

Oversigt over Indholdet af en Afhandling om Strømningsforholdene i almindelige Ledninger og i Havet ;

meddeelt i Mødet d. 18de Juni 1869

af

Prof. A. Colding. \*).

For 6 Aar siden har jeg i Videnskabernes Selskab og senere hen i Sommeren 1863 i de skandinaviske Naturforskernes Møde i Stokholm, givet en kort Fremstilling af Resultaterne af en Undersøgelse over flydende Legemers Bevægelse, hvormed jeg i flere Aar havde været beskjæftiget og som det var lykkedes mig at bringe til en saadan Afslutning, at jeg troede at kunne forelægge samme for Selskabet.

Det eiendommelige ved dette Arbeide bestaaer navnlig deri, at det ikke som andre tidligere Arbeider over Strømforholdene forudsætter, at alle Vanddele i en Strøm flyde med den samme Hastighed, da det netop er fremkaldt ved Bevidstheden om, at denne Betragtningssmaaede kun undtagelsesviis kan føre til rigtige Resultater. Mit Arbeide er grundet paa en Betragtning af den forskjellige Bevægelse, som tilkommer de enkelte Strømtænder eller Strømelementer, hvorigjennem Delene af Fluidet fortsætte Veien langs igjennem Ledningen, og det støtter sig til den bekjendte Sandhed, at et hvilket som helst Legeme, og derfor ogsaa en hvilket som helst Deel af et Fluidum, kun bevæger sig med en constant Hastighed, naar den accelererende eller drivende Kraft er ligestor med Modstandskraften.

For en Vandstrøm, som formedelst Tyngdekraften flyder paa en plan Flade, der udøver Modstand imod Vandets Bevægelse, var det let at bestemme, hvorledes Bevægelsen va-

\*) Afhandlingen bliver trykt i Vidensk. Selsk. Skr., 5te Række, 8de Bind, Nr. 7.

rierer med Dybden under Vandspeilet, naar Strømhastigheden er constant for hver enkelt Vanddeel, og ved at forfølge Tanken videre førtes jeg tillige til Erkjendelsen af Loven for Hastighedens Variation med Dybden, naar Strømmen bevæger sig i en cylindrisk Ledning, der har et cirkelformigt Tværsnit, som er heelt optaget af Vandstrømmen. Hvad der giver disse Undersøgelser en forhøiet Interesse er den Omstændighed, at de Love, som jeg saaledes havde fundet ved theoretiske Betragtninger, bekræftes af Forsøg, som i den nyere Tid ere blevne udførte af Capitain Boileau og General-Inspecteur Darcy i Frankrig. Disse Love for Vandets Bevægelse kunne under Eet skrives:

$$(V - v)^2 = K_0^2 \cdot \frac{h}{l} \cdot x^3;$$

idet  $V$  er Hastigheden af de Strømelementer, som løbe med størst Fart, og  $v$  er Hastigheden i Dybden  $x$  derunder, samt idet  $\frac{h}{l}$  betegner Vandets Fald pr. løbende Fod, og  $K_0^2$  en Størrelse, som kun afhænger af Ledningens Beskaffenhed, Dimensioner, Strømmens Dybde o. s. v. Den theoretiske Undersøgelse viser derhos, at Lovene for Vandets Bevægelse paa en plan Flade ere indbefattede under den almindelige Lov for Vandets Bevægelse paa en Cylinderflade, ved at betragte Cylinderens Radius som uendelig stor.

Darcy, som experimentalt har fremstillet den angivne Formel for cylindriske Ledninger, havde tillige søgt at bestemme  $K_0^2$  ved Hjælp af nogle Forsøg med 4 forskellige Rørledninger, og han blev derved ledet til, at  $K_0^2$  var omvendt proportional med Qvadratet paa Ledningens Radius; og naar dette var rigtigt, saa maatte  $K_0^2$ , ifølge Theorien, ogsaa være omvendt proportional med Qvadratet af Strømdybden, naar Ledningen er en plan Flade. Men en Betragtning af tvende Rækker af Forsøg, som Boileau havde udført med plane Ledninger, førte imidlertid til den Antagelse, at det var sandsynligt at  $K_0^2$  simpelthen var omvendt proportional med Strømdybden. Her var altsaa en

