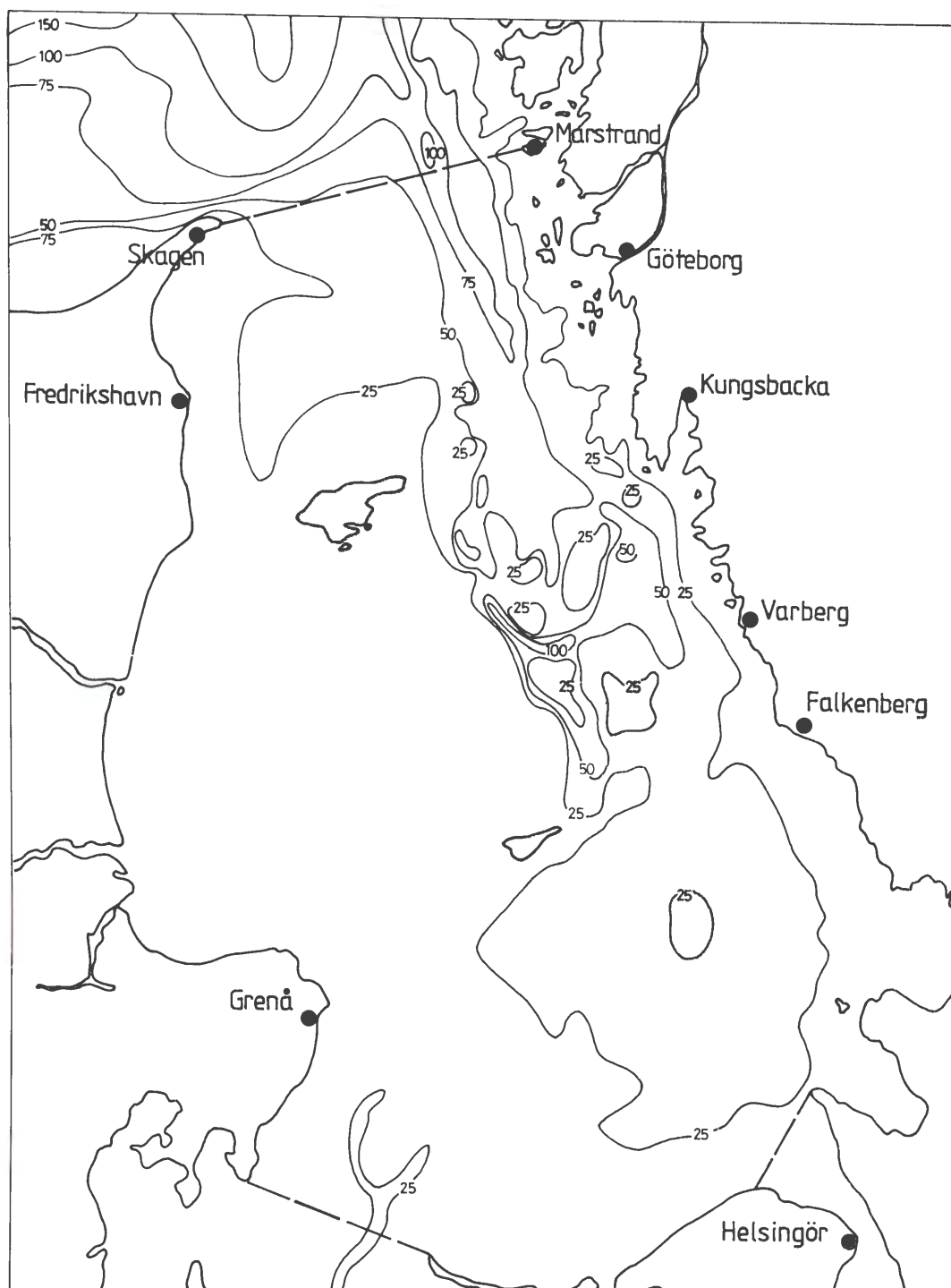




## KATTEGATT-havet i väster



# KATTEGATT- havet i väster

Stig H Fonselius



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

|        |                                       |      |    |
|--------|---------------------------------------|------|----|
| 1.     | Kattegatts hydrografi                 | sid. | 5  |
| 1.1.   | Gränser                               | "    | 5  |
| 1.2.   | Topografi och djupförhållanden        | "    | 5  |
| 1.3.   | Vattnets skiktning                    | "    | 6  |
| 1.4.   | Sötvattenstillförseln                 | "    | 6  |
| 1.5.   | Vattenbalansen                        | "    | 7  |
| 1.6.   | Strömmar och vågor                    | "    | 8  |
| 1.6.1. | Stående vågor                         | "    | 8  |
| 1.6.2. | Tidvatten                             | "    | 9  |
| 1.6.3. | Vindströmmar                          | "    | 10 |
| 1.6.4. | Kustströmmar                          | "    | 10 |
| 1.6.5. | Restströmmar                          | "    | 12 |
| 1.7.   | Temperatur- och salthaltsförhållanden | "    | 13 |
| 1.7.1. | Temperatur                            | "    | 13 |
| 1.7.2. | Salthalt                              | "    | 14 |
| 1.8.   | Syrgasförhållanden                    | "    | 15 |
| 1.9.   | Närsalter                             | "    | 18 |
| 1.9.1. | Produktionsbegränsande näringsämnen   | "    | 18 |
| 1.9.2. | Kvävenärsalter                        | "    | 18 |
| 1.9.3. | Fosfor                                | "    | 20 |
| 1.9.4. | Trender                               | "    | 21 |
| 1.10.  | Belastning                            | "    | 22 |
| 1.11.  | Slutord                               | "    | 23 |
| 1.12.  | Referenser                            | "    | 24 |



## 1. KATTEGATTS HYDROGRAFI

Stig H. Fonselius

### 1.1. Gränser.

Kattegatt utgör en del av övergångsområdet mellan Östersjön och Nordsjön. Förbindelsen med Skagerrak i norr är mycket vid och det finns ingen klar gräns. Gränsen brukar dras från Skagens rev till Marstrand (Pater Noster). Enligt överenskommelse i Helsingforskommissionen (Helcom) går gränsen från Skagen längs linjen  $57^{\circ} 44' 8''$  N. Här kommer dock den förstnämnda gränsen att tillämpas, eftersom Kattegatts yta och volym beräknats med användning av denna. Gränsen mellan Kattegatt och Östersjön (Bälthavet) går från Hasenör (SSE Aebeltoft) till Själlands Odde och i Öresund går den från Gilleleje till Kullen (Svansson 1975).

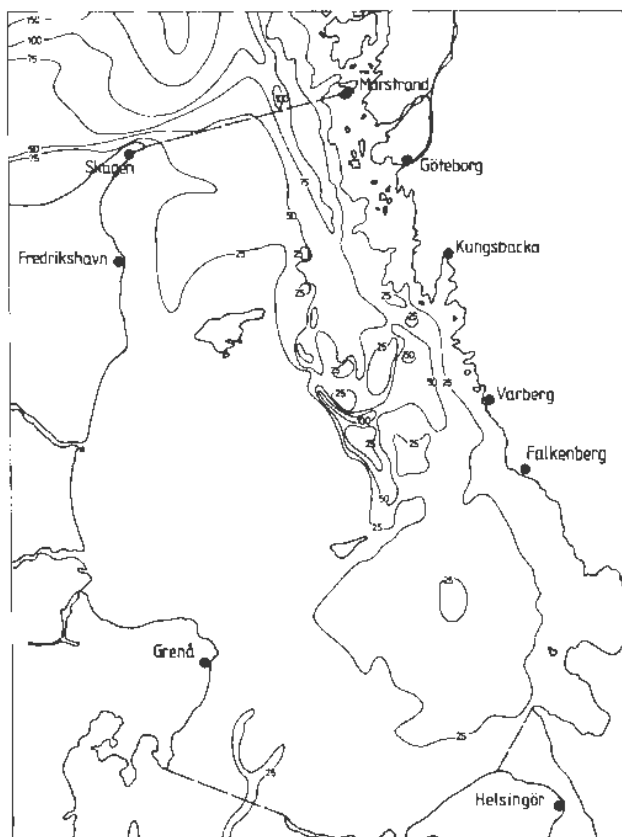


Fig.1. Karta över djupförhållandena i Kattegatt. Djup i meter.

### 1.2. Topografi och djupförhållanden.

Kattegatt<sub>2</sub> är ett mycket grunt<sub>3</sub> hav, medeldjupet är endast 23 m, ytan är 22 287 km<sup>2</sup> och volymen 515 km<sup>3</sup> (Mikulski 1986). Mer än hälften av hela Kattegatt har vattendjup mindre än 25 m, men i norr sträcker sig en förlängning av Norska Rännan i Skagerrak längs den svenska kusten söderut och kallas nu Djupa Rännan. I norr är vattendjupet omkring 100 m, men det minskar till 75 m utanför Vinga. Öster om Läsö är djupet omkring 60 m, öster om Anholt omkring 40 m och vid Öresunds nordliga ca. 30 m. Isolerade djupområden med omkring 100 m djup finns ned till Anholt. I den västliga delen av Kattegatt är djupet ringa; i Ålbæk Bugt och nord om Läsö ca. 30 m, i Läsö ränna ca. 15 m, i Ålborg Bugt ca. 10 m (ofta mindre) och nordväst om Själland ca. 20 m (Fig. 1).

### 1.3. Vattnets skiktning.

Kattegatts vatten är skiktat i två lager, ett övre ytlager med bräckt vatten som strömmar ut från Östersjön, och ett djuplager med havsvatten som rinner in från Skagerrak. Salthaltsskillnaden mellan lagren är stor och därför är skiktningen mycket stabil och skarp. De två lagren skiljs åt av ett salthaltssprångskikt (haloklin), som i medeltal ligger på 15 m djup. I detta skikt ändras salthalten drastiskt (språngvis) inom ett omkring 10 m tjockt vattenlager. Detta språngskikt är permanent och förekommer året runt. Dessutom utbildas under våren och sommaren ett temperatursprångskikt, som igen försvinner under senhösten och vintern. I den Baltiska Strömmen sker det en kraftig omblandning och temperaturen är vanligtvis homogen ned till salthaltssprångskiktet. Fig. 2 visar en principskiss av salthaltsskiktningen i Kattegatt.

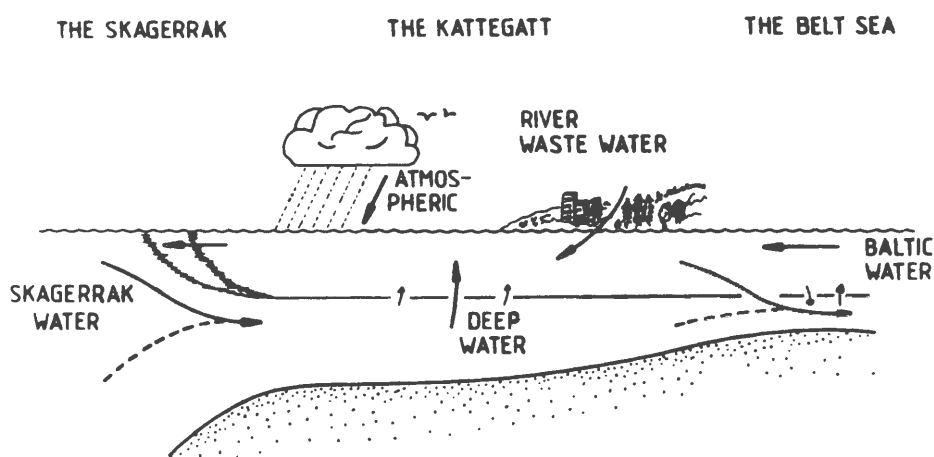


Fig. 2. Salthaltsskiktningen i Kattegatt (Rydberg 1987).

