

551.044
B6

NPo-forskning fra Miljøstyrelsen

Nr. C6 1990

Jyllandsstrømmen



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

**NPo-forskning fra Miljøstyrelsen
Nr. C6 1990**

Jyllandsstrømmen

**En transportmekanisme
fra Tyske Bugt til Kattegat?**

Katherine Richardson
Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser

Torben Jacobsen
Danmarks Tekniske Højskole

**MILJØSTYRELSEN
BIBLIOTEK
STRANDGADE 58
1401 KØBENHAVN K.**

**Miljøministeriet
Miljøstyrelsen**



<u>Indhold</u>	Side
1. Indledning	5
2. Fremgangsmåde	7
2.1 Baggrund	
2.2 Finansiering og projektledelse	
3. Hydrografisk oversigt	10
3.1 Nordssøens og Skagerraks hydrografi	
3.2 Kattegats hydrografi	
4. Evaluering af data fra Jyllandsstrømmen og Skagerrak	20
4.1 Hydrografiske data	
4.2 Satellitbilleder	
4.3 Konklusion	
5. Radioaktive sporstoffer	30
5.1 Metodens baggrund	
5.2 Resultater	
5.3 Diskussion og forslag til fremtidigt arbejde	
6. Numeriske modeller	35
6.1 Oversigt over modeller	
6.2 Krav til modellen	
6.3 Gennemgang af de udvalgte modeller	
6.3.1 Backhaus' model	
6.3.2 Stigebrandts model	
6.3.3 DHI's model	
6.4 Konklusion	
7. Spredningsmekanisme i Jyllandsstrømmen	44
7.1 Modellens grundlag	
7.2 Fremgangsmåde	
7.3 System 21 - 1. ordens modellen	
7.4 Resultater	
7.5 Konklusion	
8. Sammenfatning og forslag til yderligere undersøgelser	57
Litteraturliste	61



1. Indledning

Den foreliggende rapport beskriver resultaterne af et forskningsprojekt om Jyllandstrømmen, som er gennemført i årene 1986 og 1987. Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser har haft projektledelsen og fra begyndelsen udført projektet i samarbejde med Miljøstyrelsens Havforureningslaboratorium, det nuværende Danmarks Miljøundersøgelser, Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi.

Arbejdet med modellering af Jyllandstrømmen er sket som et samarbejdsprojekt med to yderligere partnere: Institutet for Strømningsmekanik og Vandbygning, Danmarks Tekniske Højskole samt Dansk Hydraulisk Institut.

Helsefysisk Afdeling på Forskningscenter Risø har ydet et værdifuldt bidrag til opklaring af Jyllandstrømmens indtrængning i Kattegat ved hjælp af radionukleider.

Projektet tog udgangspunkt i at undersøge om det kunne sandsynliggøres, at der kun trænger beskedne vandmængder fra Tyske Bugt ind i Kattegat. Hvis det var tilfældet, ville det ikke være nødvendigt at kvantificere stoftransporten.

Denne antagelse har imidlertid ikke holdt stik. Ved hjælp af radionukleider er det sandsynliggjort, at en betydelig del af Kattegats bundvand har sin oprindelse i Tyske Bugt, muligvis op til halvdelen eller noget mere.

Rapporten indeholder derfor en anbefaling til at iværksætte en hydrodynamisk beskrivelse af vandtransporten i Skagerrak, således at transportens tidsvariation kan beskrives og kvantificeres. Endvidere anbefales det at forbedre metoden med radionukleider ved at anvende Technetium-99 som sporstof.



2. Fremgangsmåde

2.1 Baggrund

Af Miljøstyrelsens NPO-redegørelse (1984) fremgår, at den primære produktion i det åbne Kattegat i det væsentligste afhænger af næringssalttilførsler fra Skagerrak. Således vil en halvering af tilførslen af N (Kvælstof) og P (Fosfor) fra tilstødende havområder føre til en 25% reduktion i produktionen, mens en halvering af bidragene fra land giver en reduktion, der er en størrelsesorden mindre. Disse resultater skyldes en biologisk model opstillet af VKI (Vandkvalitetsinstituttet, Miljøstyrelsen (1984)), som er baseret på en hydrodynamisk model opstillet af LIC-consult (Jacobsen & Ottesen Hansen, 1985). Resultaterne skal betragtes med en del forbehold, da simuleringen kun omfatter sommerhalvårene 1975-81, og opbygningen af en "pool" af næringssalte gennem vinteren bliver derfor ikke modelleret. Endvidere er nærings-saltkoncentrationerne på grænsen mod Skagerrak noget usikre og den hydrodynamiske models nordlige randbetingelse, et densimetrisk Froudetal på 1 (kritisk strømning), er en ret grov approximation.

Samme redegørelse (Miljøstyrelsen, 1980) rejser spørgsmålet om der føres væsentlige mængder næringssalte ind i Kattegat med Jyllandsstrømmen - og om forureningen af Tyske Bugt har konsekvenser for forholdene i Kattegat. Kvælstof er begrænsende for produktionen i det åbne Kattegat om sommeren, og der er i Jyllandsstrømmen blevet målt forhøjede kvælstofværdier i forårs månederne i nogle år (1981 og 1983). Rapporten antyder muligheden af en tilførsel fra Tyske Bugt til nordlige Kattegat på 10.000 - 100.000 tons/år, hvilket skal sammenlignes med den mængde som anslås at komme med det Atlantiske vand, størrelsesordenen 100.000 tons.

NPO redegørelsen har med disse formodninger efterladt nogle ubesvarede spørgsmål. Med denne redegørelse tages det første skridt til at besvare dem.

Nordøsen modtager
ca 1 mill t N
pr år

Nordsøen modtager ca. 970.000 tons total-N/år,
og heraf stammer 43% fra Rhinen/Meuse og 14%

fra Elben. Det er derfor nærliggende at undersøge om disse udledninger har betydning for Kattegat.

Indre danske farvande modtager ca. 180.000 tons N pr år

Den direkte belastning af de indre farvande (Kattegat, Balthavet og Øresund) er opgjort til 130.000 tons total-N/år (udledninger) hvortil kommer et bidrag fra atmosfæren på 47.000 tons.

Transporten mellem Kattegat og Skagerrak er fra svensk side (Rydberg, 1987) blevet opgjort til en nordgående nettotransport på 115-130.000 tons total-N/år. Dette tal er ikke i sig selv særlig interessant, da det ikke oplyser noget om fordelingen på uorganisk og organisk kvælstof, og heller ikke om tidspunkt og intensitet af indstrømninger nordfra.

En simpel overslagsregning over en tilførsel kan opnås ved at betragte en situation hvor der i 10 dage strømmer vand ind i Østersøen med en intensitet på 100.000 m³/s. For en vindhastighed på 10 m/s vil det yderligere give en opadrettet medrivning i Kattegat på 50.000, altså en indstrømning til Kattegat på 150.000 m³/s. Hvis man antager en koncentration på 10 ugat N/l så bliver tilførslen fra Skagerrak 18.000 tons N på 10 døgn.

N transporten varierer meget

Det fremgår af dette eksempel, som repræsenterer en typisk vestenvindssituation, at variabiliteten af kvælstoftransporten spiller en stor rolle.

Kattegat tilføres vand fra nord dels i form af Atlanterhavsvand, dels fra Jyllandsstrømmen, og dels som recirkuleret Baltisk vand. De forskellige bidrag og deres årsvariation er ikke kendt.

Den mest præcise måde at undersøge effekten på Kattegat af udledningerne til Tyske Bugt er at udvide Kattegatmodellen så at floderne indgår i modelranden, og dernæst simulere en reduktion af deres næringssaltbidrag. Dette vil dog være en meget kostbar løsning, idet ikke blot hydrauliske processer, men også transport og omsætning af næringssalte skal modelleres. Der er stadig uløste problemer i forbindelse med disse omsætninger.

Hvis det imidlertid kan påvises, at det kun er små mængder vand, der strømmer fra Tyske Bugt langs den Jyske vestkyst og ind i Kattegat, så er næringssaltbidraget også tilsvarende beskedent selv om det ikke kan kvantificeres. Formålet med projektet var fra begyndelsen at undersøge om denne antagelse kan opretholdes.

ikke var muligt at modellere hydraulikken i Skagerrak, og projektet har derfor kun været i stand til at beskrive Jyllandsstrømmen i Nordsøen op til Skagerrak.

Projektets formål

Det bevillingsmæssige grundlag for projektet var en ansøgning i første halvdel af 1986 til NPO-sekretariatet, hvori følgende elementer blev foreslået:

- Sammenfatning af eksisterende data om vandbevægelse, hydrografi og fordeling af nærings-salte i Jyllandsstrømmen, Skagerrak og det nordlige Kattegat.
- Undersøgelse af muligheden for at anvende konservative sporstoffer (radioaktivt cæsium og strontium fra Sellafield og Cap de la Hague) til at studere vandtransporten fra Tyske Bugt til Kattegat.
- Evaluering af eksisterende numeriske/analytiske modeller med henblik på at kunne beregne vandtransporten fra Tyske Bugt til Kattegat.

Disse tre delopgaver er afsluttet og beskrives i den foreliggende rapport.

Anvendelse af radioaktive isotoper

I løbet af undersøgelsen blev det klart at ingen af de eksisterende matematiske modeller på tilfredsstillende vis kunne gøre rede for vandtransporten. Samtidig blev der sat et foreløbigt punktum for anvendelsen af radioaktive isotoper af cæsium og strontium med Chernobyl-udslippet i maj 1986, så at kun allerede indsamlede data har kunnet evalueres. Det har dog vist sig i slutningen af 1987 at stoffet Technetium-99 giver meget lovende muligheder for metodens fortsatte anvendelse.

Det blev derfor besluttet af undersøge spredningen af stof i Jyllandsstrømmen efter en teori foreslået af Prof. Fl. Bo Pedersen. Dette er et vigtigt første skridt på vejen og det er blevet gennemført med yderligere støtte fra Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det løser ikke hele problemet med transporten fra Tyske Bugt til Kattegat, idet transporten gennem Skagerrak ikke kan beskrives med denne model. Arbejdet foreslås fortsat med opstilling af en model for cirkulationen i Skagerrak, og for Jyllandsstrømmens integration med denne.

2.2 Finansiering og projektledelse

Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser (DF&H) fik fra 1986 bevilget 200.000 kr fra NPO-midlerne til projektet om Jyllandsstrømmen. Havforureningslaboratoriet (HFL) arbejdede allerede fra begyndelsen med i projektet, der som nævnt siden blev udvidet til at omfatte modellering af spredning i Jyllandsstrømmen. Dette modelarbejde har formet sig som et samarbejdsprojekt mellem DF&H og HFL, Instituttet for Strømningsmekanik og Vandbygning ved Danmarks Tekniske Højskole (ISVA) og Dansk Hydraulisk Institut (DHI). Modeldelen modtog en ekstra støtte på 120.000 kr i 1987 fra Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Beregningen af vandtransporten til Kattegat ved hjælp af radionukleider er foretaget af Helsefysikafdelingen på Risø. Den foreløbige konklusion forelå i december 1986 og den er blevet underbygget ved at medtage yderligere et antal cæsiumprøver fra Kattegat, som først har kunnet måles i 1987 med et nyanskaffet, mere følsomt udstyr. Til rapportering af sidste cæsiumprøver er der bevilget 50.000 kr fra Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

3. Hydrografisk oversigt

3.1 Nordsøens og Skagerraks hydrografi

Nordsøen har et areal på 575.000 km² og et volumen på 40.000 km³ (excl. Skagerrak), hertil svarer en middeldybde på 70 m. Dybderne i den sydlige Nordsø er 20-40 m og de tiltager mod nord (40-150) med meget store dybder i Norske Rende (250-400 m, maximum over 700 m i Skagerrak), fig. 3-1. For studier af vandudvekslingen (ICES, 1983) er Nordsøen opdelt i en række bokse, fig. 3-2.

Tidligt på sommeren dannes en termoklin i det meste af Nordsøen, dog ikke i området ved den Engelske Kanal og på lavt vand, hvor blandingen er kraftig på grund af ringe dybder og store tidevandsamplituder, se fig. 3-3. Termoklinen fører til en adskillelse af overflade- og bundvand, således at residualstrømme i de to lag kan være ret forskellige. Efterårsstorme nedbryder atter lagdelingen. Den termiske lagdeling er beskrevet i Tomczak

(1964), hvorfra et eksempel er vist i fig. 3-4.

Det er vanskeligt at inddele et lavvandet område som Nordøen i vandtyper og vandmasser. Saliniteten er den eneste konservative størrelse, som der er tilstrækkeligt med observationer af. Laevastu (1963) inddeler i 8 typer, men kun for overfladevandet (fig. 3-5). Lee (1980) foretrækker 6 grundlæggende vandmasser, som fremgår af Laevastu's indeling, idet Northern North Sea Water og Central North Sea Water betragtes som blandinger af de andre 6.

De 3 primære vandmasser er: North Atlantic Water, som kommer ind mellem Shetlandsøerne og Norge, Channel Water gennem den Engelske Kanal, og Skagerrak Water, som skyldes den Baltiske udstømning. North Atlantic Water og Channel Water findes som regel udstrakt fra overflade til bund, mens Skagerrak Water ligger over vand af nordatlantisk oprindelse i den dybe rende langs Norges sydvestkyst.

De advective middeltransporter er opgjort i ICES (1983), baseret på modelberegninger. Baseret på de bokse, som er vist i fig. 3-2 er beregnet transporterne vist i fig. 3-6. Hovedparten af det indstrømmende vand kommer ind mellem Shetlandsøerne og Norge (1.3 Sv eller 70%), mens der mellem Orkney og Shetlandsøerne kun kommer 0.3 Sv. (Gennem den Engelske Kanal kommer 0.15 Sv. Tilførslen fra Østersøen og Kattegat er netto 0.02 Sv ferskvand (515), men på grund af opblanding med saltere vand er udstømningen i Kattegats overfladevand godt 5 gange større, 0.09 Sv med en salinitet på ca. 27 ppt., mens indstrømningen til Kattegats bund er 515 km³/år mindre, dvs. 0.07 Sv med en salinitet på 33 ppt. De to saliniteter og vandmængder forudsætter at Knudsens teorem er opfyldt.

Udstømningen fra Nordøen sker langt overvejende i den Norske Kyststrøm, 1.8 Sv eller 98% af budgettet. Heraf hidrører 1.0 Sv fra Skagerrakhvirvlen, mens de resterende 0.8 Sv tilføres kyststrømmen mens den løber langs den Norske vestkyst (Boks 6 i fig. 3-6).

Situationen i Skagerrak er skitseret i fig. 3-7. Atlantisk vand, ca. 0.8 Sv fra vest og vand fra Jyllandsstrømmen, ca. 0.2 Sv tilføres til Skagerrak, samtidig med at en ringe mængde, 0.09 Sv med ret lav salinitet, ca. 27 ppt. strømmer mod nord langs den Svenske kyst og indgår i hvirvlen. Fra Skagerrak trækkes 0.07 Sv ind i Kattegats bundvand, drevet af

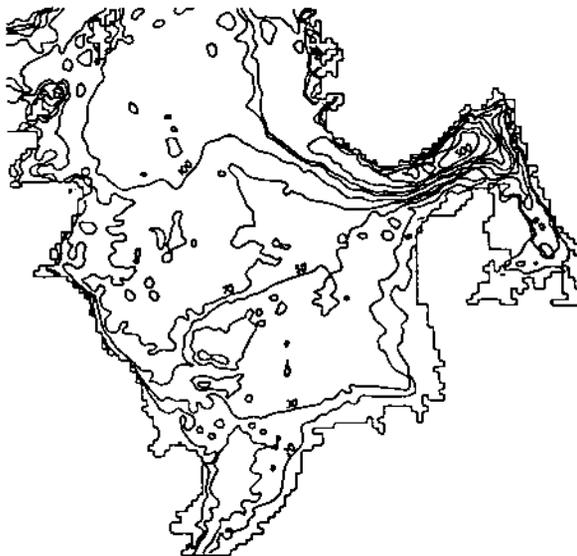
vertikal medrivning i Kattegat og af indstrømning over tærsklerne til Østersøen (Sündermann & Lenz, 1983; Hainbucher et al., 1986). Opgaven er altså i dette dynamisk komplicerede område at fastslå i hvor høj grad Jyllandsstrømvandet indgår i Kattegats bundvand.

Vinden af stor betydning for transport

Den variabilitet, som ofte observeres i Den Norske Kyststrøm, kan relateres direkte til variationer i vinden. Vestenvind holder det brakte overfladelag tilbage i Skagerrak mens den cyklonale cirkulation samtidig forstærkes. Når vinden aftager eller endog får en østlig komponent, forlader vandet Skagerrak med høj hastighed (Aure & Sætre, 1981).

I blokeringsituationer med vestenvind kan der dannes en markant temperaturfront mellem Danmark og Norge, se fig. 3-8. Vand fra Jyllandsstrømmen vil sandsynligvis kunne strømme tværs over Norske Rende i stedet for at gå ind i Skagerrak. Disse betragtninger skyldes Sætre (1983).

