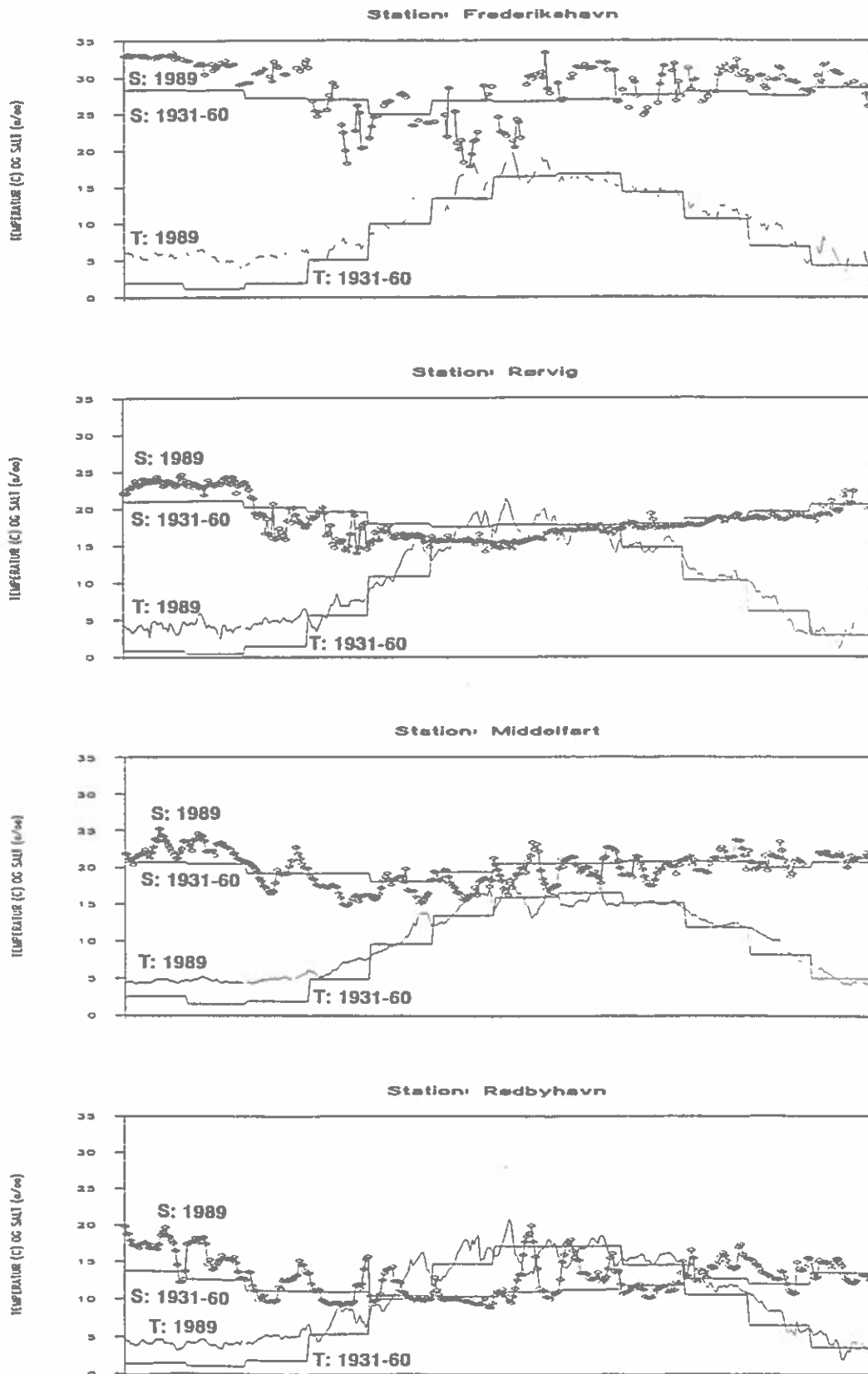


Fig. 4.4

Temperatur- og saltmålinger (DMI) fra 4 kyststationer i 1989 sammenlignet med middelværdier 1931-60.

Saltregistreringerne viser tilsvarende en væsentlig forøget månedsmiddelværdi i januar-februar måned sammenlignet med langtidsmidlerne, en lavere værdi i april og igen en forhøjet saltholdighed i august (alene ved Frederikshavn og Rødbyhavn).

Ved sammenligning med vandføringen i Storebælt (fig. 4.1) ses variationerne i saltholdighed at passe med indstrømningen til Østersøen i januar-februar og omkring marts, den kraftige udstrømning af ferskere vand fra Østersøen i april og de relativt kraftige sydgående strømsituationer i Storebælt 13.-18. juli, først i august, omkring 25. august og i slutningen af september.

For 1989 foreligger der endvidere temperatur- og saltregistreringer i de åbne dele af de indre danske farvande fra bl.a. DMU's togter, fra "Bøjeprojektet" i det sydlige Kattegat og fra A/S Storebæltsforbindelsens monitoringsprogram i Storebælt.

Ved en oversigtsmæssig gennemgang af disse data er følgende forhold i 1989 iagttaget:

- På DMU's togt 8.-16. februar var de indre danske farvande næsten overalt vertikalt velblandet som følge af kraftig vind.
- Lagdelingen var genskabt på næste DMU-togt (6.-15. marts) og ses på alle de efterfølgende månedlige togter i 1989, undtagen i det sydligste Storebælt og i Fehmarn Bælt på togtet 9.-13. oktober. På togtet 6.-10. november var lagdeling reetableret overalt.
- På de fleste DMU-togter registreredes en hældende skilleflade i Kattegat (se fig. 4.5), hvor skillefladeniveauet var dybest ved den svenske kyst (faldende fra kote -7 m ved den jyske kyst til ca. -12-17 m ved den svenske kyst).

I fig. 4.6 og 4.7 er endvidere vist registreret skilleflade ved Romsø Tue fyr i det nordlige Storebælt fra maj-december samt på "Bøjeprojektets" position i 1989 .

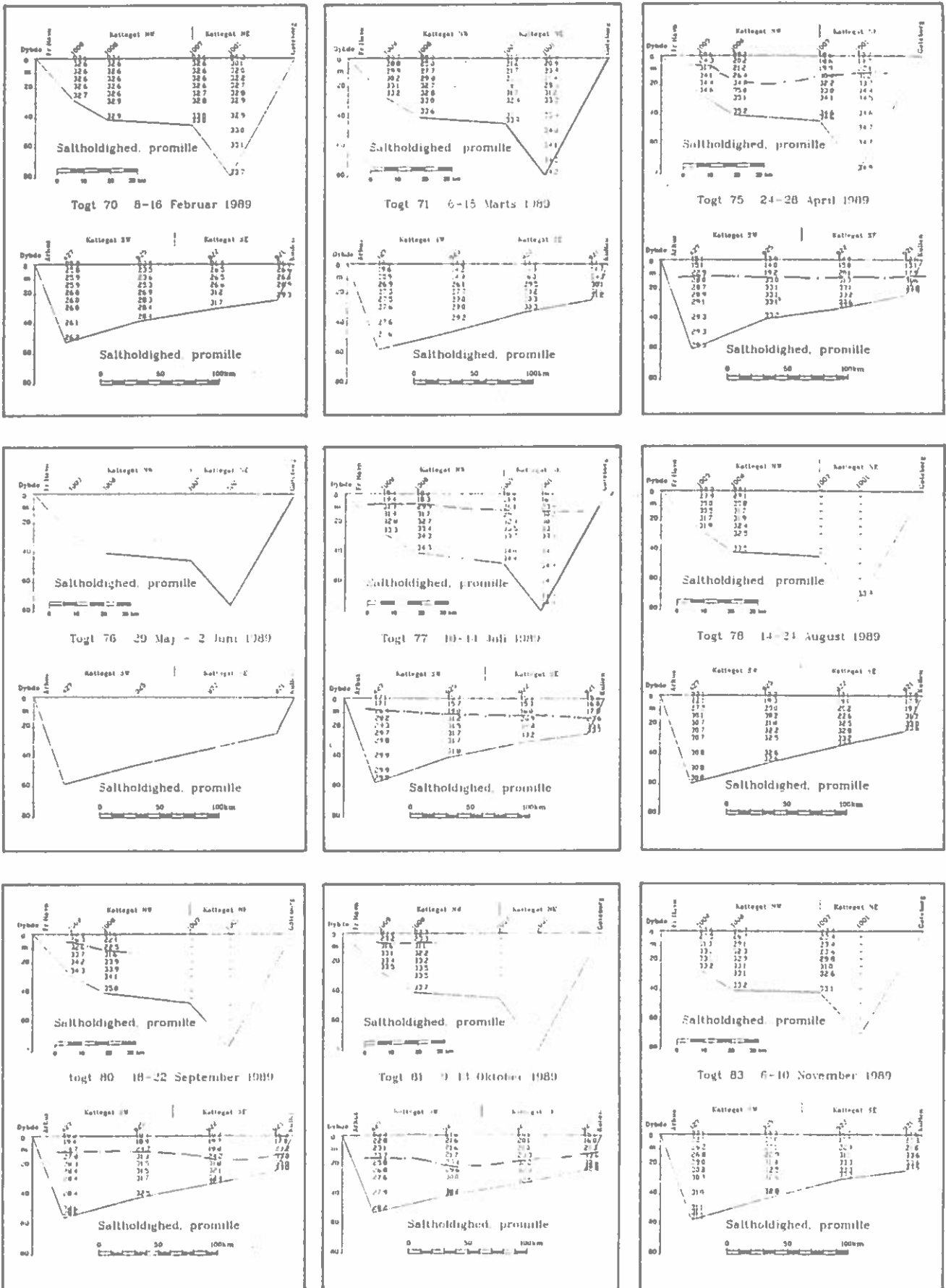


Fig. 4.5 Skillefladens hældning (-|-|-|-|-, V-Ø) i Læsø-snittet og i det sydlige Kattegat under DMU's togter (snit placering se fig. 5.3).

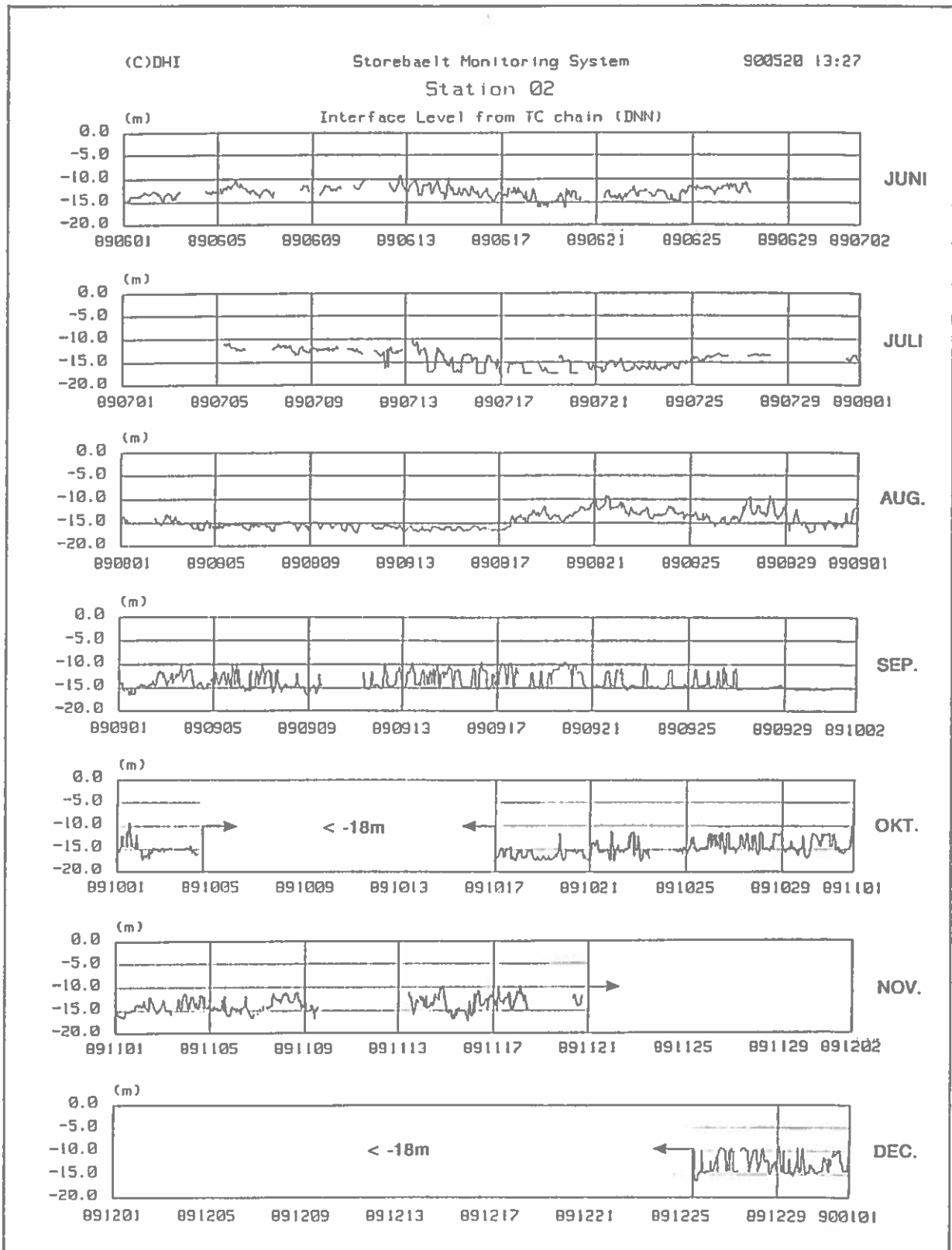


Fig. 4.6 Registereret lagdeling ved Romsø Tue fyr i det nordlige Storebælt (station SBF02).

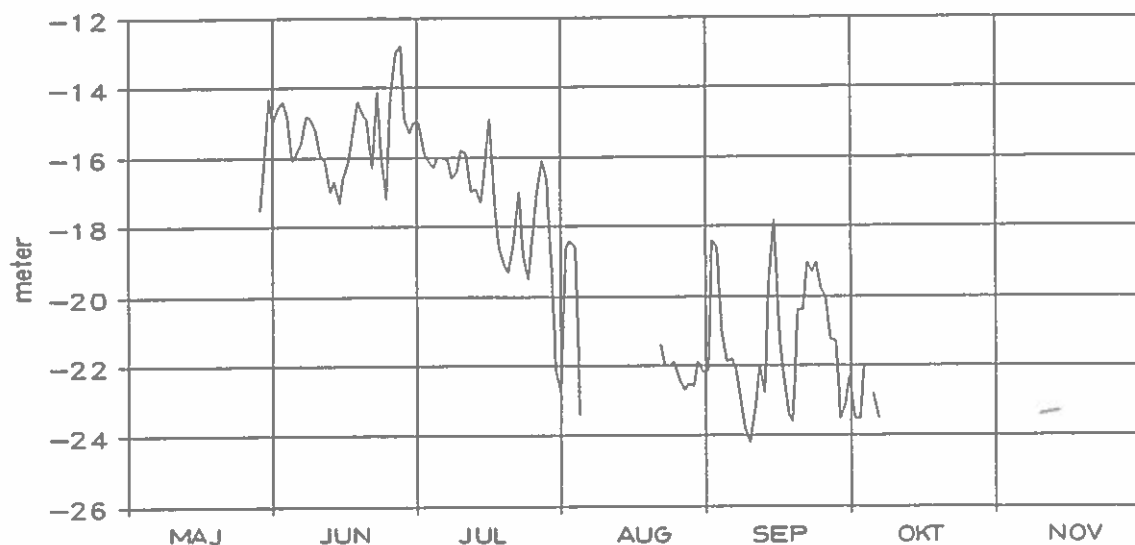


Fig. 4.7 Beregnet skilleflade (max. temperaturgradient) på "Bøjeprojekt" positionen i det sydøstlige Kattegat 1989 (ref. 3).

4.3 Opblanding og nettostrøm

Som følge af vind og strøm sker der løbende en opblanding mellem det ferskere øvre lag og det saltere nedre lag. Opblandingen kan i et tilnærmet 2-lagssystem beskrives som en medrivning af vand fra nedre lag til øvre lag (Q_{01}) og en modsat medrivning af vand fra øvre lag til nedre lag (Q_{10}). Opblandingen resulterer i den observerede forøgede saltholdighed for det øvre ferskere lag på vejen ud gennem de indre danske farvande, og i den tilsvarende reduktion i saltholdigheden i det nedre tilstrømmende Skagerrakvand under strømmingen sydpå i de indre danske farvande.

Fluxen af vand op og ned er generelt proportional med energiinputtet (vindenergien W^3 og strømenergien (f.eks. Q_{SB}^3)) og omvendt proportional med massefyldeforskellen mellem de 2 lag. I praksis kan massefyldeforskellen normalt ækvivaleres direkte med saltholdighedsforskellen.

På denne baggrund er i ref. 1 opstillet en simpel hydraulisk model for medrivningen i de indre danske farvande. Med denne

model er den samlede medrivning op og ned for året 1989 beregnet, se fig. 4.8. Til sammenligning er endvidere vist den beregnede, gennemsnitlige årsvariation for perioden 1980-87. Figuren viser, at perioderne februar, ultimo marts-primus april og ultimo juli-primus august har haft større opblanding end i middelperioden 1980-87, mens perioderne juni-medio juli, september og november-medio december har haft relativt lille opblanding.

Specielt bemærkes, at den stille perioden medio april- medio juli er blevet efterfulgt af 3 uger med relativt kraftig opblanding, som har tilført nyt vand fra øvre lag til nedre lag. En sådan dynamisk periode omkring august kan ved at tilføre extra ilt være vigtigt for minimumskoncentrationen af ilt i nedre lag (se afsnit 6.3).