Uoverensstemmelse tilstede imellem de to Experimentatorers Resultater, og Spørgsmaalet var derfor, hvilken af disse Forudsætninger der var den rigtige. Der var imidlertid Forhold, som sagde mig, at Darcy's Antagelse umulig kunde være rigtig, og derfor gik jeg ud fra Boileau's Forsøg og betragtede  $K_0^2$  som omvendt proportional med Strømhydden, hvortil jeg følte mig saameget mere berettiget, som det viste sig, at denne Antagelse stemmede næsten lige saa godt med Darcy's Forsøg, som hans egen. Paa dette Grundlag gik jeg nu videre med mine Undersøgelser, og kom efterhaanden gennem mange Vanskeligheder til forskjellige Resultater, som i det Hele taget viste sig at stemme saa godt med hvad der ved Erfaring var bekjendt, at jeg ikke tænkte paa Muligheden af at Antagelsen kunde være urigtig. Først senere hen, da jeg var sysselsat med en Undersøgelse over Strømforholdene i Havet opstod der bestandigt nye Vanskeligheder, som jeg vel efterhaanden søgte at overvinde, men som mere og mere bleve uovervindelige indtil det tilsidst viste sig ganske tydeligt at Beregningerne vare urigtige, da de førte til Resultater, som stode i aabenbar Strid med Naturforholdene.

Theorien maatte derfor være urigtig; men da jeg ikke kunde tænke mig, at den heelt og holdent kunde være forkastelig, eftersom den alt havde ført til Erkjendelsen af en Mængde Forhold, som fuldkommen stemte med Erfaring, saa søgte jeg paa mange Maader at komme til Erkjendelsen af, hvilken Feil jeg maatte have begaaet, og da alle Forsøg mislykkedes, var jeg tilsidst nær ved at opgive Haabet om at kunne løse den Opgave, hvorpaa jeg alt havde anvendt saa megen Tid. Først da jeg, næsten tilfældigt, faldt paa at undersøge, hvorledes Sagen vilde stille sig, dersom jeg forkastede Bestemmelsen af  $K_0^2$  efter Boileau og derimod forudsatte, at Darcy's Antagelse var rigtig — uagtet denne Antagelse endnu stod for mig som en Umulighed —, saa viste det sig til min Overraskelse og Glæde, at dermed forsvandt ikke blot alle de store Vanskeligheder, som hidtil havde op-

taarnet sig, men ogsaa alle de Modsigelser, som havde fore-  
svævet mig som en uundgaaelig Følge af denne Antagelse, og  
fra nu af viste de beregnede Resultater sig overalt at være i  
den fuldkomneste Overensstemmelse med, hvad der finder Sted  
i Naturen.

Den Omstændighed at Darcy's Forsøg næsten tilfredstilledes  
lige godt enten  $\frac{1}{K_0^2}$  antoges proportional med den 1ste eller 2den  
Potents af Strømhybden, gav mig Anledning til at troe, at man  
ville komme Virkeligheden nærmest ved at udtrykke denne  
Størrelse ved et Binomium af 1ste og 2den Grad, og Rigtig-  
heden heraf blev fuldstændig bekræftet af Darcy's Forsøg, som  
alle tilfredstilledes langt fuldstændigere derved end ved hans egen  
Forudsætning. Ved at bestemme Binomiets Constante efter  
Resultaterne af Darcy's Forsøg, findes Loven for Vandets Be-  
vægelse at kunne fremstilles ved:

$$V - v = 6,8 \sqrt{m} \cdot v_0 \cdot \left(\frac{x}{R}\right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{\frac{117,7 \cdot R}{62,5 + 117,7 \cdot R}}$$

for cylindriske Rør med Radius =  $R$ , Modstandscoefficient =  
 $m$  og Strømhastighed ved Ledningens Overflade =  $v_0$ ; naar  $V$   
betegner Hastigheden i Axen, hvortil svarer  $x = 0$ . Denne  
Formel gjælder tillige for Vandets Bevægelse paa plane Ledninger,  
naar Strømhybden betegnes ved  $R$ , kun med den Forskjel at  
Coefficienten bliver er  $\frac{6,8}{\sqrt{2}} = 4,8$  istedetfor 6,8.