### 1.4. Sötvattenstillförseln.

Kattegatt tillförs sötvatten från danska och svenska vattendrag. Tillförseln från Danmark kan indelas i tre delar: a) från Själland omkr. 14 m<sup>3</sup>/s, b) från Jylland, med undantag av Limfjorden, omkr. 55 m<sup>3</sup>/s, c) från Limfjorden. Det finns en avrinning till Limfjorden från Jylland, omkr. 80 m<sup>3</sup>/s. Om vi antar att det mesta av detta vatten rinner ut i Nordsjön, kan vi ta 30 m<sup>3</sup>/s som ett grovt värde för tillförseln till Kattegatt, (Svansson 1975). På detta sätt erhåller vi en total tillförsel av 99 m<sup>3</sup>/s från danska vattendrag till Kattegatt. Om vi lägger till bidraget från svenska älvar (tabell 1), så får vi en total tillförsel av 885 m<sup>3</sup>/s, motsvarande 28 km<sup>3</sup>/år (Svansson 1975).

Tabell 1.

| Svenska älvar som mynnar ut i Kattegatt. |                                   |                                 |
|------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Namn                                     | Avrinningsområde, km <sup>2</sup> | Vattenföring, m <sup>3</sup> /s |
| Viskan                                   | 2 201                             | 32                              |
| Ätran                                    | 3 343                             | 46                              |
| Nissan                                   | 2 682                             | 40                              |
| Lagan                                    | 6 444                             | 70                              |
| Göta älv                                 | 50 181                            | 530                             |
| Övriga                                   | 5 289                             | 68                              |



### 1.5. Vattenbalansen.

En arbetsgrupp inom Helsingforskommissionen (Helcom) har beräknat vattenbalansen för Östersjön, inkluderande Kattegatt. Man erhöll följande resultat för sötvattenstillförsel och avdunstning, (Tabell 2). Från Mikulski and Falkenmark (1986).

Tabell 2.

| Tillförsel från land, nederbörd och avdunstning i Kattegatt. |             |       |                     |              |
|--------------------------------------------------------------|-------------|-------|---------------------|--------------|
|                                                              | Period      | mm/år | km <sup>3</sup> /år | Källa        |
| Älvar och åar                                                | 1951 - 1970 | 917   | 28,87               | Z. Mikulski  |
| Nederbörd                                                    | 1951 - 1970 | 701   | 15,62               | B. Dahlström |
| Avdunstning                                                  | 1862 - 1978 | 541   | 12,06               | D. Henning   |

Helsingforskommissionens arbetsgrupp har också ställt upp en vattenbalansmodell för hela Östersjösystemet, där de utom ovannämnda parametrar också har beräknat nettoflöden genom de olika delområdena. För Kattegatt erhåller de ett nettotillskott från Östersjön, inkluderande Bälthavet och Öresund, av 482,2 km<sup>3</sup>/år. Nettoutflödet till Skagerrak och Nordsjön blir då 514,6 km<sup>3</sup>/år (Fig. 3). Största delen av flodvattentillskottet i Kattegatt utgörs av Göta älvs vatten (omkr. 67%). Göta älv utmynnar mycket nära den norra gränsen för Kattegatt. Vid utström från Östersjön längs den svenska kusten i Kattegatt, går Göta älvs vatten nästan direkt ut i Skagerrak utan att påverka Kattegatt. Dessa förhållanden är mycket vanligare än inström av ytvatten till Östersjön genom Kattegatt och då bör Göta älv utelämnas från balansberäkningen. I fig. 3 visas denna balans med streckade pilar. Siffran inom parentes anger det hypotetiska års-nettotransportvärdet utan Göta älv. Detta är ett minimumvärde, som förutsätter att det inte förekommer några inströmningar av ytvatten till Östersjön. Det riktiga värdet bör

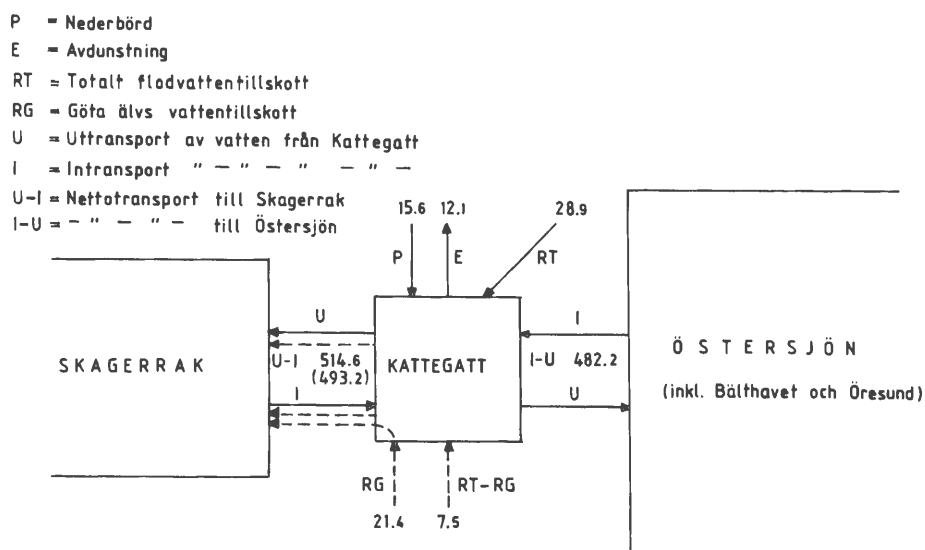


Fig.3. Boxmodell av vattenbalansen i Kattegatt i km<sup>3</sup>/år.

ligga mellan dessa värden. Det är också viktigt att komma ihåg att förhållandena varierar från år till år och att man, om man vill beräkna förhållandena vid ett speciellt tillfälle, måste ha tillgång till balansvärden för den aktuella månadaden och året. Vatten- och materialtransportberäkningar för Kattegatt utfördes också under "The Baltic Entrance Project" (Löf and Thorstensson 1980). Inom projektet har Szaron (1979) beräknat medeltransporterna 1975 - 1977 med hjälp av olika metoder. Han erhöll värden som ligger (i vissa metoder) nära Helcoms resultat. Szaron beräknade medelvattentransport, salttransport, totalfosfortransport och totalkvävetransport. Tabell 3 visar den av Szarons alternativa beräkningar, som ligger närmast Helcoms resultat.

Tabell 3

Årlig medeltransport av vatten, salt, tot. P och tot. N  
i Kattegatt.

| Transp.   | Vatten (km <sup>3</sup> ) | Salt (ton)           | Tot. P (ton) | Tot. N (ton) |
|-----------|---------------------------|----------------------|--------------|--------------|
| In        | 1 070                     | 35,6x10 <sup>9</sup> | 22 800       | 182 000      |
| Ut        | 1 530                     | 39,8x10 <sup>9</sup> | 32 400       | 322 000      |
| Differens | -460                      | -4,2x10 <sup>9</sup> | -9 600       | -140 000     |

På grund av Kattegatts breda mynning mot Skagerrak, är det mycket svårt att beräkna bruttotransporter, man kan på grund av vatten-cirkulationen ha utflöde till Skagerrak i ytvattnet t.ex. vid svenska kusten och inflöde på danska sidan och mellan dessa strömmar kan vattnet vara stillastående. Likaså kan djupströmmen variera i riktning på olika ställen. Man måste därför vara mycket försiktig med slutsatser. Det är därför också svårt att beräkna vattnets uppehålls tider i Kattegatt. Rydberg et al. (1987) anger uppehållstiden för ytvattnet till storleksordningen en månad och för djupvattnet till 1 - 4 månader.

#### 1.6. Strömmar och vågor.

##### 1.6.1. Stående vågor.

Strömmar förorsakade av stående vågor får karakteristiska perioder. Det finns många olika vågsystem inom Östersjöområdet, som åstadkommer perioder på t.ex. 21,8, 10,7 och 4,3 timmar. Svansson (1972) fann en period på 11 dygn i systemet Östersjön - Skagerrak. Dessa strömmar iakttas som förändringar i vattenståndet. I skiktade hav kan man också finna interna vågor i språngskiktet. Kullenberg (1935) har undersökt interna vågor i Kattegatt.

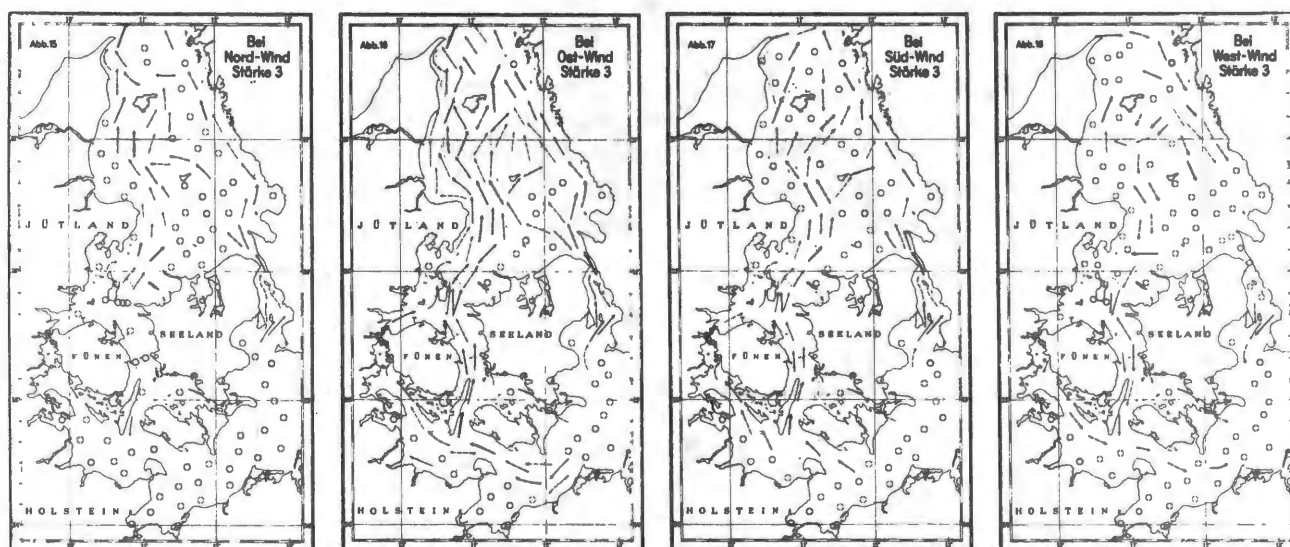


### 1.6.3. Vindströmmar.

Det förekommer också vindströmmar och andra strömmar som förorsakas av lufttrycksförändringar. Vinden över havsytan åstadkommer genom friktion en ström som anses få en hastighet av omkring 1 - 3 % av vindens hastighet i Kattegatt. Denna ytström vrider sig till höger över den fria vattenytan i Kattegatt, på grund av Corioliskraften, som avlänskar alla rörelser på norra halvklotet till höger. Förändringar i det atmosfäriska trycket påverkar vattenståndet och förorsakar därför en ström. Svansson (1975) har funnit att i Kattegatt en förändring av lufttrycket med 1 mb, påverkar vattenståndet 2 cm. Ett lågtryck är vanligen förenat med västliga vindar som höjer havsytan i Nordsjön och Skagerrak. Förändringar i lufttrycket kan knappast förekomma utan att åstadkomma vindar.