Figur 3.1
Dybdekort over
Nordsøen (m)



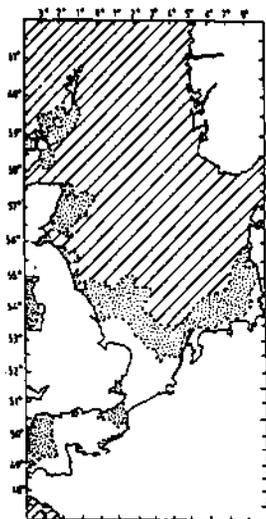


Fig. 3.3

Den beregnede udbredelse af vand som er lagdelt om sommeren (skraveret); velblandet hele året (ikke udfyldt); overgangs-område (prikket)

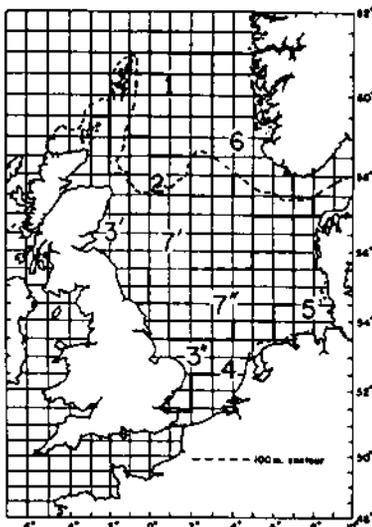


Fig. 3.2

Underinddeling af Nordsøen, anvendt til studier af "flushing time" (ICES, 1983).

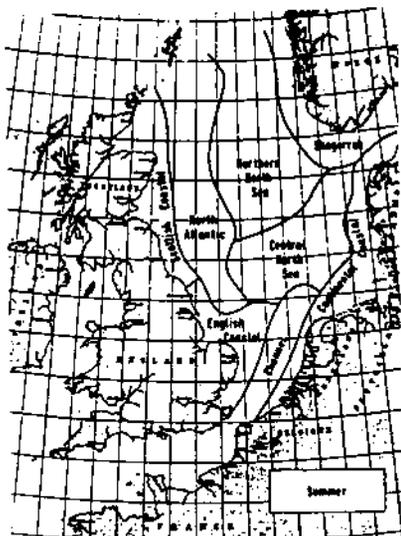


Fig. 3.5

Inddeling af Nordsøens vandmasser om sommeren, (fra Laevastu, 1963).

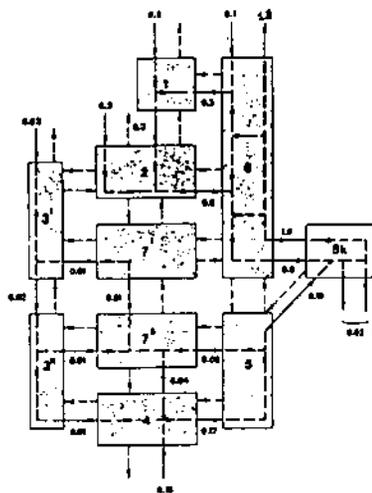
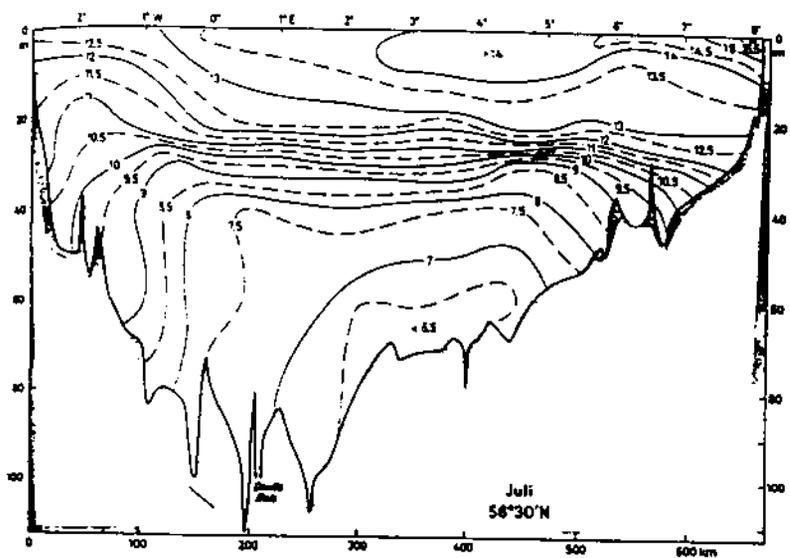
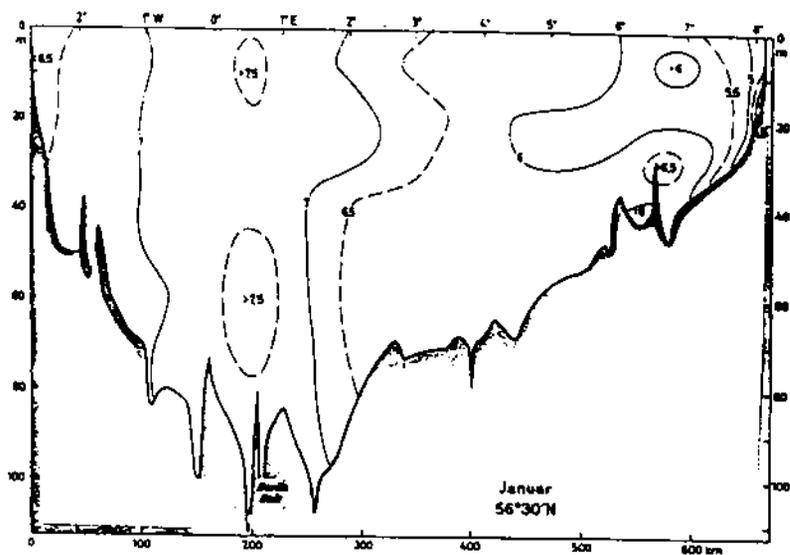


Fig. 3.6

Advective transporter i Nordsøen. Kasserne er defineret i figur 3-2. Transporter i $10^6 \text{ m}^3/\text{s}$. (fra ICES, 1963).



Figur 3.4

Den gennemsnitlige temperaturfordeling i Nordsøen langs en breddegrad på højde med Limfjorden. Sommer- og vintersituation (Tomczak & Goedeke, 1964)

Fig. 3.7

Tilførsel af vand til Nord-
søen, og cirkulationen i
Skagerrakvirvlen.

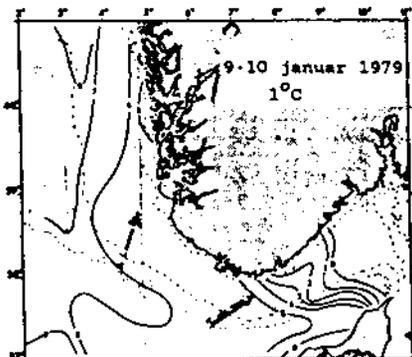
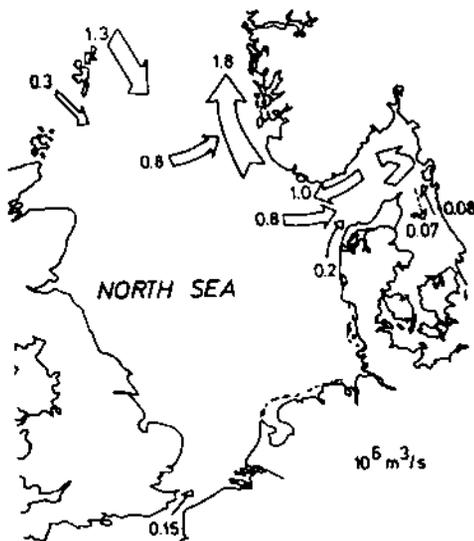


Fig. 3.8a

Fordeling af overfladetempera-
turen under en blokerings situa-
tion i Skagerrak (Aure & Sætre,
1981).

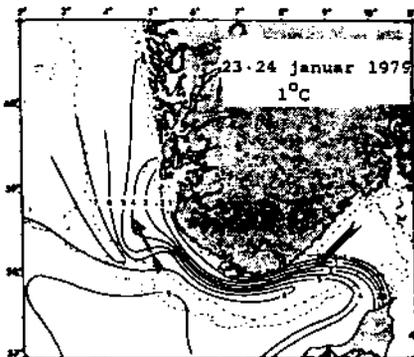


Fig. 3.8b

Fordeling af overfladetempera-
turen under en udstørmings situa-
tion i Skagerrak (Aure & Sætre,
1981).

3.2 Kattegats hydrografi

Kattegat hører til de indre farvande, og adskilles fra Skagerrak ved en linie fra Skagen til Pater Noster skærene nord for Gøteborg. Overfladearealet er 22.100 km² og volumen 509 km³. En fortsættelse af Norske Rende skærer sig ned i den østlige del med dybder i det nordlige på over 100 m, men er aftaget til 40 m øst for Anholt og er kun 30 m ved indgangen til Sundet. Tværsnittet ved nordgrænsen er vist i figur 3-9, hvor den dybe rende i den østlige del ses tydeligt.

Springlagets beliggenhed

Kattegat har en markeret salinitetslagdeling på grund af det udstrømmende Baltiske vand. Springlaget stiger fra ca. 10 m dybde i det sydlige Kattegat til det møder overfladen nær grænsen til Skagerrak. Denne nordlige front er dog ret bevægelig og styres af de vindgenererede ud- og indstrømninger.

Indstrømningen af vand nordfra er blevet undersøgt mest grundigt ved et svensk måleprojekt, hvor man fra 1974 til 1977 foretog målinger i et snit mellem Frederikshavn og Gøteborg (Svansson, 1984a; Szaron, 1979). Strømfiler blev opmålt gennem de ialt 75 togter, og der var udlagt selvregistrerende målere på 3 positioner.

Vandudvekslingens størrelse

Den målte udstrømning i det øvre lag udgjorde 2323 km³/år og indstrømningen i bundlaget var 1070 km³/år. Nettoudstrømningen på 1253 km³/år er klart mere end 2 gange for stor, hvad der også påpeges i rapporten (Szaron, 1979). Forfatteren antager at der er strømnet mere vand ind end de dybe målinger har registreret, og hvis man antager at netto salttransporten skal være nul, så skal indstrømningen i bundlaget forøges til 2010 km³/år. Disse tal, og den tilsvarende nettoudstrømning på 313 km³/år er ikke langt fra hvad man kan beregne med Knudsens teorem, eller fra den nettoudstrømning på 515 km³/år, som kan beregnes af ferskvandsoverskuddet (se nedenfor).

Vandudvekslingen mellem Kattegat og Skagerrak kan i sin simpleste form udtrykkes som et tal: den vandmængde, der i et givet øjeblik strømmer gennem hele tværsnittet. Hvis denne vandmængde midles over tilstrækkelig tid (adskillige år) så skal den svare til det ferskvands- eller underskud, som opstår i det lukkede havområde som udgøres af de danske farvande og Østersøen.

Dette tal, som er flodvandstilførsel og nedbør med fradrag for fordamning, er opgjort til ca. 515 km³/år eller 16.300 m³/s (inkl. Gøtaelven). Den øjeblikkelige transport kan være langt større - således er den maksimale gennemstrømning gennem Sundet og Bælterne skønnet at være ca. 400.000 m³/s i kortere tidsrum (Jacobsen, 1980).

Den totale transport betegnes også den barotrope transport og er illustreret i fig. 3-10A (middelværdien). Ordet "barotrop" indebærer at der ikke oplyses noget om strømmens variation med dybden.

Middel ud/ind-
strømning

Hvis man antager at den samlede mængde af salt som indeholdes i de danske farvande og Østersøen er konstant i middel over en længere år-række, og yderligere angiver middelsaltholdigheden i det øvre og nedre lag i tværsnittet, så kan man beregne, at der i middel strømmer vand ind i det nederste lag og ud i det yderste ("Knudsens teorem"). Martin Knudsen (1899) har selv foreslået at anvende middelsaltholdighederne 27 og 33 ppt, og med disse tal finder man at middeludstrømningen er 2830 km³/år og indstrømningen er 515 km³ mindre, dvs. 2315 km³/år. Dette er illustreret i fig. 3-10B og er altså en udvidelse af informationen i fig. 3-10A.

Nu er transporten i såvel øvre som nedre lag stærkt fluktuerende og vil i nogle perioder være rettet ind, i andre ud. Hvis den samlede udadrettede transport udgøres for sig, og tilsvarende for den indadrettede, så kan fig. 3-10A og B udvides til C og D. Størrelsen af det fluktuerende vandskifte er dog ikke kendt i dette snit, til sammenligning er vist tilsvarende diagram for snittet Gedser-Darss fig. 3-11, som omfatter transporten gennem Storebælt og Lillebælt. Skønsmæssigt vil den totale ud- og indstrømning i Skagen-Pater Noster snittet fremgå af Gedser-Darss transporten med et tillæg for Øresund på ca. 30% hvortil kommer effekten af volumenvariationer i Kattegat og Bælthavet.

Vandmasserne til
Kattegat har til
dels forskellig
salinitet

Det vand, der strømmer ind i Kattegat fra nord, stammer dels fra Nordatlanten og dels fra Jyllandsstrømmen. Det er ikke muligt ved hjælp af saliniteten at skelne mellem vand af Nordatlantisk oprindelse og vand fra Jyllandsstrømmen, da begge vandtyper har en lavere salinitet end den helt oceaniske. Det Nordatlantiske vand er ved mødet med det mere saltfattige Skagerrakvand blevet mindre saltrigt, og det vand som fra Tyske Bugt indgår i Jyl-

landsstrømmen er blevet beriget med salt. Kun i Skagerraks dybere dele (normalt dybere end 100 m) træffes vand med over 35 ppt. som derfor med sikkerhed vides at stamme fra Nordatlanten.

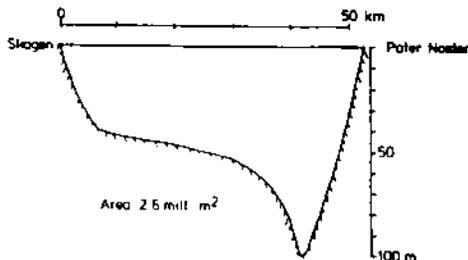
Mulighederne for at skelne mellem oprindelsesstederne er derfor begrænset til to: Enten at følge vandet og dets opblanding ved hjælp af modelberegninger, eller at følge det ved hjælp af andre karakteristiske egenskaber end saltet.

Modeller kan beskrive vandstrømme til/fra Kattegat

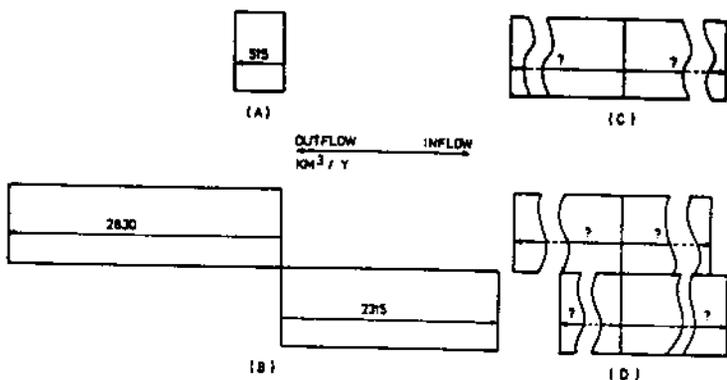
Den første metode kræver en model for Nordøen, som også omfatter dynamikken i Skagerrakhvirvlen, og som er koblet til en model for Kattegat. Der er tidligere udviklet en model for Kattegat (Jacobsen & Ottosen Hansen, 1985, som eventuelt ville kunne indgå i en større model, omend dens nordlige randbetingelse, et densimetrisk Froudetal på 1 svarende til kritisk strømning, må betragtes som en ret grov approximation.

I nærværende undersøgelse er også udviklet en model for selve Jyllandsstrømmen, som beskriver transporten og spredningen. Imidlertid kan den kun føre vandet til Skagerrakhvirvlen, som det ikke har været muligt at opstille en model for inden for denne undersøgelses rammer.

Den anden metode - en udnyttelse af specielle karakteristiske egenskaber - er udført i et vist omfang. Det har vist sig at udslip af radionukleider fra det franske atomopbejdningsanlæg Cap de la Hague i Normandiet har en karakteristisk sammensætning således at de kan skelnes fra udslip fra det andet europæiske anlæg Sellafield, beliggende ved det Irske Hav. Udslippene fra Cap de la Hague strømmer ind i Nordøen fra syd, mens forureningen fra Sellafield kommer ind nord om Skotland, altså sammen med det Nordatlantiske vand.



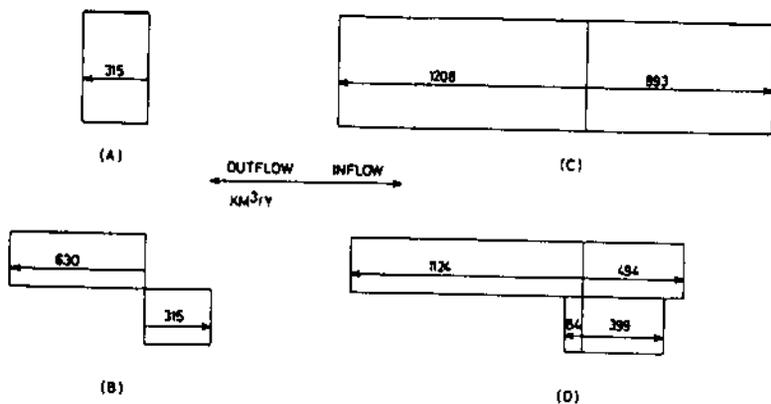
Figur 3.9
Bundprofilen i snittet Skagen-Pater Noster, indgangen til Kattegat.



Figur 3.10

Forskellige fremstillinger af vandudvekslingen i snittet Skagen-Pater Noster.

- A. Netto middelstrømning uden information om den vertikale fordeling
- B. Middelstrømning i øvre og nedre lag (Knudsens teorem).
- C. Total udstømmende og total indstrømmende vandmængde uden information om den vertikale fordeling.
- D. En kombination af B og C.



Figur 3.11

Forskellige fremstillinger af vandudvekslingen i snittet Gedser-Darss.