Af denne Formel lader det sig blandt andet paavise, at For-  
holdet  $\left(\frac{v}{V}\right)$ , svarende til et hvilket som helst Punkt af en given  
Ledning, der er heelt optagen af Strømmen, er uafhængigt af  
Strømhastighedens Størrelse, og gennemgaaer man Darcy's For-  
søg, saa findes Rigtigheden heraf bekræftet paa en slaende  
Maade indtil den yderste Detaille. Men dette Forhold giver os  
dernæst Midler til at bestemme Størrelsen af Modstandscoeffi-  
cienten  $m$  for de forskjellige Slags Ledninger, hvormed Darcy

har arbeidet, og man finder saaledes, fuldkommen uafhængig af Ledningens Størrelse, at

For gamle Rør . . . . er  $m = 0,0120$  à  $0,0080$

For nye Rør . . . . . er  $m = 0,0050$  à  $0,0033$

For nye glasserede Rør er  $m = 0,0033$  à  $0,0025$ .

For plane Træledninger findes efter Boileau's Forsøg Modstandscoefficienten  $m = 0,0160$  à  $0,0090$ ,

medens Luftens Modstand, ifølge Boileau's Forsøg, maa regnes at svare til  $m = 0,0003$  à  $0,0002$ .

General-Inspecteur Darcy er desværre senere død; men hans begyndte Undersøgelser over Vandets Strømningsforhold ere blevene fortsatte af den franske Ingenieur Bazin, der i 1865 har udgivet et stort Værk over Resultaterne af en Mængde Forsøg, som ere udførte med mange forskjellige Ledninger.

Saa interessante som disse forøvrigt kunne være, savnes dog her det udmærket kyndige Blik og den store Genialitet, som lyser ud af Darcy's Arbeider. Iblandt de Forsøg som synes at have mest Interesse ere nogle paabegyndte af Darcy og fuldendte af Bazin; dette er Tilfældet med en Deel Forsøg over Vandets Bevægelse i Ledninger af rectangulært Tværsnit, hvori Hastigheden bestemtes for 45 Punkter, der vare symmetrisk fordeelte. Ved disse Forsøg er det paaviist, at ogsaa for saadanne Ledninger er Hastighedsforholdet  $\left(\frac{v}{V}\right)$  uafhængigt af Strømhastighedens absolute Størrelse, ligesom for cirkelformige Ledninger; og naar vi forøvrigt sammenligne de ved Forsøgene over Vandets Bevægelse paa plane Flader erholdte Resultater med dem, de theoriske Formler give, saa stemme disse i det Hele saa fuldstændigt med Forsøgene, at Forskjellen mellem den beregnede og den observerede Hastighed for hvert af de undersøgte 45 Punkter falder indenfor Iagttagelsesfeilenes Grændser. Overensstemmelsen er dog størst ved den Ledning, hvormed Darcy udførte sine Forsøg i Aaret 1857. Ved en mindre rectangulær Ledning, der var ligedannet med Darcy's Ledning, har Bazin i Aaret 1859 udført tilsvarende Forsøg; men han har dels udført et færre

Antal Forsøg og deels vise Observationsfeilene sig større end hos Darcy. Bestemme vi disse Ledningers Modstandscoefficienter, saa findes til Darcy's Ledning at svare  $m = 0,0104$ , medens til Bazin's Ledning svarer  $m = 0,0180$ .

Bazin har udført en stor Mængde Forsøg over Vandets Bevægelse i aabne Ledninger og troer derefter at maatte antage, at Lovene for Vandets Bevægelse ere grundforskjellige fra dem, der gjælde om heelt fyldte Ledninger; men herved er han ganske vist paa Vildspor.