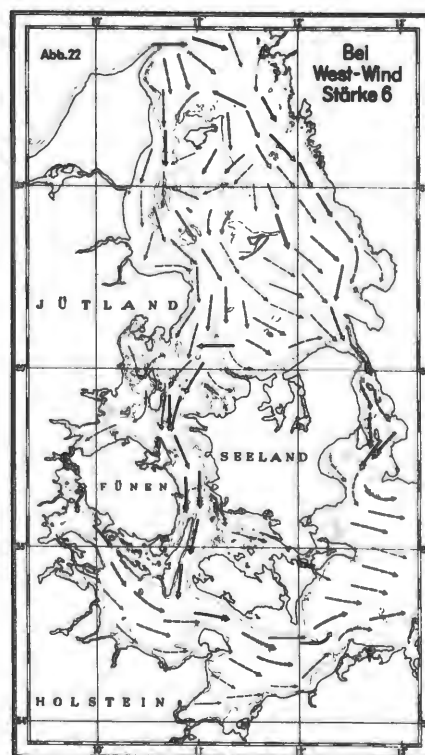
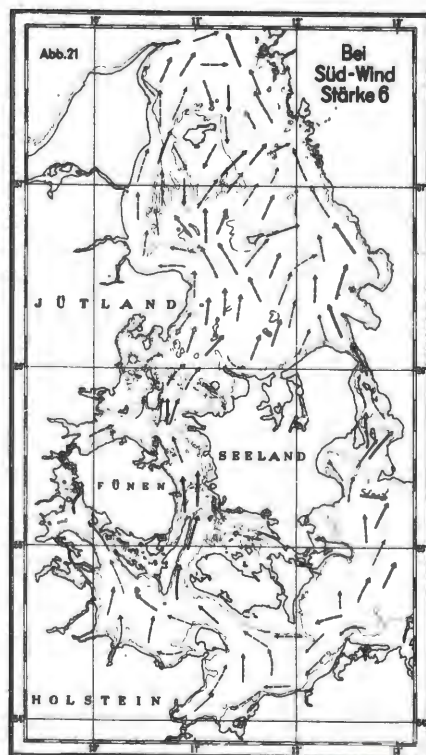
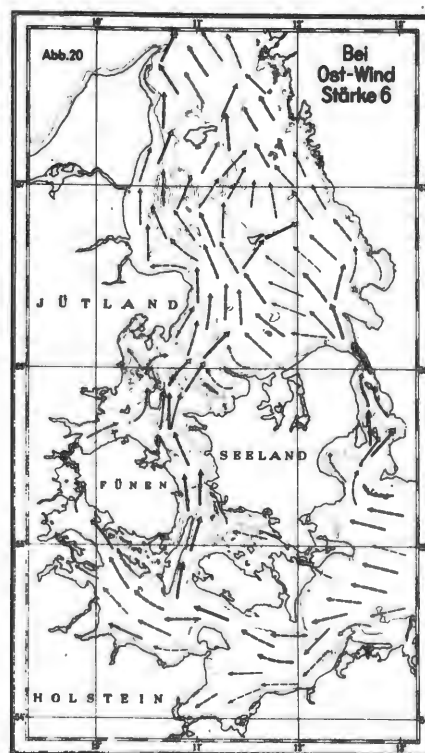
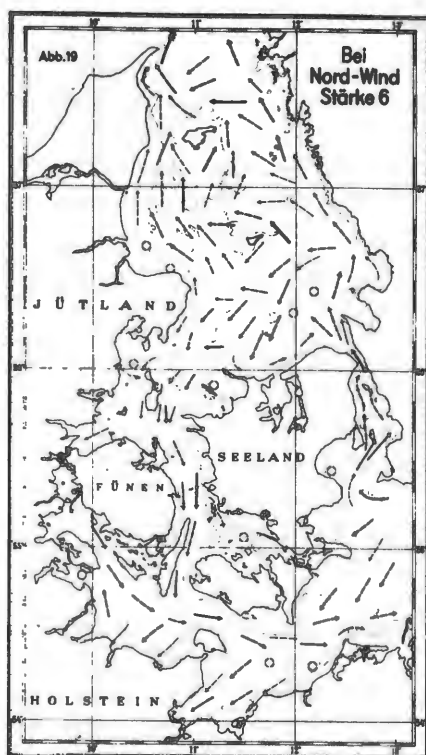
### 1.6.4. Kustströmmar.

Kusten åstadkommer indirekt vindströmmar, vattenståndsströmmar. Kattegatt och Skagerrak är mycket mera påverkade av vindar och förändringar av lufttrycket över Nordsjön och Östersjön, än av direkta lokala krafter (Dietrich 1951). Fig. 5 och 6 visar ytströmmarna i Kattegatt enligt Dietrich vid olika vindriktningar och vindstyrkor.



Stärke 3 = 3.4 - 5.2 m/s

Fig. 5a, b, c och d. Ytströmmar i Kattegatt vid olika vindförhållanden. Vindstyrkan anges i Beaufort. (Från Dietrich 1951).



Stärke 6 = 9.9 - 12.4 m/s

Fig. 6a, b, c och d. Ytströmmar i Kattegatt vid olika vindförhållanden. (Från Dietrich 1951).



### 1.6.5. Restströmmar.

Permanent eller s.k. restströmmar, är strömmar som förekommer under långa perioder (längre än några veckor). I Kattegatt är "den Baltiska Strömmen" en permanent ström. Den förorsakas av Östersjöns positiva vattenbalans (det årliga sötvattensöverskottet). Vanligtvis rinner den som en ytström norrut genom Kattegatt, längs den svenska kusten och följer sedan Norges sydkust ut i Norska havet. Den kännetecknas av sin låga salthalt och består av nettoöverskottet av vatten från Östersjön, uppblandat med underifrån kommande Kattegattdjupvatten. Fig. 7 visar den Baltiska strömmen längs den svenska kusten. Eftersom kattegattvatten från djupare lager blandas in i strömmen, måste detta vatten ersättas med en sydgående djupström från Skagerrak. I figuren visas denna kompensationsström med streckade pilar. Fig. 8 visar ett hydrografiskt tvärsnitt från Fredrikshavn till Göteborg. Isolinjerna för salthalt är utritade. Den Baltiska strömmen med sin låga salthalt syns tydligt vid den svenska kusten. Men den Baltiska strömmen är inte helt permanent. Den kan vid vissa vindförhållanden försvinna och då breder det baltiska vattnet med sin låga salthalt ut sig över hela Kattegatts yta. Vid starka västliga vindar kan den baltiska strömmen gå i motsatt riktning och då får vi en sydgående ström längs den svenska kusten. Ett sådant tillfälle visas i fig. 5d. Vinden är västlig och vindhastigheten är 6 Beaufort. I hela Kattegatts yta strömmar vattnet söderut och in i Östersjön genom Bälten och Öresund. Vid västlig vind och styrka 3 Beaufort upphör den baltiska strömmen, men sydgående ström kan endast iakttas utanför Bohuskusten. Söderut är vattnet stillastående, men svag inström sker genom Bälten (Fig 5d).

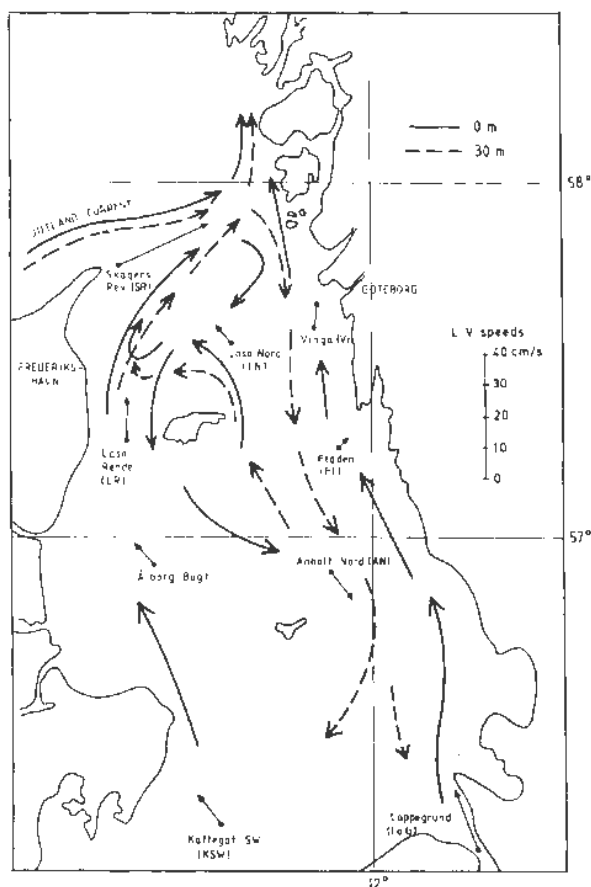


Fig. 7. Sannolik årlig medelströmfördelning i Kattegatt. (Från Svansson 1984).

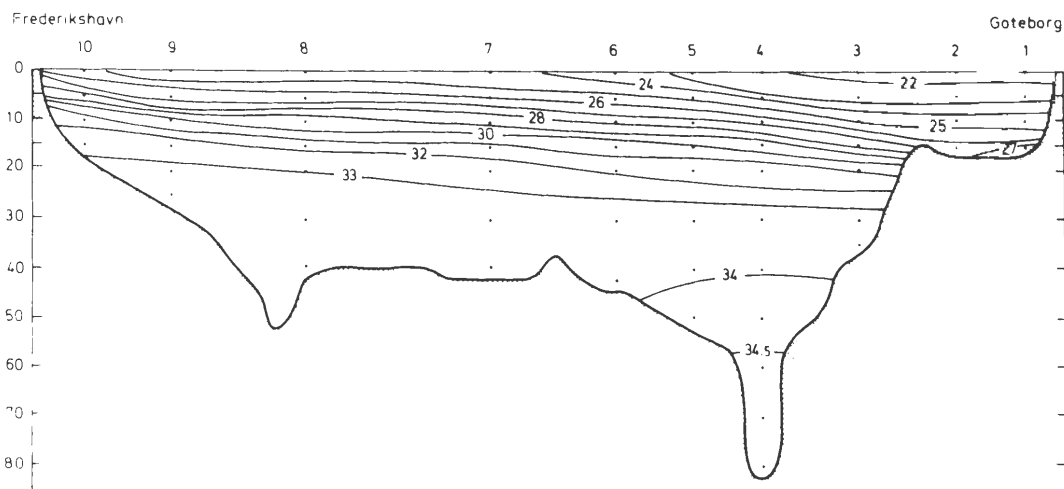


Fig. 8. Medelsalthaltfördelning 1975 -1977. Tvärsnitt genom Kattegatt. Fredrikshamn - Göteborg. (Från Thorstensson 1980).