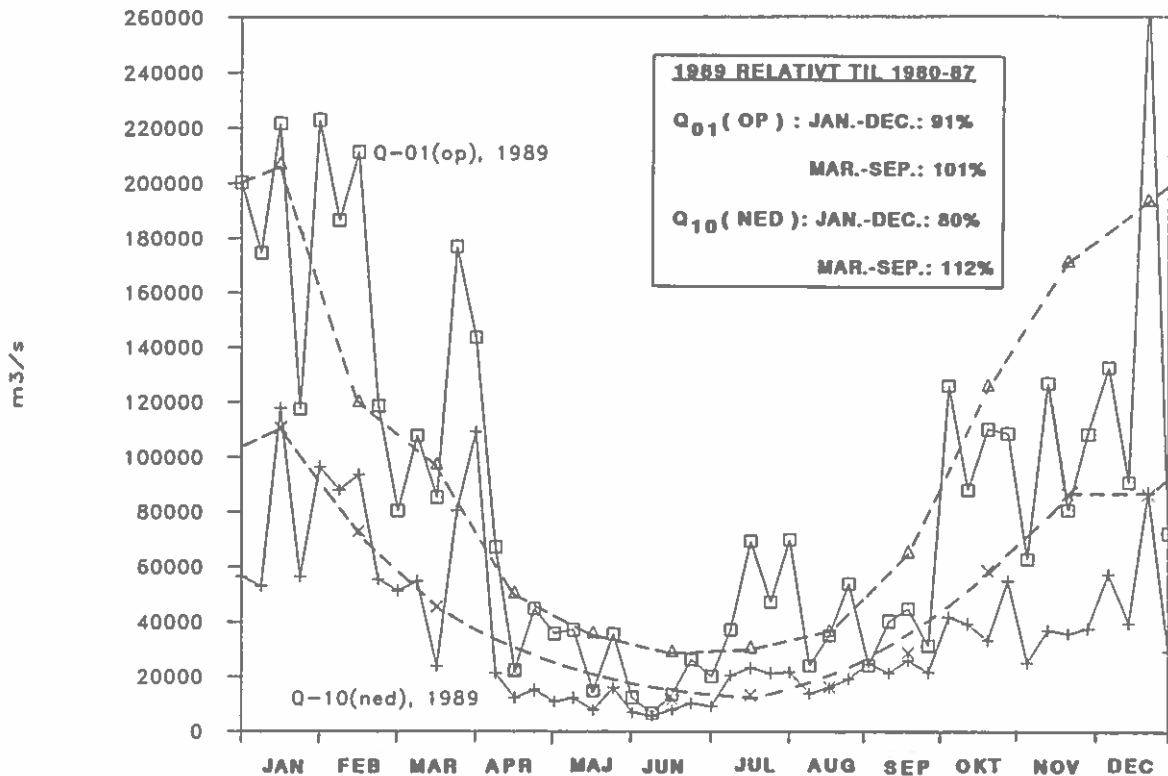


Fig. 4.8 Beregnet variation i opad- og nedadgående medrivning i de indre danske farvande i 1989, samt middelvariation 1980-87.

Som følge af volumenbevarelsen for nedre lag må summen af indstrømningen til Østersøen fra nedre lag og nettomedrivningen opad (medrivning opad minus nedad) kompenseres af en tilstrømning fra Skagerrak. Den beregnede variation i denne tilstrømning er vist i fig. 4.9, dels for 1989 dels for middelperioden 1980-87. I begge perioder er indstrømningen til Østersøen fra nedre lag i modellen holdt konstant på langtidsårsmiddelværdien (skønnet til $5100 \text{ m}^3/\text{s}$), da der ikke foreligger simple metoder til at beregne den aktuelle variation.

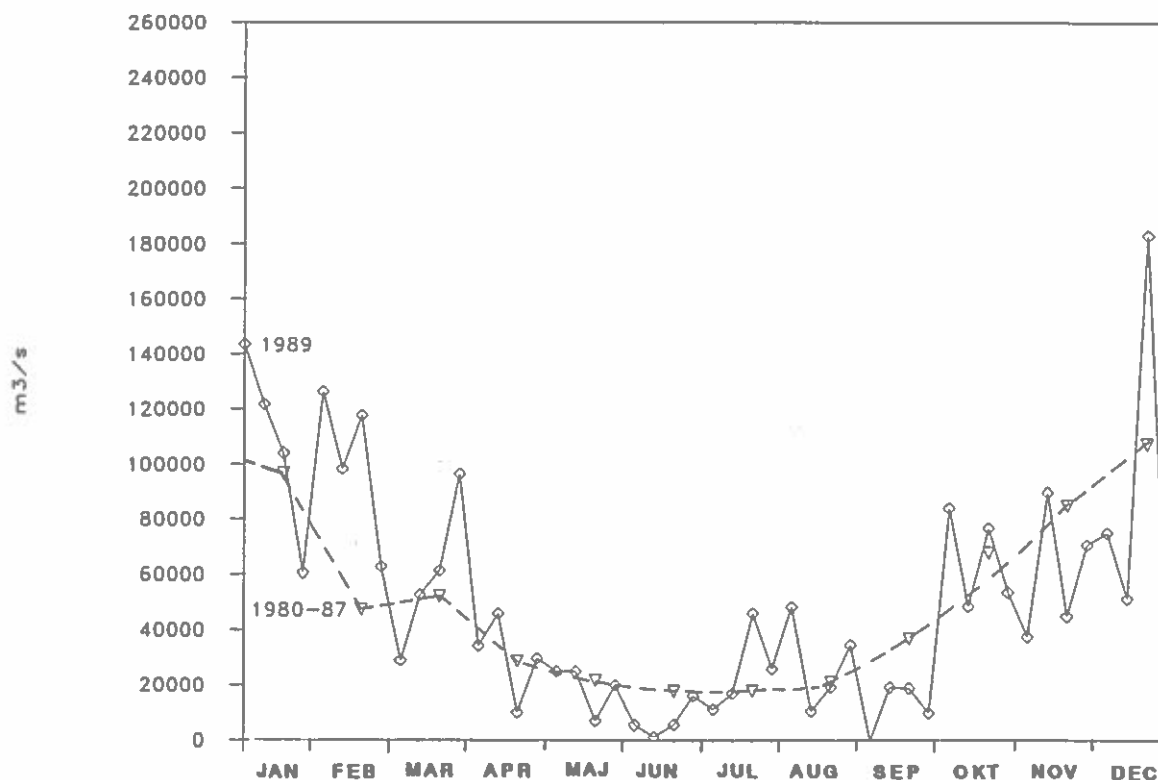


Fig. 4.9 Beregnet variation i tilstrømningen fra Skagerrak til nedre lag i de indre danske farvande i 1989 samt middelvariation 1980-87 (indstrømning til Østersø fastholdt på $5100 \text{ m}^3/\text{s}$).

Det ses at der har været en større tilstrømning end normalt i februar-marts og igen omkring 1. august. Tages der yderligere hensyn til variationer i indstrømningen til Østersøen, hvor bl.a. saltregistreringer fra Rødbyhavn og variationer i strømmen i Storebælt viser at der var kraftig indstrømning i januar-februar og igen omkring 1. august, forstærkes tilstrømningen fra Skagerrak i de nævnte perioder.

5 KVÆLSTOFBIDRAG FRA DEN JYSKE KYSTSTRØM

5.1 Meteorologisk forudsætning

Den Jyske Kyststrøm er betegnelsen for den lidt ferskere havstrøm ($S < 34$ o/oo), som strømmer nordpå fra Tyske Bugt op langs den jyske vestkyst. Strømmen medfører både det ferske flodvand fra de store floder, som udmunder i Tyske Bugt og langs den hollandsk-belgiske kyst, og den tilhørende N og P flux.

Den samlede kystudledning af N til Tyske Bugt incl. den hollandske kyst var i 1988 ca. 0.8 mio. ton total-N pr. år (ref. 12). Denne N-kilde er stor i forhold til N-afstrømningen til de indre danske farvande (ca. 165.000 ton total-N pr. år, ref. 1), hvorfor eventuelle bidrag herfra til de indre danske farvande kan have mærkbar effekt for primærproduktion og iltforhold i de Indre Danske Farvande.

Den Jyske Kyststrøm er ikke stationær men varierer, hovedsageligt med vindfeltet. Saltholdigheden stiger som følge af opblanding op langs den jyske vestkyst og vil, hvis den når Skagen, ligge på et niveau mellem saltholdigheden i øvre og nedre lag i Kattegat (mellem ca. 27 og 34 o/oo). Dette muliggør en intrusionsdannelse i Kattegat, hvor vandet fra den Jyske Kyststrøm trænger ind mellem Kattegats 2 lag.

I ref. 4 og 5 er kyststrømmens variation analyseret og følgende foreløbige beskrivelse givet:

- For vindretninger mellem SØ-S-SV vil den Jyske Kyststrøm være uforstyrret op langs den jyske vestkyst helt op til Skagen. I disse situationer vil der kunne ske en indstrømning i Kattegat, enten som intrusion eller som almindelig kompensationsstrømning til nedre lag.

- For vindretninger mellem NV-N-NØ sepererer kyststrømmen omkring Hanstholm, og kan dermed ikke bidrage direkte til vandfornyelsen i Kattegat.

I fig. 3.2 er vist det progressive vindvektordiagram baseret på vindmålinger fra Fanø. Figuren viser, at den meteorologiske betingelse for, at den Jyske Kyststrøm har nået helt op til Skagen, var tilstede fra starten af 1989 (og også i november-december 1988) og frem til ca. 1. april 1989. Med en typisk transporttid på ca. 2 måneder fra Tyske Bugt til Skagen er det således sandsynligt at en stor del af vinterafstrømningen af næringssalte til Tyske Bugt er blevet ført op forbi Skagen og en del eventuelt ind i nedre lag i Kattegat. Ialt er der således tale om en 5 måneders periode i vinteren 1988-89 med gunstige forhold for tilstrømning af extra N-uorg. fra den Jyske Kyststrøm til Kattegats nedre lag.

I april og maj måned 1989 var vinden mere skiftende med østlige vindsituationer, hvilket kan have afbrudt den Jyske Kyststrøm inden den nåede Skagen.

I perioden juni-august og ultimo oktober-medio november var vinden igen hovedsageligt indenfor intervallet SØ-S-SV, således at den Jyske Kyststrøm kan have nået helt frem til Skagen. I september-medio oktober og i slutningen af året var vinden mere skiftende, og muligheden for at finde kyststrømmen ved Skagen mindre.

Til sammenligning er tidligere nævnt (se fig. 3.2.B), at specielt den stabile vestenvind i januar-marts 1989 ikke er typisk for årstiden.

5.2 Målinger i Nordsøen og Skagerrak

Amterne langs den jyske vestkyst har gennem 1989 foretaget målinger i den kystnære zone af bl.a. saltholdighed, N-uorg. og N-

total. Der er imidlertid stor afstand mellem målingerne, mange manglende målinger og de enkelte amters målinger er ikke koordineret tidsmæssigt, hvorfor det ikke har været muligt at sammensætte dækkende "øjebliksbilleder" af udbredelsen af den Jyske Kyststrøm.

DMU har selv på 2 togter i 1989, 8.-14. februar (togt 70) og 14.-22. august (togt 78), foretaget vandkemiske målinger i Nordsøen og Skagerrak, omfattende ca. 49 positioner. Endvidere har "Flødevigen" (ref. 6) gennemført 12 togter med vandkemiske målinger i snittet mellem Hirtshals og Torungen (Norge).

I fig. 5.1 er vist den opmålte salt- og NO_3 -fordeling for overfladen fra de 2 DMU-togter. Fra februar togtet ses et tydeligt eksempel på en ubrudt Jysk Kyststrøm helt frem til Skagen, hvor saltholdigheden når op på ca. 31 o/oo, mens NO_3 koncentrationen er faldet fra 75 $\mu\text{mol/l}$ ved Rømø til ca. 30 $\mu\text{mol/l}$ ved Skagen. I Nordsø vandet længere ude er saltholdigheden over 34 o/oo og NO_3 koncentrationen under 10 $\mu\text{mol/l}$. Den opmålte udbredelse af den Jyske Kyststrøm passer med den gunstige vestlige vind i januar-februar.

Fra DMU-togtet i midten af august ses et eksempel med en forstyrret Jyske Kyststrøm, der imidlertid stadig har en vandmasse liggende ud for Hirtshals. Vinden er i perioden op til togtet svag og hovedsagelig sydvestlig, men er åbenbart ikke tilstrækkelig til at generere en pæn, kystnær strøm. N-uorg. koncentrationen i overfladen er på dette tidspunkt i hele det opmålte område forsvindende grundet primærproduktion.

Nordjyllands Amts overvågningmålinger (ref. 7) på en station nordøst for Hirtshals (station Skiveren 10 m vanddybde, S10), gengivet i fig. 5.2, viser endvidere øjebliksvise registreringer af den Jyske Kyststrøm i området.

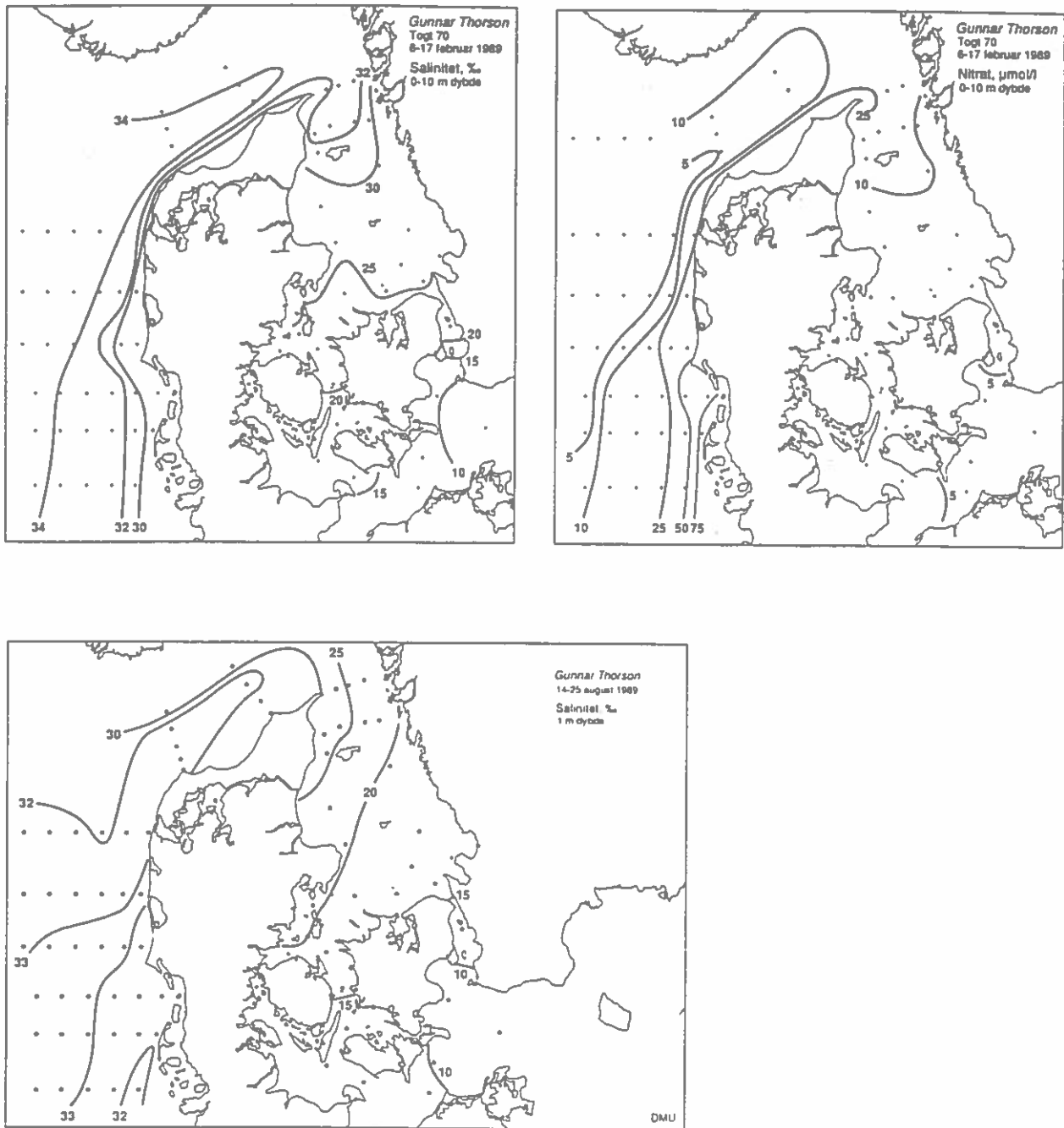


Fig. 5.1 Fordeling af saltholdighed og NO_3 i Nordsøen og Skagerrak fra DMU's togter i februar og august 1989.

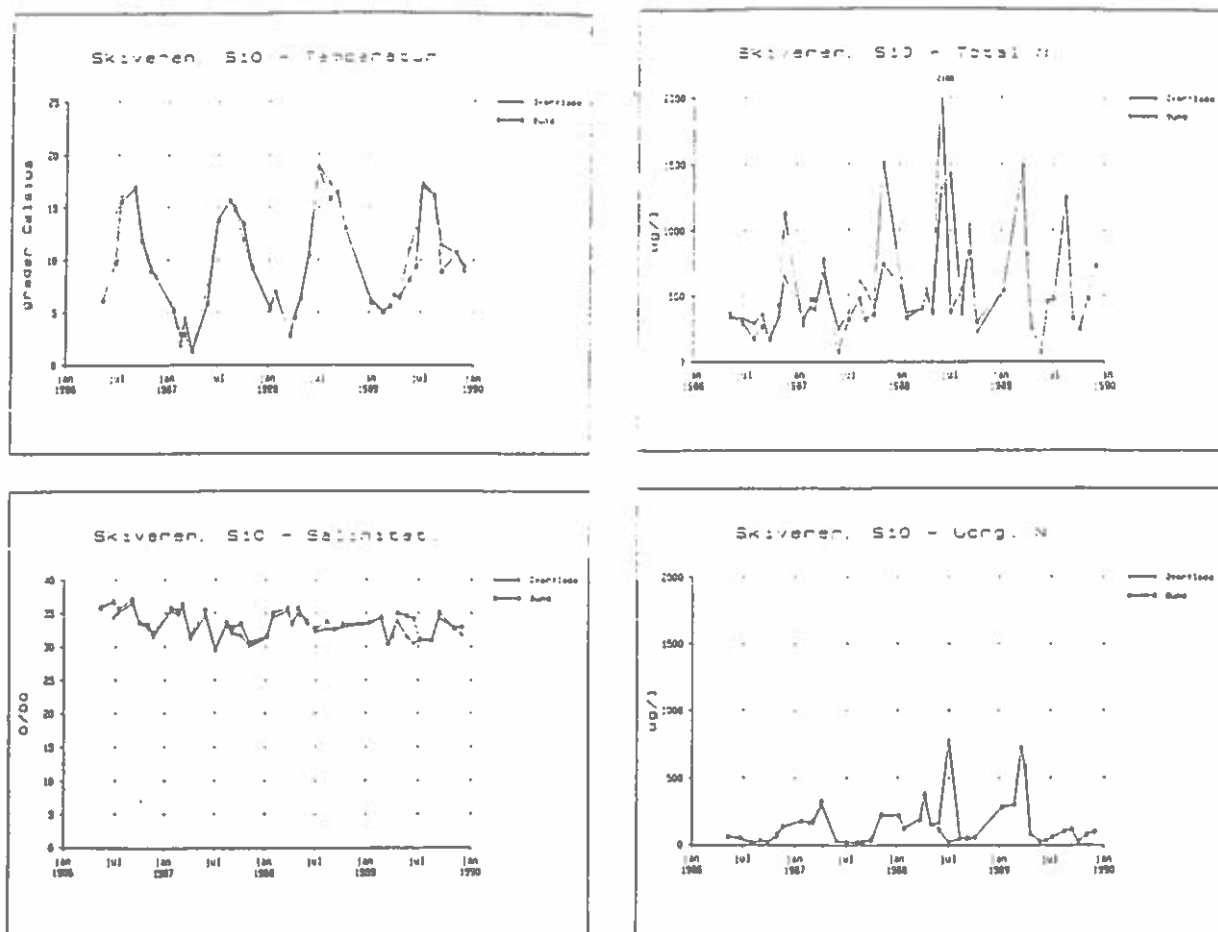


Fig. 5.2 Profilmålinger på 10 m vand fra området nord for Hirtshals (S10, ref. 4).