Der foreligge fra ældre Tid Resultaterne af en stor Mængde Strømmaalninger, foretagne af Bruning i Slutningen af det forrige Aarhundrede i forskjelligte Floder, navnlig Rhinen, Waalfloden m. fl. De ere udførte med stor Flid, men ere dog, som let kan vides, meget mangelfulde. Alligevel have de Krav paa Opmærksomhed, deels fordi Hastigheden er bestemt for hver halv Fods Dybde, fra oven nedad imod Bunden i en Række af Perpendicularer for hvert enkelt Tværsnit paa Strømmen, — hvorved en stor Deel af den tilstedeværende Mangelfuldhed i Bestemmelsen af Hastigheden taber sin Betydning, — men deels og fornemmelig fordi de af Bruning undersøgte Strømme havde en Dybde af indtil 23 Fod. Ved at anvende Theorien paa disse Strømme og ved navnlig at bestemme Formlernes Constanter ved Hjælp af Brunings Maalninger, findes de beregnede og de observerede Hastigheder i alle Dybder at være saa nær overensstemmende, som det paa nogen Maade kunde ventes, og denne Overensstemmelse giver saaledes en ny Bekræftelse paa Rigtigheden af den opstillede Theori. Bestemmes Modstandscoefficienten  $m$  ifølge Brunings Maalninger, findes denne at variere imellem Grændserne 0,0250 og 0,0080, og i Gjennemsnit at kunne sættes  $= 0,0160$ ; og da Modstanden ved Bunden af disse Strømme sandsynligviis maa nærme sig til den, som finder Sted, hvor en Havstrøm flyder hen over en underliggende Vandmasse, som ikke deeltager i Bevægelsen, uden for saa vidt at den sættes i en valteformig Omdreining under Overfladestrømmen,

saa troer jeg at kunne regne paa at Grændseværdien  $m = 0,025$  temmelig nær vil svare til den Modstand som fritløbende Strømme i Havet ere underkastede.

Efter saaledes at have overbeviist mig om, at den fremstillede Theori stemmer med Erfaring, overalt hvor saadan haves, søgte jeg at bestemme Lovene for Vandets Bevægelse i Strømme, hvis Hastighed varierer langs ad Ledningen. Ved at betragte det simpleste Tilfælde af denne Art, navnlig hvor Ledningen er en plan Flade — hvilket Tilfælde jeg tidligere har behandlet ved Hjælp af den ældre Theori — findes Strømforholdene efter den nye Theorie at være fuldstændig overensstemmende med de Forhold, som vise sig i Naturen, og Theorien kan derfor betragtes som gjældende for alle permanente Strømme.

Efter saaledes at have viist, at den i det Foregaaende fremstillede Theori af flydende Legemers Bevægelse er naturtro under alle Forhold, skal jeg nu, idet jeg støtter mig dertil, give en Oversigt over mine senere Undersøgelser over Havstrømmene.

De Strømforhold, som vi her nærmest ville betragte, ere Strømforholdene i det nordlige Atlanterhav og navnlig de Forhold, hvorunder den mexikanske Golfstrøm og Polarstrømmene bevæge sig.

Golfstrømmen udspringer som bekendt fra den mexikanske Bugt, men dens Løb kan dog mærkes langs igjennem det caraibiske Hav, hvori den strømmer ind fra Atlanterhavet imellem de vestindiske Øer, og derefter løber med en Fart af henimod  $\frac{1}{4}$  Miil i Timen Nordvest hen indtil den udgyder sig i den mexikanske Bugt. Fra denne Havbugt løber Golfstrømmen langs Cubas Nordside Øster hen imod Bahamaøerne; men naar den har passeret Halvøen Florida, bøier den sig imod Nord og løber videre mellem Bahamaøerne og Florida, gennem en Indsnævring mellem Cap Florida og Øen Bemini, hvor Strømmen har en Hastighed af 1 Miil i Timen, en Brede af 8 Miil og