### 1.7. Temperatur- och salthaltsförhållanden.

#### 1.7.1. Temperatur.

Årstidsvariationerna i Kattegatts vatten är kraftiga. Fig. 9 visar temperaturförhållandena vid Fladen som långtidsmånadsmedelvärden (Svansson 1984). Variationerna är störst i ytvattnet. Under vintern kan temperaturen sjunka under fryspunkten och under sommaren kan den stiga till omkring 20 °C. I april-maj och oktober-november kan temperaturen vara nästan homogen från ytan till botten. Det är anmärkningsvärt att temperaturförändringarna synes tränga genom det mycket stabila salthaltssprångskiktet, som ligger på omkring 15 m djup. Förändringarna under salthaltssprångskiktet måste bero på inströmmande Skagerrakvatten på dessa nivåer.

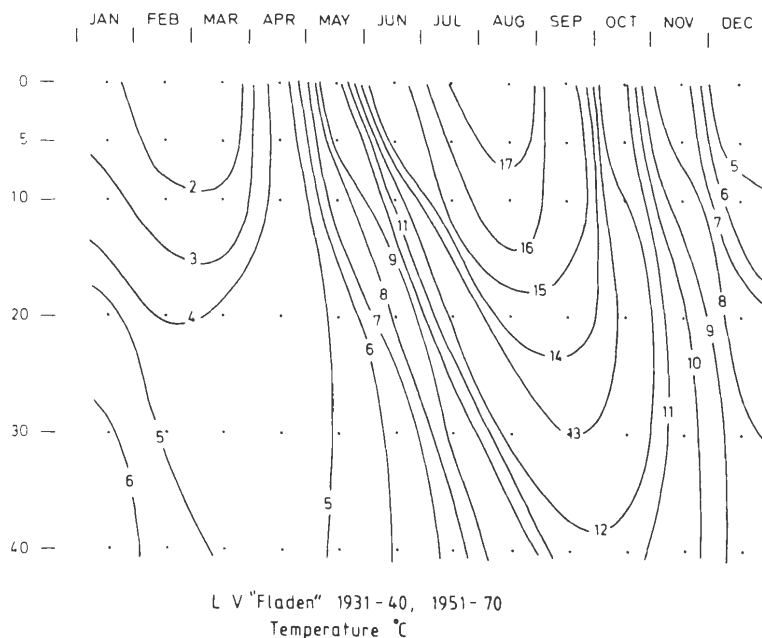


Fig. 9. 30-års månatliga medelvärden för temperatur vid Fladen (från Svansson 1984).

## 1.7.2. Salthalt.

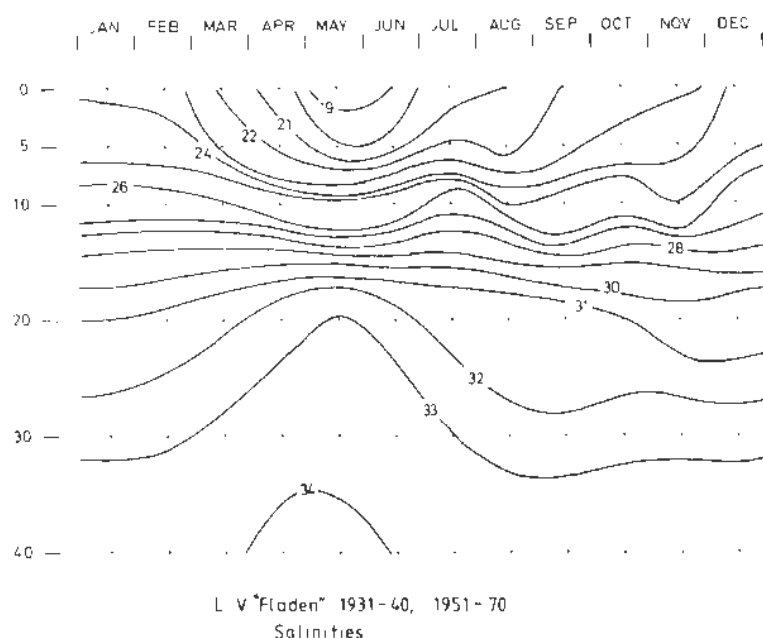


Fig. 10. 30-års månatliga medelvärden för salthalt vid Fladen (från Svansson 1984).

Fig. 10 visar på samma sätt medelsalthaltsvariationerna vid Fladen under motsvarande tidsperiod. Vi kan i figuren tydligt urskilja det permanenta salthaltssprångskiktet vid 15 m djup, som ju måste vara ett effektivt spärrskikt för vertikalt vattenutbyte. Vi kan också se att salthaltsvariationerna i ytvattnet i medeltal ligger mellan 18 och 26 salinitetsenheter. I djupvattnet är variationerna mycket mindre, normalt mellan 32 och 34 salinitetsenheter. Salthaltsfördelningen i Kattegatt framgår av fig. 11, som visar långtidsmedelvärden av salthalt vid de fyrskepp som tidigare fanns i Kattegatt. SR är Skagens Rev vid gränsen till Skagerrak och GR är Gedser Rev i Bälthavet vid tröskeln till Östersjön.

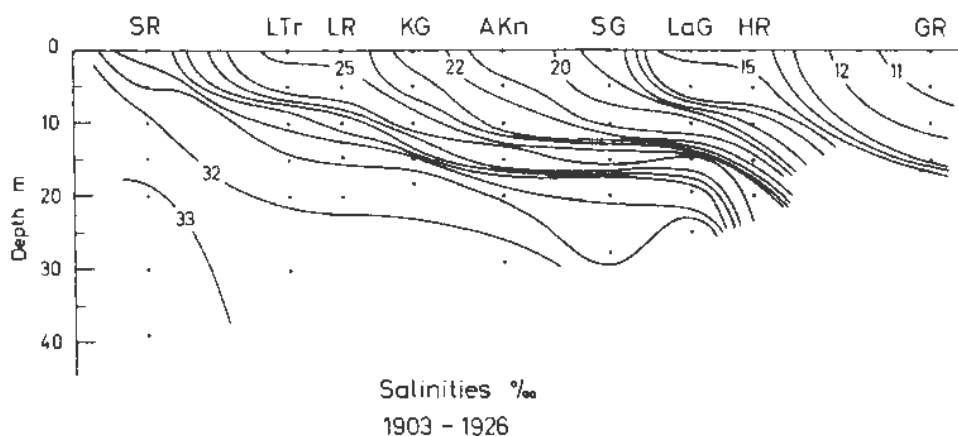


Fig. 11. Längdsnitt genom Kattegatt visande långtidsmedelvärden för salthalt, mätta på fyrskepp. SR = Skagens Rev, GR = Gedser Rev (Anon. 1933).



## 1.8. Syrgasförhållanden.

Kattegatts ytvatten är normalt mättat med syrgas. Under salthalts-sprängskiktet är syrgasmättnaden lägre. I norra delen av Kattegatt är förhållandena dock relativt goda. Syrgasmättnaden minskar under sommaren, delvis på grund av syrgasförbrukning genom oxidation av ned-sjunkande dött organiskt material, bildat vid planktonproduktionen, och delvis genom inblandning av varmt Skagerrakvatten med lägre syrgashalt. Tabell 4 visar syremättnaden på 50 m djup vid Fladen, mätt under olika månader mellan 1965 och 1984.

Tabell 4.

Medelvärden av syremättnaden på 50 m djup vid Fladen 1965 - 1984.

| År   | Jan. | Feb. | Mars | Apr. | Maj | Juni | Juli | Aug. | Sep. | Okt. | Nov. | Dec. |
|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| 1965 |      |      |      |      |     |      |      | 97   | 81   |      |      | 94   |
| 1966 |      |      |      |      | 91  |      |      | 63   | 68   | 77   |      |      |
| 1967 |      | 93   |      |      | 93  |      |      |      |      |      |      | 89   |
| 1968 |      | 95   |      |      |     | 87   |      |      | 67   |      | 65   |      |
| 1969 | 91   |      |      | 81   |     |      |      |      | 73   |      | 98   |      |
| 1970 | 90   |      |      | 98   | 92  | 89   | 90   | 69   | 71   | 85   | 96   |      |
| 1971 | 93   |      | 93   | 95   |     |      | 73   | 82   |      | 90   | 92   |      |
| 1972 |      | 93   | 89   | 82   | 95  | 92   | 78   | 78   | 68   | 65   |      | 91   |
| 1973 | 96   | 98   | 94   | 90   | 88  | 84   |      | 76   | 67   | 83   | 92   |      |
| 1974 |      | 100  | 94   | 91   | 86  | 88   |      | 68   | 98   | 82   | 80   | 93   |
| 1975 | 92   | 99   | 95   | 94   | 90  | 84   |      | 69   | 69   | 82   |      | 98   |
| 1976 | 99   | 96   | 92   | 94   |     | 93   | 74   | 66   | 75   | 80   |      | 80   |
| 1977 | 89   |      | 93   | 91   | 88  | 82   | 73   |      | 71   | 67   | 86   | 90   |
| 1978 | 95   |      | 86   | 89   | 87  |      |      | 69   |      | 88   | 89   |      |
| 1979 | 92   |      | 102  |      | 87  |      |      |      |      | 75   | 80   | 87   |
| 1980 | 89   | 92   | 87   |      | 90  | 85   | 90   | 62   | 75   |      | 80   | 76   |
| 1981 | 93   |      | 96   | 92   | 86  | 87   |      | 65   | 53   | 70   | 96   | 91   |
| 1982 | 87   |      | 95   | 87   | 88  | 88   | 76   | 74   | 55   | 75   | 86   | 84   |
| 1983 | 100  | 95   | 95   | 93   | 92  | 84   | 71   | 57   | 74   |      | 89   | 92   |
| 1984 | 97   |      | 93   |      | 83  |      |      |      | 63   |      | 83   |      |
| Mean | 93   | 96   | 93   | 91   | 89  | 87   | 78   | 70   | 71   | 78   | 87   | 89   |

Medelvärdena visar hur syrgasmättnaden sjunker från sitt maximum 96% i februari till 70% i augusti och sedan igen ökar till 89% i december. Tillfälligt kan så låga värden som 53% uppträda under sommaren. I södra Kattegatt, där vattenskiktet under sprängskiktet är mycket tunt på grund av det ringa vattendjupet, kan oxidationen av organiskt material under sensommaren sänka syrgashalten till nära 0 och tillfälligt kan svavelväte bildas under speciellt ogynnsamma förhållanden. Ett exempel på detta är Laholmsbukten, där svavelvätebildning med åtföljande bottendöd observerats vid några tillfällen under de senaste åren (Rydberg 1987). Även på den danska sidan har svavelväteförekomst rapporterats under 1986 och 1987. Fig. 12 visar områden i Kattegatt med låga syrgaskoncentrationer och fiskdöd under 1981, då syreförhållandena var speciellt dåliga under sensommaren. Fig. 13 visar ett längdsnitt för syrgas genom Kattegatt från Kullen till Vinga i november 1980 (Bladh och Fonselius 1981). Syrgashalten är lägst i djupvattnet i söder nära Öresund. Fig. 14 är ett tvärsnitt genom Kattegatt från Fredrikshavn till Göteborg, visande medelvärden för syrgasmättnaden i juli - september 1975-1977.