På baggrund af de vandkemiske målinger fra amterne, DMU og Flødevigen er udarbejdet tabel 5.1 for den Jyske Kyststrøms udbredelse til Skagensområdet. Der er generelt god overensstemmelse med den antagede vindafhængighed og observationer af den Jyske Kyststrøm i området nord for Hirtshals.

Fra medio januar og til primo april er der således observeret vand med meget høje N-uorg. koncentrationer (17-51 $\mu\text{mol/l}$) i området nord for Hirtshals, som efterfølgende kan være trængt ind i Kattegat's nedre lag eller ind langs skillefladen som en intrusion. Endvidere er der muligheden for at den Jyske Kyststrøm i sommerperioden, hvor overfladevandmassen i Nordsøen og Skagerrak er næsten drænet for fri N-næringssalt, kan føre vand med høj organisk N-koncentration op forbi Skagen og eventuelt ind i Kattegats nedre lag med extra ilt-sænkning til følge (se N-org. niveauer i tabel 5.1).

Periode 1989	Gunstig vind	Observeret ved målinger (S < 33 o/oo)	N-konc. (umol/l) i overfladen	
			N-uorg.	N-total
7-8/1	ja	ikke på vanddybde 25 m	(5)	?
9/1	ja	ja	20-26	39-50
8-27/2	ja	ja: 8/2, 8-16/2, 22/2-27/2	19-37	50-75
6/3	ja	ikke på vanddybde 25 m	(15-25)	?
16-30/3	ja	ja: 16-17/3, 28-30/3	30-51	50-108
17-19/4	nej	nej: 17/4, 18-19/4	1-4	19-30
18/5-28/8	ja	ja: 18/5, 22/5, 22/5, 14-15/6, 15/6, 5-6/7, 28/7, 14-16/8, 14-22/8, 28/8	0-4	5-90
12/9-12/10	nej	nej: 12/9, 13/9	2-10	24-48
31/10-6/11	ja	ja: 31/10-2/11, 6/11	0-6	34-64
13/11-31/12	nej	nej: 14/12	?	?

Tabel 5.1 Mulighed for udbredelse af den Jyske Kyststrøm helt til Skagen og observerede N-koncentrationer i området nord for Hirtshals.

En anden mulig effekt af det organiske stof i den Jyske Kyststrøm er, at stoffet sedimenterer i området mellem Skagen og Sverige inden indstrømningen i Kattegat og ved omsætning her medfører, at tilstrømningen fra Skagerrak til Kattegats nedre lag sker med vand med lav iltkoncentration. Det pågældende område er kendt for at have en stor nettosedimentation, og relativt lave iltkoncentrationer er ofte observeret i 1980'erne.

5.3 Kvælstof indstrømning til de Indre Danske Farvande

Den følgende vurdering af aktuel indstrømning af N-nærings salt (NO_x og NH_4) fra Skagerrak til de indre danske farvande er baseret på DMU's 9 togter i 1989 i området fra Skagen til Arkona. På disse togter er der generelt målt salt-, temperatur-, N- og P-nærings salt- profiler med 5-10 m dybdeinterval på 25 positioner.

I fig. 5.4 - 5.12 er vist de målte N-uorg. koncentrationer langs 4 snit (se fig. 5.3) gennem de indre danske farvande fra hvert

toget. Figurene viser endvidere beliggenheden af skillefladen, forudsat at der har været en lagdeling i vandområderne.

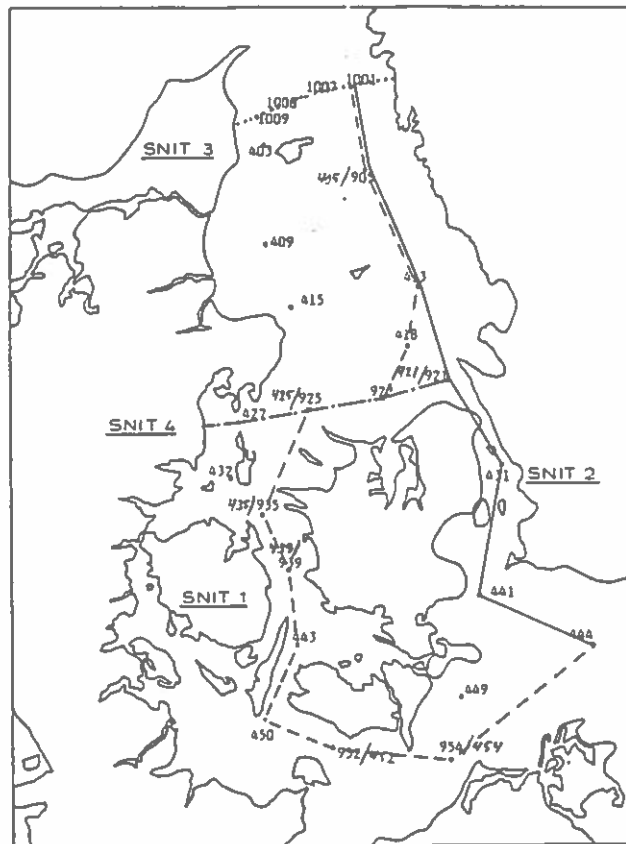


Fig. 5.3 Beliggenheden af de 4 anvendte snit i de indre danske farvande (jvf. fig. 5.4 - 5.12).

På baggrund af målingerne er der givet følgende vurdering af N-næringssalt forholdene i de indre danske farvande i 1989:

8.-16. februar 1989 (toget 70, fig. 5.4)

Allerede i februar optræder forhøjede N-konc. i Kattegat (op til 18,7 umol/l i 40 m dybde (32-33 o/oo) i Læsø snittet mod normalt i 1980'erne ca. 12 umol/l). Dette passer med at den Jyske Kyststrøm i februar passerer Skagen samt en kraftig indstrømning til Kattegats nedre lag (fig. 4.9). De indre danske farvande har iøvrigt kun svag lagdeling under togtet, formodentlig som følge af den kraftige vind op til togtet.

6.-15. marts 1989 (togt 71, fig. 5.5)

Perioden fra februar til marts er dynamisk med en middelstor nettoindstrømning til Kattegats nedre lag. På togt 71 registreredes en markant N-uorg. indstømning over hele Læsø tværsnittet i dybden 15-40 m (28-33 o/oo) med maksimal koncentration op til 27 $\mu\text{mol/l}$ (ved 31,2 o/oo).

De forhøjede N-værdier er nået forbi Fladen 50 km sydligere (17,7 $\mu\text{mol/l}$). Under togtet var vandmasserne påvirket af en udstrømning fra Østersøen og en samtidig kompensations tilstrømning i Kattegats nedre lag.

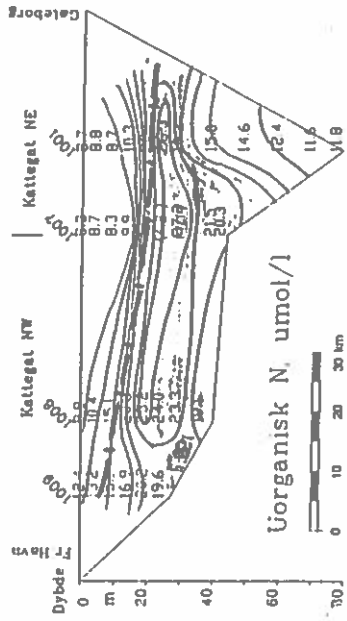
For havområdet syd for Skagen er overkoncentrationen af N (med reference 12 $\mu\text{mol/l}$) medio marts opgjort til ca. 11-13.000 ton N. Opgørelsen er behæftet med en relativt stor usikkerhed, men vurderes at være et lavt sat skøn for den extra indstrømning pr. medio marts, da en del af det indstrømmende N må forventes at være blandet op i det næringsfattigere øvre vandlag.

24.-28. april 1989 (togt 75, fig. 5.6)

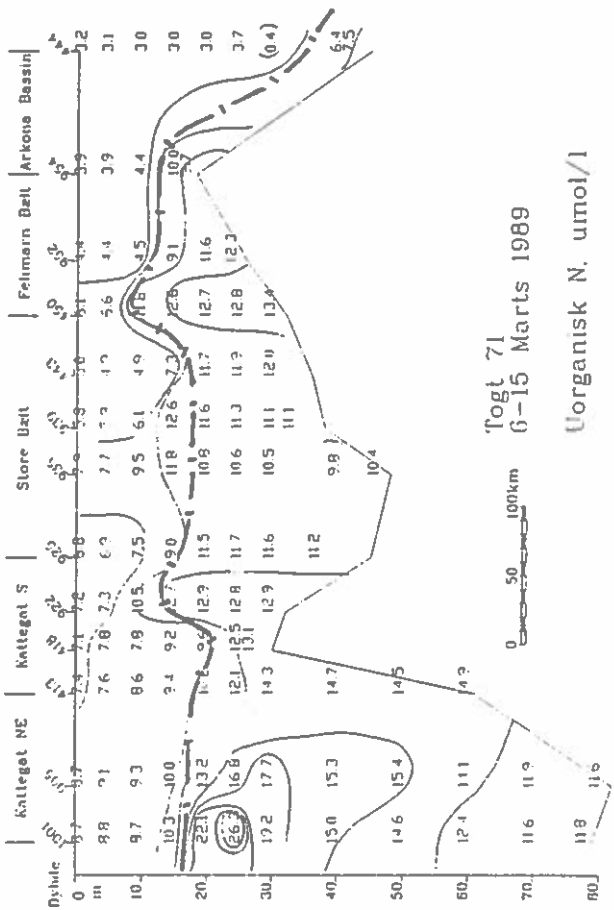
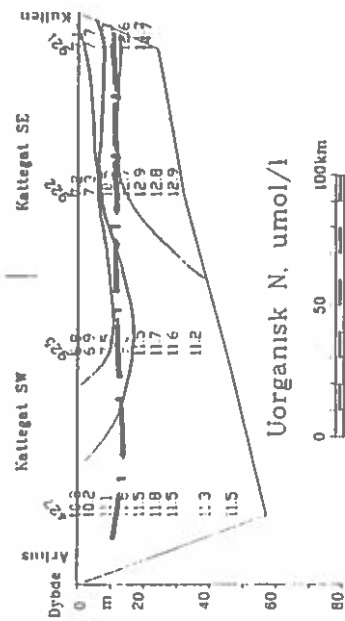
Ved april togtet har forårsopblomstringen fundet sted og det øvre lag (10-15 m) er så godt som drænet for N-næringssalt. Omkring starten af april var der kraftig opblanding i de indre danske farvande og april havde meget kraftig udstrømning fra Østersøen. Kompensations strømmen i nedre lag har frem til togtet ført den nedre vandmasse med N overkoncentration helt ned til overgangen mellem Kattegat og Storebælt (max. 20,2 $\mu\text{mol/l}$ med 33,1 o/oo i 30 m dybde) og tilsvarende ind i Øresund (Ven: max. 20-21 $\mu\text{mol/l}$ ved 31,4-32,5 o/oo i 15-40 m dybde).

Samtidig ses der tegn på en ny indstrømning (nr. 2) af N overkoncentration i Læsø snittet (24 $\mu\text{mol/l}$ ved 32,2 o/oo i 20 m dybde). Dette passer med en observertion af den Jyske Kyststrøm nord for Hirtshals på 10 m vand den 18/4 på ca. 32 o/oo i overfladen.

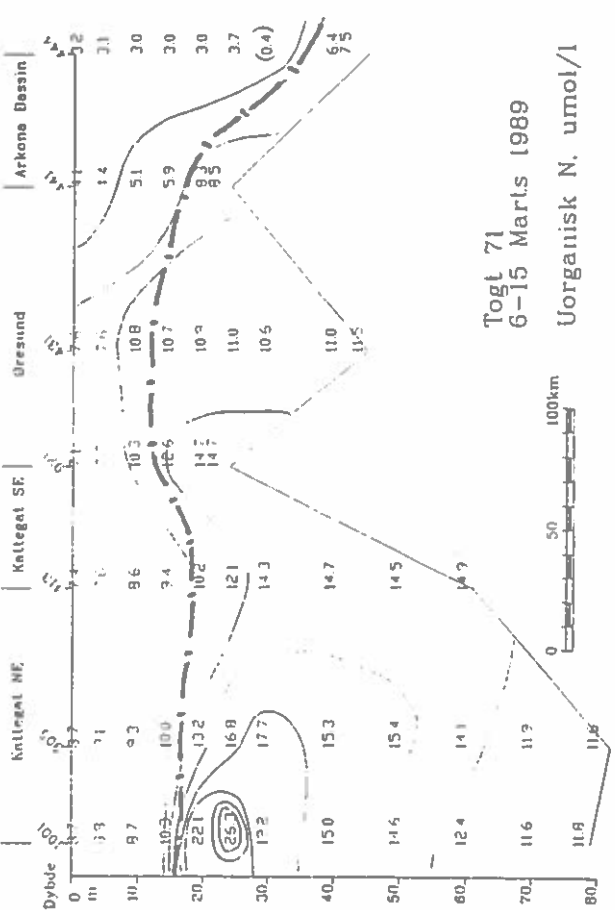
Den extra tilførsel af N-ourg. med 2. sky er vurderet til 2-4000 ton N. Vurderingen er dog behæftet med relativ stor usikkerhed.



Togt 71 6-15 Marts 1989

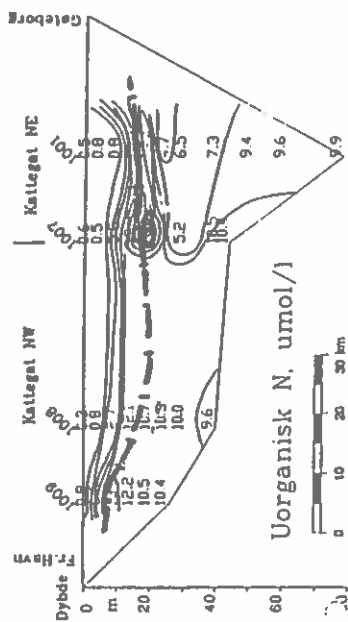


Togt 71 6-15 Marts 1989

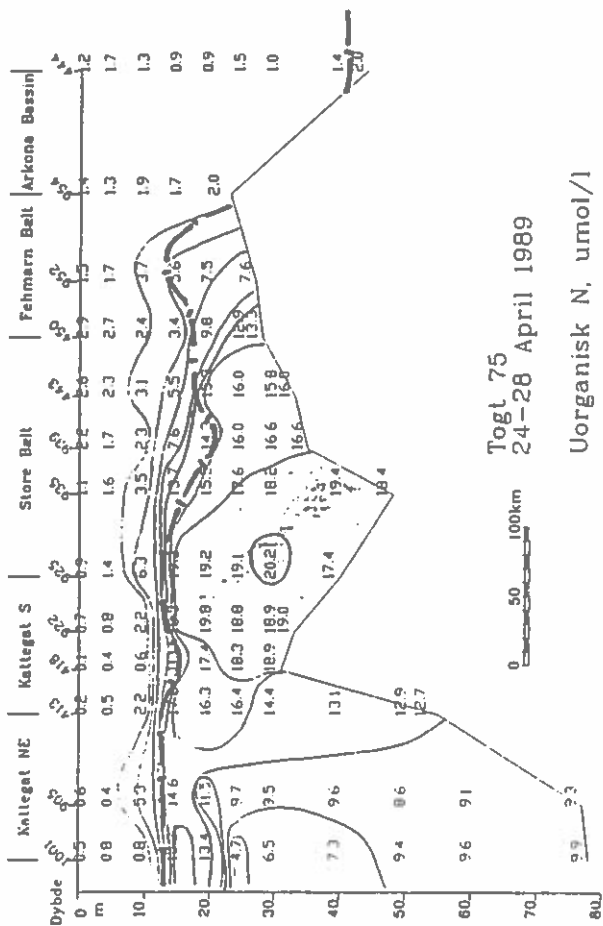
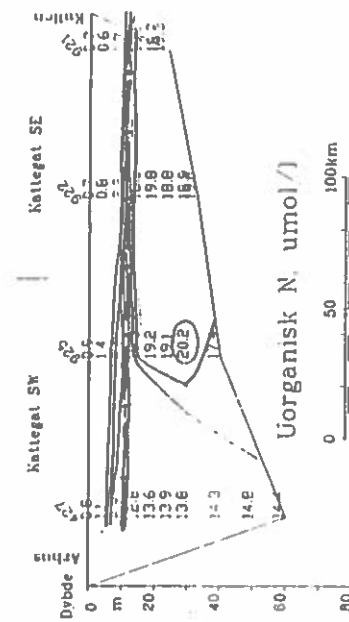


Togt 71 6-15 Marts 1989

Fig. 5.5 N-uorg. koncentrationer 13.-15. marts 1989 (togt 71) samt skillefladens placering (-|-|-|-|-).

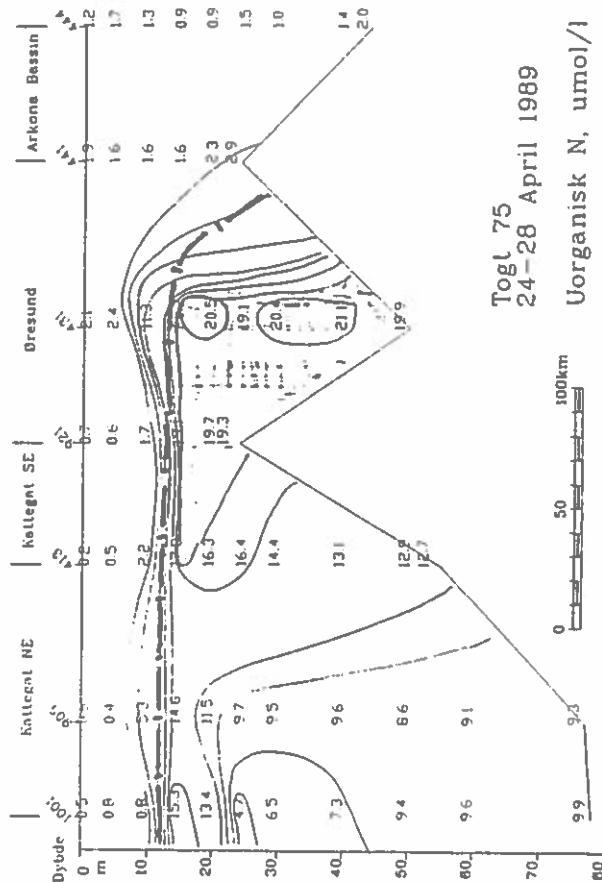


Togt 75 24-28 April 1989



Togt 75
24-28 April 1989

Uorganisk N, umol/l



Togt 75
24-28 April 1989

Uorganisk N, umol/l

Fig. 5.6 N-org. koncentrationer 24.-28. april 1989 (togt 75) samt skillefladens placering (-|----|-).