en Dybde af 250 Favne. Fra Snævringen ved Bemini løber Golfstrømmen lige imod Nord med en Hastighed, der aftager jævnt fra  $6\frac{2}{3}$  Fod ved Bemini til c. 4 Fod ved St. Augustine, imedens Strømmen tilbagelægger en Veilængde af omtrent 70 Miil og efterhaanden udvider sig fra 32 til 47 Quartmiils Brede. Fra St. Augustine indtil Bugten ved New York løber Golfstrømmen Nordost hen, parallelt med Landet, følgende langsmed en kold Vandstrøm, som løber mellem Golfstrømmen og Amerikas Kyst fra Nord til Syd. Under dette Løb udvider Golfstrømmen sig bestandig mere, nemlig fra 47 Quartmiil ved St. Augustine til 127 Quartmiil ved New York, medens Hastigheden samtidigt aftager fra 4 Fod til  $2\frac{1}{2}$  Fod pr. Sec. Dybden af Havet, hvorover Strømmen løber, er flere Hundrede Favne, og Længden fra St. Augustine til New York kan sættes = 180 Miil. Fra Bugten ved New York tager Golfstrømmen en O.N.O. Retning Sønden om Newfoundland, langs den Koldvandsstrøm, som fra Østsiden af Newfoundland følger dette Land imod Sydvest indtil New York. Naar Golfstrømmen har gennemløbet en Strækning af c. 200 Miil og derved er kommen Syd for Newfoundland, er dens Brede voxet til c. 80 Miil medens dens Hastighed er aftaget til c. 2 Fod pr. Sec.; men Strømmen bevæger sig endnu omtrent 300 Miil i samme Retning, heelt over imod Europa, med aftagende Hastighed fra 2 Fod til 0,6 Fod pr. Sec., under voxende Brede fra 80 Miil til c. 200 Miil. Naar Golfstrømmen saaledes i det Hele har gennemløbet en Længde fra Snævringen ved Bemini af c. 750 Miil, deler den sig i to Grene; en sydgaaende Green, der sætter ned imod den afrikanske Kyst med en Hastighed af 0,6 Fod pr. Sec., og en nordgaaende Green, der følger de engelske Kyster op imod Island gennem en Længde af c. 200 Miil med en Hastighed, der aftager fra 0,6 Fod til 0,3 Fod pr. Sec., imedens Strømmens Brede voxer fra 100 til 150 Miil. Naar Golfstrømmen naaer Island, afgiver den en varm Strøm langs Islands Sydside, hvilken Strøm deels løber N. V. hen imod den østgrønlandske Polarstrøm og deels synes



at følge denne Strøm imod Syd. Golfstrømmens Hovedarm bøier derimod Øster hen imod Norge, saasnart den har passeret Skotlands Nordspids, og løber derpaa langs Norges Vestkyst nordostlig hen, indtil den naaer Ishavet.

Angaaende Polarstrømmen kan følgende bemærkes: Fra den nordligste Deel af Ishavet, som vi kjende, heelt oppe fra Spidsbergen paa 80° N. Br., løber der en stor Polarstrøm fuld af Driviis ned imod Sydvest. Paa 70° N. Br. berører den Grønlands Østkyst og den vedbliver at følge samme indtil Cap Farvel. Dens Brede er omtrent 40 Miil og dens Hastighed  $\frac{3}{4}$  Fod pr. Sec. Efter at Polarstrømmen har passeret Cap Farvel, bøier den Sonden om Grønland og vedbliver at følge dette Land et Stykke op i Davisstrædet; men naar den er kommen nogle faa Bredegrader nordligere end Grønlands Sydspids, bøier den Sydvest hen imod Kysten af Labrador, som den derpaa følger ned imod Sydost i Forening med den Polarstrøm, som kommer Nord fra igjennem Baffinsbugten. Efter at have forladt Labrador, hvor den samlede Polarstrøms Hastighed anslaaes til  $\frac{5}{6}$  Fod pr. Sec., og hvor dens Brede anslaaes til c. 50 Miil, strømmer den Østen om Newfoundland ned imod Golfstrømmen. Naar Polarstrømmen har passeret Cap Race, sender den en Strøm Sydvest hen mellem Golfstrømmen og Amerikas Østkyst, hvor denne kan spores lige indtil Florida. Den øvrige Deel af Polarstrømmen, som ikke løber denne Vei, antages almindeligt at løbe under Golfstrømmen, Øst for Newfoundland og derefter at fortsætte Veien i sydøstlig Retning over imod den afrikanske Kyst, hvor Havvandet har en forholdsviis lav Temperatur.