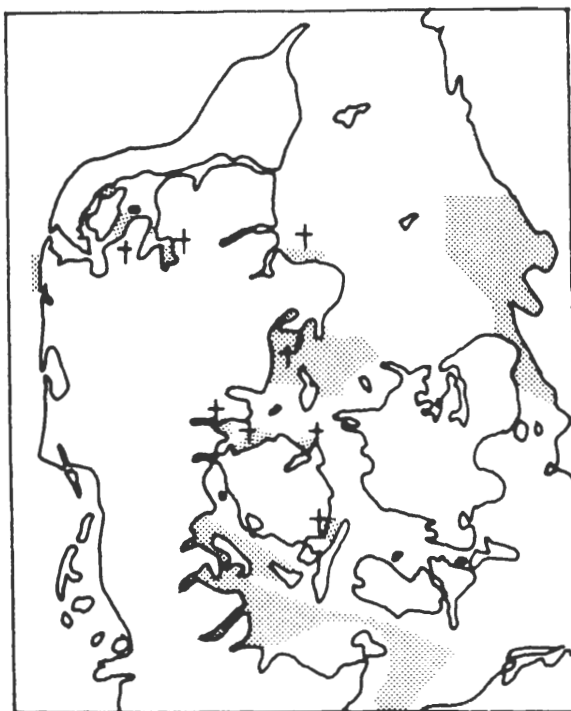


Fig. 12. Områden med låg syrgashalt och fiskdöd (kors) under sommaren 1981. (ICES 1987).

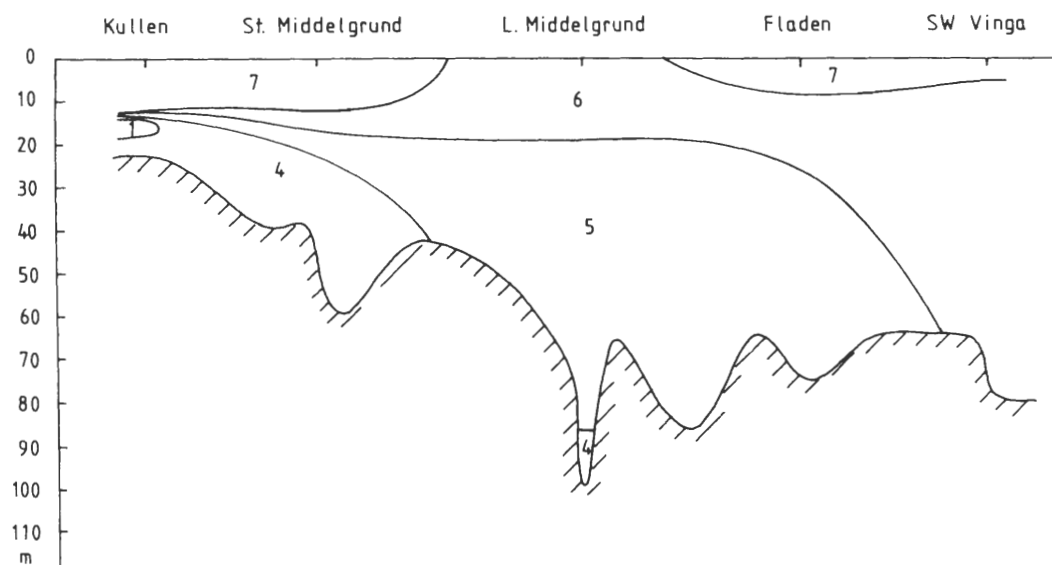


Fig.13. Längdsnitt genom Kattegatt visande syrgaskoncentrationen i ml/l. U/F Argos 13-14 november 1980. Från Bladh et Fonselius 1981.

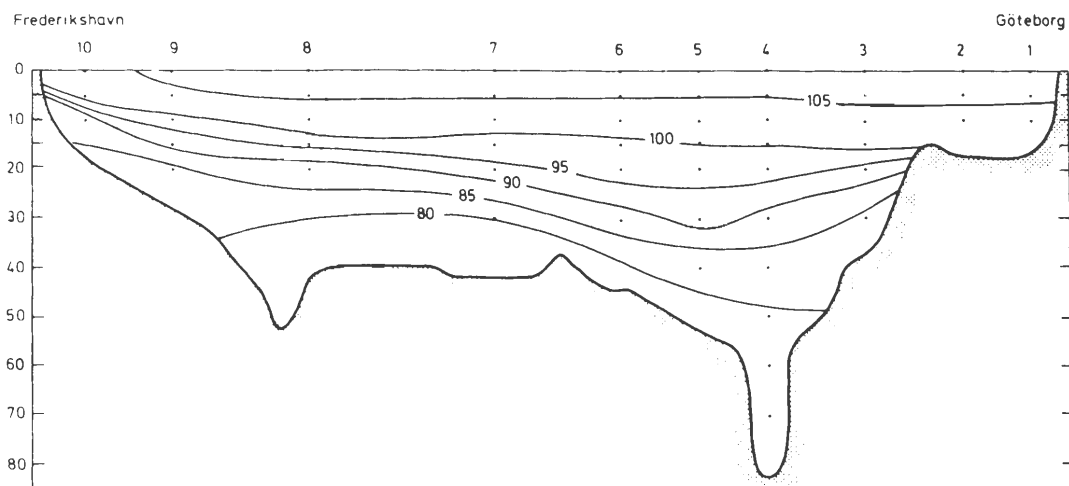


Fig.14. Tvärsnitt genom Kattegatt från Fredrikshavn till Göteborg, visande syrgasmättnaden i %. Medelvärden juli - september 1975 -1977. Från Svansson 1984.

Långtidsförändringar av syrgashalten i Kattegatt har studerats av Corin et al. (1969), Herrmann och Vagn-Olsen (1970), Svansson (1984) och Rydberg (1987). Alla har funnit en avtagande trend i djupvattnet. Fig. 15 visar resultat från Rydbergs arbete. Figuren visar månatliga medelsyrgaskoncentrationer i Kattegatts djupvatten för perioden augusti till oktober 1965 -1982.

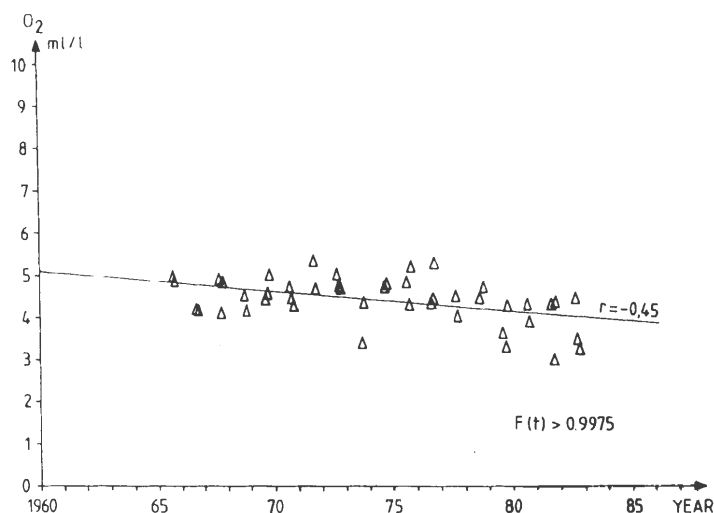


Fig.15. Månadsmedelvärden för syrgas i Kattegatts djupvatten för perioden augusti-oktober 1965-1982. Trenden är baserad på lineär regression (Rydberg 1987).

### 1.9. Närsalter.

#### 1.9.1. Produktionsbegränsande näringsämnen.

Liksom normalt i öppna havet, är tillgången på kvävenärsalter begränsande för den primära växtplanktonproduktionen i Kattegatt. Det viktigaste kvävenärsaltet är nitrat, men även ammoniak, nitrit och urea (urinämne) kan användas av plankton som kvävekälla. Nitrithalten i havsvatten är dock i allmänhet så låg, att den saknar praktisk betydelse. Andra viktiga närsalter är fosfat och silikat. Vid den s.k. planktonblomningen under våren, som i Kattegatt vanligtvis inträffar i början av mars, försvinner nitratet i ytvattnet helt och även övriga kvävenärsaltshalter sjunker till nära noll. Fosfathalterna sjunker också till värden i närheten av noll. Vid kiselalgbloomingen förbrukas nästan allt silikat. Då tillgången på närsalter begränsar planktonproduktionen, blir det närsalt, som först tar slut, begränsande för produktionen. Som jag nämnt ovan, är kväveföreningarna produktionsbegränsande i Kattegatt. Men om man tillför Kattegatt extra kväveföreningar, t.ex. genom utsläpp från jordbruket och kommuner, ökar planktonproduktionen tills kvävet förbrukats eller tills något annat begränsande närsalt, t.ex. fosfat, tar slut. Det finns fyra viktiga tillförselkällor för närsalter till Kattegatt; ytvatten från Östersjön som är viktigast under vintern och tidigt under våren, ytvatten från Skagerrak, sötvatten från älvar och åar som mynnar ut i Kattegatt och slutligen atmosfäriskt nedfall, d.v.s. främst regnvatten över Kattegatts yta.

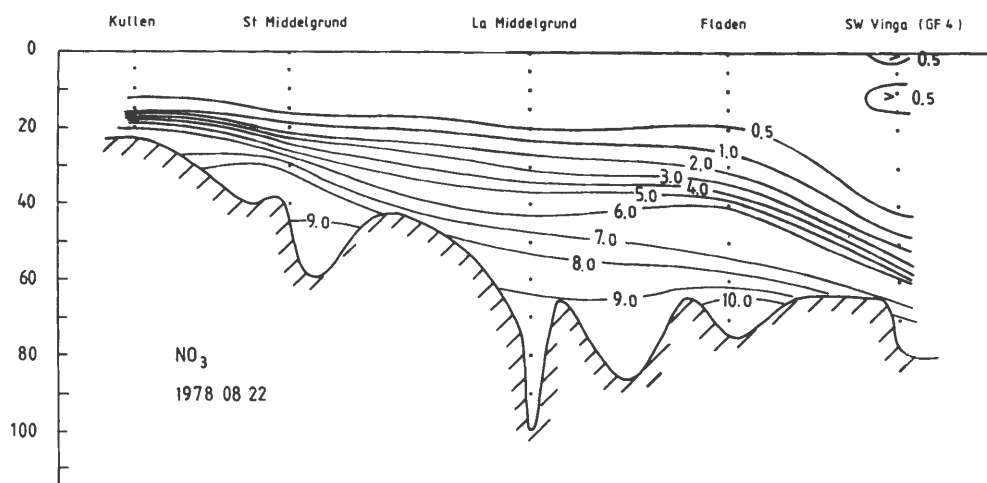


Fig. 16. Längdsnitt genom Kattegatt från Kullen till Vinga, visande nitratfördelningen i  $\mu\text{mol/l}$ . Argos 1978-08-22.