29. maj - 2. juni 1989 (togt 76, fig. 5.7)

Perioden frem til togtet var relativt rolig. Den første N-sky er nu nået overgangen mellem Storebælt og Fehmarn Bælt (max. 14,9 umol/l i 25 m dybde, noget fortyndet på vejen gennem Storebælt) og ligger stadig i Øresund (max. 19 umol/l i 20 m dybde, næste ingen fortynding).

N-sky nr. 2 er nået det sydlige Kattegat og den nordligste del af Øresund (max. 15,7 umol/l i 25 m dybde).

10.-14. juli 1989 (togt 77, fig. 5.8)

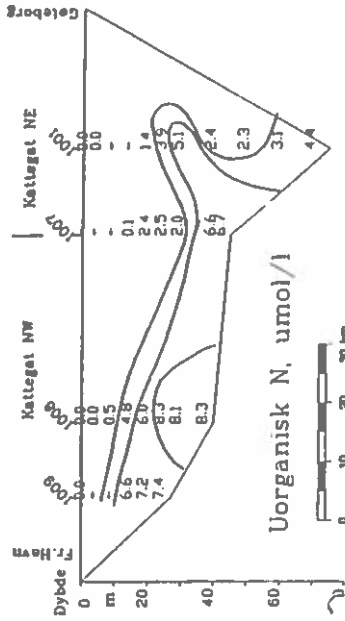
Juni til medio juli var en meget stille periode. Den første N-sky ses stadig i Fehmarn Bælt (max. 12,1 umol/l ved 26,6 o/oo i 25 m dybde) og i Øresund (15-16 umol/l ved ca. 33 o/oo i 25-50 m dybde).

N-sky nr. 2 har ligeledes været næsten stabil i det sydlige Kattegat (13-16 umol/l ved 33-34 o/oo i 25-55 m dybde).

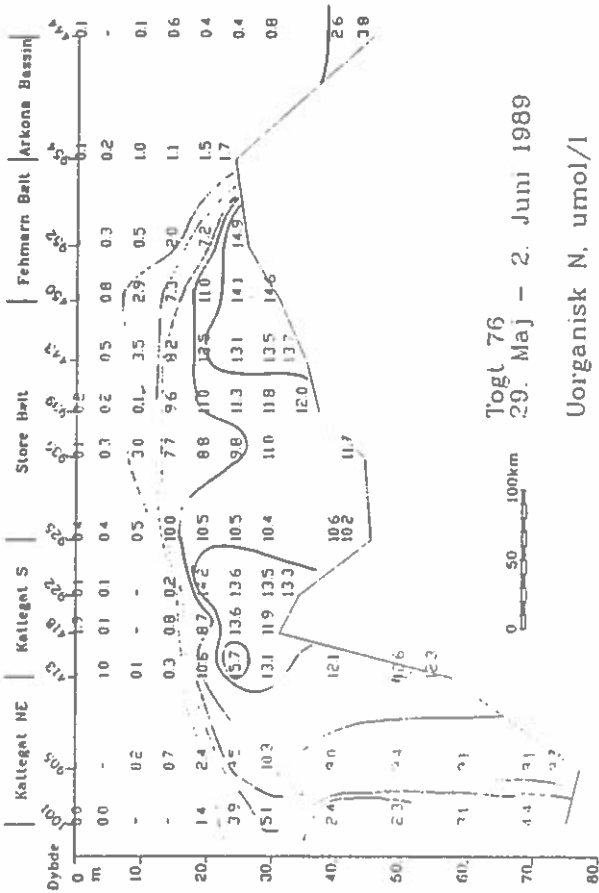
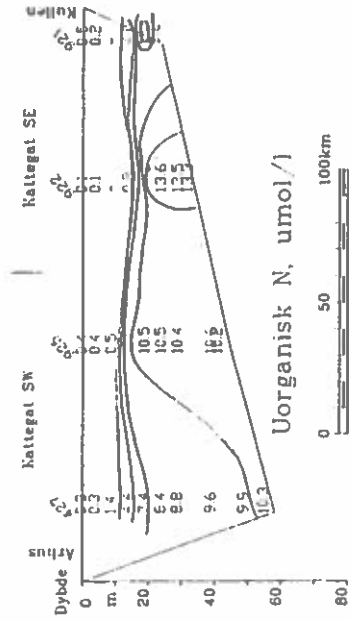
14.-24. august 1989 (togt 78, fig. 5.9)

Fra midt i juli og indtil togtet var forholdene meget dynamiske for årstiden og der har formentlig været 2 indstrømninger fra nedre lag i Fehmarn Bælt til Arkona bassinet. Den første N-sky ses da heller ikke mere i Fehmarn Bælt, men må dels været blandet op i øvre lag og dels ført ind i Arkona. Derimod synes N-sky nr. 2 at have delt sig, idet en del stadig ses i det sydlige Kattegat (10-11 umol/l ved ca. 33 o/oo i 30-55 m dybde) mens en anden del ses ved overgangen mellem Storebælt og Fehmarn Bælt (8-9 umol/l ved 27-31 o/oo i 20-35 m dybde). Delingen skyldes eventuelt en kortere periode med mere intens blanding i Storebælt.

I Øresund er det ikke længere muligt at skelne mellem de 2 N-skyer (10-13 umol/l ved 31-34 o/oo i 20-55 m dybde).

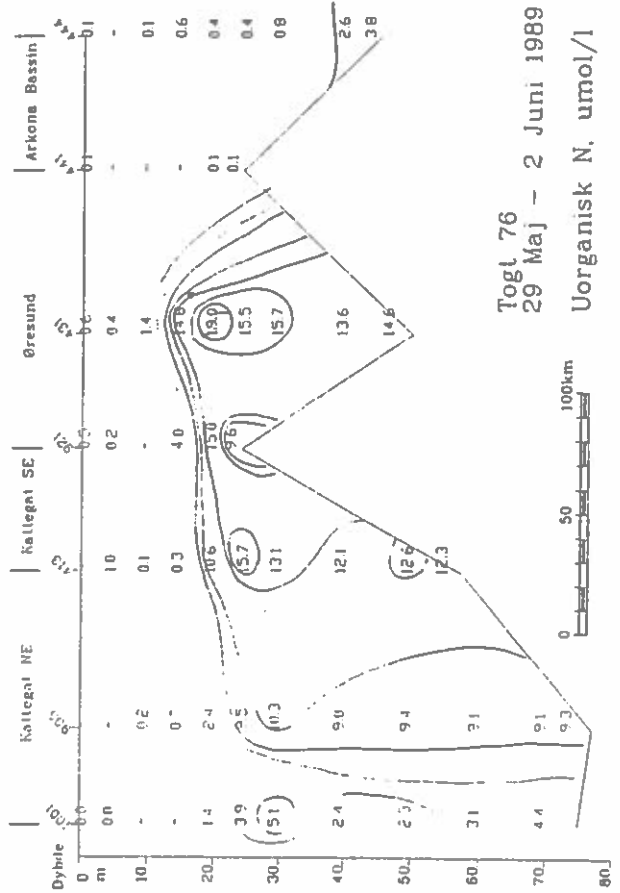


Togt 76 29 Maj - 2 Juni 1989



Togt 76 29. Maj - 2. Juni 1989

Uorganisk N, umol/l



Togt 76 29 Maj - 2 Juni 1989

Uorganisk N, umol/l

Fig. 5.7 N-uorg. koncentrationer 29. maj- 2. juni 1989 (togt 76) samt skillefladens placering (-|-|-|-|-).

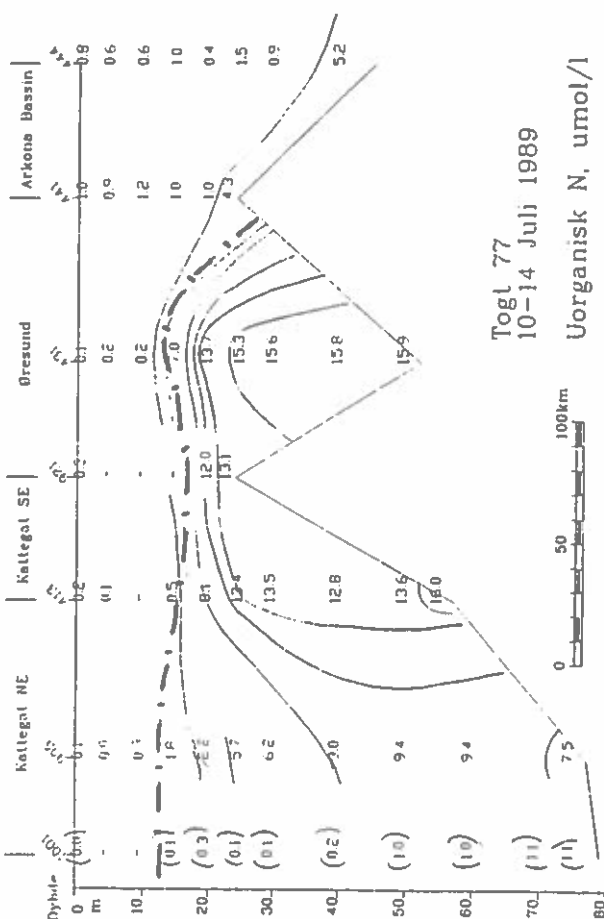
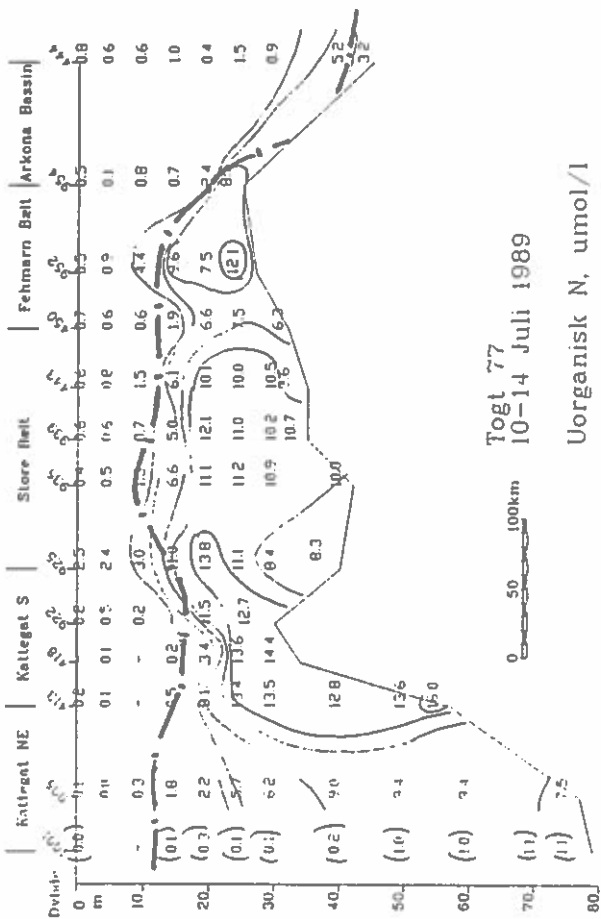
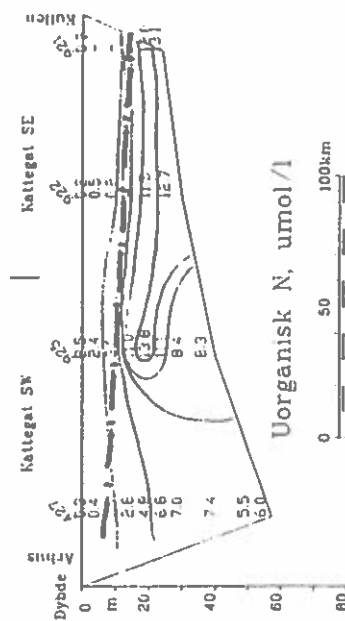
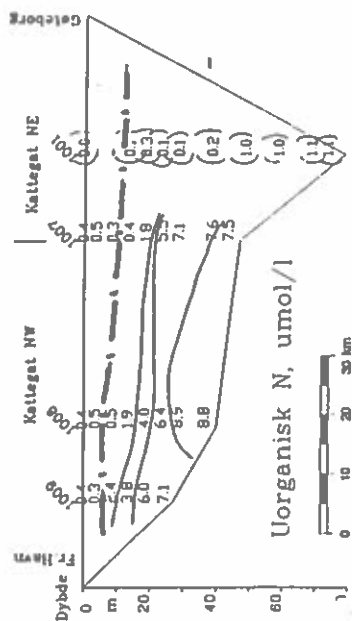


Fig. 5.8 N-uorg. koncentrationer 10.-14. juli 1989 (togt 77) samt skillefladens placering (-|-|-|-|-).

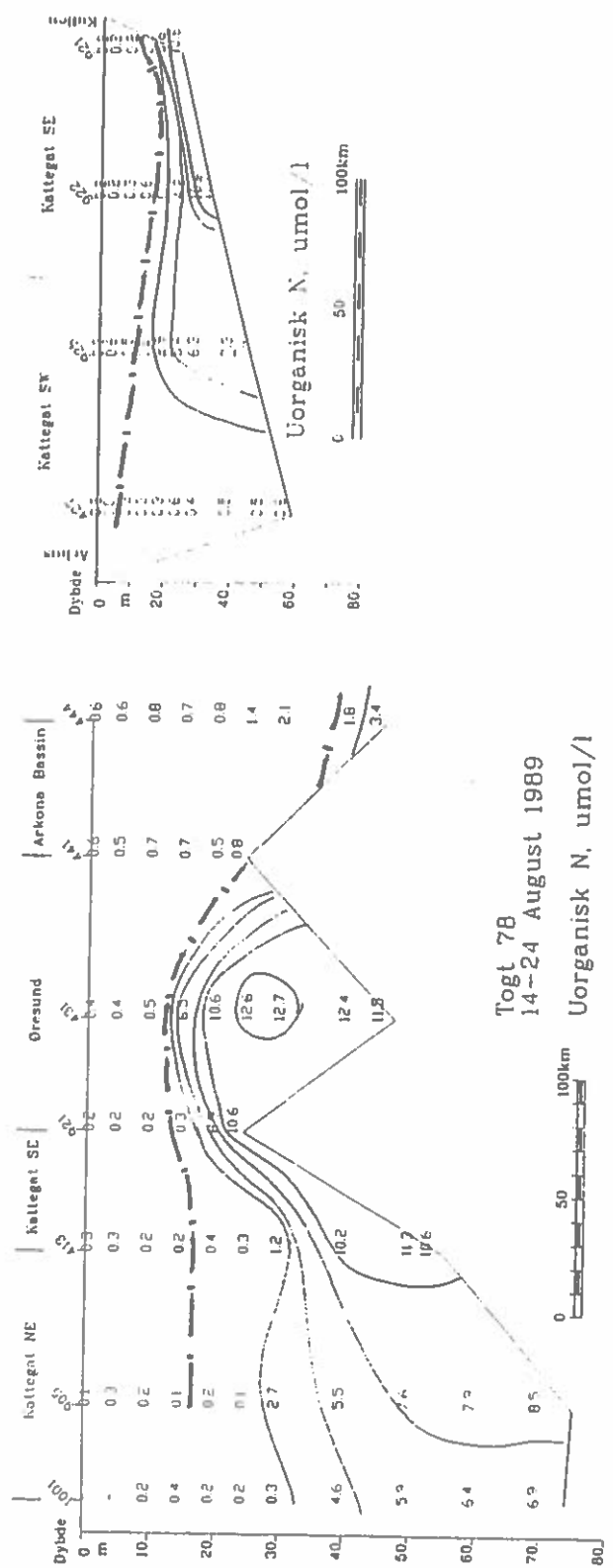
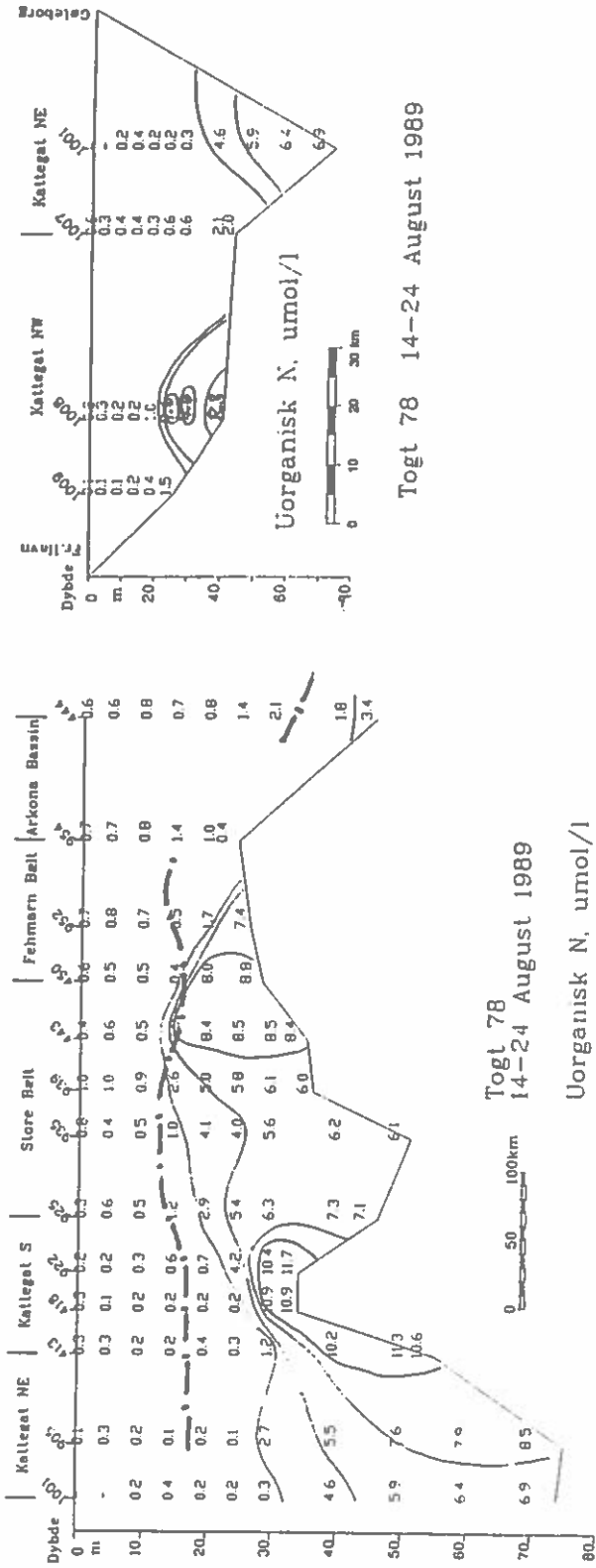


Fig. 5.9 N-org. koncentrationer 14.-24. august 1989 (togt 78) samt skillefladens placering (-|---|-).