For at forklare Grunden til disse umaadelige Havstrømmes Bevægelse ved Hjælp af de fundne Love for Vandets Bevægelse i almindelige Ledninger, er det først nødvendigt at komme til Erkjendelse af de Kræfter, som sætte Havstrømmene i Bevægelse og vedligeholde denne. Amerikaneren Capitain Maury, som særligt har beskæftiget sig med Strømforholdene, har udtalt den Mening, at alle bestandige Strømme i Havet hovedsagelig

ere foranledigede ved den bestandige Forskjel, som Temperatur og Saltmængde foraarsager i Vandets specifikke Vægt paa visse Strøg i Havet. For nærmere at udtrykke sine Anskuelser, tænker Maury sig en Klode som Jorden, overalt dækket af et 200 Favne dybt Hav, hvis Vand i alle Punkter har samme Tæthed, og da de ydre Forhold tænkes at være eens for alle Punkter samt da ingen Fordampning eller Nedslag finder Sted, saa kan der paa denne Klode hverken være Vind eller Strøm. Derpaa forestiller han sig Vandet indenfor Vendekredsene i en Dybde af 100 Favne pludseligt forvandlet til Olie; fra dette Øieblik er Ligevægten forstyrret og et almindeligt System af Strømme og Modstrømme maa opstaae, idet Olien, som har den mindste Vægtfylde, maa flyde som en Overfladestrøm i et sammenhængende Lag imod Polerne, medens Vandet i en nedre Strøm maa flyde fra disse imod Æquator. Efterhaanden som Olien ankommer til Polarhavet, tænker han sig den forvandlet til Vand, som derefter i en Understrøm gaaer tilbage imod Æquator, hvor den atter indenfor Vendekredsene forvandles til Olie, der stiger op til Overfladen og langs denne løber imod Polerne o. s. v. Hvis nu Kloden dreier sig 1 Gang om sin Axe i 24 Timer fra Vest til Øst ligesom Jorden, vil enhver Oliepartikel efter Maurys Mening nærme sig Polen efter en Spiral, med bestandig større østlig Hastighed, og naar den ankommer til Polen vil den omkredse denne med den samme Hastighed, hvormed Jorden under Æquator bevæger sig, nemlig 225 Miil i Timen. Men naar Olien bliver til Vand, siger han, vil den atter nærme sig Æquator efter en Spiral, som gaaer i vestlig Retning. Blev Havet begrændset af Lande, ligesom paa Jordoverfladen, saa vilde de eensformige Strømme brydes af de forskjellige locale Forhold, og paa nogle Steder vilde der opstaae Strømme, som overgik andre i Størrelse og Hastighed; men et System af æquatoriale og polære Strømme vilde ligefuldt vedblive. Kunne nu ikke de koldere Vande fra Norden og de fra den mexikanske Bugt udgaaende varme Vande, der ved den tropiske Hede ere gjorte

lettere, indtil en vis Grad siges at indtage samme Forhold til hinanden som Vandet og Olien i det anførte Exempel? spørger Maury. I tidligere Tider betragtede man Golfstrømmen som en Affødning af Mississippifloden; men denne Mening maatte forlades, da man fandt Golfstrømmen at være mere end Tusinde Gange større end Floden, og dens Vand at være salt, medens Flodvandet er fersk. Størst Tiltro fandt dernæst den af Benjamin Franklin udtalte Mening, at det er Passatvindene, som trykke Vandet frem foran sig ind i det caraibiske Hav, hvorfra det derpaa maa søge sin Udvei igjennem Golfstrømmen. Maury kan dog ikke tiltræde denne Mening; han indrømmer, at Passaten kan hjælpe til at give Golfstrømmen dens Hastighed i Floridastrædet; men han paastaaer, at disse Vinde umuligt kunne sætte Golfstrømmen istand til at gjennekrydse hele Atlanterhavet som en bestemt udpræget Strøm, og slutter sine Indvendinger imod Franklins Theori med den Bemærkning, at saa vist som en Flod kun flyder paa Landet, naar den er paa-virket af Tyngdekraften paa Grund af Faldet, saa vist udkræver Golfstrømmens Løb igjennem Havet en stadigt virkende Kraft; var ikke Tyngdekraften, saa vilde Mississippis Vande forblive i dens Kilder og var ikke den specifikke Vægt forskjellig, saa vilde Golfstrømmens Vande bestandigt forblive i Atlanterhavets tropiske Farvand. Men da Maury ikke kan indrømme Rigtigheden af Franklins Paastand, at Havfladen i den mexikanske Bugt har en høiere Stand, og at Vandspeilet derfra har et Fald imod Nord, fordi Erfaring viser, at der langs Golfstrømmens Vestside løber en kold Strøm Syd paa, lige ned til Floridastrædet, saa kan han heller ikke fastholde sin oprindelige Mening om Aarsagen til Golfstrømmens Fremkomst, men nødes til at gaae ud fra, at Golfstrømmens Vand paa Grund af dets store Saltholdighed har en større Vægtfylde end Vandet i de nordlige Have, hvorhen det løber paa Grund af dets større Vægt, idet det uddriver det derværende mindre vægtfulde Vand. Men fra det Øieblik