#### 1.9.2. Kvävenärsalter.

Fig. 16 visar ett exempel på nitratfördelningen i ett längdsnitt genom Kattegatt från Kullen till Vinga utförd av Argos 1978 08 22. I ytvattnet är nitratet nästan helt förbrukat. Vid Vinga kan man se högre nitratvärden på grund av inflytande från Göta älv. I fig. 17 visas

medelnitratfördelningen i ett tvärsnitt genom Kattegatt 1976-1977, (Thorstensson 1980). I bägge figurerna ser man att djupvattnet under salthaltssprångskiktet har mycket högre nitrathalter. Detta beror på att organiskt material oxideras och ackumuleras där. Vid nedbrytningen av organiska kväveföreningar, bildas ammoniak, som snabbt oxideras till nitrat, när det finns löst syrgas i vattnet. I ytvattnet varierar nitrathalten beroende på planktonproduktionen, som under den ljusa årstiden förbrukar främst de oorganiska kväveföreningarna. Årstidsvariationer i djupvattnet förorsakas främst av variationer i tillströmningen av skagerrakvatten och variationer i detta vatten. Fig. 18 visar medelårstidsvariationerna vid Fladen mellan 1968 och 1986. Redan i april sjunker nitrathalten i ytvattnet till omkring 0 och halten börjar igen öka i oktober. I januari når nitratkoncentrationen i ytvattnet över 5  $\mu\text{mol/l}$ . I djupvattnet varierar nitrathalten mellan 4 och 8  $\mu\text{mol/l}$ .

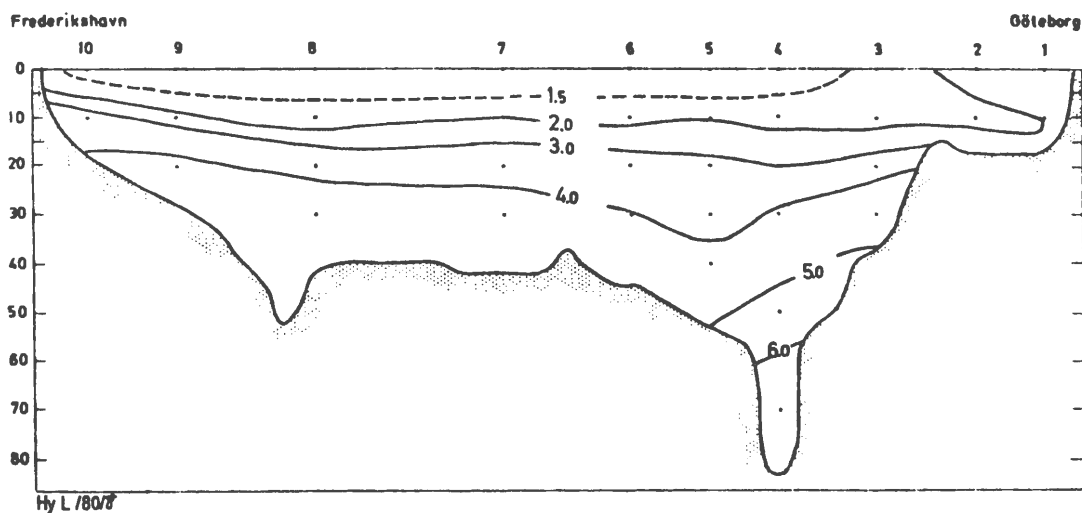


Fig. 17. Tvärsnitt genom Kattegatt från Frederikshavn till Göteborg visande medelnitratfördelningen i  $\mu\text{mol/l}$  1976-1977. (Thorstensson 1980).

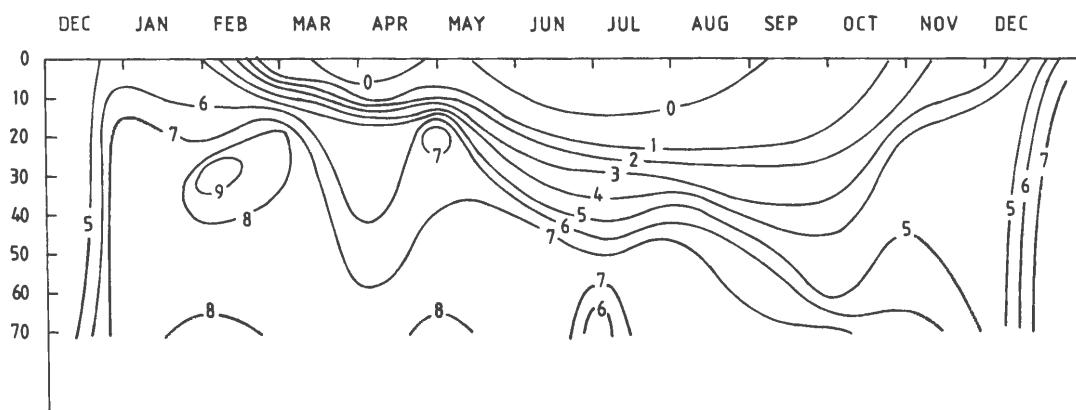


Fig. 18. Månadsmedelvärden för  $\text{NO}_3$   $\mu\text{mol/l}$  1968-1986 vid Fladen. Danska och svenska data.

### 1.9.3. Fosfor.

Fosfatfördelningen demonstreras på samma sätt i de följande figurerna. Fig. 19 visar ett längdsnitt från Kullen till Vinga, utfört av Argos 1978-08-22. Fosfathalterna är mycket låga i ytvattnet. Vid Vinga ser man störningar från Göta älv (jämför fig. 16). Fig. 20 demonstrerar medelfosfatfördelningen juli till september 1975-1977 i tvärsnittet från Fredrikshavn-Göteborg (Svansson 1984). Vi ser att fosfathalterna är högre på den danska sidan, där skagerrakvatten oftare flyter in. Medelårstidsvariationerna vid Fladen visas i fig. 21. Fosfathalterna i ytvattnet når sina lägsta värden under planktonvårblomningen i april-maj. Under vintern når fosfathalten i ytvattnet sitt maximum (över 0,5  $\mu\text{mol/l}$ ) i januari-februari. Djupvattnets fosfathalter varierar mellan 0,7 och 0,9  $\mu\text{mol/l}$ , (Svansson 1984).

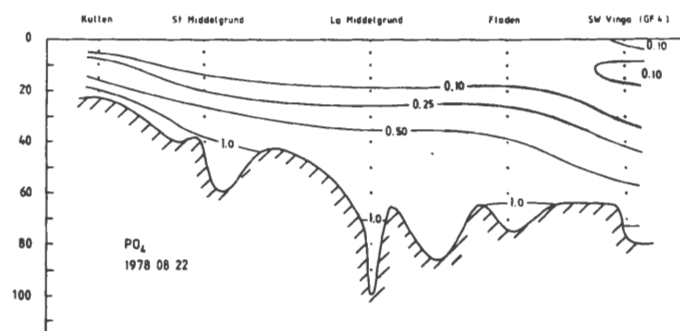


Fig.19. Längdsnitt genom Kattegatt från Kullen till Vinga, visande fosfatfördelningen i  $\mu\text{mol/l}$ . Argos 1978-08-22.

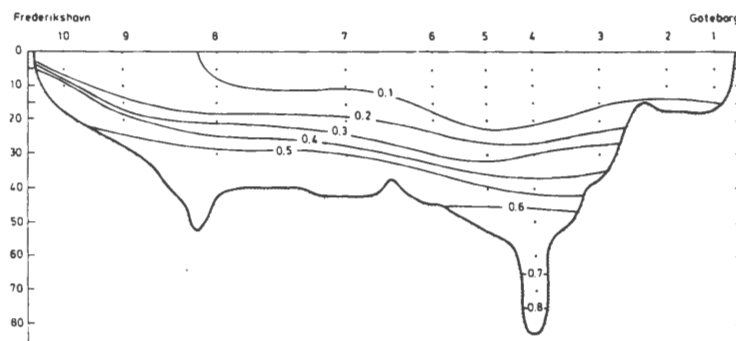


Fig.20. Tvärsnitt genom Kattegatt från Fredrikshavn till Göteborg, visande medelfosfatfördelningen i  $\mu\text{mol/l}$  juli - september 1975 - 1977. (Från Svansson 1984).

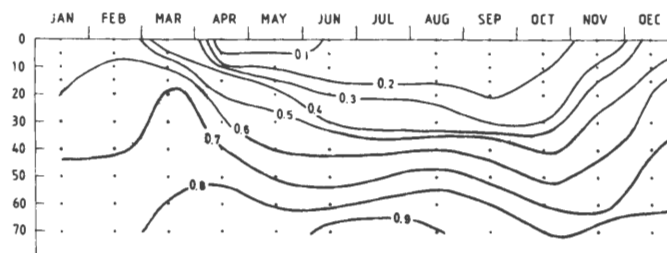


Fig.21. Månadsmedelvärden för fosfat i  $\mu\text{mol/l}$  1965 - 1981 vid Fladen. (Från Svansson 1984).

## 1.9.4. Trender.

Långtidstrender i närsaltshalterna i Kattegatt har studerats av bl. a. Corin et al. (1969), Herrmann och Vagn-Olsen (1970), Svansson (1984), Aertebjerg (1986) and Rydberg (1987). Fig. 22, a, b, c och d visar den ökande trenden av  $\Sigma\text{IN}$  ( $\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$ ), TN (totalkväve),  $\text{PO}_4$  och TP (totalfosfor) i Kattegatts ytvatten 1971-1985. För både TN och TP är trenden signifikant positiv. Fig. 23a, b, c och d visar motsvarande trender i Kattegatts djupvatten. För fosfat kan ingen trend urskiljas, (Rydberg 1987).