18.-22. september 1989 (togt 80, fig. 5.10)

Den sidste del af august var relativt dynamisk, mens september var meget rolig. Af de 2 første N-skyer er der kun spor tilbage i Fehmarn Bælt (10 $\mu\text{mol/l}$ ved 24 o/oo i 25 m dybde). Resten synes at være blandet op i øvre lag, specielt under transporten gennem Storebælt.

9.-13. oktober 1989 (togt 81, fig. 5.11)

Selve togtet har ligget i en meget dynamisk periode, mens perioden forud var stille. I Fehmarn Bælt og det sydligste Storebælt var lagdelingen meget svag. Der er ikke længere spor af de 2 N-skyer i de indre danske farvande. De stigende N-koncentrationer mod bunden i Kattegat og Øresund kan eventuelt være forstærket af næringssalt frigivelse fra bundsedimentet.

6.-10. november 1989 (togt 83, fig. 5.12)

Perioden op til togtet er typisk for årstiden med relativt megen dynamik og også situationer med indstrømning til Arkona fra nedre lag i Fehmarn Bælt. På togtet er der registreret forhøjede N-uorg. koncentration ved bunden i nedre lag i det sydlige Storebælt (7-8 $\mu\text{mol/l}$ ved 30 o/oo), i Øresund (7-8 $\mu\text{mol/l}$ ved 33 o/oo) samt i Århus Bugt (8-9 $\mu\text{mol/l}$ ved 31 o/oo).

Samlet kan fremhæves følgende omkring N-tilstrømningen fra Skagerrak til Kattegats nedre lag i 1989:

- i februar-marts synes den Jyske Kyststrøm at have bidraget med min. 11-13.000 ton N-uorg. mere end normalt,
- i april-maj bidrog den Jyske Kyststrøm med endnu en N-pulje til nedre lag i Kattegat, svarende til en extra tilførsel på 2-4000 ton N-uorg.

I målingerne af N-uorg. koncentrationer er der ingen direkte eksempler på stigning i koncentrationen ud over hvad tilstrømningen kan have betinget. Mineralisering af dødt organisk stof i det nedre lag må dog have bidraget til at opretholde en relativt høj N-uorg. koncentration i det nedre lag.

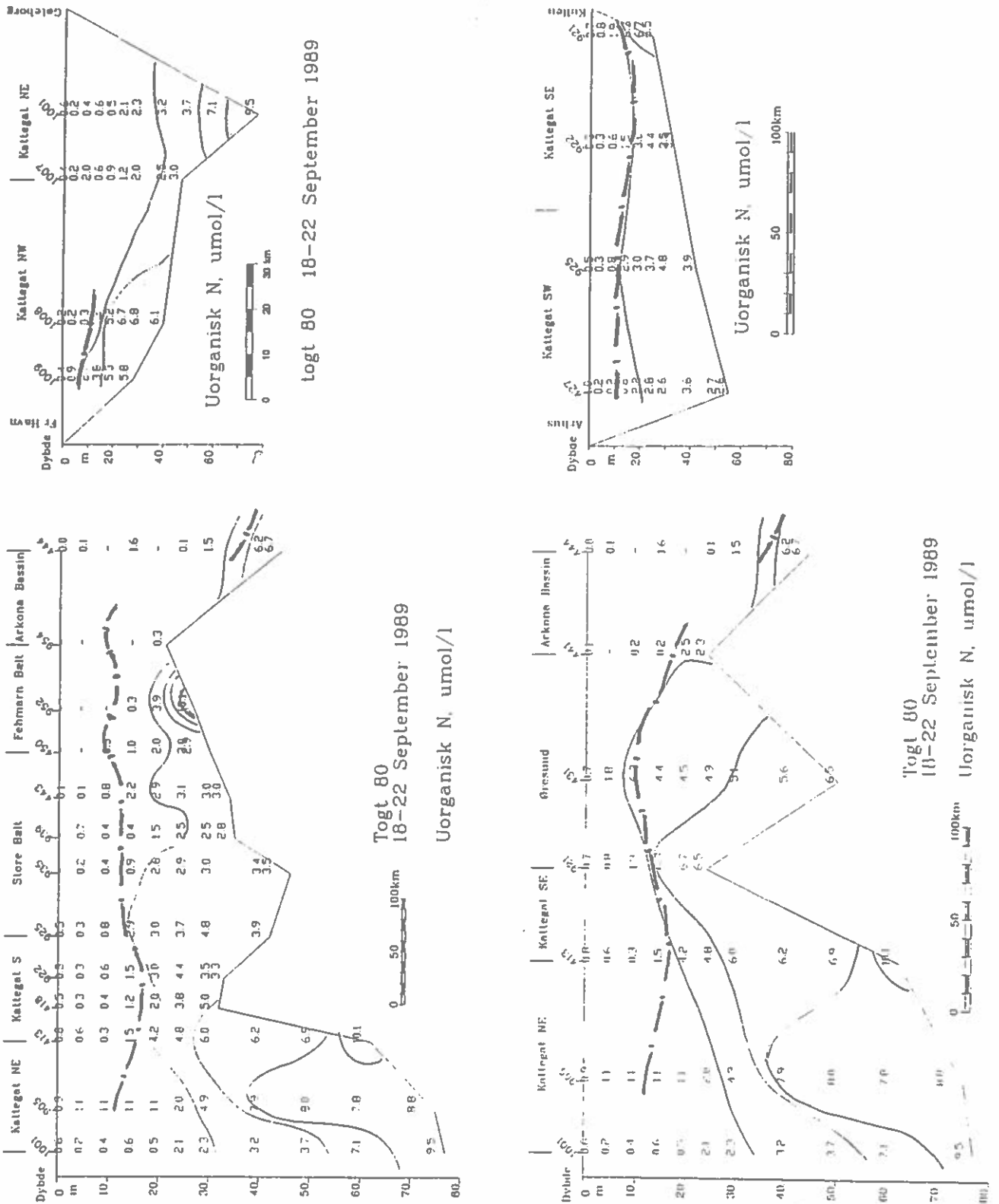
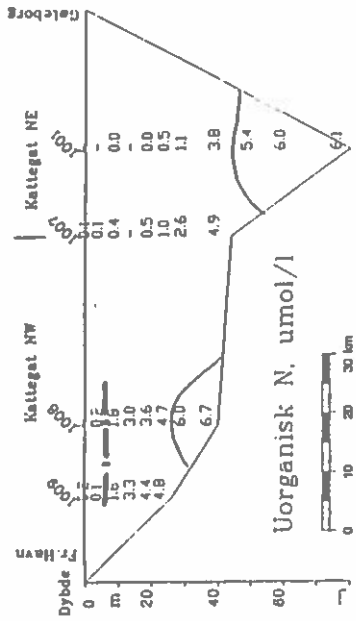
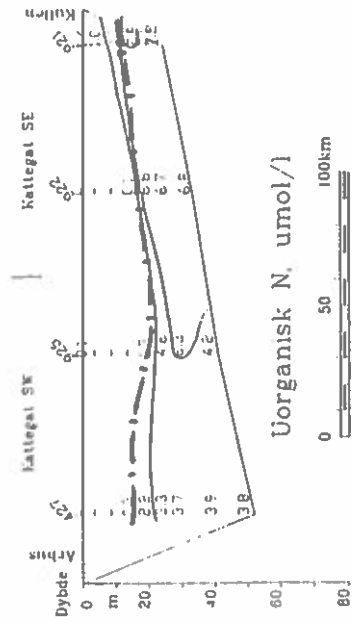


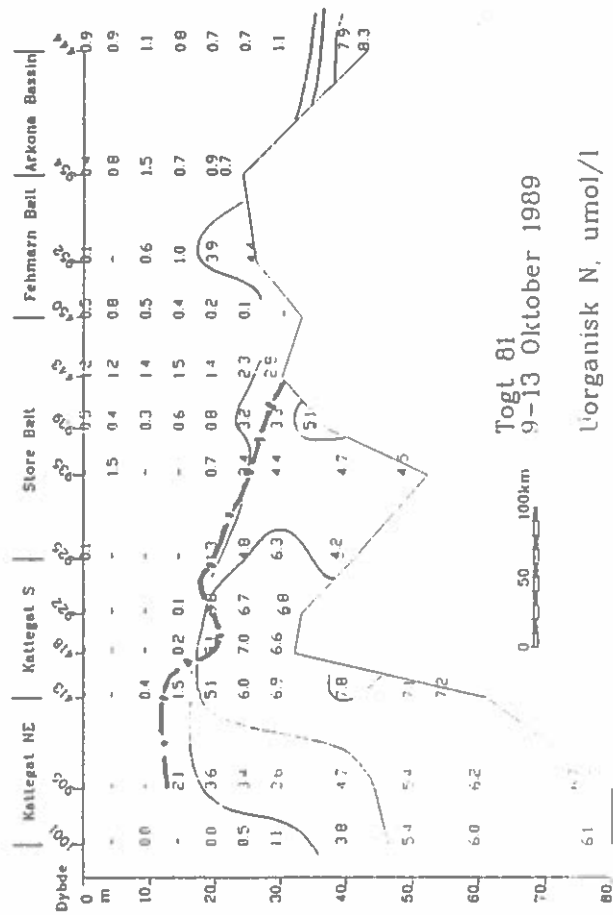
Fig. 5.10 N-uorg. koncentrationer 18.-22. september 1989 (togt 80) samt skillefladens placering (-|-|-|-|-).



Togt 81 9-13 Oktober 1989

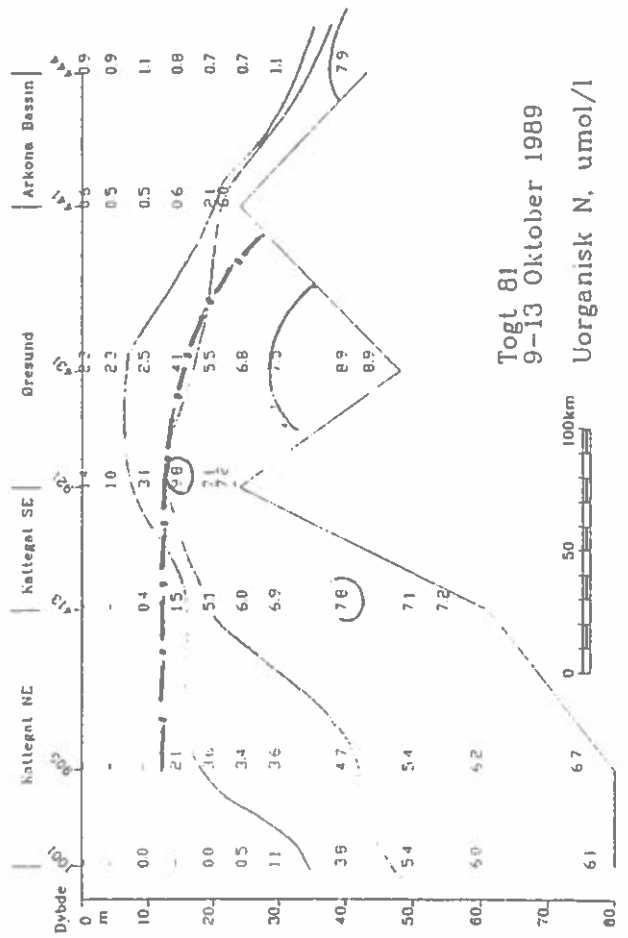


Uorganisk N, µmol/l



Togt 81 9-13 Oktober 1989

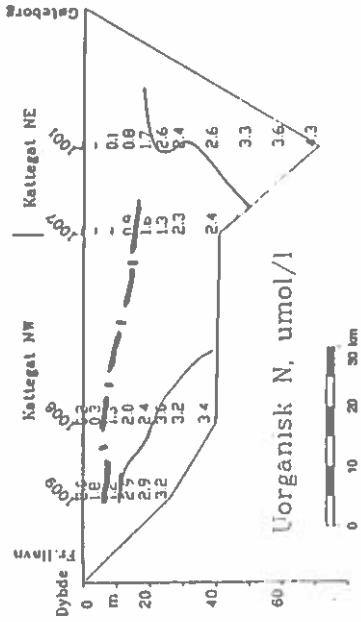
Uorganisk N, µmol/l



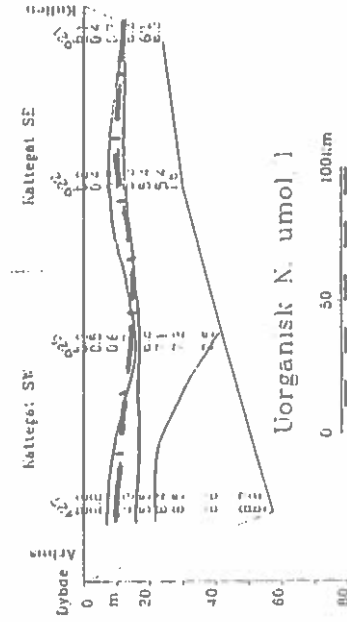
Togt 81 9-13 Oktober 1989

Uorganisk N, µmol/l

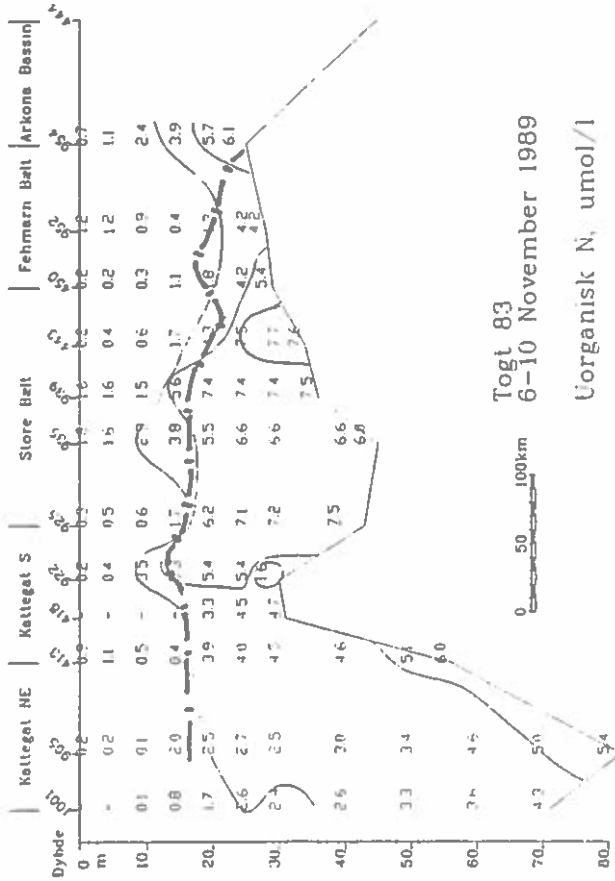
Fig. 5.11 N-org. koncentrationer 9.-13. oktober 1989 (togt 81) samt skillefladens placering (-|---|-).



Tøgt 83 6-10 November 1989

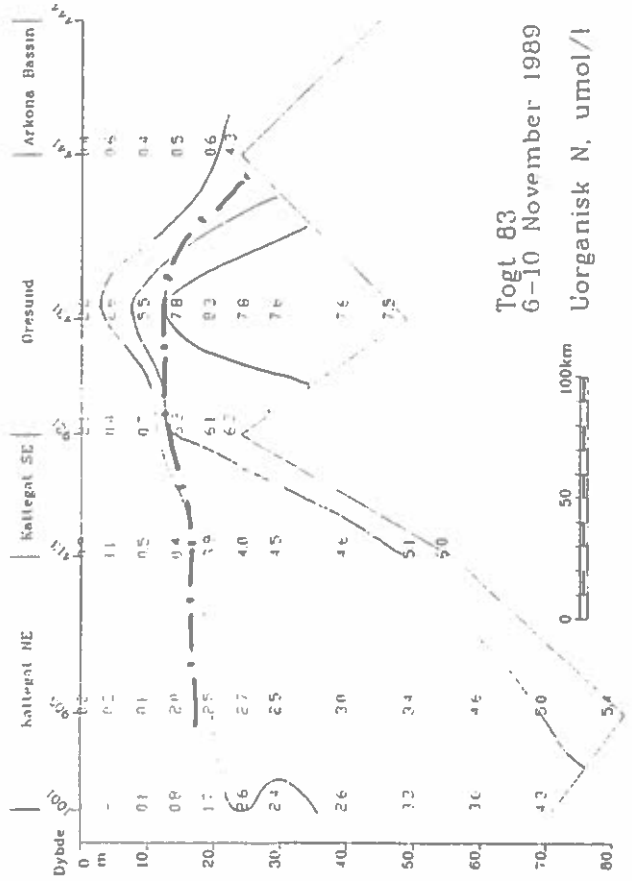


Uorganisk N, umol/l



Tøgt 83 6-10 November 1989

Uorganisk N, umol/l



Tøgt 83 6-10 November 1989

Uorganisk N, umol/l

Fig. 5.12 N-uorg. koncentrationer 6.-10. november 1989 (tøgt 83) samt skillefladens placering (---|-----|---).

6 KVÆLSTOFBALANCE OG ILTFORHOLD I DE INDRE DANSKE FARVANDE

6.1 Vandkemiske data

Vandkemiske data fra de indre danske farvande, omfattende N-uorg. og ilt, er i tabel 6.1 og 6.2 samlet i middelværdier for udvalgte tidspunkter og delområder. V.Østersø refererer i det følgende til Kiel Bugt og Fehmarn Bælt, mens Bælthavet omfatter Øresund, Lillebælt og Storebælt. De midlede størrelser indgår i en efterfølgende analyse af iltsænkningen i området i 1989 (og 1988) og er sammenlignet med analyser af tidligere års iltsænkning fra ref. 1.

ÅRSTAL	UORGANISK N KONCENTRATION (V.Østersø / Bælthavet / Kattegat)					
	ØVRE LAG PRIMO MARTS		NEDRE LAG APRIL-JUNI		NEDRE LAG JULI-SEPTEMBER	
	----- ug N/l -----					
1989	139 / 159 / 127	153 / 189 / 200	104 / 87 / 125			
1988	171 / 198 / 172	136 / 193 / 172	174 / 71 / 81			
1980-89	123 / 145 / 139	106 / 167 / 172	91 / 109 / 71			

Tabel 6.1 Middelværdier af N-uorg. i 3 delområder af de indre danske farvande for udvalgte tidspunkter.