- A. Netto middelstrømning uden information om den vertikale fordeling.
- B. Middelstrømning i øvre og nedre lag (Knudsens teorem).
- C. Total udstømmende og total indstrømmende vandmængde uden information om den vertikale fordeling.
- D. En kombination af B og C.

4. Evaluering af data fra Jyllandsstrømmen og Skagerrak

4.1 Hydrografiske data

Hydrografiske og kemiske data fra forskellige havforskningsinstitutioner fra ind- og udland er blevet samlet indenfor dette projekt med henblik på at erkende "trends" i forholdet til de forskellige vandmasser i Jyllandsstrømsområdet som funktion af f.eks. årstiderne. En oversigt over de forskellige hydrografiske og kemiske parametre fra de undersøgelser, der indgik i sammenfatningen, er vist i tabel 4-1.

Jyllandsstrømmen findes ikke altid langs hele kysten

Disse data viser, at Jyllandsstrømmen ikke er et konstant fænomen. Under nogle forhold kan vand med lav salinitet kun findes langs den sydligste del af vestkysten (f.eks. figur 4-1). Når dette er tilfældet ses det ofte, at vand af ca. 34 o/oo trænger ind til kysten i nærheden af Limfjorden, mens vand af mindre end 34 o/oo kun findes syd herfor. Andre gange findes der vand med lav salinitet hele vejen op langs Vestkysten til Skagen (figur 4-2). Der findes selvfølgelig også eksempler på vandmasseforekomster, der kan beskrives som stadier mellem disse to ekstreme forhold (figur 4-3).

Det er transporten af vand med lav salinitet fra den sydlige Nordsø (Tyske Bugt) langs vestkysten, der betegnes som Jyllandsstrømmen. Oversigtskort af hydrografiske parametre som bliver præsenteret her, kan ikke oplyse noget om selve strømmen, men udbredelse af vand med lav salinitet fra den sydlige Nordsø langs Vestkysten kan bruges til at beskrive, hvilke områder der er påvirket af Jyllandsstrømmen på et givent tidspunkt.

Sammenligning af både hydrografiske data og satellitbilleder (se afsnit 4.2) viser, at de to ekstreme konfigurationer af Jyllandsstrømmen samt de forskellige mellemstadier forekommer på alle årstider, d.v.s. at der ikke findes et udprøvet årstidsmønster i udbredelsen af Jyllandsstrømmen.

Mængden af næringsstoffer aftager fra syd mod nord

Med hensyn til næringssaltkoncentrationer kan der som regel konstateres højere koncentrationer for alle saltene (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , SiO_2) i forbindelse med det vand med lavere salinitet der findes langs vestkysten end i den øvrige Nordsø. Generelt kan man sige at koncentrationen af alle næringssaltene aftager fra syd til nord i Jyllandsstrømmen, men der

kan, især under østenvind, forekomme "lommer" af næringsrigt vand i nærheden af Limfjorden.

Næringsssaltkoncentrationer i Jyllandsstrømmen er betinget af årstiderne. De højeste koncentrationer ses i sen vinter/tidligt forår (februars) medens lave koncentrationer forekommer om sommeren. Nitrat (NO_3^-) koncentrationer af op til 70 $\mu\text{g l}^{-1}$ har været målt i Tyske Bugt i februar måned.

Forekomsten af de forskellige næringsalte viser nogenlunde samme fordelingsmønster som salinitet, med de højeste næringssaltkoncentrationer i vand med laveste salinitet. Det er bl.a. det, der giver anledning til, at man tror, at den største del af næringssaltene i Jyllandsstrømmen oprindeligt stammer fra de store europæiske floder ved deres indstrømning til den sydlige del af Nordsøen.

Et plot af nitrat (NO_3^-) koncentration som funktion af salinitet på Havforureningslaboratoriets togt 48 i Feb. 87 (figur 4-4) viser en meget tæt kobling mellem disse to parametre ($r^2 = 0.85$). Det tyder på, at på det tidspunkt opførte NO_3^- sig som et konservativt stof, og årsagen til de aftagende koncentrationer målt fra syd til nord er sandsynligvis fortynding af næringsrigt vand med næringsfattigt vand af høj salinitet (Nordsøvand). Det er typisk for vinterperioden (dec-marts), at næringssaltkoncentrationer kan beskrives som en lineær funktion af saliniteten.

I resten af året plejer forholdet mellem salinitet og næringsalte at være mindre lineært. Figur 4-5 viser forholdet mellem disse to parametre på et DANA togt i maj 1987, medens figur 4-6 viser forholdet på et DANA togt i oktober 1986. I begge tilfælde er der en tendens til, at NO_3^- koncentrationen falder ved stigende salinitet, men kobling mellem NO_3^- og salinitet ikke er så tæt som i vintermånederne ($r^2 = 0.50$ og 0.46 for henholdsvis maj og oktober togter). På disse togter findes der indenfor Jyllandsstrømsområdet vand med lav salinitet, der indeholder lave koncentrationer af NO_3^- . I sommermånederne plejer næringssaltkoncentrationer at være lave i hele Jyllandsstrømsområdet, men den her præsenterede datasammenfatning mangler et sommertogt med tilstrækkelig mange data til, at der har kunnet laves statistik over forholdet mellem NO_3^- og salinitet. Det er tydeligt, at man ikke kan beskrive NO_3^- fordelingen som en simpel funktion af fortynding (blanding med Nordsøvand med højere salinitet) i perioden ca. april-nov.

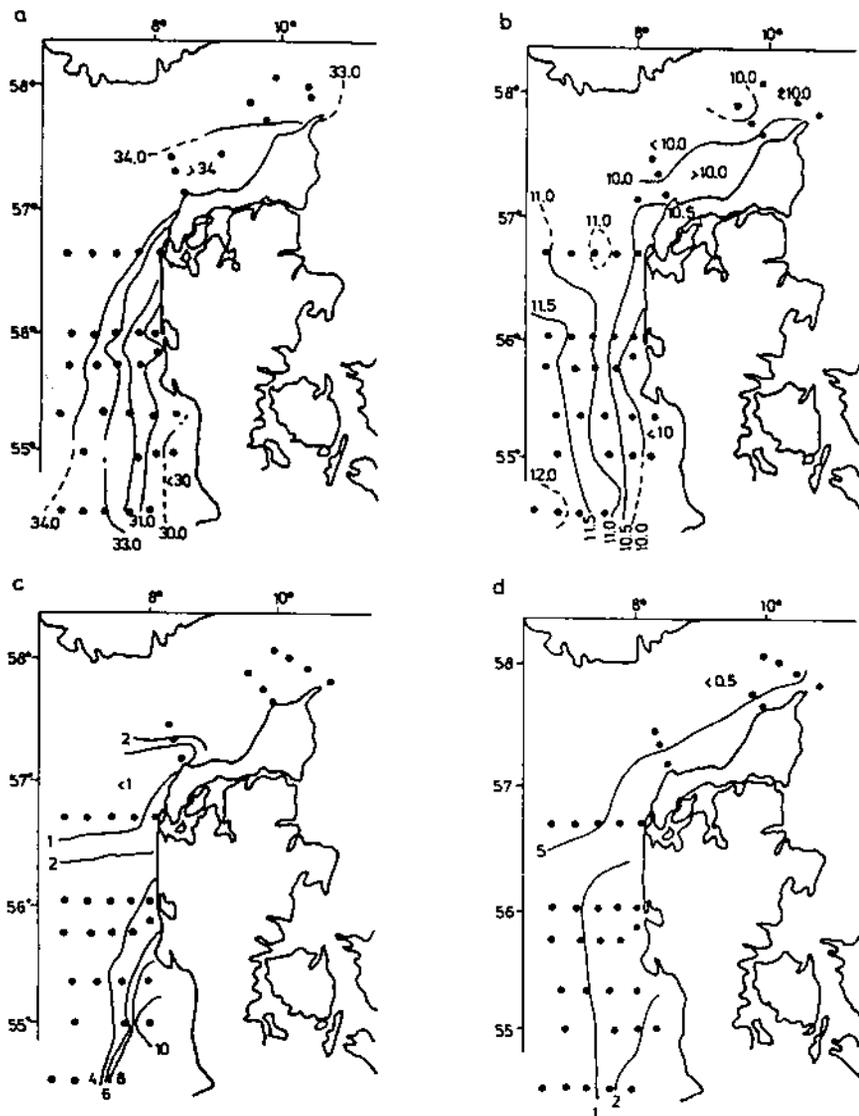
Nordsøen for-
tynder Jyllands-
strømmen

Om sommeren
indgår nitrater
i algeproduk-
tionen

Dette kan antagelig forklares ved at der sker omsætning af næringssalte via fytoplanktonets fotosyntese i alle måneder undtagen de mørke vintermåneder. Næringssaltforekomsten i Jyllandsstrømmen er således en funktion af både fortynding og biologisk aktivitet fra ca. april til november.

Tabel 4.1
 Data anvendt i
 projektet.

Dato	Skib	Parametre
Jan 81	ICES Young Fish Survey	T, S
31/1/84	Dannevig (N)	T, S
7/1/85	Dannevig (N)	T, S
20-22/1/86	Argos (S)	T, S
26/1-19/2/86	Argos (S)	
Feb 83	ICES Young Fish Survey	T, S
Feb 84	ICES Young Fish Survey	T, S
24/2/84	Dannevig (N)	T, S
Feb 85	ICES Young Fish Survey	T, S
11/2/85	Dannevig (N)	T, S
Feb 86	ICES Young Fish Survey	T, S
17-27/2/86	Gunnar Thorson (D)	T, S, næringssalte
Feb 87	ICES Young Fish Survey	T, S
16-26/2/87	Gunnar Thorson (D)	T, S, næringssalte
24/2-3/3/87	Dana (D)	T, S, næringssalte
19/3/84	Dannevig (N)	T, S
19/3/85	Dannevig (N)	T, S
25/3/85	Dannevig (N)	T, S
18-22/4/82	Dana (D)	T, S, næringssalte
10/4/84	Dannevig (N)	T, S
11/4/85	Dannevig (N)	T, S
11-17/4/85	Dana (D)	T, S, næringssalte
14-16/4/86	Argos (S)	T, S
25/4-1/5/86	Dana (D)	T, S, næringssalte
9-16/5/83	Dana (D)	T, S, næringssalte
1-8/5/84	Dana (D)	T, S, næringssalte
9/5/84	Dannevig (N)	T, S
13/5/85	Dannevig (N)	T, S
20-21/5/86	Argos (S)	T, S
12-24/5/87	Dana (D)	T, S, næringssalte
2-16/6/82	Johan Hjort (N)	næringssalte
26/6/84	Dannevig (N)	T, S
18/6/85	Dannevig (N)	T, S
13-17/6/86	Argos (S)	T, S
30/7-25/8/87	Dana (D)	T, S, næringssalte
17-23/8/81	Dana (D)	T, S, næringssalte
30/8-9/9/82	Gunnar Thorson (D)	T, S, næringssalte
22/8-2/9/83	Gunnar Thorson (D)	T, S, næringssalte
20-30/8/84	Gunnar Thorson (D)	T, S, næringssalte
14/8/84	Dannevig (N)	T, S
14/8/85	Dannevig (N)	T, S
19-29/8/85	Gunnar Thorson (D)	T, S, næringssalte
18-19/8/86	Argos (S)	T, S
12/9/84	Dannevig (N)	T, S
4/9/87	Argos (S)	T, S, næringssalte



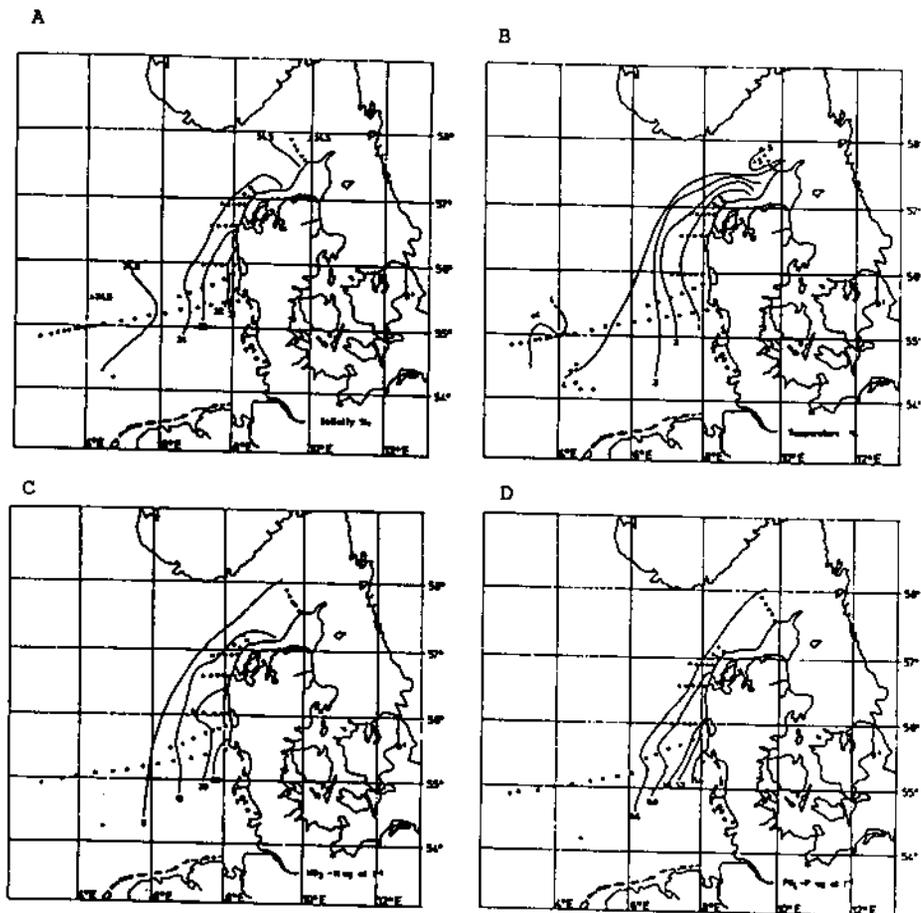
Figur 4.1

A. Salinitet ved overfladen 3-9 Nov. 1983
 B. Temperatur ved overfladen 3-9 Nov. 1983
 C. $\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{g at l}^{-1}$) ved 10 m 3-9 Nov. 1983
 D. $\text{PO}_4\text{-P}$ ($\mu\text{g at l}^{-1}$) ved 10 m 3-9 Nov. 1983
 Data indsamlet på DANA togt 17/83



Figur 4.2

A. Salinitet ved overfladen 9-16 maj 1983.
 B. Temperatur ved overfladen 9-16 maj 1983.
 C. $\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{g at l}^{-1}$) ved 10 m 9-16 maj 1983.
 D. $\text{PO}_4\text{-P}$ ($\mu\text{g at l}^{-1}$) ved 10 m 9-16 maj 1983.
 Data indsamlet på DANA togt 7/83



Figur 4.3

A. Salinitet ved overfladen 24 feb.-2 marts 1987

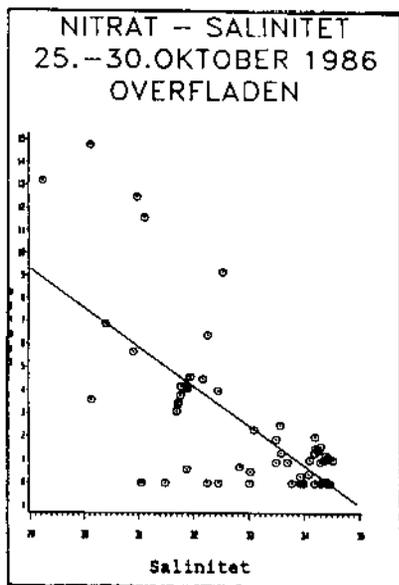
B. Temperatur ved overfladen 24 feb.-2 marts 1987

C. $\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{g at l}^{-1}$) ved overfladen 24 feb.-2 marts 1987

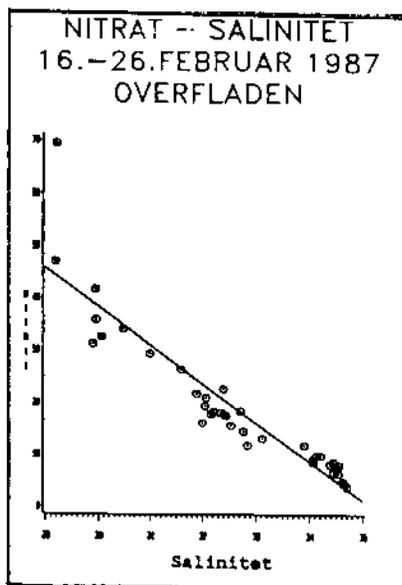
D. $\text{PO}_4\text{-P}$ ($\mu\text{g at l}^{-1}$) ved overfladen 24 feb.-2 marts 1987

Data indsamlet på DANA togt 1b/87.