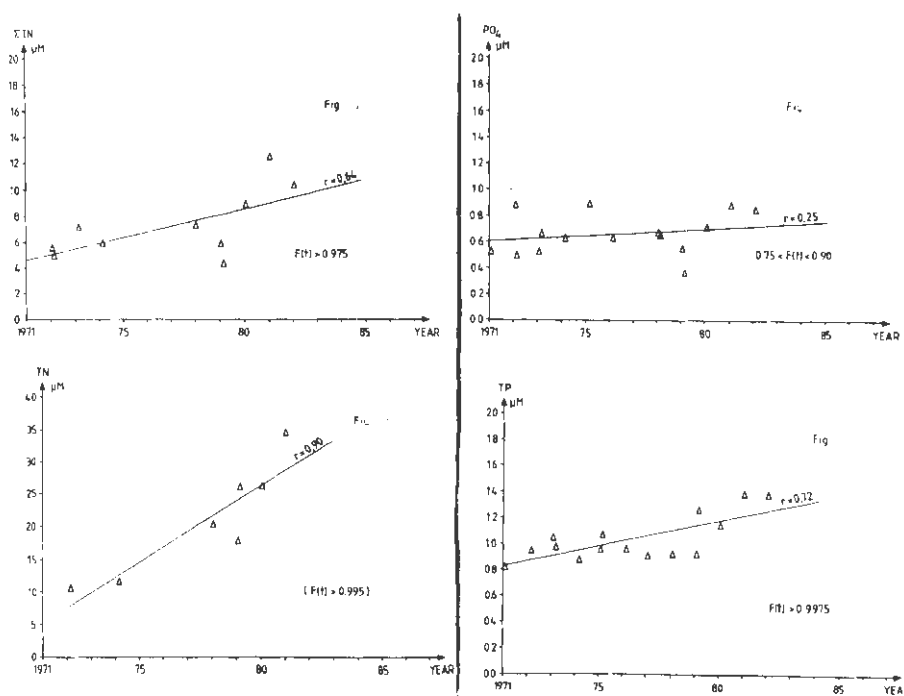


Fig.22. Trender i Kattegatts ytvatten. Närsaltskoncentrationer 1971-1982. a  $\Sigma\text{IN}$ , b TN, c  $\text{PO}_4$  och d TP i  $\mu\text{M}$  (Rydberg 1987).

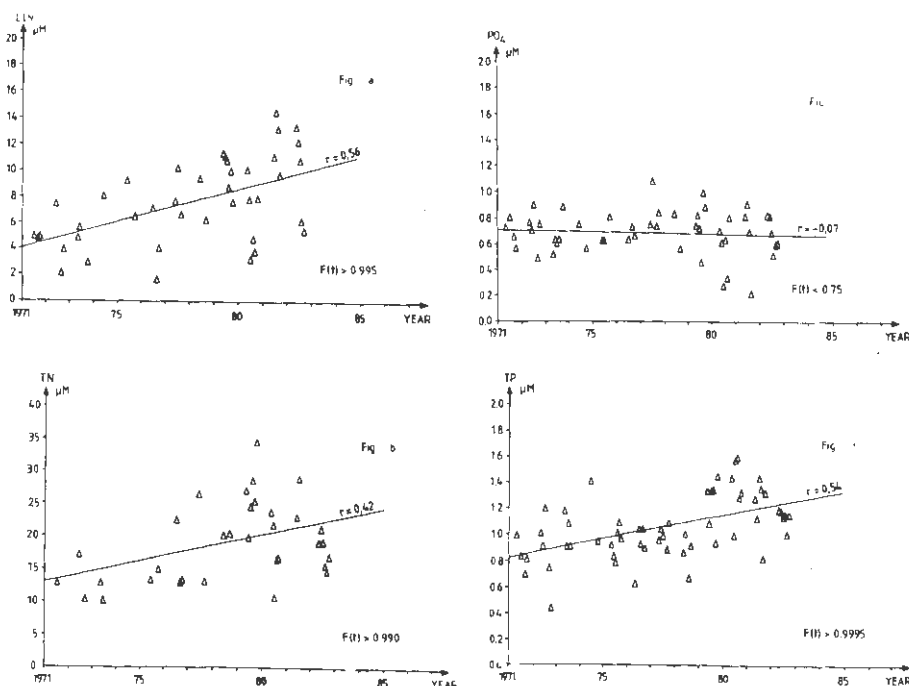


Fig.23. Trender i Kattegatts djupvatten. Närsaltskoncentrationer 1971-1982. a  $\Sigma\text{IN}$ , b TN, c  $\text{PO}_4$  och d TP i  $\mu\text{M}$  (Rydberg 1987).

### 1.9.3. Fosfor.

Fosfatfördelningen demonstreras på samma sätt i de följande figurerna. Fig. 19 visar ett längdsnitt från Kullen till Vinga, utfört av Argos 1978-08-22. Fosfathalterna är mycket låga i ytvattnet. Vid Vinga ser man störningar från Göta älv (jämför fig. 16). Fig. 20 demonstrerar medelfosfatfördelningen juli till september 1975-1977 i tvärsnittet från Fredrikshavn-Göteborg (Svansson 1984). Vi ser att fosfathalterna är högre på den danska sidan, där skagerrakvatten oftare flyter in. Medelårstidsvariationerna vid Fladen visas i fig. 21. Fosfathalterna i ytvattnet når sina lägsta värden under planktonvårblomningen i april-maj. Under vintern når fosfathalten i ytvattnet sitt maximum (över 0,5  $\mu\text{mol/l}$ ) i januari-februari. Djupvattnets fosfathalter varierar mellan 0,7 och 0,9  $\mu\text{mol/l}$ , (Svansson 1984).

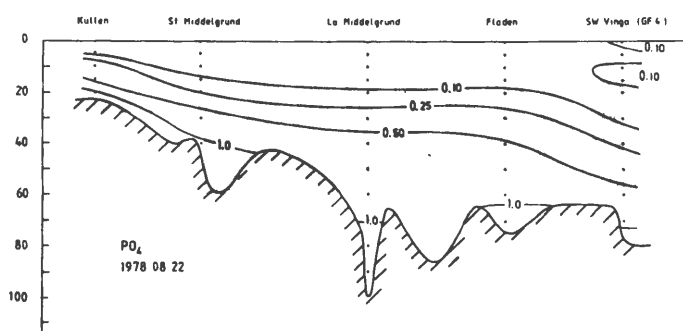


Fig. 19. Längdsnitt genom Kattegatt från Kullen till Vinga, visande fosfatfördelningen i  $\mu\text{mol/l}$ . Argos 1978-08-22.

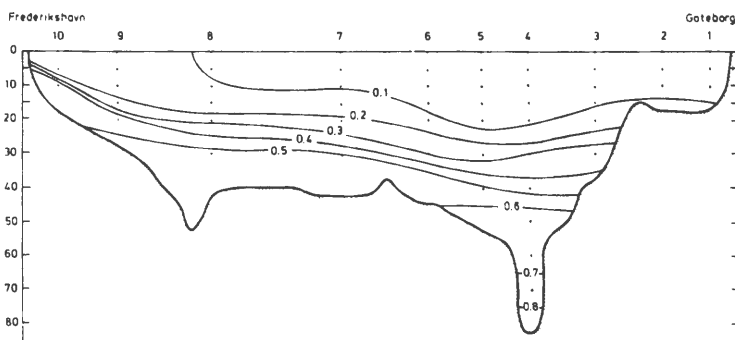


Fig. 20. Tvärsnitt genom Kattegatt från Fredrikshavn till Göteborg, visande medelfosfatfördelningen i  $\mu\text{mol/l}$  juli - september 1975 - 1977. (Från Svansson 1984).

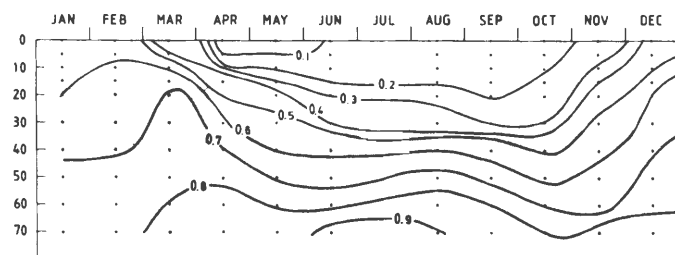


Fig. 21. Månadsmedelvärden för fosfat i  $\mu\text{mol/l}$  1965 - 1981 vid Fladen. (Från Svansson 1984).



## 1.9.4. Trender.

Långtidstrender i närsaltshalterna i Kattegatt har studerats av bl. a. Corin et al. (1969), Herrmann och Vagn-Olsen (1970), Svansson (1984), AErtebjerg (1986) and Rydberg (1987). Fig. 22, a, b, c och d visar den ökande trenden av  $\Sigma\text{IN}$  ( $\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$ ), TN (totalkväve),  $\text{PO}_4$  och TP (totalfosfor) i Kattegatts ytvatten 1971-1985. För både TN och TP är trenden signifikant positiv. Fig. 23a, b, c och d visar motsvarande trender i Kattegatts djupvatten. För fosfat kan ingen trend urskiljas, (Rydberg 1987).

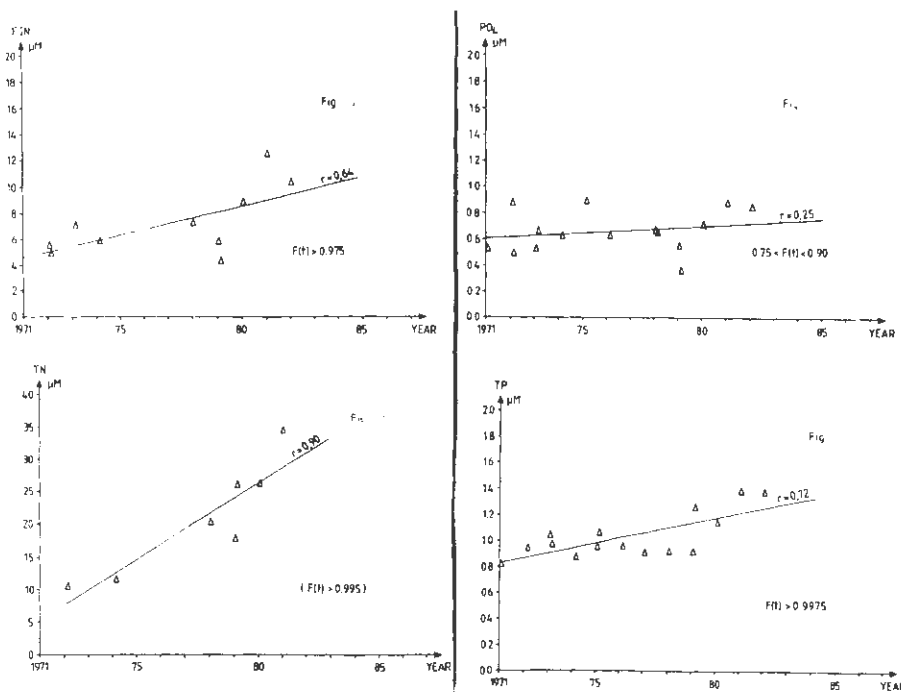


Fig.22. Trender i Kattegatts ytvatten. Närsaltskoncentrationer 1971-1982. a  $\Sigma\text{IN}$ , b TN, c  $\text{PO}_4$  och d TP i  $\mu\text{M}$  (Rydberg 1987).