Indstrømninger af vand med høj N-koncentration i 1989 omtalt i afsnit 5 ses også at slå igennem på værdierne for nedre lag i tabel 6.1, der generelt er højere end for middelperioden 1980-89. N-uorg. koncentrationerne i øvre lag primo marts har et typisk niveau for 1980-erne.

I 1988 afveg N-uorg. koncentrationerne specielt fra middelperioden 1980-89 ved meget høje N-værdier i øvre lag overalt i de indre danske farvande primo marts og i nedre lag i V.Østersø i sensommeren.

PERIODE	ILTKONCENTRATION I NEDRE LAG		
	V. ØSTERSØ	BÆLTHAVET	KATTEGAT
	----- ml/l -----		
<u>1989</u>			
6.-16. februar	7,0	7,5	6,9
13.-15. marts	7,4	6,9	6,9
24.-28. april	6,4	5,2	6,2
29. maj - 2. juni	4,5	4,1	5,4
10.-14. juli	3,0	3,9	4,8
14.-24. august	3,0	2,8	4,3
18.-22. september	(2,9/0,9)	2,8	3,4
9.-13. oktober	5,3	4,2	3,3
<u>1988</u>			
medio februar	7,2	6,2	6,4
primo marts	9,2	8,8	7,0
primo maj	6,2	3,7	5,4
primo juni		3,6	5,2
ultimo august	2,2	3,9	(3,9)
medio september			2,5
medio oktober	2,7	4,9	4,2

Tabel 6.2 Middelverdier af iltkoncentration i nedre lag i 3 delområder af de Indre Danske Farvande opmålt ved DMU's togter.

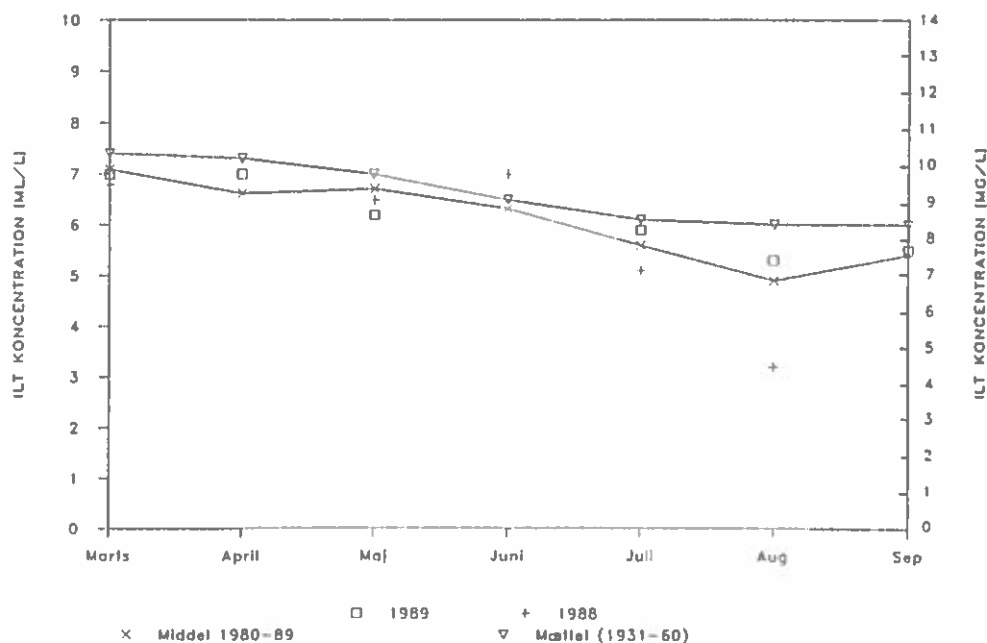


Fig. 6.1 Variationen i iltkoncentration i nedre lag ved Læsø snittet (station Vinga/GF4, 20-40m) samt måttet iltkoncentration (baseret på 1931-60 temperaturmålinger ved Skagen Rev fyrskib 20-40m).

DMU's målinger af iltkoncentrationen i det nedre lag i de indre danske farvande gennem foråret og sommeren 1989 i tabel 6.2 viser, at 1989 havde en relativt lav iltmætning før starten af primærproduktions perioden (marts-september). Herefter falder iltkoncentrationen i Kattegat jævnt til 3,4 ml/l i slutningen af september, hvor forholdene i området bliver meget dynamiske. I Bælthavet falder koncentrationen frem til juni. Fra juni til juli er koncentrationen næsten uændret, hvorefter den falder til den målte minimumsværdi på 2,8 ml/l (middel for Bælthavet) midt i august. Frem til slutningen af september, hvor området bliver udsat for kraftig dynamik, holder iltkoncentrationen sig omkring dette niveau. I V.østersø er variation omtrent parallel med forholdene i Bælthavet, men der er nogen usikkerhed om iltkoncentrationen i september, da det ikke er muligt præcist at definere et nedre lag på dette tidspunkt som følge af ringe lagdeling i området.

Variationen i iltkoncentration i Læsø snittet (station Vinga/GF4 på fig. 6.1) tyder endvidere på, at det tilstrømmende vand fra Skagerrak til Kattegats nedre lag har haft rimeligt højt iltindhold, undtagen i (slutningen af) maj måned 1989.

De observerede iltvariationer passer således i store træk til forventningen på baggrund af observerede vind og strømforhold. I afsnit 6.3 er gennemført direkte beregning af variationen i iltforholdene på baggrund af meteorologi, hydrografi og N-uorg. registreringerne.

6.2 N-balance øvre lag

I ref. 1. er opstillet en analysemodel for mængden af N-nærings-salt i øvre lag, der er til rådighed for ny primærproduktion (dvs. excl. regenereret produktion i øvre lag) i de indre danske farvande i produktionsperioden marts-september.

Analysemodellen beregner N-kilde summen for følgende kilder for perioden marts-september:

- 1: den uorganiske N-pulje i øvre lag ved foråropblomstringens start,
- 2: tilstrømningen af N-uorg. fra Østersøen,
- 3: N-afstrømningen fra land,
- 4: N-uorg. tilførslen ved opblanding fra nedre lag,
- 5: atmosfærisk N-tilførsel.

Beregningen baserer sig på aktuelle værdier fra 1989 af målte N-uorg. koncentrationer (se tabel 6.1), tidsserien for ferskvands afstrømningen fra Danmark til de indre danske farvande (fig. 3.5), den beregnede variation i opblandingen (fig. 4.8) og nedbørsvariationen (fig. 3.4). Specielt forudsætter analysemodellen en samlet N-afstrømning (DK/S/V-Ø-tyskland) til de indre danske farvande på 165.000 ton N årligt for en "normalårs vandafstrømning" og et atmosfærebidrag på 60.000 ton N årligt for et "normalårs nedbør". For nærmere dokumentation af beregningsmetoden henvises til ref. 1.

Resultatet fra N-kilde beregningen for 1989 og 1988 er vist i tabel 6.3, idet der ikke er ændret på normalårs bidragene fra afstrømningen og nedbøren. Der er således ikke korrigeret for eventuelle virkninger af Vandmiljøplanen allerede i 1989 og 1988. De beregnede N-kilder for de øvrige år i 1980'erne er givet i ref. 1.

ÅRSTAL	INDHOLD ØVRE LAG Kilde 1	TILSTR. ØSTERSØ Kilde 2	AFSTRØM. LAND Kilde 3	OPBLAND. NEDEFRA Kilde 4	ATMOSF. NEDFALD Kilde 5	SUM
-----1000 ton N -----						
1989	60	6	57	149	26	299
1988	79	6	77	134	36	331
1980-87	58	4	79	110	33	284

Tabel 6.3 Beregnet N-kilde sum for marts-september for de indre danske farvande.

Den samlede N-kilde sum i produktionsperioden 1989 ses at være 5% større (+15.000 ton N) end middelværdien for perioden 1980-87. Afvigelsen fra perioden 1980-87 viser sig specielt ved en mindre afstrømning (-22.000 ton N), en større N-opblanding (+39.000 ton N) og et mindre atmosfærebidrag (-7.000 ton N).

Den større N-opblanding i 1989 må hovedsageligt skyldes de registrerede tilstrømninger til nedre lag af N-næringssaltholdigt vand fra Skagerrak (den Jyske Kyststrøm), jvf. afsnit 5.

For 1988 er N-kilde summen 17% større (+47.000 ton N) end for middelperioden 1980-87. Her ligger de største afvigelser i en større vinterpulje af N i øvre lag (+21.000 ton N, sandsynligvis som følge af den store vinterafstrømning) og i en større N-opblanding (+24.000 ton N).

6.3 Iltsvind

Den opstillede analysemodel i ref. 1 kan endvidere beregne udviklingen i iltforholdene i nedre lag i de indre danske farvande gennem primærproduktionsperioden marts-september på baggrund af aktuelle variationer i opblandingsforholdene, N-kilde summen og variationen i iltkoncentrationen på den nordlige rand for de indre danske farvande (station Vinga/GF4 i Læsø snittet, se fig. 6.1).

Analysemodellen bygger på at N-næringssalt er begrænsende for den organiske nyproduktion i øvre lag, som efter sedimentering til nedre lag giver et iltforbrug (iltsænkning). Analyser med modellen af de enkelte år 1980-87 har vist, at modellen giver en rimelig beskrivelse af de aktuelle iltsækningsforløb, samt at modellen giver den samme rangordning af de enkelte år med hensyn til iltsænkningens størrelse som direkte/indirekte observationer antyder.

I fig. 6.2 er vist resultatet af den beregnede udvikling i iltforholdene for 1989. Udviklingen i Kattegat og V.Østersø passer rimeligt med de observerede iltkoncentrationer, og modellen giver her information om hvad der er sket mellem de enkelte opmålinger. F.eks. må den dynamiske periode omkring 1. april have hævet iltkoncentrationen i V.Østersø, da iltkoncentrationen ellers ville have været lavere end den målte ved DMU's togt i april.

ILTSÆNKNING Gennem PERIODEN 1/3-30/9 1989

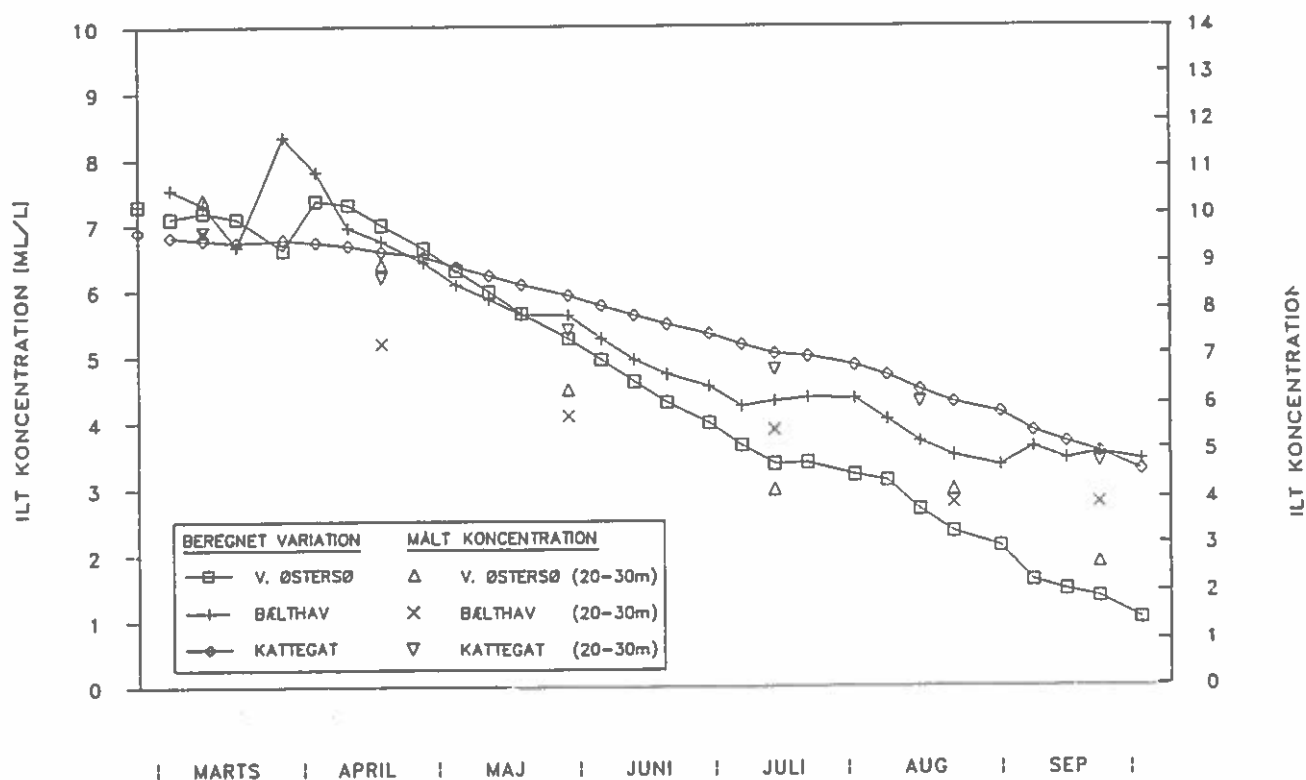


Fig. 6.2 Beregnet udvikling i iltkoncentration i nedre lag i 1989 med analysemodellen.

I Bælthavet må iltkoncentrationen også være blevet øget i den meget dynamiske situation omkring 1. april. Analysemodellen synes imidlertid at give en for stor forøgelse i iltindholdet. Dette skyldes formodentlig at den forudsatte 2-lags strømning i den meget dynamiske situation ikke er opfyldt, og ilttilførslen til nedre lag derfor bliver for stor i modellen. Efter april passer den beregnede iltvariation rimeligt med målingerne ved en korrektion for startniveauet ultimo april.

Et anden forhold, der kan medvirke til forklaring af uoverensstemmelsen, er de senere års registrerede tendens til at en større del af iltforbruget sker om foråret. I analysemodellen er iltforbruget fordelt over perioden efter en temperaturafhængighed, hvor 10°C stigning i vandtemperatur giver en 3-dobling af iltforbruget. Til sammenligning er i fig. 6.3 vist den beregnede iltudvikling for en næsten konstant iltforbrugsrate gennem perioden marts-september.

ILTSÆNKNING Gennem PERIODEN 1/3-30/9 1989

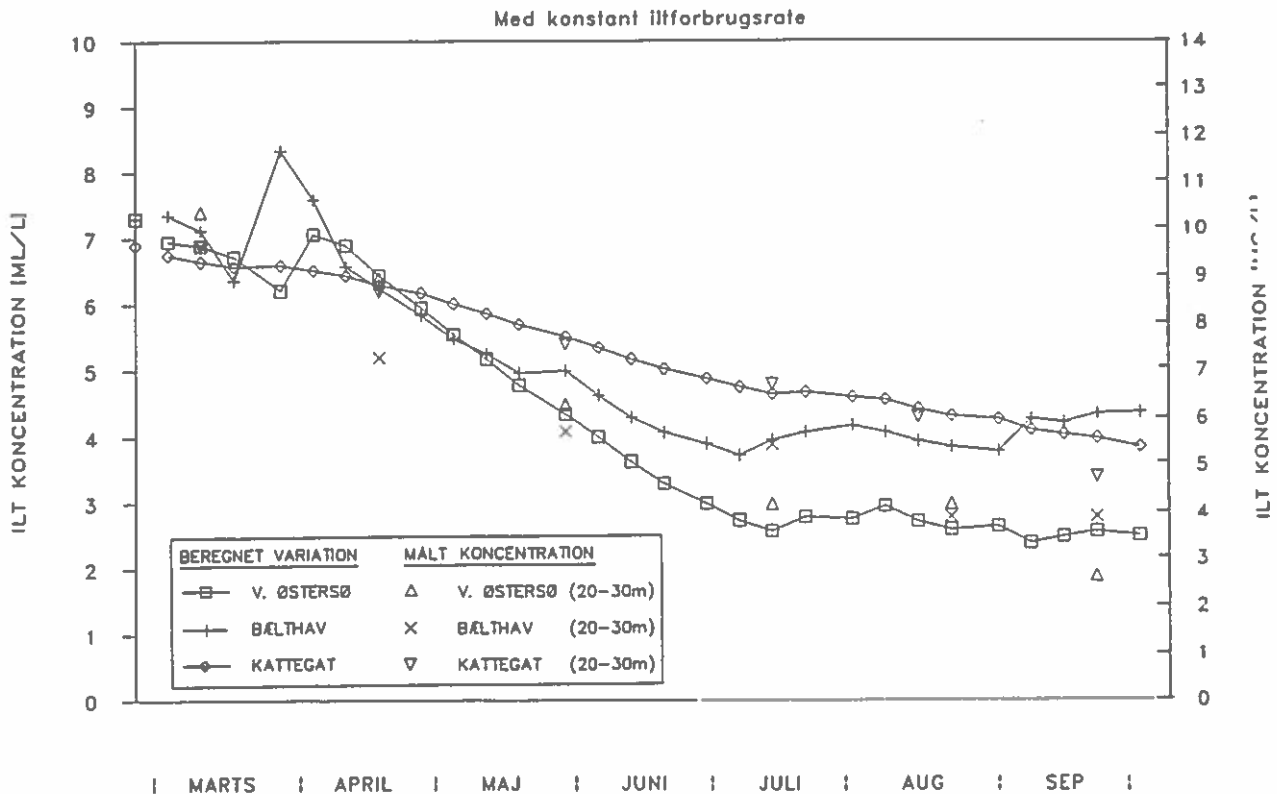


Fig. 6.3 Beregnet udvikling i iltkoncentration i nedre lag i 1989 med analysemodellen idet iltforbrugsraten er forudsat næsten konstant.

Samlet viser analysemodellen, at de månedsvise togter i 1989 har givet en rimelig information om udviklingen i iltindholdet og om det minimale iltindhold i de 3 delområder. Endvidere synes der ikke at være andre faktorer af betydning for iltudviklingen end de her behandlede. F.eks. synes tilstrømning af vand fra Den Jyske Kyststrøm til Kattegats nedre lag i perioden efter forårsopblomstringen ikke at have tilført betydelige mængder orga-

nisk materiale, som ved nedbrydning ville give anledning til extra iltsenkning i Kattegat.

Endvidere viser beregninger med analysemodellen, at den dynamiske periode medio juli-primo august ikke har den store indflydelse på iltforholdene i september.