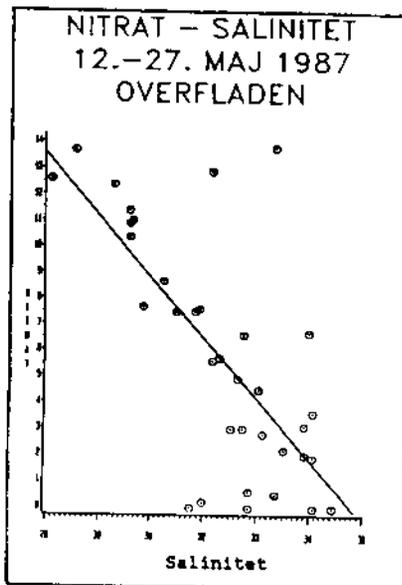
Figur 4.4
 $\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{g pr l}^{-1}$) som funktion af S o/oo ved overfladen for Nordsøstationer på HFL togt 48 febr. 87. $r^2 = 0,85$



Figur 4.5
 $\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{g pr l}^{-1}$) præsenteret som funktion af S o/oo ved overfladen for Nordsøstationer syd for 57° N på Dana togt 4/87. $r^2 = 0,50$



Figur 4.6
 $\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{g pr l}^{-1}$) præsenteret som funktion af S o/oo ved overfladen for Nordsøstationer syd for 57° N på Dana togt 11/86 (okt. 86). $r^2 = 0,46$



4.2 Satellitbilleder

Infrarøde satellitbilleder kan bruges til beskrivelse af vandmasser

Sammenligning af salinitets- og temperaturdata samlet i dette projekt, viser at en ændring i salinitet som regel medfører en ændring i temperaturen. Da det er tilfældet, er det muligt at benytte satellitbilleder (infrarøde), der viser forskelle i overfladetemperatur, til at beskrive forekomsten af de forskellige vandmasser langs vestkysten.

Et sådant satellitbillede fra 20. maj 1985 (kl. 02:29) er vist i figur 4-7. I dette og følgende satellitbilleder svarer de mørke områder til relativt varmt vand mens lyse områder svarer til koldere vand. På billedet kan der ses en varm vandmasse der føres langs kysten fra Tyske Bugt til Limfjorden. Man skal også lægge mærke til den mørke plet lige ved munden ud for Limfjorden på dette billede. Pletten kan forklares som udstømning fra selve Limfjorden. Dette satellitbillede afspejler antagelig et hydrografisk forhold, der svarer til det, som er fundet i november 1984 (Figur 4-1).

Dette støtter konklusionen fra diskussionen af hydrografiske data - nemlig at udbredelse af Jyllandsstrømmen ikke er en funktion af årstiden.

Figur 4-8 og 4-9 viser, hvor hurtigt hydrografien langs vestkysten kan ændre sig. I figur 4-8 ses et satellitbillede fra 2. februar 1987 (kl. 13:40), medens figur 4-9 viser et billede fra 19. februar 1987 (kl. 13:58). I februar måned er vandet i den åbne Nordsø varmere end kystnært vand, og Jyllandsstrømmen, der er koldest, ses som et lyst område, der strækker sig langs kysten. Den 2. februar strækker dette lyse område sig fra Tyske Bugt langs kysten til omkring Limfjorden. Nord for Limfjorden og op til Skagen trænger varmere Nordsøvand op til kysten. Man kan formode, at dette billede afspejler et hydrografisk forhold, der ligner det som er fundet i november 1983 (figur 4-1) og maj 1985 (figur 4-7).

Det andet billede fra februar 1987 (figur 4-9) viser et ubrudt område af relativt koldt vand langs hele vestkysten fra Tyske Bugt til Skagen. Hydrografisk set svarer dette antagelig til forholdet fundet i maj '83 som er afbildet i figur 4-2.

Figur 4-3 viser hydrografiske data indsamlet ca. 1 uge efter satellitbilledet præsenteret i figur 4-9. Her ses, at varmt vand ($>5^{\circ}\text{C}$) med relativ høj salinitet (>34 ‰) trænger op

Jyllandsstrømmens udbredelse ændrer sig hurtigt

til kysten i Jammerbugten. Syd herfor fandtes der koldere og mere ferskt vand (Jyllandsstrømmen).

Jyllandsstrømmens udbredelse varierer med vinden

Denne sammenligning af hydrografiske data og satellitbilleder viser, at alene i februar 1987 optrådte de to ekstreme konfigurationer af Jyllandsstrømmen, hvilket igen bekræfter, at Jyllandsstrømmens udbredelse er uafhængig af årstiden, og det er derfor nærliggende at undersøge om vindstyrke/retning styrer udbredelsen af Jyllandsstrømmen.

Figur 4.7

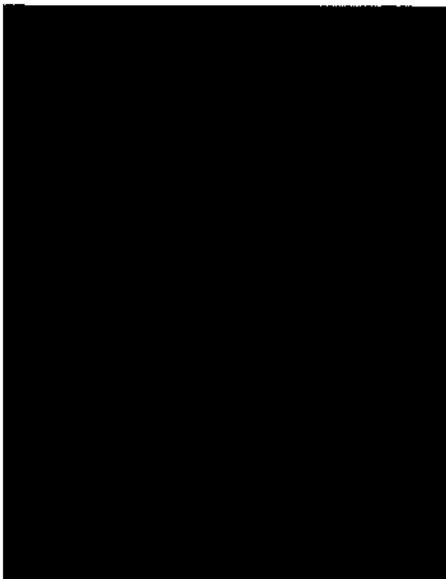
AVHHR (fra Dundee University, Skotland) satellitbillede fra 20 maj 1985.



Figur 4.8

AVHHR satellitbillede fra 2. feb. 1987.

Figur 4.9
AVHRR satellitbillede fra
19 februar 1987.



4.3 Konklusion

Jyllandsstrømmen defineres som transport af vand med lav salinitet fra den sydlige Nordsø (Tyske Bugt) langs den jyske vestkyst. Jyllandsstrømmen i sig selv kan ikke ses på oversigtskort over hydrografiske parametre, men udbredelse af vand med lav salinitet fra den sydlige Nordsø langs vestkysten kan bruges til at beskrive hvilke områder, der er påvirket af Jyllandsstrømmen på et givet tidspunkt.

Fra hydrografiske data samt satellitbilleder, som afspejler overfladetemperatur, kan man beskrive to ekstreme konfigurationer for Jyllandsstrømmen. I den første strækker vand med lav salinitet sig fra Tyske Bugt hele vejen langs vestkysten til Skagen og evt. ind i Kattegat. I den anden konfiguration findes der kun vand med lav salinitet langs den sydlige del af vestkysten (syd for Limfjorden).

Der er intet klart årstidsmønster i udbredelsen af Jyllandsstrømmen. Tværtimod kan det vises, at disse konfigurationer findes på alle årstider samt at de hydrografiske forhold langs vestkysten kan ændre sig så hurtigt, at begge ekstreme konfigurationer ses indenfor en periode af 2-3 uger. En mulig forklaring på disse hurtige ændringer i hydrografien kunne

være, at udbredelse af Jyllandstrømmen i høj grad er afhængig af vindforholdene.

Næringssaltkoncentrationer i Jyllandsstrømmen plejer at være højere end i den åbne Nordsø, og disse koncentrationer aftager som regel fra syd mod nord i Jyllandsstrømmen. Om vinteren (november-marts) kan det observerede fald i næringssaltkoncentrationer med stigende salinitet forklares som en funktion af fortyndingen af næringsrigt vand med lav salinitet med næringsfattigt vand med højere salinitet. I resten af året sker der omsætning af nærings-salte via biologisk aktivitet, således at næringssaltkoncentrationer ikke kan beskrives alene som en funktion af salinitet.

5. Radioaktive sporstoffer

5.1 Metodens baggrund

Der finder udledning af langtlivende radioisotoper sted to steder i Nordsøens nærmeste omegn. Det drejer sig om genoparbejdningsanlægene for brugt nukleart brændsel: Cap de la Hague vest for Cherbourg og Sellafield i Cumberland ved det Irske Hav (Figur 5-1). Disse anlæg udleder blandt andet radionukleiderne Sr-90, Cs-134 og Cs-137 (Strontium og Cæsium). Disse stoffer kan spores over store afstande og i store fortyndingsgrader, og de kan derfor anvendes til sporing af havstrømme.

Isotoper fra Sellafield bevæger sig nord om Skotland

Fra Sellafield går den vandbårne forurening nord om Skotland og derefter sydpå ned i den centrale del af Nordsøen, hvor den blandes med Nordsøvandet og gradvis bevæger sig over i den Norske Kyststrøm. En lille del vil også gå ind i de danske farvande gennem Skagerrak.

Isotoper fra Bretagne bevæger sig op langs den jyske vestkyst

Forureningen fra Cap de la Hague bevæger sig nordpå langs den europæiske side af den Engelske Kanal, og efter at have passeret den Tyske Bugt vil den med Jyllandsstrømmen blive ført nordpå (figur 5-2). En del vil passere Skagerrak og strømme ind i Kattegat, mens resten transporteres nordpå med den Norske Kyststrøm.

Henfaldstiderne er for Sr-90 29 år, for Cs-134 2.06 år og for Cs-137 30 år. Baggrundsværdierne i Nordsøen består udover Cap de la Hague og Sellafield også af gammelt radioaktivt nedfald fra kernevåbenforsøg, som indeholder Sr-90 og Cs-137, men ikke Cs-134 (på grund af den korte henfaldstid).

Udledningerne fra Sellafield (S) og Cap de la Hague (H) varierer fra år til år (figur 5-3), og ved beregningerne af transporten, er der taget hensyn til, at der ikke er en ligevægts-situation. Det er endvidere antaget, at transporttiden fra S til Kattegat er 4 år og fra H til Kattegat 2 år.

De mængder der kommer fra H er mindre end hvad der kommer fra S, og det gælder i særlig grad Cs-137. Det vil derfor de fleste steder i Nordøen være vanskeligt at skelne et signal fra H fra baggrunden.

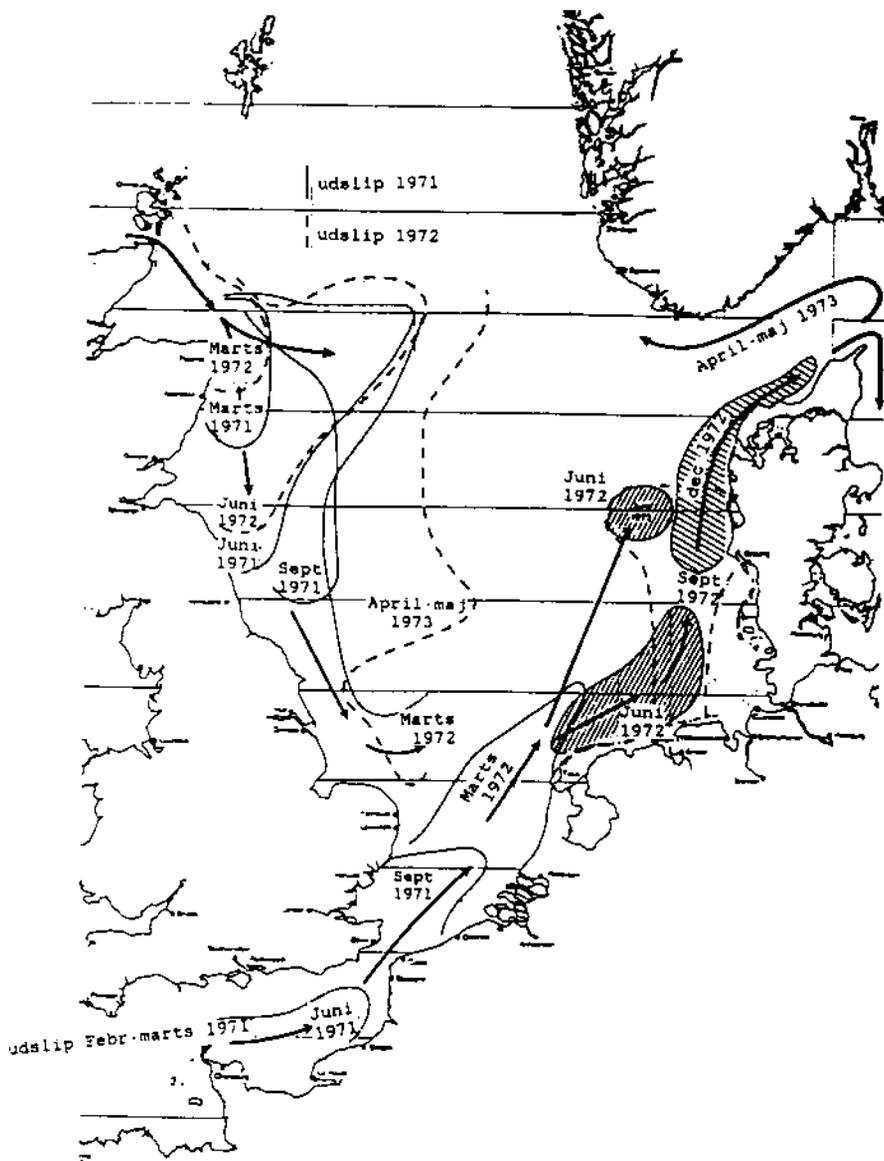
Imidlertid kan man fra målinger i Tyske Bugt skønne, at det meste af aktiviteten her stammer fra H, da forholdet mellem Cs-134 og Cs-137 nogenlunde stemmer med H-udslippets forhold 1 år tidligere. Dette forhold er fra H ca. 0.1 og fra S er det 3-5 gange lavere. Også Cs-134/Sr-90 og Cs-137/ Sr-90 forholdene i Tyske Bugt er bedre i overensstemmelse med udslippene fra H end med dem fra S.

Med visse yderligere antagelser er det muligt ved statistisk analyse af prøver indsamlet i Tyske Bugt og i Kattegat at fastslå, hvor stor en mængde vand fra Tyske Bugt, der befinder sig i Kattegat. Beregningen er udført af Dr. A. Aarkrog fra Helsefysikafdelingen på Risø (Aarkrog, 1987) og indholdet af dette kapitel er uddrag fra denne redegørelse.

Der er udvalgt 4 stationer i det sydlige Kattegat: Kullen, Hesselø, Odden og Asnæs, se figur 5-4. Prøver af overflade og bundvand indsamles rutinemæssigt sommer og vinter fra disse og 12 andre stationer rundt om Sjælland.

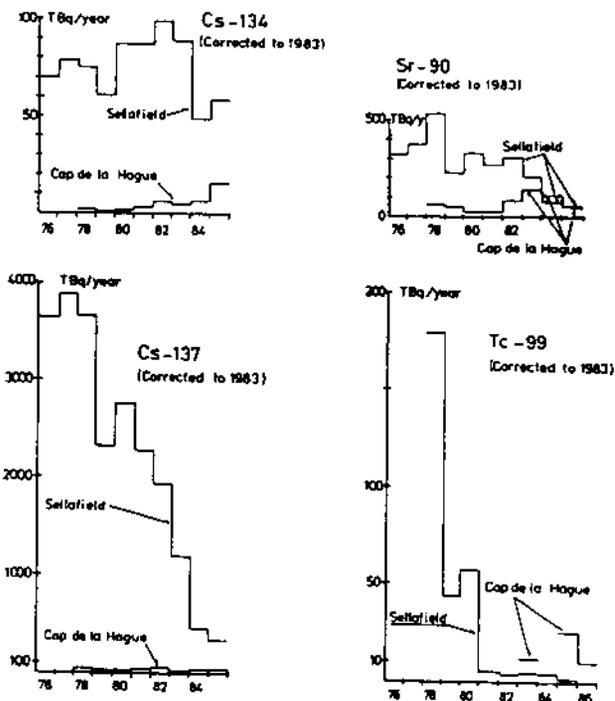
Figur 5.1
Placeringen af de nukleare oparbejdningsanlæg Sellafield og Cap de la Hague.



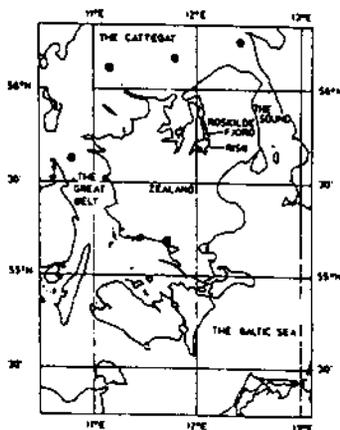


Figur 5.2
 Vandtransporten i Nordsøen fra Februar 1971 til Maj 1973
 belyst ved udslip af CS-137 (Kautsky, 1973).

Figur 5.3
 Udslip af radionukleiderne Sr-90, Cs-134, Cs-137 og Tc-99 fra Sellafield og Cap de la Hague. Udslippene er henfaldskorrigeret til året 1983.



Figur 5.4
 Prøveindsamlingsstationer i Kattegat, som er anvendt til beregningen af indstrømning fra Tyske Bugt.



5.2 Resultater

Rapporten fra Risø konkluderer at et opløseligt stof, der optræder med en given koncentration i Tyske Bugt, vil kunne genfindes i Kattegat ca. 1 år senere med en koncentration der er 3-4 gange lavere.

Den vigtigste forudsætning for konklusionen er, at al vandbåren forurening af de danske farvande fra Cap de la Hague passerer Tyske Bugt. Denne forudsætning er nævnt i selve konklusionsafsnittet. Det må anses for meget sandsynligt, at den er opfyldt.

Muligvis kommer over halvdelen af Kattegats bundvand fra Tyske Bugt

Konklusionen omhandler bundvand og overfladevand i Kattegat behandlet under eet. Groft set kan det skønnes, at koncentrationen i bundvandet vil være omtrent det dobbelte, dvs. at mellem halvdelen og to trediedele af Kattegats bundvand hidrører fra Tyske Bugt.

5.3 Diskussion og forslag til fremtidigt arbejde

Konklusionen hviler også på andre antagelser end den ovenfor omtalte. Udledningerne fra Cap de la Hague er væsentlig mindre end fra Sellafield, hvilket vanskeliggør en hel sikker identifikation.

Da udledningerne fra de to oparbejdningsanlæg varierer betydeligt fra år til år, kunne man også ønske sig at medtage Nordsøens reservoir-effekt i beregningerne.

Indtil der er foretaget en vurdering af alle beregningsusikkerheder, og bidraget fra Tyske Bugt er opdelt i Kattegats overfladevand og bundvand hver for sig, drages følgende konklusion:

"Kattegats bidrag af vand fra Tyske Bugt er ikke så beskedent, at det kan negligeres ved vurderinger af, hvad Kattegat modtager fra de tilgrænsende havområder. Det er sandsynligt at op til halvdelen eller noget mere af det indstrømmende bundvand har passeret gennem Tyske Bugt".