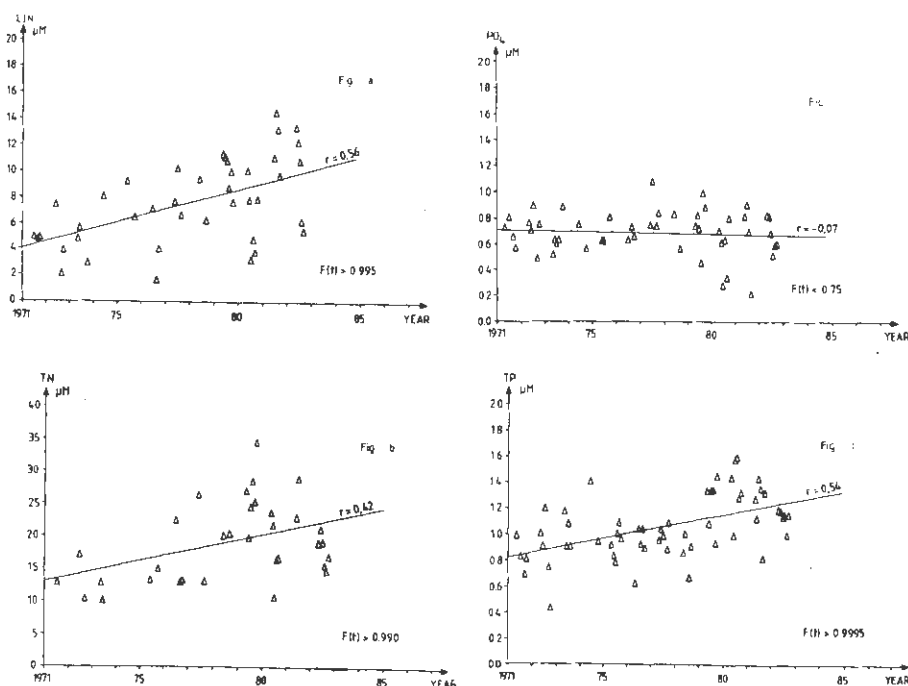


Fig.23. Trender i Kattegatts djupvatten. Närsaltskoncentrationer 1971-1982. a  $\Sigma\text{IN}$ , b TN, c  $\text{PO}_4$  och d TP i  $\mu\text{M}$  (Rydberg 1987).

## 1.10. Belastning.

Många försök att beräkna närsalts- och organisk belastning för Kattegatt har gjorts. Jag använder nedan de senast tillgängliga resultaten. Tabell 5 visar de beräkningar, som utförts av en arbetsgrupp inom Internationella Havsforskningsrådet (ICES 1987). Tabellen grundar sig på uppgifter om närsaltsbelastningen i Kattegatt, meddelade av danska och svenska myndigheter.

Tabell 5.

| År   | Danmark    |       | Sverige    |       | Atmosfären |     |
|------|------------|-------|------------|-------|------------|-----|
|      | Ton per år |       | Ton per år |       | Ton per år |     |
|      | TN         | TP    | TN         | TP    | TN         | TP  |
| 1975 | 34 078     | 3 065 | 33 084     | 1 065 | -          | -   |
| 1976 | 28 740     | 2 945 | 23 523     | 897   | -          | -   |
| 1977 | 34 752     | 3 080 | 50 124     | 1 470 | -          | -   |
| 1978 | 36 685     | 3 124 | 41 943     | 1 260 | 13 524     | 315 |
| 1979 | 38 924     | 3 171 | 37 297     | 1 179 | 22 932     | 315 |
| 1980 | 44 994     | 3 310 | 48 702     | 1 442 | 18 123     | 315 |
| 1981 | 51 675     | 3 461 | 51 237     | 1 269 | 18 501     | 315 |

Tabellen visar totalkväve och totalfosfor som tillförts Kattegatt från kommuner, industrier, vattendrag och atmosfären i ton per år. Från dessa värden bör man egentligen dra ifrån belastningen från Göta älv (se sid. 2, vattenbalansen). I tabell 6 ser vi totalkväve- och totalfosfortillförseln från Göta älv (Grimås och Svansson 1985).

Tabell 6.

| Näringsämne | 1975   | 1976  | 1977   | 1978   | 1979   | 1980   | 1981   |
|-------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Totalkväve  | 12 700 | 7 000 | 16 700 | 14 900 | 13 600 | 18 700 | 18 000 |
| Totalfosfor | 220    | 120   | 350    | 290    | 310    | 390    | 330    |

Helsingforskommissionen (Anon. 1987) redovisar något avvikande värden, men anger inte om Göta älv utesluts från beräkningarna. Detta verkar dock vara fallet, eftersom gränsen mellan Kattegatt och Skagerrak i deras publikation dragits från Skagen till Göteborg. Tabell 7 visar dessa resultat, som inkluderar biologisk syreförbrukning (BOD).

Tabell 7.

|                  | Enhet | Kommuner | Vattendrag | Industrier | Totalt |
|------------------|-------|----------|------------|------------|--------|
| Danmark          |       |          |            |            |        |
| Totalkväve       | T/år  | 4 500    | 13 000     | 500        | 18 000 |
| Totalfosfor      | T/år  | 1 400    | 300        | 200        | 1 900  |
| BOD              | T/år  | 16 000   | 19 000     | 4 300      | 39 300 |
| Sverige          |       |          |            |            |        |
| Totalkväve       | T/år  | 2 440    | 33 000     | 90         | 35 530 |
| Totalfosfor      | T/år  | 335      | 820        | 40         | 1 195  |
| BOD              | T/år  | 4 160    | 33 400     | 6 900      | 44 460 |
| Kattegatt totalt |       |          |            |            |        |
| Totalkväve       | T/år  | 7 940    | 46 000     | 590        | 53 530 |
| Totalfosfor      | T/år  | 1 735    | 1 120      | 240        | 3 095  |
| BOD              | T/år  | 20 160   | 66 400     | 11 200     | 83 760 |

Helsingforskommissionen uppskattar enligt samma källa den atmosfäriska tillförseln av totalkväve till 15 000 T/år, men anger inget värde för totalfosfor. Drar man ifrån värdena för Göta älv, från tabell 5 och beräknar medelvärden för de sju åren, så får man resultat som ligger nära resultatet i tabell 7.

## 1.11. Slutord.

Tyvärr är de hydrografiska förhållandena i Kattegatt dåligt kända. Detta beror på bristande anslag för havsundersökningar i Sverige. Huvudintresset har riktats mot Östersjön och syreförhållandena i djupvattnet där. Fig. 24 är en satellitbild över Kattegatt tagen den 25 maj 1987 med IR-kamera. Figuren demonstrerar tydligt de invecklade strömförhållandena i ytvattnet. I bilden är det mörkaste vattnet varmast. Man lägger speciellt märke till det kalla utströmmande vattnet i Öresund, som följer den svenska kusten norrut. I mitten av Kattegatt ses flera virvelbildningar, förorsakade av strömmar.



Fig.24. Satellitbild med IR-kamera över Kattegatt, 1987-05-25.

## 1.12. Referenser.

- Anon. 1933. Mean values of observations from Danish lightvessels. Spec. print. of the Nautical-Meteorological Annual 1932. København 1933, 12 s. Tbl.
- Anon. 1987. First Baltic sea pollution load compilation. Baltic Marine Environment Protection Commission - Helsinki Commission-. Baltic Sea Environment Proceedings No. 20, 53 s.
- AErtebjerg G 1986. Årsager till og effekter av eutrofiering i Kattegatt og Belthavet. Eutrofiering av havs- och kustområden. 22 nordiska symposiet om vattenforskning, Laugarvatn 1986-08-26-29. Nordforsk, miljövårdsserien, publ. 1987:1, s 87-100.
- Bladh J. O. och S. Fonselius 1981. Om syrgasförhållandena i södra Kattegatt utanför den svenska kusten. Medd. Havsfiskelab. Lysekil nr. 269. (IHR No. 10), 12 s.
- Corin Ch., S. Fonselius and A. Svansson 1969. On the oxygen and phosphate conditions in the Kattegat and Öresund 1900-1968. Medd. Havsfiskelab. Lysekil nr 62, 15 s.
- Dietrich G. 1951. Oberflächenströmungen im Kattegat, im Sund und in der Beltsee. Deut. Hydrogr. Z. 4, s 129-150.
- Herrmann F. and O. Vagn-Olsen 1970. Long term fluctuations in oxygen and phosphate concentrations in the Kattegat, the Belt Sea and the Western Baltic. ICES CM 1970/C:27, Hydr. Comm.
- ICES 1987. Assessment of the environmental conditions in the Skagerrak and the Kattegat. ICES Coop. Res. Rep. No. 149, edit. P. Hognestad. 45 s.
- Kullenberg B. 1935. Interne Wellen im Kattegat. Sv. Hydrogr.-Biol. Komm. Skr. ser. hydrografi 12, 17 s.
- Löf S. and B. Thorstensson 1980. The Baltic Entrance Project: Methods and Equipment. Quality of Measurements. Medd. Havsfiskelab. Lysekil, nr. 257 (IHR No. 3), 25 s.
- Mikulski Z. 1986. The Baltic as a system. (Chapt. 2 of Water Balance of the Baltic Sea, edit. M. Falkenmark). Baltic Marine Environment Protection Commission -Helsinki Commission- 1986. Baltic Sea Environment Proceedings No. 16, s 7-15.
- Mikulski Z. and M. Falkenmark 1986. Calculated Freshwater Budget of the Baltic as a System. (Chapt. 10 of Water Balance of the Baltic Sea, edit. M. Falkenmark). Ibid. s 117-139.
- Rydberg L. 1987. Hydrography, oxygen and nutrient balance of the Kattegat and related phenomena. Doctoral thesis, Dep. of Oceanogr. Univ. of Gothenburg, 45 s + 7 bilagor.
- Rydberg L., L. Edler, F. Sörensson, U. Båmstedt, S. Fonselius, F. Norrbin, K. Pettersson, R. Rosenberg, E. Sahlsten, J. Sundberg and F. Sörensson 1987. Plankton and nutrient dynamics during the phytoplankton spring bloom in the Kattegat in 1984 (to be submitted, Ophelia) 29 s.
- Svansson A. 1972. Canal models of sea level and salinity variations in the Baltic and adjacent waters. Fishery Board of Sweden, ser. Hydrogr. rep. no. 26, 72 s.
- Svansson A. 1975. Physical and chemical oceanography of the Skagerrak and the Kattegat. 1. Open sea conditions. Fishery Board of Sweden. Inst. of Marine Res. Rep. no. 1. 88 s.
- Svansson A. 1984. Hydrographic features of the Kattegat. Rapp. P.-v. Réunion. Cons. int. Explor. Mer, 185. s 78-90.
- Szaron J. 1979. The Baltic Entrance Project: Preliminary transport computations of water, salt and nutrients through the Göteborg - Frederikshavn (GF) section in the northern Kattegat, based on measurements 1975-1977. Medd. Havsfiskelab. Lysekil, nr. 255 (IHR No. 2), 23 s.
- Thorstensson B. 1980. The Baltic Entrance Project: Mean values and time development of parameters measured at the GF-section in the northern Kattegat 1975-1977. Ibid. 262 (7). 45 s.





Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut  
601 76 Norrköping. Tel 011-15 80 00. Telex 64400 smhi s.