Den beregnede udvikling i iltindholdet i 1988 med analysemodellen er vist i fig. 6.4. I 1988 var iltmætningen inden forårsopblomstringen høj i Bælthavet og V.Østersø. Modellen viser at i V.Østersø må iltindholdet forventes at være faldet efter augusttoget til en minimal værdi lige omkring 0 ml/l midt i september (der er ingen målinger fra september), hvor der startede en meget dynamisk periode som forbedrede iltforholdene. I Kattegat er iltforholdene faldet jævnt frem til slutningen af september, både ifølge målinger og analysemodellen. I Bælthavet synes der, ligesom i 1989, at have været et kraftigt iltforbrug allerede i marts-april. Registrering af næsten fuld opblanding til 40 m dybde i Bælthavet medio marts kan eventuelt være en del af forklaringen, men forholdet er ikke nærmere analyseret.

Til sammenligning er i fig. 6.5 endvidere vist den beregnede iltudvikling forudsat en næsten konstant iltforbrugsrate marts-september.

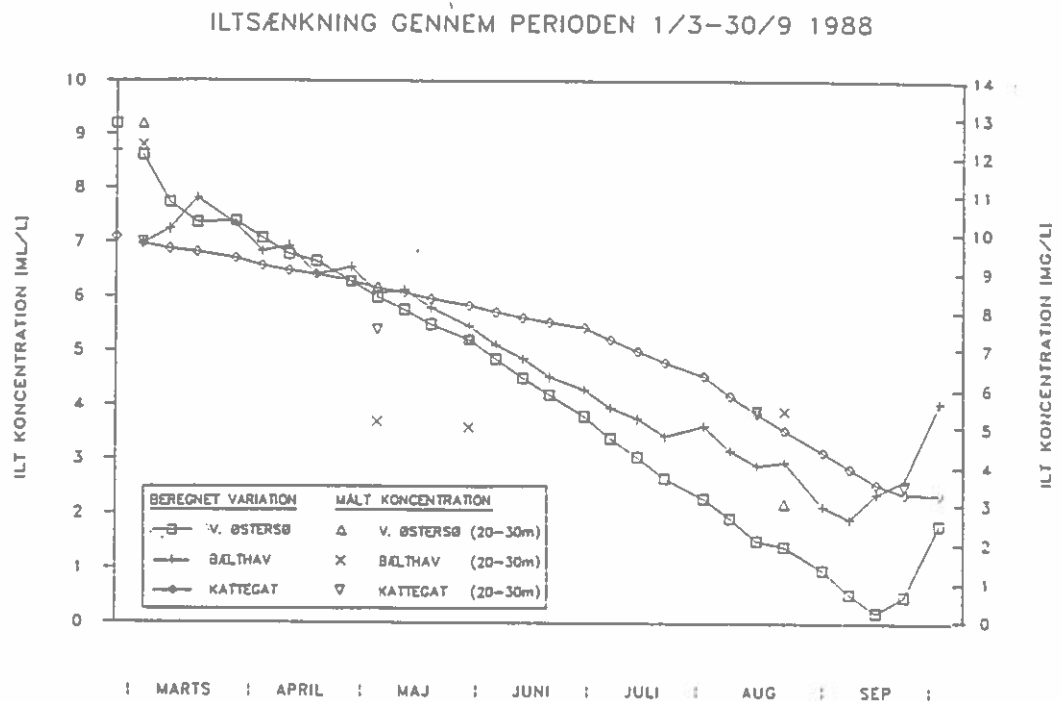


Fig. 6.4

Beregnet udvikling i iltkoncentration i nedre lag i 1988 med analysemodellen.

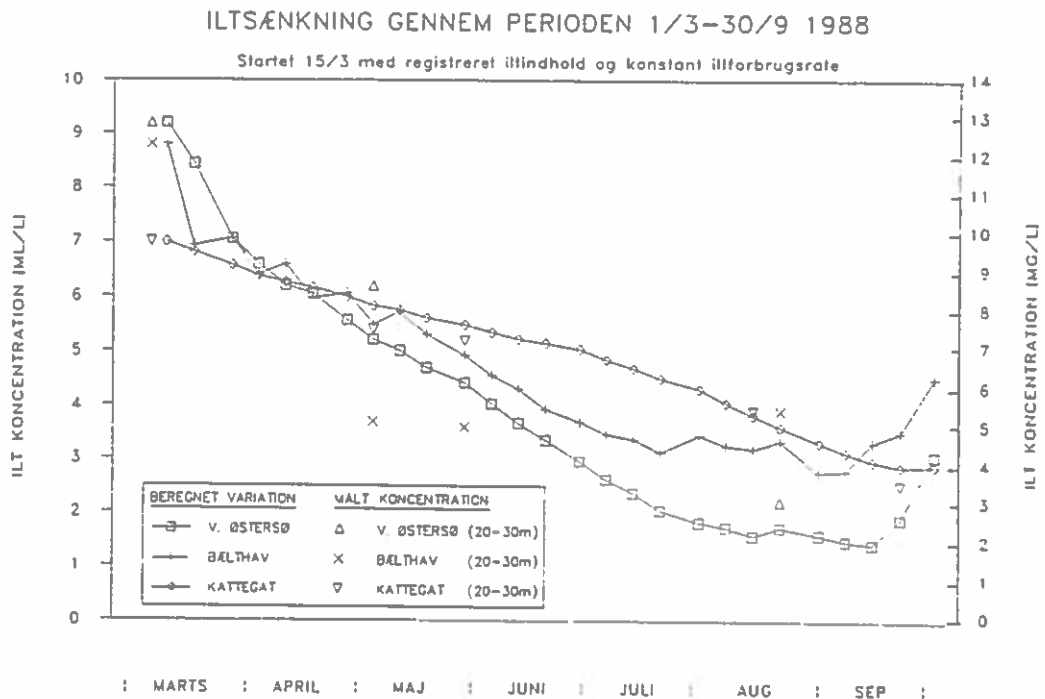


Fig. 6.5

Beregnet udvikling i iltkoncentration i nedre lag i 1988 med analysemodellen idet iltforbrugsraten er forudsat næsten konstant.

7 VANDSKIFTE I UDVALGTE OMRÅDER

DMU har udvalgt 4 kystnære områder, repræsenterende typiske bugt- og fjordområder i de indre danske farvande. For disse områder har DMU ønsket en overordnet beskrivelse af udviklingen i de styrende processer for vandskiftet. Den følgende beskrivelse er baseret på den generelle udvikling i de indre danske farvande beskrevet i de tidligere afsnit samt amternes overvågningsregistreringer (jvf. ref. 7-11).

De udvalgte områder er:

- Randers Fjord - Hevring Bugt
- Århus Bugt - Kalø Vig
- Farvandet nord for Fyn - Vejle Fjord
- Farvandet syd for Fyn - sydlige Lillebælt.

7.1 Randers Fjord - Hevring Bugt

Randers Fjord står i forbindelse med Hevring Bugt og det øvrige Kattegat gennem en smal passage ved Udbyhøj. Gudenåen udmunder i bunden af fjorden. Forholdene i fjorden er således meget afhængige af tilstrømningen fra land.

I fig 7.1 er vist saltholdighed og NO_x registreringer fra Århus Amts overvågning (ref. 8) i den ydre del af fjorden og i Hevring Bugt.

Århus Amt kommenterer målingerne i Hevring Bugt i 1989 bl.a. med at i den lavvandede bugt "forekommer springlag generelt ikke særlig hyppigt. I maj, juni og juli 1989 var der imidlertid et permanent springlag i området". Denne observation passer med den fundne generelle tendens i 1989 til at skillefladen langs den jyske østkyst har ligget højt (jvf. fig. 4.5). Den høje beliggenhed har betydning for vandskiftet i fjorden.

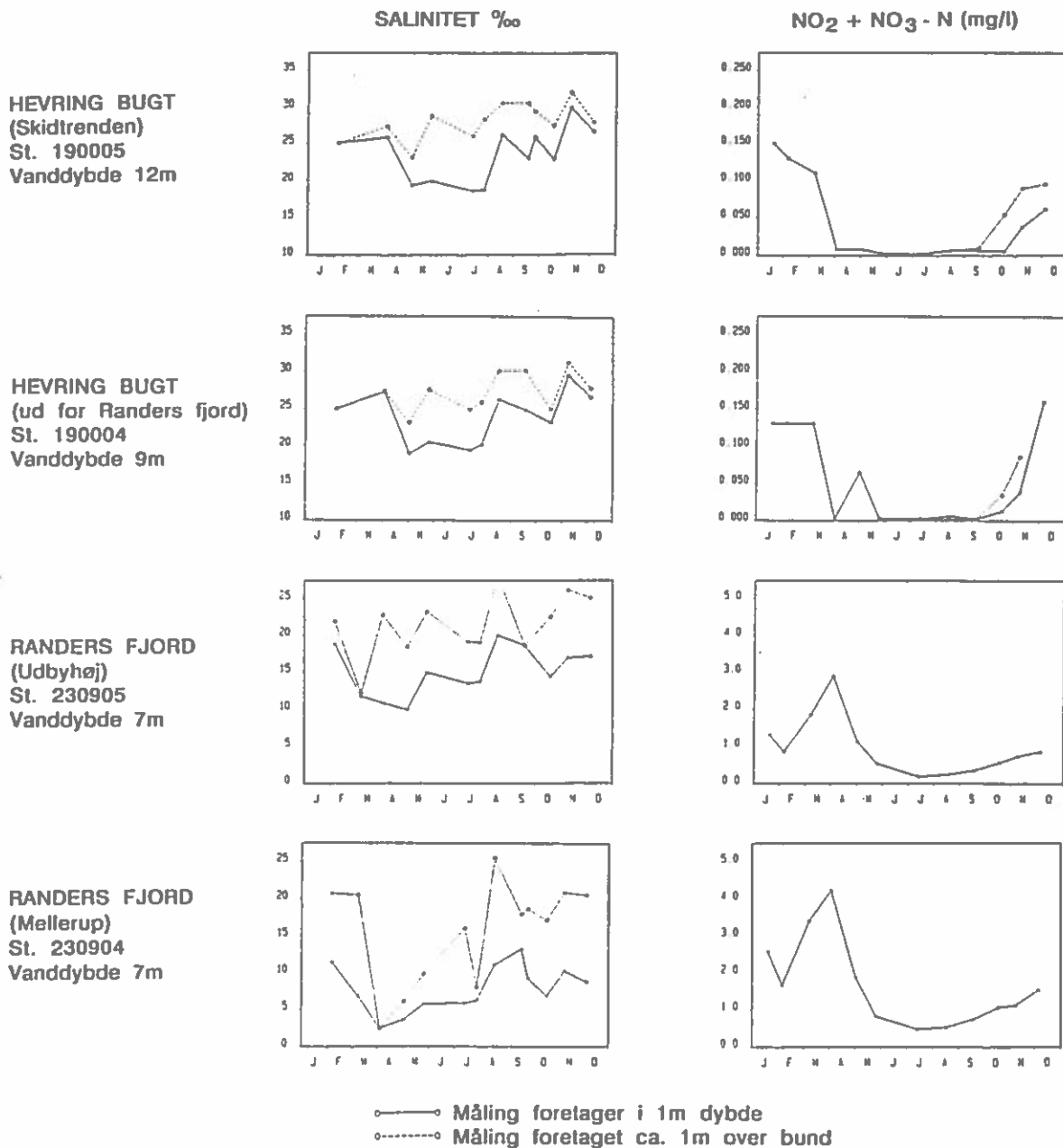
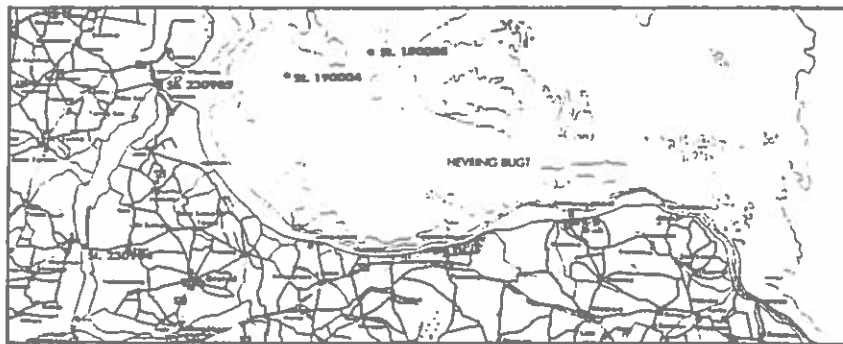


Fig. 7.1 Salt- og NO_x målinger fra området ved munden af Randers Fjord 1989 (ref. 8).

Den generelle udvikling i saltholdigheden i Hevring Bugt hænger sammen med:

- den sydgående strøm i de indre danske farvende i januar-februar (stor saltholdighed),
- den kraftige udstrømning fra Østersøen i marts og april (faldende saltholdighed, dog noget forsinket, da bugten ligger delvis afsnøret fra hovedstrømmen i Kattegat ved nordgående strøm),
- den dynamiske periode omkring 1. august (reduceret lagdeling), efterfulgt af en stille september (igen kraftigere lagdeling) og herefter af mere dynamiske forhold resten af året (reduceret lagdeling).

Vandskiftet i selve fjorden synes domineret af følgende hændelser:

- en kraftig ferskvandsafstrømning i marts, som nedbryder lagdelingen,
- en gradvis genopbygning af lagdelingen (svag indstrømning af havvand) gennem den stille, tidlige sommer,
- den dynamiske periode omkring 1. august, som først opblander fjorden og siden resulterer i saltvands indstrømning med 25 o/oo (kraftig lagdeling samtidig med stigende overfladesaltholdighed),
- en tiltagende ferskvandsafstrømning i slutningen af året, som modvirker den tiltagende vindopblanding.

7.2 Århus Bugt - Kalø Vig

Århus Amtskommune angiver i ref. 9, at Århus Bugt har en kort opholdstid (ca. 13 døgn), og at de hydrografiske forhold er domineret af forholdene i det sydlige Kattegat. Bugtområdet er normalt lagdelt.

Vandskiftet i bugten er derfor meget afhængig af den af vinden inducerede skillefladehældning, hvor vestlige vinde stuver overfladevand op i det sydøstlige Kattegat og får skillefladen til at stige i det sydvestlige Kattegat og i bugten. Omvendt giver østlige vinde en lavt beliggende skilleflade i bugten. Kraftige vestlige henholdsvis østlige vinde kan presse øvre lag henholdsvis nedre lag helt ud af bugten. Også kraftige nordlige eller sydlige vinde kan resultere i ændret skillefladeniveau.

I fig. 7.2 er vist Århus Amtskommunes registreringer af saltholdighed og NO_x på 4 stationer i Århus Bugt og Kalø Vig gennem 1989. Vandskiftet i området synes specielt påvirket af følgende større hændelser:

- den dynamiske periode januar-februar med dominerende vestenvind, som resulterer i et velblandet vandområde med relativt høj saltholdighed (generel sydgående strøm i bælte og høj skilleflade),
- den kraftige udstrømning fra Østersøen i marts og april (faldende saltholdighed idet bugtens vand udskiftes ved lock-exchange),
- den samtidige stigning i ferskvandstilstrømningen til bugten i marts,
- en forstærket lagdelingen gennem den stille, tidlige sommer, hvor meget salt vand trænger ind i bugtens nedre lag,
- den dynamiske periode omkring 1. august, som reducerer lagdelingen idet øvre lags saltholdighed stiger (lock-exchange),
- en udstrømning fra Østersøen omkring 1. september, som får saltholdigheden til at falde i bugten (lock-exchange),
- de sidste dynamiske måneder af året, hvor lagdelingen reduceres specielt ved at saltholdigheden i øvre lag stiger (lock-exchange øvre lag).

Som følge af bugtens åbne natur er vandskiftet imidlertid så hurtigt (ca. 13 døgn ifølge ref. 9), at den ovenfor givne fremstilling på baggrund af månedsvise registreringer er mangelfuld.

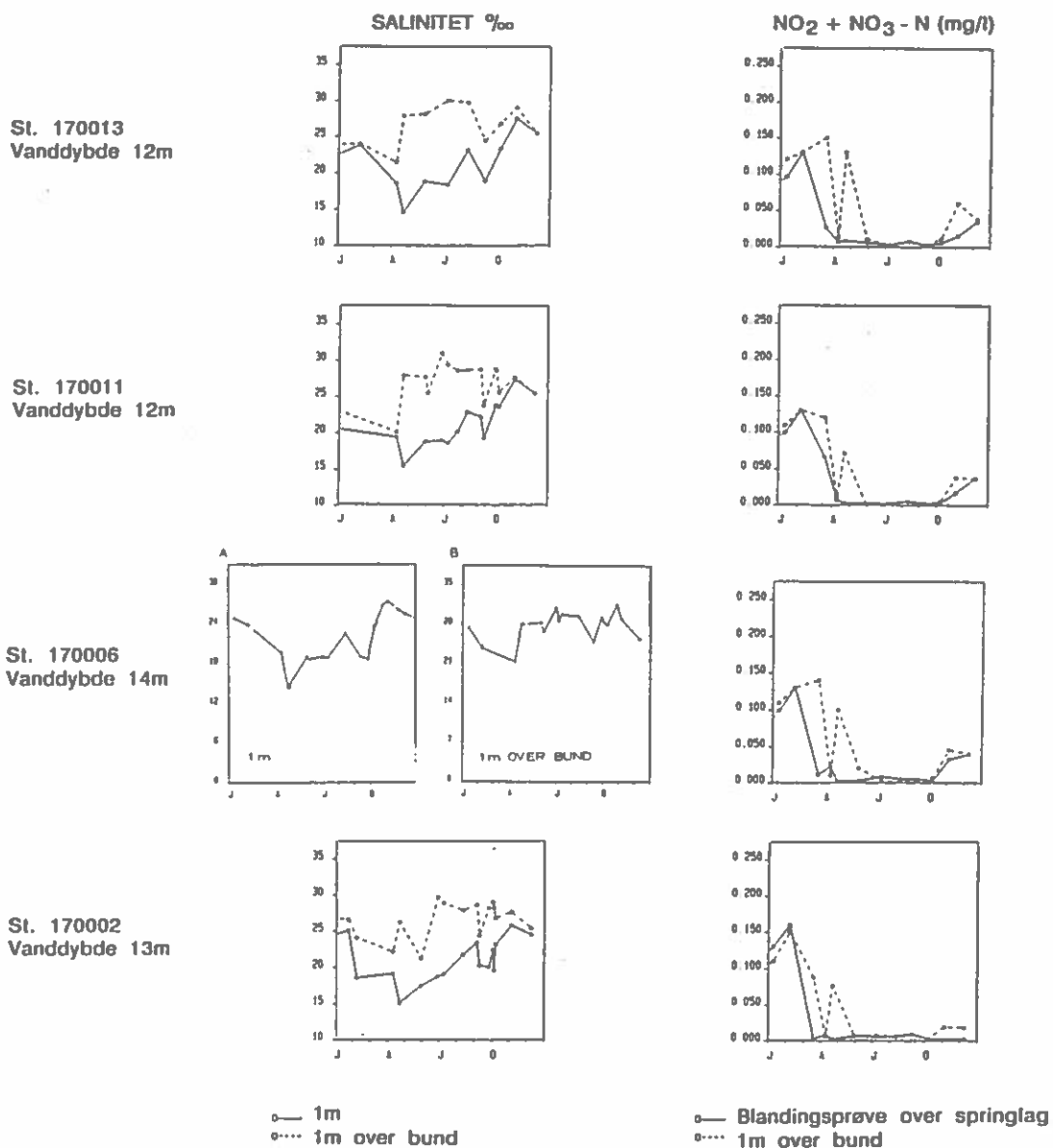
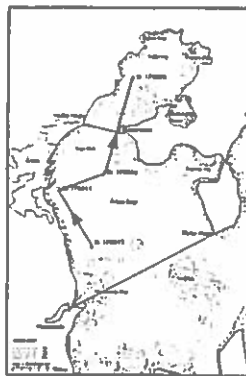


Fig. 7.2 Salt- og NO_x målinger fra Århus Bugt og Kalø Vig 1989 (ref. 9).