Isotoper
Technetium kan bruges i fremtidige undersøgelser

Strontium og Cæsium har ikke kunnet benyttes som tracere efter det nukleare udslip fra Chernobyl i maj 1986. Det har imidlertid vist sig at Technetium-isotopen Tc-99 kun findes i meget ringe mængder i det sovjetiske udslip. Dette stof frigives fra både Sellafield og Cap de la Hague, og Sellafield har siden 1981 reduceret udledningen så meget, at Cap de la Hague nu udleder en størrelsesorden mere (figur 5-3). Tc-99 har ydermere en meget lang halveringstid, 2×10^5 år. Dette stof vil derfor være velegnet som tracer for transport af vand og konservative stoffer fra Tyske Bugt til Kattegat (Aarkrog et al., 1987).

Deutsche Hydrographische Institut i Hamburg har indledt prøveindsamlinger af vandprøver fra januar 1988 med henblik på Technetium-analyser. Der tages prøver fra Tyske Bugt til Cap de la Hague, samt i det Irske Hav og i den nordvestlige Nordse. Målestationerne er vist i figur 5-5.

Det anbefales at opstille et måleprogram i samarbejde med Rissø og DHI Hamburg, således at der suppleres med prøver fra Jyllandsstrømmen, Skagerrak og Kattegat.

Figur 5.5
Prøveindsamlingsstationer for Tc-99 for "Gauss" (Vesttyskland) togt i Nordøen januar 1988.



6. Numeriske modeller

6.1 Oversigt over modeller

En model er et forenklet billede af naturen, som - hvis den er hensigtsmæssigt udformet - på en eller flere områder giver svar, der er i overensstemmelse med naturens opførsel, og som også bidrager til en øget forståelse af de grundlæggende processer.

I nærværende undersøgelse leder vi efter kvantitative svar på spørgsmålet om transport af vand fra Tyske Bugt til Kattegat, og modelbegrebet anvendes i den indsnævrede betydning: En hydraulisk beregningsmodel som ved skridtvis løsning af de fysiske grundligninger (numerisk integration) er i stand til at simulere vandets bevægelse.

Enhver hydraulisk model indeholder nogle kompromiser. Dels er det ikke muligt at løse ligningerne eksakt, og dels er det i praksis umuligt at skaffe sig præcis viden om modellens randbetingelser. Og selv om det var muligt at opfylde disse to punkter, så ville en meget detaljeret beregning stille enorme krav

til regnekapaciteten og dermed også til økonomien. Valg af model indebærer således altid en afvejning af fordele og ulemper.

I projektets første fase er muligheden for at benytte en eksisterende model blevet undersøgt. Det har dog ikke kunnet godtgøres, at fysikken i nogen af de undersøgte modeller blev håndteret på en så overbevisende måde, at spørgsmålet om transporten fra Tyske Bugt til Kattegat kunne besvares bare nogenlunde tilfredsstillende.

De undersøgte modeller er 3 slags:

- Backhaus' model - en flere-lags model med "frosset" tæthedsfelt drevet af den aktuelle vind (Backhaus, 1985). Denne model er specielt udviklet for at beskrive cirkulationen i den egentlige Nordsø.
- Stigebrandts model - en model hvor strømmingen er integreret i moduler, udviklet specielt for Skagerrak (Stigebrandt, 1984).
- en to-lags model med fuld kobling mellem strøm og tæthedsfelt (Dansk Hydraulisk Institut, 1977, 1986).

Disse modeller beskrives i det efterfølgende.

6.2 Krav til modellen

Det spørgsmål som ønskes besvaret er følgende: Hvor store vandmængder modtager Kattegat fra Tyske Bugt?

Det er nødvendigt yderligere at specificere:

- afgrænsningen af Tyske Bugt
- transportens tidsmæssige variation
- opblandingen af vandet under transporten fra Tyske Bugt til Kattegat
- øvrige indstrømninger til Kattegat

(1) Afgrænsningen af Tyske Bugt:

Vandet i Tyske Bugt har en stærkt varierende sammensætning fra udstrømmende brakt flodvand med høje koncentrationer af næringssalte og skadelige stoffer til Nordsøvand med en salinitet på 33-34 ppt, hvor der er sket en tilsvarende fortynding af de opløste stoffer. Da transporten er nordgående kan man lægge et snit i den nordlige del af området fra den Jyske Vestkyst og ud mod midten af Nordsøen. Koncentrationerne af de opløste stoffer vil hurtigt aftage ud langs denne linie, og dens længde må defineres på passende vis som Tyske Bugts indflydelsesområde, se figur 6-1. Transporten fra bugten kan herefter defineres som

transporten over denne linie inordgående retning. Et kendskab til fordelingen af opløste (konservative) stoffer er ønskeligt.

(2) Transportens tidsmæssige variation

Transporten i Jyllandsstrømmen er styret af vind, tidevand og tæthedsgradienter. Især på grund af vindens store indflydelse er den stærkt tidsafhængig. Mange observationer (kapitel 4) viser at Jyllandsstrømmen undertiden afbrydes op langs den Jyske Vestkyst, og det vides også at Skagerrakcirkulationen, og indstrømningen til Kattegat er stærkt tidsvarierende. Det er derfor ønskeligt at undersøge transportens tidsmæssige variation, specielt med henblik på at fastslå om der tilføres pulser af næringsrigt bundvand til Kattegat i perioder, hvor næringssaltene er næsten opbrugt. Det vil også være vigtigt at undersøge hvilken rolle transporten spiller for opbygningen af Kattegats depot af næringsalte.

(3) Opblandingen af vandet under transporten fra Tyske Bugt til Kattegat

Opblanding med Nordsevand vil for de fleste stoffers vedkommende have en fortyndende effekt, og når Jyllandsstrømmen skal følges ind i Kattegat er det derfor nødvendigt at have kendskab til den fortynding, der finder sted undervejs. Det er også ønskeligt at vide, hvor opblandingen er foregået.

(4) Øvrige indstrømninger til Kattegat

Dette spørgsmål svarer til ovenstående pkt (3). En vurdering af betydningen af tilførsler fra Tyske Bugt kræver ikke kun en undersøgelse af den tilførte vandmængde, men også af dens relative betydning. Derfor skal indstrømningen fra Tyske Bugt sammenlignes med de øvrige tilførsler fra Skagerrak.

Figur 6.1
Definition af transporten fra Tyske Bugt mod nord.



6.3 Gennemgang af de undersøgte modeller

6.3.1 Backhaus' model

Backhaus modellen simulerer cirkulationen i forskellige lag i Nordsøen

Institut für Meereskunde, Universität Hamburg, har opstillet en multilagmodel for Nordsøen. Modellen findes i flere - successivt forbedrede versioner. Modellen er dokumenteret i Backhaus (1985).

Modellen indeholder et antal lag med faste laggrænser. Visse lag vil således kun være repræsenteret i de dybeste dele af Nordsøen. De hydrodynamiske bevægelsesligninger er integreret over hvert lag, og ikke-lineære felt-accelerationer er ikke medtaget. Forskydningspændingen indgår ved hver laggrænse, specificeret ved en hvirvelviskositetskoefficient A som kan være tids- og stedafhængig. Forskydningsspændinger ved overflade og bund udgøres af hhv. vindens forskydningspænding og bundforskydningspændingen, som afhænger kvadratlæg.

Tæthedsfeltet er fastholdt og modificeres ikke med tiden ved vekselvirkning med strømmingen (en såkaldt "diagnostisk model").

Modellen er blevet anvendt til 14 års simulering (1968-1982) af cirkulationen i Nordsøen, inklusive Skagerrak og de indre danske farvande indtil Darss-tærsklen. Det Atlantiske Ocean er omfattet indtil 64° N og 15° W. Der anvendes 7 lag om vinteren og 12 lag om sommeren (april - oktober). Lagtykkelsen vokser med dybden (10/20 m for sommer/vinter i det øverste lag, voksende til en lagtykkelse på 2500 m i det dybeste lag uden for den Nord-europæiske shelf).

Modellens gridstørrelse er 22 x 22 km, og det semi-implicitte beregningsskema har tilladt et tidsskridt på 40 minutter. Som randbetingelser er anvendt at strømmen ved bunden vinkelret på de åbne rander er nul, og randen mod Østersøen er defineret ved en vandspejls-elevation der frembringer en konstant udstømning på 500 km^3 pr. år. Modellen drives af aktuelle tidevandsdata, af vinden beregnet fra et 150 km grid af lufttryk (geostrofisk beregning) og af et middelsommer og et middelvinter tæthedsfelt, som er taget fra publicerede langtidsmiddelværdier.

I Backhaus (1985) understreges betydningen af at modellere cirkulationen med det aktuelle vindfelt og ikke blot anvende atmosfærens middelvindfelt. Modellen er kørt med aktuelt vind og med middelvind (midlet over samme periode). De optegnede lagrangeske partikelbaner viser at der fremkommer betydelig forskel på resultaterne (figur 6-2).

Resultaterne af 14-års simuleringen er vist i "Atlas of Climatological and Actual Seasonal Circulation Patterns in the North Sea and Adjacent Shelf Regions 1969-81" (Hainbucher et al., 1986). I dette atlas er resultaterne midlet over 1 døgn, og yderligere reduceret til middel over dybden, samt overflade- og bundstrøm. Da den synoptiske variabilitet (1-5 dage) skønnes at være dårligt beskrevet, er resultaterne endvidere båndpasfiltreret (6.5 - 90 dage), og der er endelig fremstillet mid-delværdier for hvert af årets 4 kvartaler ved hjælp af den 13 år lange tidsserie.

I atlasset er vist transport og middelstrøm samt kinetisk energi for generalsæsonmidler (generalmiddel: middel af samme delperiode - her kvartal - over et antal år). Endvidere er der for hvert kvartal gennem alle årene vist hastighedens numeriske værdi, dens retning og den kinetiske energi. Disse beregninger er udført for såvel dybdemidlet strømning som for overfladestrøm og bundstrøm. Transporterne gennem forskellige snit er også vist som tids-serier - også med et snit for Jyllandsstrømmen (figur 6-3). Transportværdierne er desuden tabelleret for alle kvartaler gennem de 13 år.

Modellen er også blevet anvendt til at simu- lere stoftransport. Partikler udsendes med regelmæssige mellemrum (dagligt) fra en kilde, og føres rundt i Nordsøen med det beregnede strømfelt. Deutsches Hydrographisches Institut (1987) har præsenteret fordelingerne af partikler med forskellig alder, se figur 6-4. Det bemærkes at partiklerne alene transportes med det makroskopiske strømfelt. Der finder altså ikke en egentlig dispersion sted i model- len.

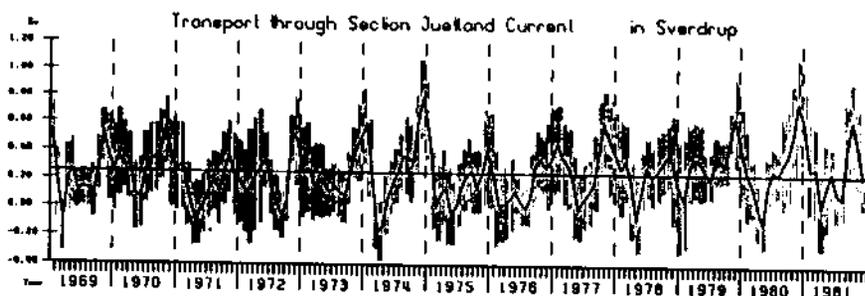
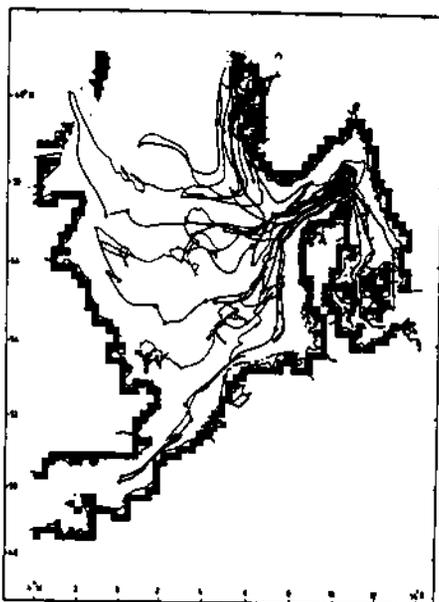
Modelberegningen er ikke verificeret ud over den iagttagelse, at cirkulationen i Nordsøen foregår omtrent som forventet. Modellen må derfor vurderes ud fra en forventning om, hvad en så forholdsvis primitiv model vil kunne yde.

Backhaus' model skønnes at kunne frembringe et billede af residualcirkulationen i Nordsøen, som er nogenlunde realistisk. Derimod kan den næppe reproducere de dynamiske forhold i Skagerrak, og modelleringen af dynamikken i Kattegat og Bælthavet anses for urealistisk. Backhaus har dog heller ikke lagt stor vægt på disse områder, der er medtaget hovedsagelig for at få modelranden et stykke væk fra den egentlige Nordsø, som er af størst interesse.

Vi har overvejet at anvende modellen til alene at beskrive transporten fra Tyske Bugt til Skagerrak, men fandt at det var en mangel, at den ikke kunne beskrive strømmens fortynding.

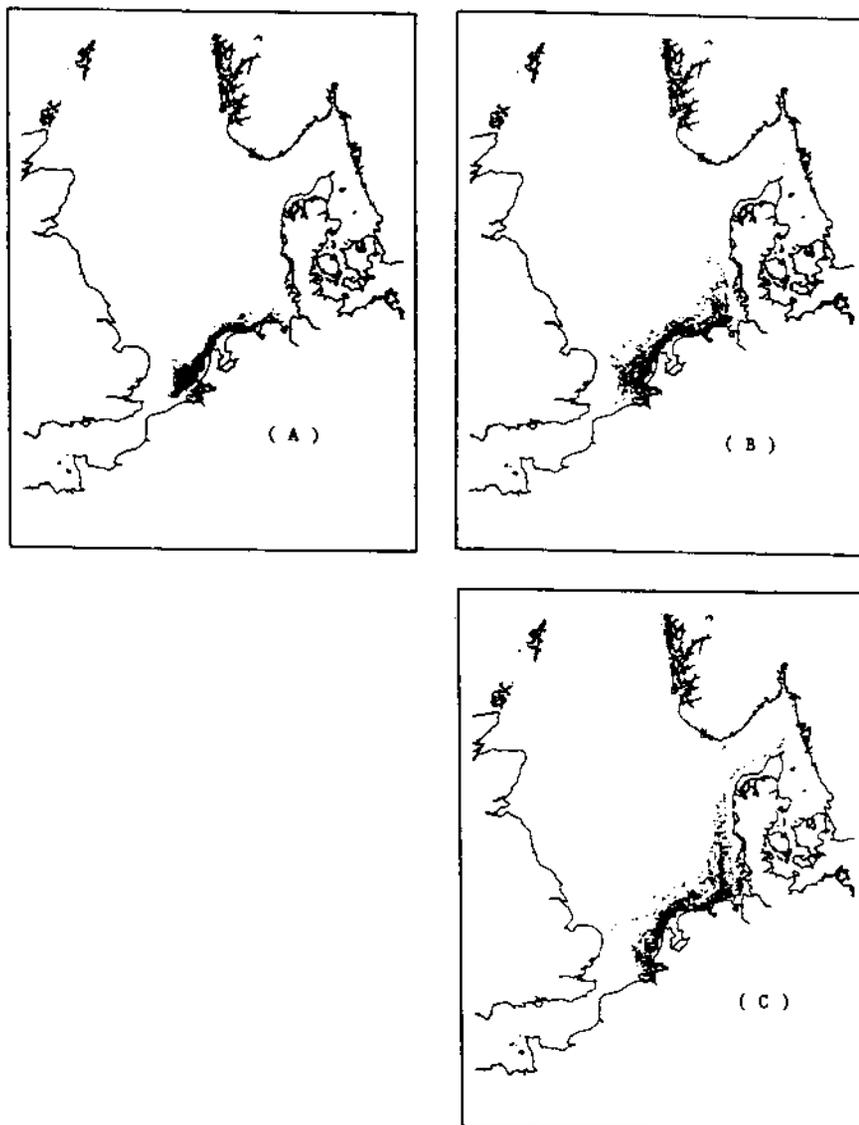
Figur 6.2

Lagrangeske partikelbaner opnået med Backhaus' model med middelvind (tykke linier) og med det tidsvarierende vindfelt (tynde linier). Afstanden mellem firkanterne er i måned (Backhaus, 1985).



Figur 6.3

Jyllandsstrømmens transport beregnet af Hainbucher et al. (1986). Det anvendte snit er omtrent sammenfaldende med den nordlige grænse i figur 6.1.



Figur 6.4

Sandsynlighedsfordeling af partikler efter udslip fra Rhinen efter (a) 52 dage, (b) 104 dage og (c) 155 dage. Beregningerne er med Backhaus' model. Deutsches Hydrographisches Institut (1987).

6.3.2 Stigebrandts model

Stigebrandt
modellen simu-
lerer strømninger
i Skagerrak

Prof. A. Stigebrandt har for Norwegian Hydrodynamic Laboratories udarbejdet en model, hvis primære formål er at beregne den tidlige variation af brakvandsudstrømningen fra Skagerrak, d.v.s. randbetingelsen for Den Norske Kyststrøm. Ferskvandskomponenterne i denne udstrømning stammer primært fra Østersøen (d.v.s. Kattegat-udstrømningen), Jyllandsstrømmen, som bærer ferskvandet fra Rhinen og og flere andre europæiske floder, samt det lokale input i Skagerrak. Det har derfor været nødvendigt at forsyne Skagerrakmodellen med submodeller for Kattegat/Bælthavet og for Jyllandsstrømmen. Skagerrakmodellen og Jyllandsstrømsmodellen er beskrevet i en rapport fra Norwegian Hydrodynamic Laboratories (Stigebrandt, 1984), som er påtegnet "inaccessible". Der kan derfor ikke her gøres rede for modellernes detaljer, med henblik på eventuelt at købe modelrettighederne har vi fået modellerne for Skagerrak og Jyllandsstrømmen vurderet for egnethed til vores opgave: transporten fra Tyske Bugt til Skagerrak. Vurderingen omfatter således kun dette aspekt og ikke hvorvidt modellerne er egnede til deres oprindelige formål.

Modellen for Kattegat/Bælthavet er publiceret i et internationalt tidsskrift (Stigebrandt, 1983) og er ikke blevet nærmere vurderet, da vi allerede har en dansk Kattegatmodel (Jacobsen & Ottesen Hansen, 1985).

Det er blevet vurderet, at Stigebrandts Skagerrakmodel er berettiget med hensyn til den strukturelle opbygning i deformerbare kystelementer og mere faste havelementer. Imidlertid vil den fysiske beskrivelse og dermed også den matematiske formulering kræve en betydelig revision før den vil kunne anvendes til vore formål. Det fysiske grundlag for Jyllandsstrømmen er svagere end for Skagerrakmodellen.

Vi har ikke fundet det muligt indenfor projektets nuværende rammer at gå videre med Stigebrandts modeller, men skal pege på muligheden af at styrke hans Skagerrakmodel gennem et samarbejdsprojekt. Med hensyn til Jyllandsstrømsmodellen har vi valgt at gå videre med en formulering foreslået af Fl. Bo Pedersen i november 1986, se kapitel 7.

6.3.3 DHI's model

DHI's model S22
simulerer trans-
port ved 2-lags
strømning

Dansk Hydraulisk Institut har midt i 70'erne udviklet en 2-lags model (S22) med kobling mellem tæthedsfelt og hastighedsfelt. Denne model er beskrevet i Dansk Hydraulisk Institut (1977), og forskellige anvendelser af modellen er rapporteret i Dansk Hydraulisk Institut (1986).

Modellen er baseret på de sædvanlige hydrodynamiske grundligninger, d.v.s. bevarelse af masse og af moment. Ligningerne integreres først over turbulensens tidsskala, hvorved der fremkommer nogle dispersionsled. Dernæst integreres de vertikalt over hvert af de to lag, og der fremkommer yderligere nogle dispersionsled, som for denne model anses for at være vigtigere end de, som fremkommer ved midling af turbulensen.

Blanding mellem lagene og skillefladefriktionen er implementeret efter de teorier for 2-lagsstrømninger, som er udarbejdet af Pl. Bo Pedersen. Modellen bør kun anvendes i situationer, hvor der er en tydelig vertikal tæthedsgradient, der gør det muligt at betragte strømningen som en 2-lags strømning. Modellen tager hensyn til ikke-lineære led i bevægelsesligningerne, horisontelle tæthedsgradienter inden for hvert lag, atmosfæriske trykvariationer og coriolis-effekter.

Den mulige anvendelse af S22 til modellering af Skagerrakcirkulationen har været overvejet og drøftet med DHI. Imidlertid har vi konkluderet, at modellen ikke er egnet til at beskrive forholdene i dette havområde, da dets dynamik ikke kan forenkles til en 2-lags beskrivelse.

En fuldt 3-dimensionel model, SYSTEM 3, er under udvikling på DHI og vil formentlig kunne anvendes. Den omstændighed at den endnu er på udviklingsstadiet, og at kørselsomkostningerne må forventes at blive overordentlig store, har afholdt os fra at anbefale den til videregående modellering fra 1988.

Derimod er DHI's 1-lags model, SYSTEM 21, blevet anvendt til at beregne 1. ordens cirkulation i Nordøen, som anvendes i den spredningsmodel, der er opstillet og beskrevet i det efterfølgende kapitel.

6.4 Konklusion

Nuværende modeller kan ikke beskrive transport fra Nordøen til Kattegat

På baggrund af de undersøgte modeller må det konkluderes, at der endnu ikke findes en numerisk model, som kan beskrive transport og fortynding af vand fra Tyske Bugt ind i Kattegat.

Der kan udføres beregninger i Nordøen indtil Skagerrak, og der er udviklet en model som i grove træk beskriver cirkulationen i Kattegat. Imidlertid er det endnu ikke lykkedes at modellere cirkulationen i Skagerrak på en overbevisende måde.

Det skal anbefales, at der iværksættes en modeludvikling for dette område, og at de eksisterende modeller for Nordsøen og Jyllandsstrømmen, samt for Kattegat, kobles sammen gennem en Skagerrakmodel.

7. Spredningsmekanisme i Jyllandsstrømmen

Udvikling af
en ny model

I slutningen af 1986 stod det klart, at det ikke ville være muligt at anvende en eksisterende model til at beregne transporten af vand fra Tyske Bugt til Kattegat. Omtrent samtidig præsenterede Fl. Bo Pedersen en model for spredning i Jyllandsstrømmen. Det blev derfor besluttet at undersøge, om denne model kunne gøre rede for væsentlige træk ved Jyllandsstrømmen, og der blev etableret et samarbejdsprojekt mellem Fl. Bo Pedersen (DFH), Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser, Miljøstyrelsens Havforureningslaboratorium og Dansk Hydraulisk Institut.

Efterfølgende beskrives modellens indhold og de resultater der er opnået ved at implementere den oven på SYSTEM 21.

Det skal understreges, at modellen kun gør rede for transport og frontspredning i selve Jyllandsstrømmen, og at den ikke kan anvendes i Skagerrak. Det er altså ikke muligt at belyse Jyllandsstrømmens bidrag til Kattegat med denne model, men den er det første skridt på vejen mod en løsning af problemet.

7.1 Modellens grundlag

Jyllandsstrømmen kan - lidt løst defineres som nettostromningen langs Jyllands vestkyst af vand, der er måleligt fortyndet af ferskvand fra Tyske Bugt. Den er således en potentiel transportør af flodernes næringssalte og forurenede stoffer fra den Tyske Bugt til Skagerrak, og derfra videre ind i Kattegats bundlag.

Ud fra eksisterende beregninger er den langtidsmidlede vandføring estimeret til ca. 200.000 m³/s ved indløbet til Skagerrak. De primære drivende kræfter af strømmingen må formodes at være tidevand og vind, hvoraf den sidste påkalder sig særlig interesse, idet vinden har store sæsonmæssige og årlige variationer, og derfor giver anledning til store variationer i såvel strømmens styrke som i dens tværgående udstrækning. Generelt kan man sige, at vind fra vest - syd - øst halvcirklen har tendens til at øge strømmens styrke og mindske dens bredde, medens vinde fra øst - nord - vest bremser strømmen og breder den ud. Set i relation til problemet om transporten af nærings-

salte m.m. til Skagerrak har disse forhold stor betydning, idet den koncentration af disse stoffer, som strømmen har ved Skagerrak, primært afhænger af den tværgående indblanding (medrivning) undervejs, af transporttiden (blandingstiden), samt af den biologiske omsætning (årstiden).

Formål med udviklingen af en ny model

Projektets hydrodynamiske hovedformål er derfor at få en fysisk forståelse af:

- samspillet mellem vindens styrke og retning
- Jyllandstrømmens vandføring og udstrækning (på tværs)
- de spredningsmekanismer, der forårsager en fortynding af de konservative stoffer, der måtte transporteres med Jyllandsstrømmen.

Vindgenereret strøm

Den strømning vinden kan forårsage er i princippet en geostrof kyststrøm, d.v.s. en strøm hvor der er balance mellem den tværgående Corioliskraft og den tværgående trykgradient. På grund af den ringe vanddybde fås ikke en klassisk geostrof balance, idet bundfriktionen ikke kan negligeres på grund af en ringe dybde. Dette betyder, at en analytisk løsning af problemet er udelukket, hvorfor man må ty til en matematisk model, som medtager alle de relevante kræfter, d.v.s. vind, Corioliskraft, trykgradienter på langs og på tværs samt friktion.

Fortyndingsmekanismer

Der er (ud over turbulensen) to topkandidater til fortynding af Jyllandstrømmen, nemlig den tværgående tæthedsgradient, som skyldes tilstedeværelsen af ferskvand i strømmen og den tværgående ubalance mellem Corioliskraftens afvigelse fra middelværdien af trykgradienten, en afvigelse som skyldes den usymmetriske hastighedsfordeling over dybden.

Tæthedsgenereret strømning

Fra velblandede estuarier - der er kendetegnet ved vertikale isohaliner med en langsgående saltgradient - er det velkendt, at, ud over den ofte kraftige tidevandsgenererede udindstrømning, så foregår der en residualstrømning med netto vandføringen nul. Overføres dette velkendte fænomen på Jyllandstrømmens tværsnit, fås en sekundær tæthedsgenereret strømning, som illustreret i figur 7-1.

Selv om nettovandføringen er nul vil den sekundære strømning få isohalinerne til at sprede sig, hvilket kombineret med en vertikal opblanding betyder en nettofortynding af Jylland-

strømmen, idet havvandet uden for fronten medrives.

Tværgående
strømninger

I den dybdeintegrerede matematiske model tages der ikke hensyn til, at hastigheden er en (svag) funktion af dybden, og dermed heller ikke, at Corioliskraften er afhængig af dybden i modsætning til den reaktionskraft, trykgradienten, som er konstant over dybden (når vi ser bort fra tæthedseffekter). Som illustreret på figur 7-2 betyder dette, at der på tværs af Jyllandstrømmen er en dybdeafhængig kraftubalance. Et lignende fænomen er velkendt fra strømning i krumme kanaler, hvor det giver anledning til sekundære (d.v.s. tværgående) strømninger. Som ved de tæthedsgenererede sekundære strømninger fås en spredning af saltdeficit.

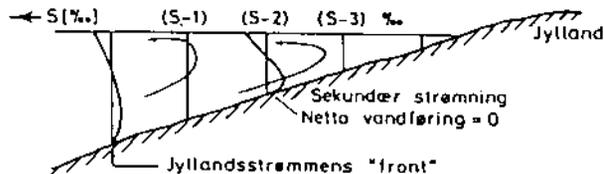
De to typer sekundære strømninger er for nordgående strøm modsat rettede, medens de virker i samme retning for sydgående strøm. Den samlede effekt af disse mekanismer er vist i figur 7-3 (nordgående strøm), hvoraf det fremgår, at Corioliseffekten dominerer på dybt vand, mens tæthedseffekten er fremherskende på lavt vand. Det vand og salt som således til stadighed medrives ved fronten bliver gennem turbulensen fra vind, bølger og strøm spredt på tværs (og på langs) af Jyllandstrømmen. Det samlede resultat er derfor en stadig øget saltholdighed og vandføring (i strømretningen), og dermed en fortynding (i strømretningen).

Da begge de sekundære strømninger er 2.-den ordens effekter for det generelle strømbillede betyder de intet for strømningsberegningerne med system 21. Omvendt afhænger de sekundære strømninger stærkt af det generelle strømbillede, ligesom de som nævnt har afgørende betydning for fortyndingen. Beregningsgangen kan derfor udføres i 3 tempi:

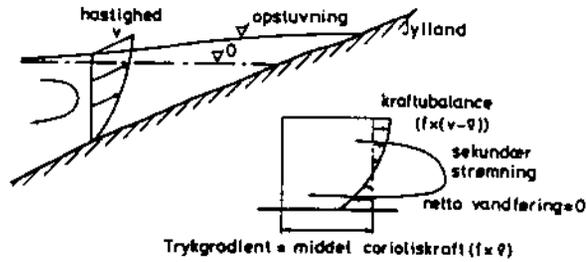
1. først beregnes det generelle strømbillede ved hjælp af system 21.
2. dernæst beregnes de deraf affødte sekundære strømninger, som
3. endelig kan benyttes til bestemmelse af den nye "front"'s beliggenhed.

Figur 7.1

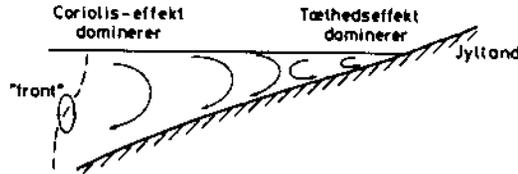
Skitse af den tværgående saltvariation i Jyllandstrømmen med typiske isochaliner. De afledte sekundære strømninger er indikerede.



Figur 7.2
Skitse af corioliskraftens variation med dybden.



Figur 7.3
Samlet spredningseffekt på Jyllandestrømmen. "Fronten" deformeres horisontalt og blandes vertikalt.



7.2 Frengangsmåde

Der er udviklet eksplicitte udtryk for den tværgående fronts bevægelsehastighed for de to mekanismer. Tilnærmelsesvis er der fundet følgende udtryk (Pedersen, 1987a og 1987b).

$$V_{\text{coriolis}} = 3.5 f D$$

$$V_{\text{densitet}} = -1.5 \sqrt{gD^2 d\Delta/dx}$$

hvor V er den typiske tværgående fronthastighed af øvre og nedre vandsøjle, g er tyngdeaccelerationen, f er coriolisparameteren (ca. 10^{-4} s^{-1}), Δ er tæthedsdeficit ($\Delta = (\rho - \rho_R)/\rho$); ρ er tætheden og ρ_R er en fast referencetæthed) og x -aksen er i tæthedsgradientens retning.

Som et regneeksempel kan vi se på 20 meters vanddybde og en gradient på $3 \times 10^{-8} \text{ m}^{-1}$ man finder da:

$$V_{\text{coriolis}} = 0.7 \text{ cm/s} \quad (= V^C)$$

$$V_{\text{densitet}} = -1.6 \text{ cm/s} \quad (= V^D)$$

Den resulterende fronthastighed er da -0.9 cm/s (rettet væk fra kysten nær overfladen).

Jyllandsstrømmen er typisk 2 måneder undervejs langs den Jyske kyst, og den tilhørende spredning er med udgangspunkt i ovennævnte eksempel 50 km.

V_C er altid vinkelret på hovedstrømningens retning, mens det bemærkes at V_D foregår i det plan, der indeholder tæthedsgradienten. V_C og V_D vil derfor kun i særlige tilfælde (f.eks. kystparallel strøm og gradient vinkelret på kysten) være parallelle. I regneeksemplet er de forudsat at være parallelle, men i det generelle tilfælde bestemmes den resulterende komponent ved vektorial addition.

Frontens udbredelse efterfølges af en vertikal opblanding, og det opblandede område hører da til Jyllandsstrømmen. Selv om der er modsatrettede hastigheder øverst og nederst i vandøjlen vil fronten af Jyllandsstrømmen derfor hele tiden søge væk fra kysten. Strømmen (og fronten) kan dog trykkes ind mod kysten af l. ordens strømmen langs kysten (ved advektion).

7.3 SYSTEM 21

Til beregning af den overordnede cirkulation i Nordsøen er anvendt 1-lagsmodellen S21 fra Dansk Hydraulisk Institut. Modelområdet er vist i figur 7-4 og netstørrelsen er 6173 m.

Modellen drives af tidevandskomponenter på den nordlige, åbne rand, af lufttrykket og vinden. Endvidere tilføres et ferskvandsoverskud, dels fra floder, og dels som diffus afstrømning. Effekten af ferskvandstilførslen fra den engelske østkyst er også inkluderet som vist på figur 7-5.

Det bemærkes at modellen er lukket i det sydlige Kattegat. Dette anses for tilstrækkeligt godt til simulering af Jyllandsstrømmen, men DHI har oplyst, at mindre præcise beregninger af tidevands højder langs den Jyske kyst nord for Limfjorden antagelig skyldes, at bølterne er lukkede.

Der er fremskaffet vinddata fra Meteorologisk Institut for nogle typiske vejr-situationer. Perioderne er følgende:

I : 15-29/7 1984 (NW type)
II : 17-30/10 1984 (W type)
III: 2-19/2 1986 (E type, Højtryk)
IV: 8-23/5 1986 (SW type)

Data udgøres af overfladetryk og 10 m vind i 1/2 grad felter, fra 5 W til 30 E og fra 50 N til 67 N. Hele Østersøen er således også omfattet af hensyn til evt. senere beregninger med åbne bølter.

7.4 Resultater

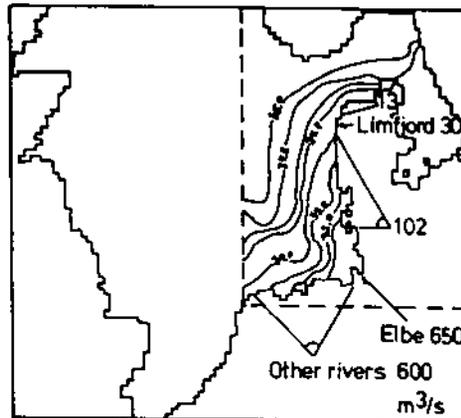
Som udgangspunkt for simuleringen i de 4 vejr-situationer er benyttet den salinitetsfordeling som er vist i figur 7-4. Her er forudsat at det mindre saltholdige kystvand allerede er blandet op i Nordsvandet. Situationen stammer fra februar 1983. Modellen er startet fra denne situation for at undgå en lang (og kostbar) række beregningstrin fra en situation med en homogen salt Nordse og udledning af ferskvand ved kysten.