Generelt vil vandskiftet i et sådan område være hurtigst i de dynamiske perioder.

7.3 Farvandet nord for Fyn - Vejle Fjord

I fig 7.3 og 7.4 er vist saltholdigheds og NO_x registreringer foretaget af henholdsvis Fyns Amt (ref. 10) og Vejle Amt (ref. 11) i området nord for Fyn. På fig. 7.3 er endvidere medtaget Fyns Amts registreringer fra Fynshoved (St. 09).

Området ligger inden Snævringen i Lillebælt, hvor vandmassen normalt opblandes fuldstændig for herefter at strømme videre, eventuelt i skillefladen mellem øvre og nedre lag i det nedstrøms vandområde. Dette betyder at området nord for Fyn ikke får fornyet vandet i nedre lag sydfra gennem Lillebælt.

I 1989 er den overordnede hydrografi i området domineret af:

- den dynamiske januar-februar med sydgående strøm (indstrømning til Østersøen), som har tilført salt overfladevand og givet en meget svag lagdeling,
- den kraftige udstrømning i marts-april fra Østersøen, som reducerer overfladesaltholdigheden,
- den rolige periode maj-juni, hvor den svage opblanding giver mulighed for en kraftig lagdeling,
- en stigende overfladesaltholdighed i den dynamiske periode omkring 1. august (mulighed for lock-exchange SV-NØ),
- en generelt stigende overfladesaltholdighed i slutningen af året som følge af den kraftigere dynamik (opblanding).

Det nedre lag i området nord for Fyn synes at have været meget stillestående fra maj og året ud, i overensstemmelse med at der ikke har været de store ind- eller udstrømninger fra Østersøen i 2. halvår.

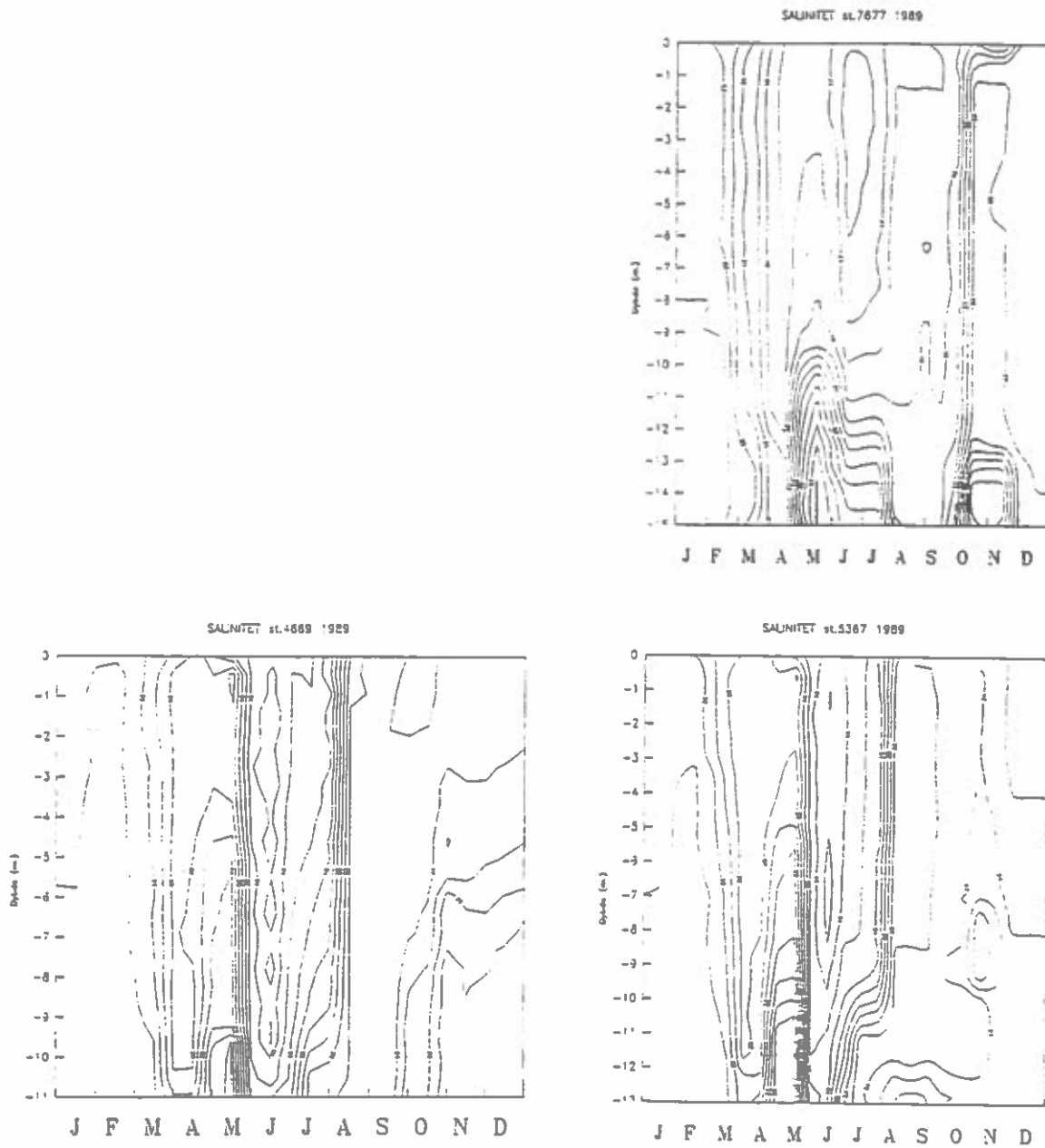
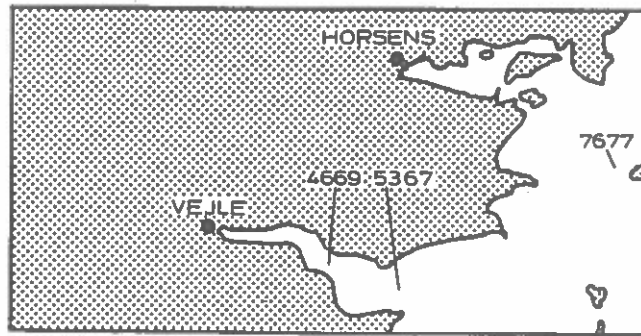


Fig. 7.4 Salt- og NO_x målinger fra den ydre del af Vejle Fjord 1989 (ref. 11).

I den ydre del af Vejle Fjord er forholdene parallelle til det ovenfor beskrevne. Specielt kan her bemærkes, at der tilsydelende er sket en større freskvandsafstrømning i juni, eventuelt forstærket af en mindre udstrømning fra Østersøen, som har fået saltholdigheden i fjorden til at falde. Fjorden er i øvrigt generelt vertikalt velblandet, på nær maj-juli hvor de rolige forhold giver mulighed for indtrængning af et saltere nedre lag.

7.4 Farvandet syd for Fyn - sydlige Lillebælt

I farvandet syd for Fyn og i det sydlige Lillebælt sker fornyelsen af nedre lag normalt ved tilstrømning gennem Storebælt og videre mod vest mod Als. Grundet den kraftige opblanding i Snævringen er tilstrømningen nordfra til nedre lag lille.

Den overordnede hydrografi i området har i 1989 været påvirket af følgende større hændelser:

- den kraftige dynamik i januar-februar, som næsten har opblandet vandsøjlen til 35 m dybde,
- en kraftig gennemstrømning i øvre lag i marts-april under udstrømningen fra Østersøen, hvor saltholdigheden reduceres og en kraftig lagdeling skabes,
- en tiltagende lagdeling i de stille måneder maj til medio juli, hvor saltholdigheden i nedre lag øges (tilstrømning fra Storebælt),
- en forøgelse af saltholdigheden i øvre lag i forbindelse med den dynamiske periode omkring 1. august (tilstrømning til nedre lag),
- en reduceret lagdeling i slutningen af året som følge af mere dynamik.

Generelt forventes overfladelaget i området at være meget påvirket af selv mindre udstrømningssituationer fra Østersøen.

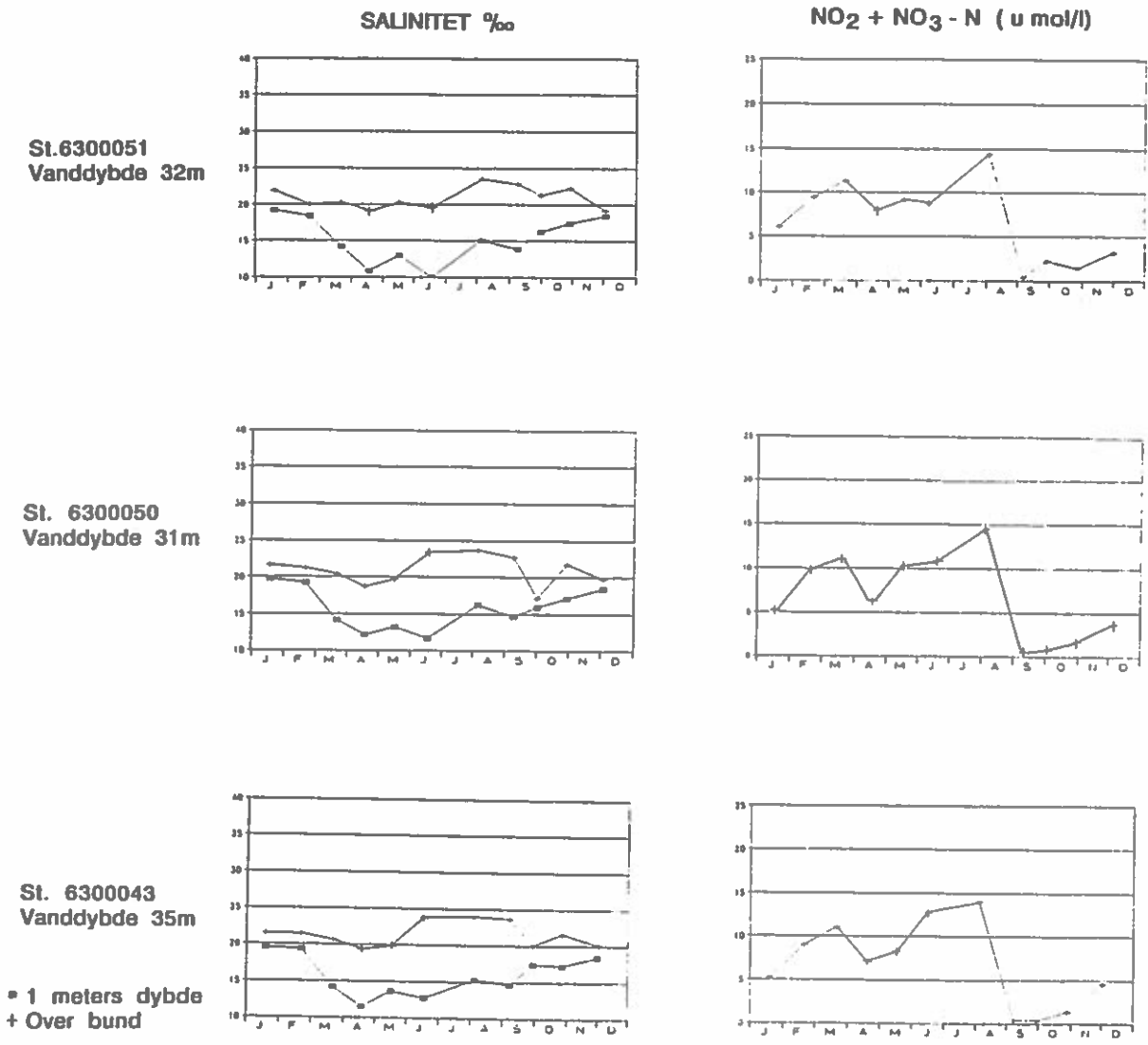
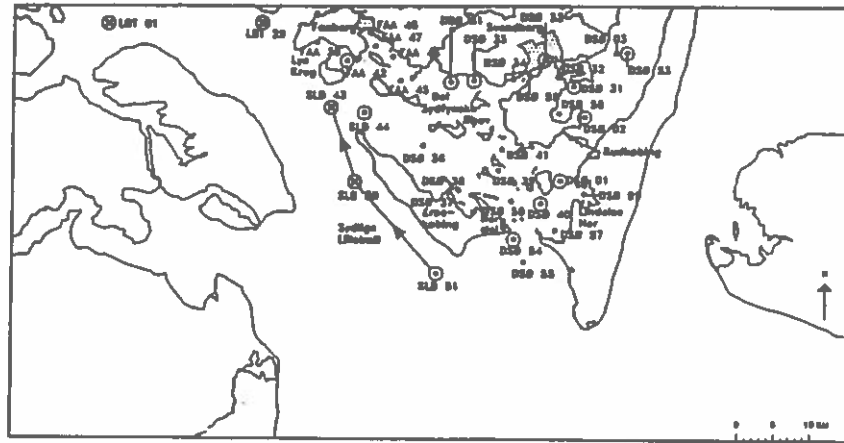


Fig. 7.5 Salt- og NO_x målinger fra området syd for Fyn 1989 (ref. 10).

8. REFERENCER

- 1: Analyse af ilt-sænkning i Kattegat, Bælthavet og V.Østersø. HAV-90 projekt. Hovedrapport, 1990. DHI/ISVA/DMU.
- 2: Sea Water Exchange of the Baltic, Measurements and Methods. The Belt Project. December 1980. By Torben Schelde Jacobsen. The National Agency of Environmental Protection, Denmark.
- 3: Rådata fra "Bøjeprojektet" (udleveret fra DF&H).
- 4: Jyllandsstrømmen - En transportmekanisme fra Tyske bugt til Kattegat?. NPO Projekt 4.11, 1988. Katherine Richardson, DF&H, og Torben Jacobsen, DMU.
- 5: Analysis of Time Series from the two Danish Light Vessels "Vyl" and "ER". HAV-90 projekt 2.05. Karsten Bolding Kristensen, ISVA.
- 6: Hydrografisk snit Torungen - Hirtshals 1989. Meldinger nr. 1 - 1990. Forskningsstasjonen Flødevigen.
- 7: Vandmiljø overvågning. Hav og fjord. Forvaltningen for teknik og miljø, Miljøkontoret. Nordjyllands Amt. Maj 1990.
- 8: Undersøgelser i Randers Fjord og Hevring Bugt. Notat. Miljøkontoret, Århus Amtskommune. Maj 1990.
- 9: De frie vandmasser, Århus Bugt og Kalø Vig, Status 1989. Teknisk rapport, foreløbig udgave, maj 1990. Miljøkontoret, Århus Amtskommune.

- 10: Vandmiljø overvågning, Kystvandene 1989. Vand- og miljøafdelingen, Teknik- og miljøforvaltningen, Fyns Amt. April 1990.
- 11: Vandmiljø overvågning, Vejle Amt 1989, Kystvande. Bilagsdel. Teknik og Miljø, Vejle Amt. (1990).
- 12: North Sea Conference 1989.

DANMARKS MILJØUNDERSØGELSER

Danmarks Miljøundersøgelser er en forskningsinstitution i Miljøministeriet.

Opgaverne er at varetage og rådgive om dataindsamling og øge kendskabet til de processer og sammenhænge i naturen, der er af betydning for såvel anvendelsen som beskyttelsen af Danmarks natur- og miljøverdier.

Desuden skal Danmarks Miljøundersøgelser udvikle værktøjer og metoder, der kan sikre en sammenhængende og konsekvent politisk prioritering samt formidle resultaterne af forskningen og rådgive offentlige myndigheder og private virksomheder.

Den overordnede ledelse af Danmarks Miljøundersøgelser varetages af en bestyrelse, mens den daglige ledelse varetages af direktør og vicedirektør. Institutionen er i øvrigt organiseret med et økonomi- og personalesekretariat, et forsknings- og udviklingssekretariat og syv forskningsafdelinger.

Direktør:

Direktør Henrik Sandbech
Vicedirektør John Tychsen
Direktionssekretær Jytte Keldborg

Økonomi- og personalesekretariat:

Sekretariatschef Marianne Viltøft

Forsknings- og udviklingssekretariat:

Vicedirektør John Tychsen

Adresse: Danmarks Miljøundersøgelser

Thoravej 8, 2400 København NV

Tlf. 31 19 77 44

Telefax: 38 33 26 44 og 31 19 76 92

Forskningsafdelinger:

Afd. for Forureningskilder og Luftforurening

Forskningschef: Christian Lohse
Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde
Tlf. 42 37 11 37. Telefax: 42 37 21 03

Afd. for Miljøkemi

Forskningschef: Kons. forsk.chef Niels H. Spliid
Mørkhøj Bygade 26, 2860 Søborg
Tlf. 31 69 70 88. Telefax: 31 69 88 07

Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi

Forskningschef: Mærte Reuss
Jagersborg Allé 1B, 2920 Charlottenlund
Tlf. 31 61 14 00. Telefax: 31 61 09 06

Afd. for Ferskvandsøkologi

Forskningschef: Torben Moth Iversen
Lysbrogade 52, 8600 Silkeborg
Tlf. 86 81 07 22. Telefax: 86 81 14 13

Afd. for Terrestrisk Økologi

Forskningschef: Hans Løkke
Vejlsøvej 11, bygn. J., 8600 Silkeborg
Tlf. 86 81 60 99. Telefax: 86 81 49 90

Afd. for Flora- og Faunøkologi

Forskningschef: Helmuth Strandgaard
Grenåvej 12, 8410 Rønde
Tlf. 86 37 25 00. Telefax: 86 37 24 35

Afd. for Systemanalyse

Forskningschef: John Holten-Andersen
Thoravej 8, 2400 København NV
Tlf. 31 19 77 44. Telefax: 38 33 26 44

Konsulent i systemeksport: Hans Flyger

Frederiksborgvej 399, 4000 Roskilde
Tlf. 42 37 11 37. Telefax: 42 37 21 03

4 DEC 1960