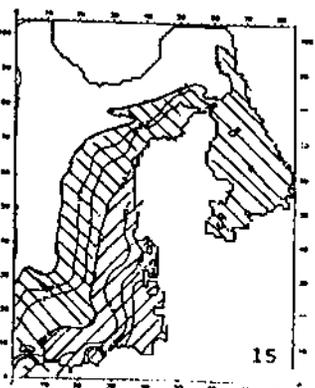
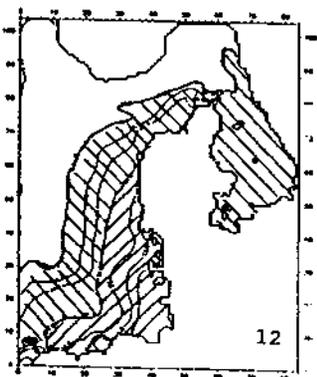
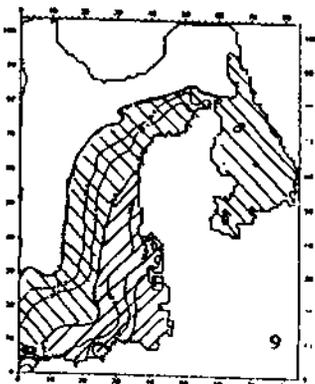
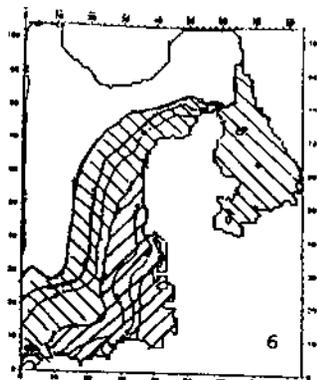
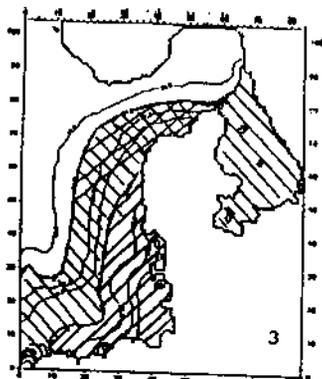
Kørslerne er dokumenteret i bilagene 1-5. Fra disse bilag er der fremstillet et sæt "tegneserier", der illustrerer Jyllandsstrømmens udbreddelse for forskellige påvirkninger. Bemærk, at salinitetsbilledet i Skagerrak/Kattegat er fiktivt.

Generelt skal det bemærkes, at de fleste kørsler - af økonomiske årsager - er kørt uden dispersion, hvilket kan godtgøres ud fra viden om, at dispersionen er betydningsløs i korte kørsler med stærkt dynamiske situationer. Den næsten stationære situation med W-lig vind er også kørt med dispersion (fig. 7-9). På grund af tids/ressourcenød blev frontblandingen (medrivningen) aldrig simplimeret i modellen. Frontblandingen har kun betydning, når der køres over meget lange perioder. I disse situationer er den til gengæld helt essentiel, idet det er den mekanisme, der betinger fortyndingen og vandføringsøgningen.

Figur 7.4

Det anvendte modelområde for System 21's beregning af strømmen (hele Nordse) og det udsnit, hvor saltdispersionen er simuleret. Endvidere er vist de anvendte ferskvandstilførsler og salinitetsfordelingen ved modelstart.





\\ \\ 34.0 - 34.8 ‰

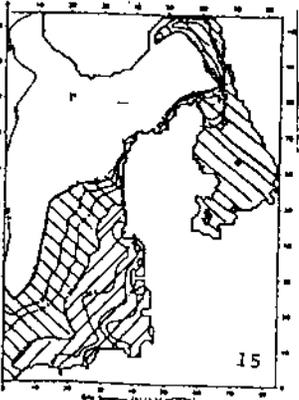
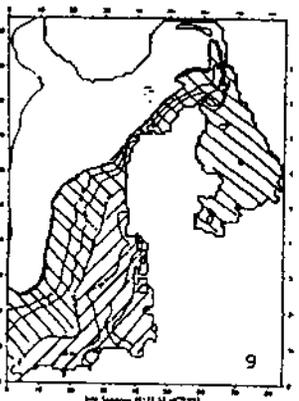
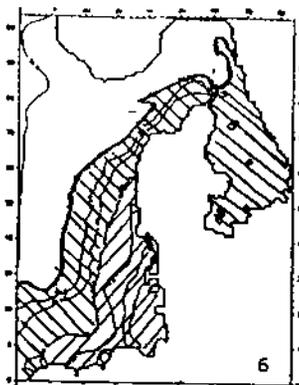
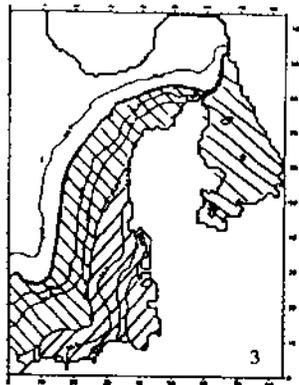
/// < 34.0 ‰

15 dage tidevand

DHI - System 21

Minus : Dispersion og
medrivning

Figur 7.6 viser salinitetsfordelingen ved rent tidevand. Man bemærket, at tidevand alene ikke kan forklare den kendte transport af vand.



Figur 7.7
Salinitetsforde-
lingen udviser
ved NW-vind en
tydelig kystse-
paration starten-
de ved Hænsthalm.
Fysikken bag
denne mekanisme
er. Nord for
Hænsthalm be-
virker vinden en
opstuvning ved
kysten og dermed
en forstærket
geotrof strøm.
Syd for Hænsthalm
bevirker vinden
en sydgående
strøm p.g.a.
corioliseffekten
(se også figur
7.11).

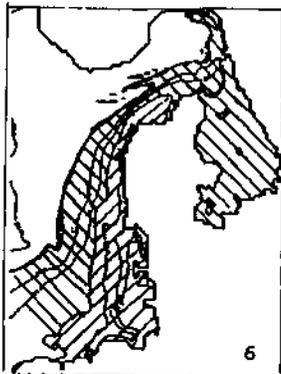
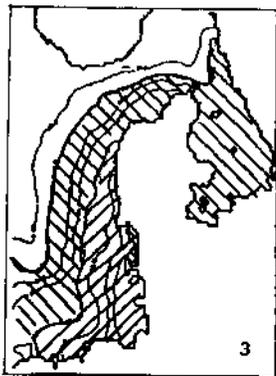
\\ \\ 34.0 + 34.8 ‰

/// < 34.0 ‰

15 dage NW - type
vind (+ tidev.)

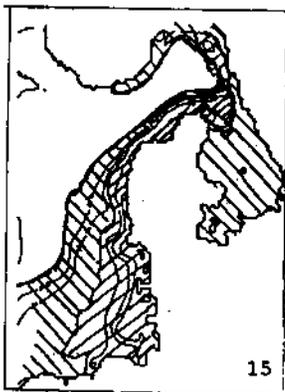
DHI - System 21

Minus : Dispersion og
medrivning



Figur 7.8

Den almindelige W-lige vind giver en stabil nordgående Jyllandsstrøm. Salinitetsfordelingen uden hensyntagen til dispersionen (den turbulente spredning) og uden medrivning (frontblanding) viser en transport af brakt vand ind i Skagerrak. Dette er selvfølgelig forkert, og fjernes ved at medtage dispersionen. (se figur 7.9).



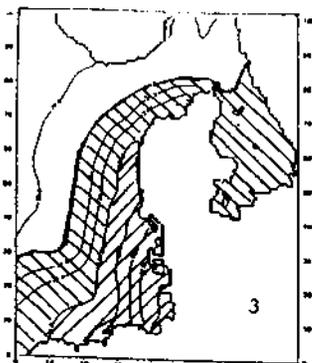
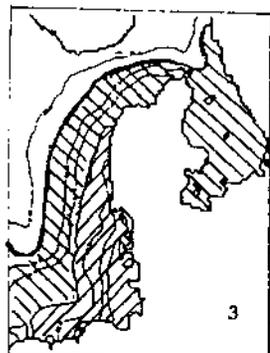
\\ \\ 34.0 - 34.8 ‰

/// < 34.0 ‰

15 dage W - type
vind (+ tidev.)

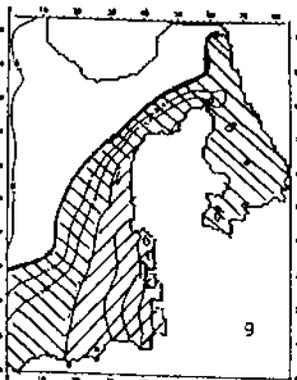
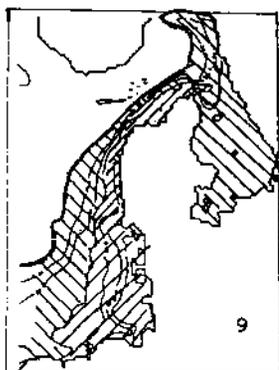
DHI - System 21

Minus : Dispersion og
medrivning

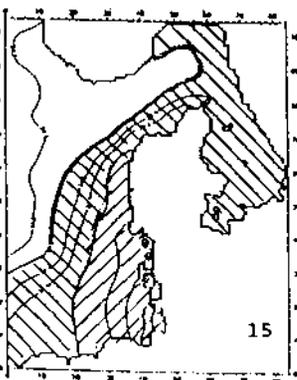
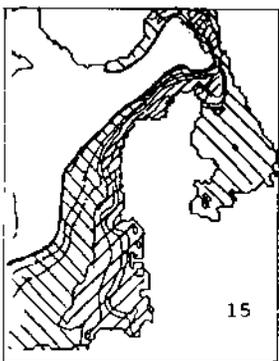


Vind:
Type W

DHI - System 21



Excl./ incl.
dispersion



\\ \\ 34.0 → 34.8 ‰
/// < 34.0 ‰

Figur 7.9
Her er vist 3 sæt
sammenhørende sali-
nitetskurver for
en kørsel uden dis-
persion (figur 7.8)
og en kørsel med
dispersion. Man be-
mærker, at det brak-
ke vand ($S < 34$ ‰)
har fået en station-
nær beliggenhed, når
dispersionen medta-
ges.

MINUS: Dispersion

PLUS: Dispersion

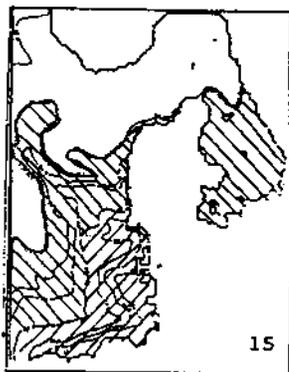
Begge: Minus medrivning



Figur 7.10

Den E-lige vind giver dels en udstømning fra Skagerrak, dels en transport væk fra kysten og dermed en opbremsning af Jyllandsstrømmen. Ligesom ved den NW-lige vind kan Jyllandsstrømmen forsvinde

helt nord for Hanstholm.



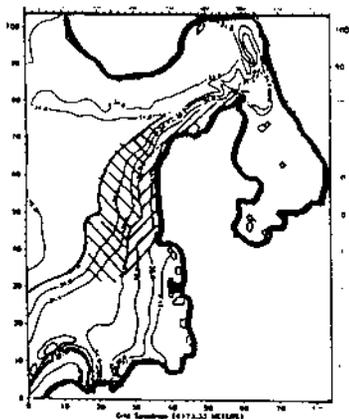
\\ \\ 34.0 - 34.8 ‰

/// < 34.0 ‰

15 dage E - type
vind (+ tidev.)

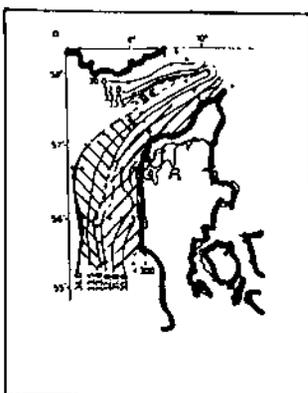
DHI - System 21

Minus : Dispersion og
medrivning



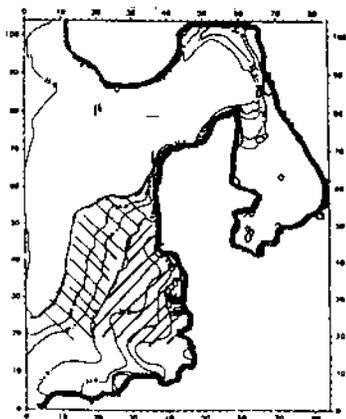
DHI - System 21

Periode 4 - SW type



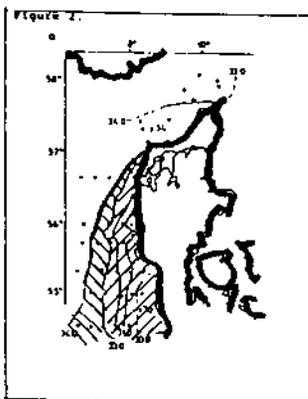
OBSERVERET: 9 - 16 maj 1983

Vind SE - S



DHI - System 21

Periode 1 - NW type



OBSERVERET: 3 - 9 november 1983

Vind W - NW

Figur 7.11

I denne figur er der foretaget en sammenligning mellem 2 feltobservationer og 2 kørsler med cirka samme meteorologiske forhold. Ligheden i mønstret er særdeles slående.

7.5 Konklusion

Modellen viser hvordan vindretningen påvirker fordelingen af saliniteten

Ved simuleringer med Dansk Hydraulisk Instituts-model System 21 i forskellige vindsituationer er det lykkedes at forstå de store variationer i salinitetsfordelingen, der observeres langs den jyske vestkyst. Undertiden ligger isohalinerne parallelt med kysten og viser transport af vand helt op i Skagerrak, men til andre tidspunkter synes strømmen at blive omtrent på højde med Limfjorden.

Denne udvikling af strømmen kan vises at være nært knyttet til vindfeltet. Ved nordvestlig vind sker der en kystseparation af strømmen ved Hanstholm, og strømmen syd herfor bliver sydgående. Østlig vind giver anledning til udstrømning fra Skagerrak samt til en transport væk fra kysten, og bremser derfor Jyllandsstrømmen. Vestlig vind giver en stabil nordgående Jyllandsstrøm og dermed de bedste betingelser for en hurtig transport til Skagerrak.

Der er udviklet en teori, der beskriver medrivningen af vand ind i Jyllandsstrømmen. Medrivningen forårsages af en svag tværcirkulation i strømmen, efterfuldt af en vertikal opblanding. Tværcirkulationen skyldes ubalancerede bidrag fra corioliskraften samt tæthedstrømninger (lock exchange). Inde i strømmen kan blandingen beskrives ved den klassiske dispersionskoefficient.

Modellen kan simulere transport og opblanding fra Tyske Bugt men ikke i Skagerrak

Med System 21 og den udviklede teori for medrivning kan der gøres rede for transport og blanding i Jyllandsstrømmen fra Tyske Bugt og Skagerrak. Modellen kan ikke beskrive dynamikken, og dermed transporten i Skagerrak. Den udgør et delelement af den samlede opgave: at kvalificere transporten fra Tyske Bugt til Kattegat.

Det er ikke lykkedes at nå at implementere medrivningsteorien i System 21 indenfor projektets rammer, men det er blevet klart hvorledes det skal gøres. Dette arbejde vil forhåbenligt kunne udføres i forbindelse med et videregående projekt til beskrivelse af cirkulationen i Skagerrak.

8. Sammenfatning og forslag til yderligere undersøgelser

I de senere år er det ofte blevet diskuteret hvorvidt der løber en egentlig strøm mod nord langs den jyske kyst. I NPO-redegørelsen (Miljøstyrelsen, 1984) antydes muligheden af, at der

med Jyllandsstrømmen føres betydelige mængder af næringssalte fra den sydøstlige Nordsø (Tyske Bugt) ind i Kattegat.

Undertiden strømmer Jyllandsstrømmen i en sydlig retning

Nærværende rapport fastslår Jyllandsstrømmens eksistens som en nordgående nettotransport af vand fra Tyske Bugt til Skagerrak. Den gennemsnitlige transport er omkring $200.000 \text{ m}^3/\text{s}$ hvilket kun svarer til strømhastigheder på 5-10 cm/sek, og såvel tidevand som vind vil derfor medføre, at der undertiden observeres en sydgående transport.

Ingen nærværende model kan beskrive Jyllandsstrømmen fra Skagerrak til Kattegat

Det er ikke lykkedes at pege på en eksisterende matematisk model, som kan beskrive transporten fra Tyske Bugt ind i Kattegat. Flere modeller kan beskrive cirkulationen i Nordsøen, og der findes ligeledes flere modeller for Kattegat. Imidlertid er den fysiske baggrund for cirkulationen i Skagerrak, og Jyllandsstrømmens opspaltning i et bidrag, der strømmer mod uret rundt i Skagerrakvirklen, og i et bidrag, som strømmer ind i Kattegat som bundvand, ikke forstået så godt, at den har kunnet modelleres (kapitel 6).

Jyllandsstrømmen er afhængig af vinden

Jyllandsstrømmens opførsel i Nordsøen, herunder specielt dens afhængighed af vinden, er blevet undersøgt og beskrevet i denne rapport. Dette er dels gjort ved at simulere transport og spredning med en matematisk model, dels ved at sammenstille hydrografiske og kemiske observationer fra området, (kapitel 4 og 7). Der er fundet god overensstemmelse mellem modelresultater og observationer og afbrydelser af strømmen, der tidligere har forekommet uforklarlige, er nu forstået ved modelsimuleringerne.

Jyllandsstrømmen bidrager muligvis med ca. halvdelen af Kattegats bundvand

Ved anvendelse af radioaktive sporstoffer indsamlet i havvandsprøver før udslippet fra Chernobyl i 1986 er det lykkedes at besvare spørgsmålet om, hvorvidt det er en ubetydelig del af Kattegats bundvand, der kommer med Jyllandsstrømmen fra Tyske Bugt, eller om det er en betragtelig andel. Med forbehold overfor beregningsusikkerheder er det sandsynliggjort at op til halvdelen eller noget mere af det indstrømmende bundvand til Kattegat har passeret Tyske Bugt området. Technetium-99 har vist sig at være en meget lovende tracer, som også kan anvendes efter udslippet fra Chernobyl, (kapitel 5).

Kan ikke sige hvor meget næringssalt tilføres Kattegat med Jyllandsstrømmen

Det skal understreges, at hvis dette resultat anvendes direkte til estimering af import af opløste stoffer, f.eks. næringssalte, så er det en forudsætning, at de opfører sig konservativt (ikke omsættes og ikke udskilles). Næringssalte opfører sig ikke-konservativt i en stor del af året (kapitel 4).

Det er af stor betydning for Kattegat, hvornår import af næringssalte finder sted. Transporten fra Tyske Bugt er ikke konstant, og importen til Kattegat er derfor tidsvarierende. Det er ønskeligt at belyse disse forhold nærmere.

Det skal derfor anbefales at

- iværksætte en matematisk modellering af transport af vand og opløste stoffer fra Nordøen til de indre danske farvande, med henblik på at forstå mekanismerne og kunne give en kvantitativ beskrivelse af transporterne og deres tidsvariation.
- iværksætte et projekt med Technetium-99 som radioaktivt sporstof, med det formål at kvantificere middeltransporterne og dermed levere en integralbetingelse, som kan fungere som et uafhængigt check af den matematiske model.
- undersøge årstidsvariationer i den biologiske omsætning af næringssalte med henblik på at kunne identificere de perioder, hvor betydelige mængder af næringssalte føres med Jyllandsstrømmen til Kattegat.



LITTERATURLISTE

- Aarkrog, A. 1987. Udnyttelse af radionukleider til belysning af transport og fortynding af vandbåren forurening fra området Tyske Bugt til Kattegat. Rapport til Miljøstyrelsen.
- Aarkrog, A. et al. 1987. Technetium-99 and Cesium-134 as long distance tracers in Arctic waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 24.
- Aure, J. & R. Sætre. 1981. Wind effects on the Skagerrak outflow. *Proc. Norweg. Coast. Current, Symp. 1980, Geilo*, p. 263-293, Univ. Bergen.
- Backhaus, H. 1978. On currents in the German Bight. - *Symp. on Mathematical Modelling of estuarine physics, Hamburg*.
- Backhaus, J. 1983. A semi-implicit scheme for the shallow water equations for application to shelf sea modelling. *Continental Shelf Research* 2 (4), 243-254.
- Backhaus, J. 1984. Estimates of the variability of low frequency currents and flushing-times of the North Sea. *ICES CM 1984/C:24*.
- Backhaus, J. 1985. A three dimensional model for the simulation of shelf sea dynamics. *Deutsche Hydr. Zeitschr.* 38, 165-187.
- Backhaus, J. & J. Bartsch. 1985. Circulation and recruitment: North Sea. *ICES CM 1985/C:30*.
- Backhaus, J. et al. 1985. North Sea circulation anomalies in response to varying atmospheric forcing. *ICES CM 1985/C:29*.
- Backhaus, J., T. Pohlmann & D. Hainbucher. 1986. Regional aspects of the circulation on the north European shelf. *ICES CM 1986/C:38*.
- Baltic Marine Environment Protection Commission. 1986. Water balance of the Baltic Sea. *Baltic Sea Environment Proceedings no. 16, Helsinki*.
- Becker, G. 1973. Sea surface salinities observed during the DHI's North Sea radiological surveys 1969-73. *DHZ* 26: 247-250.
- Carlson, H. (editor). 1986. Quality status of the North Sea. *Deutsche Hydr. Zeithschr. Reihe B* 16.

- Dahlgaard, H. et al. 1984. Radio-Cesium transport from the Irish Sea via the North Sea and the Norwegian Coastal Current to east Greenland: Transport times and dilution factors. ICES CM 1984/C:28.
- Dansk Hydraulisk Institut. 1977. Bøltprojektet. Matematiske modeller af Storebølt og Øresund. Rapport til Miljøstyrelsen, august.
- Dansk Hydraulisk Institut. 1986. Anvendelser af S-22.
- Deutsches Hydrographisches Institut. 1987. Dispersion of substances in the North Sea. Report No. 2149/33, Hamburg.
- Dietrich, G. 1950. Die natürlichen Regionen von Nord- und Ostsee auf hydrographischer Grundlage. Kieler Meeresforschung 7:2.
- Føyn, L. 1986. The use of nutrient distribution in the North Sea in explaining the dynamics of the different water masses. ICES CM 1986/C:25.
- Gammelsrød, T. & B. Hackett. 1981. The circulation of the Skagerrak determined by inverse methods. In: The Norwegian Coastal Current, ed. Mork, M. & R. Sætre, Univ. Bergen.
- Goldberg, E.D. (editor). 1973. North Sea Science. Hill: Currents and water masses. Nihoul: Mathematic models. Weidemann: Diffusion. MIT Press.
- Hainbucher et al. 1986. Atlas of climatological and actual seasonal circulation patterns in the North Sea and adjacent shelf regions: 1969-1981. Tech. Rep. No. 1-86. Institut für Meereskunde, Hamburg.
- ICES. 1983. Flushing times of the North Sea. Cooperative Research Report 123.
- ICES WG Pollution Related Studies in the Skagerrak and Kattegat. 1986. Assessment of the environmental conditions in the Skagerrak and Kattegat.
- Jacobsen, T.S. 1980. Sea water exchange of the Baltic. Miljøstyrelsen.
- Jacobsen, T.S. & N.-E. Ottesen Hansen. 1985. Oxygen depletion in the Kattegat. Nordic Hydrology 16.

- Jensen, T.G. & S. Jonsson. 1985. Current conditions along the Danish west coast. ICES CM 1985/C:35.
- Jensen, T.G. & O.V. Olsen. 1985. The Jutland Current. Fall 1984 and Spring 1985. ICES CM 1985/C:36.
- Jensen, T.G., G.Kullenberg & O.V. Olsen. 1983a. The Jutland Current. Carrier of North Sea signals towards the Baltic Sea. ICES CM 1983/C:5.
- Jensen, T.G., G. Kullenberg & O.V. Olsen. 1983b. The Jutland Current ICES CM 1983/C:6.
- Kautsky, H. 1973. The distribution of the radio-nuclide Caesium 137 as an indicator for North Sea watermass transport. Dt. Hydrogr. Z. 26, 241-246.
- Kautsky, H. 1981. Radiological investigations in the Western Baltic Sea including Kattegat during the years 1975 to 1980. Deutsche Hydrographische Zeitschr. 4.
- Knudsen, M. 1899. De hydrografiske forhold i de danske farvande inden for Skagen i 1894-98. Komm. for Vidensk. Unders. i de danske farvande, 2:2.
- Laevastu, T. 1963. Serial atlas of the marine environment. Folio 4.
- Lee, A.J. 1970. The currents and watermasses of the North Sea. Oceanogr. Mar. Biol. 8: 33-71.
- Lee, A.J. 1980. North Sea: Physical Oceanography. in: Banner et al. (editors): The North-West European Shelf Seas. Elsevier.
- Ljøen, R. & R. Saetre. 1985. Outflow of Skagerrak water to the North Sea during Summer 1984. ICES CM1985/C:21.
- Maier-Reimer, E. 1977. Residual circulation in the North Sea due to the M_2 -tide and mean annual wind stress. Dt. Hydrogr. Z. 30 (3): 69-80.
- Maier-Reimer, E. 1979. Some effects of the Atlantic circulation and of river discharges on the residual circulation of the North Sea. Dt. Hydrogr. Z. 32 (3): 126-130.

- Miljøstyrelsen. 1984. Modelberegninger for Kattegat.
- Miljøstyrelsen. 1984. NPO-redegørelsen.
- Mork, M. 1981. Circulation phenomena and frontal dynamics of the Norwegian Coastal Current. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A302: 635-647.
- Møller, P. & A. Svansson. 1982. Current measurements in the northern Kattegat 1974-77. Medd. Havsfiskelab Lysekil No 277.
- Müller-Navarra, S. 1983. Simulation von Bewegungsvorgängen im Übergangsgebiet zwischen Nord- und Ostsee. Diplomarbeit, Univ. Hamburg.
- Müller-Navarra, S. & J. Backhaus. 1983. Some model studies of the dynamics of the transition area between North Sea and the Baltic. ICES CM 1983/C:17.
- Müller-Navarra, S. & E. Mittelstaedt. 1985. Schadstoffausbreitung und Schadstoffbelastung in der Nordsee. Deutsches Hydrographisches Institut, Hamburg.
- Nihoul, J. et al. 1980. The residual circulation of the North Sea. ICES CML1980/C:22.
- North Sea Conference. 1987. Report of the oceanography sub-group. Department of the Environment, UK.
- Norton, R.L. 1982. Assessment of pollution loads to the North Sea August 1982. Water Research Center, Tech. Rep. TR 182.
- Pedersen, Fl. Bo. 1987a. Memo vedrørende den sekundære effekt af corioliskraften.
- Pedersen, Fl. Bo. 1987b. Memo vedrørende den sekundære effekt af tæthedsgradienter.
- Richardson, K. 1985. Plankton distribution and activity in the North Sea/Skagerrak-Kattegat frontal area in April 1984. Marine Ecology 26: 233-244.
- Rohde, J. 1978. A model for the mean circulation in the Skagerrak and a comparison with observed currents. ICES CML1978/C:45.
- Rydberg, L. Vestkystens hydrografi og nærsalttransporter, trender och klimatberoende i Østersjøen och Væsterhavet. Utkast.

- Rydberg, L. 1987. Hydrography, nutrient and oxygen balance of the Kattegat and related phenomena. Göteborg University. (Dissertation).
- Rydberg, L. & J. Sundberg. 1984. On the supply of nutrients to the Kattegat. Göteborg University, Ocean. Inst. Rep. 44.
- Statens Naturvårdsverk. (Ulf Ehlin, Ragner Elmgren & R. Rosenberg). Eutrofiering i marin miljø.
- Stigebrandt, A. 1983. A model for the exchange of water and salt between the Baltic and the Skagerrak. J. Phys. Ocean. 13.
- Stigebrandt, A. 1984. Troll field engineering studies: oceanographic support worktask report 3. A model for the estuarine circulation in the Skagerrak. Norwegian Hydrodynamic Laboratories. Report STF88 P84017.
- Svansson, A. 1965. Some hydrographic problems of the Skagerrak. Progress in Oceanography. 3, Pergamon Press.
- Svansson, A. 1975. Physical and chemical oceanography of the Skagerrak and the Kattegat. Fishery Board of Sweden, Inst. Mar. Res., Rep. no. 1.
- Svansson, A. 1984a. Hydrographic features of the Kattegat. Rapp. P.v. Reun. Cons. Int. Expl. Mer. 185: 78-90.
- Svansson, A. 1984b. Long-term variations in the Kattegat hydrography. ICES CM1984/C:14.
- Sündermann, J. & W. Lenz. (eds.) 1983. North Sea Dynamics. L. Otto: Currents and water balance. Davies: (3D-model) Backhaus, Maier-Reimer (Seasonal circulation) mm. Springer Verlag.
- Szaron, J. 1979. Preliminary transport computations of water, salt and nutrients through the Göteborg - Frederikshavn (GF) section in the northern Kattegat, based on measurement 1975-77. Medd. Havfiskelab. Lysekil, Rep. No. 255.
- Sætre, R. 1983. Strømforholdene i de øvre vandlag utenfor Norge. Rapport FO 8306, Havforskningsinstituttet, Bergen.
- Taylor, A. B. 1986. Modelling contaminants in the North Sea. Draft, Inst. Mar. Envir., Res., Plymouth, England.

- Thomsen, H. 1939. Note on a secular variation of the current at the lightvessels "Horns Rev" and "Vyl". Journ. du Conseil Int. exp. Mer. XIV (3).
- Thorstensson, B. 1981. Mean values and time development of some parameters at the GF section in the northern Kattegat. Medd. Havsfiskelab. Lysekil No. 262.
- Tomczak, G. 1968. Die Wassermassenverteilung und Strömungsverhältnisse am Westausgang des Skagerraks während der international Skagerrak-Expedition im Sommer 1966. Deutsche Hydr. Zeitschr. 21, pp. 97-105.
- Tomczak, G. & E. Goedeke. 1964. Die thermische Schichtung der Nordsee auf grund des mittleren Jahresganges der Temperatur in 1/2 und 1° Feldern. Erg. Heft. Reihe B (4^o) Nr. 8. Deutsche Hydr. Zeitschr.



Registreringsblad

Udgiver: Miljøstyrelsen, Strandgade 29, 1401 København K.

Serietitel, nr.: NPo-forskning fra Miljøstyrelsen, C6

Udgivelsesår: 1990

Titel:

Jyllandsstrømmen

Undertitel:

En transportmekanisme fra Tyske Bugt til Kattegat?

Forfatter(e):

Richardson, Katherine; Jacobsen, Torben

Udførende institution(er):

Danmarks Fiskeri- og Havundersøgelser;
Danmarks Tekniske Højskole. Institutet for
Strømningsmekanik og Vandbygning

Resumé:

Kattegat modtager vand fra både Østersøen og Nordsøen. Nord-
søvandet kan være forholdsvis rent vand fra Nordatlanten, eller
det kan stamme fra den sydlige del af Nordsøen og være ført til
Skagerrak med Jyllandsstrømmen. Formentlig er det begge dele.
Med dette projekt kan det ikke afvises, at den sydlige del af Nord-
søen bidrager væsentligt til Kattegats bundvand. Faktisk tyder
isotopmålinger på, at mellem halvdel og to trediedele af Katte-
gats bundvand har passeret Tyske Bugt.

Emneord:

næringsstoffer; vandtransport; matematiske modeller; hydrografi;
temperatur; salinitet; tidsvariationer; Nordsøen; Kattegat

ISBN: 87-503-8508-9

ISSN:

Pris: 70,- (inkl. 22 % moms)

Format: A5

Sideantal: 68 s.

Md./år for redaktionens afslutning: marts 1990

Oplag: 450

Andre oplysninger:

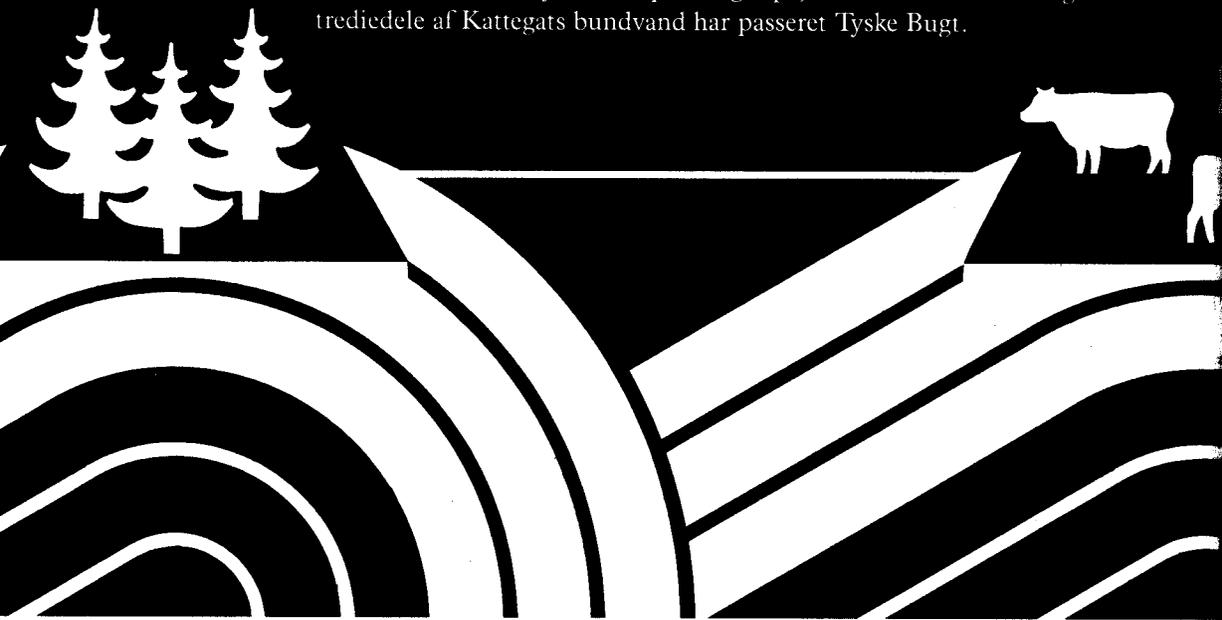
Rapport fra koordinationsgruppe C for vandløb, søer og marine
områder

Tryk: Luna-Tryk ApS, København

Jyllandsstrømmen

SKRIBET MFC 1990

Kattegat modtager vand fra både Østersøen og Nordsøen. Nordsøvandet kan være forholdsvis rent vand fra Nordatlanten, eller det kan stamme fra den sydlige del af Nordsøen og være ført til Skagerrak med Jyllandsstrømmen. Formentlig er det begge dele. Med dette projekt kan det ikke afvises, at den sydlige del af Nordsøen bidrager væsentligt til Kattegats bundvand. Faktisk tyder isotopmålinger på, at mellem halvdelen og to trediedele af Kattegats bundvand har passeret Tyske Bugt.



Miljøministeriet **Miljøstyrelsen**

Strandgade 29, 1401 København K, tlf. 31 57 83 10

Pris kr. 70.- inkl. 22% moms

ISBN nr. 87-503-8508-9

Miljøstyrelsen