af, da Maury saaledes paa een Gang forudsatte at Strømningerne i Havet foregaae, fordi Vandet under Troperne er mindre vægtfuldt, og fordi Golfvandet er mere vægtfuldt end Vandet i de nordlige Have, blev hans Standpunkt uklart og uholdbart, og det lykkedes ham saameget mindre at stille Strømforholdene i deres rette Lys, som man dengang savnede Midler til at bestemme Havvandets Vægtfylde, fordi man ikke kjendte dets Saltholdighed i de forskjellige Have.

Dette Savn har Forchhammer i det Væsentlige afhjulpet ved sine Undersøgelser over Havvandets Saltholdighed; thi ved at tage Hensyn dertil og til Havvandets Temperatur, kunne vi nu angive Søvandets Vægtfylde i Verdenshavene temmelig nøie. Ved at udføre de herhenhørende Beregninger finder jeg, i Overensstemmelse med Maury's oprindelige Tanke, at Søvandets Vægtfylde i det Hele taget er mindst under Æquator og derfra voxer temmelig jævnt baade imod Nord og imod Syd. Den største Vægtfylde synes Atlanterhavets Vand at have omtrent paa 60° Brede, Syd og Sydost for Grønland, og til en Oversigt skal jeg anføre, at naar vi sætte Vægtfylden paa dette Sted = 1, saa kan Havvandets Vægtfylde i Middeltal regnes at være følgende:

Paa den nordlige Halvkugle.		Paa den sydlige Halvkugle.	
Mell. 60°—70° Br. i Davisstrædet . . . . .	0,9980.	—	ubekjendt
Paa 60° Br. i Atlanterhavet. . . . .	1,0000.	—	ubekjendt
Mell. 50°—60° Br. i do. . . . .	0,9994.	I Koldvandsstrøm. fra Cap Horn	0,9990.
— 40°—50° — i do. . . . .	0,9985.	i Atlanterhavet . . . . .	0,9984.
— 23°—40° — i do. . . . .	0,9972.	i do. . . . .	0,9970.
— 0°—23° — i do. . . . .	0,9956.	i do. . . . .	0,9966.

hvoraf Bestemmelserne for den nordlige Halvkugle ere de paa-lideligste, fordi de fleste Observationer ere tagne her.

Af de anførte Tal fremgaaer, at Havvandets Tæthed i det Hele taget voxer med Stedets Bredegrad paa samme Maade baade imod Nord og imod Syd. Men Forchhammer har der-

næst ogsaa bestemt Søvandets Saltholdighed i forskellige Dybder, og af hans Undersøgelser fremgaaer, at Saltmængden i det Hele taget aftager ganske lidt med voxende Dybder. Gaaer man ud herfra, idet man tillige tager Hensyn til Temperaturens Aftagelse i Dybden, saa kommer man til det Resultat, at i en Dybde af 500 Favne under Overfladen kan Havvandets Tæthed meget nær sættes = 1 paa alle Punkter af Jorden. Men naar Havvandets Vægtfylde i 3000 Fods Dybde er = 1 overalt, og naar dets Vægtfylde ved Overfladen aftager imod Æquator som angivet, saa er det klart, at det underliggende Hav kun kan være i Ligevægt, naar Havfladens Vandstand er høiere under Troperne end under Polerne, og gaae vi ud fra de angivne Middeltætheder ved Overfladen og ved Bunden af dette Vandlag, saa finde vi, at Havfladens Stand over den Vandstand som vilde svare til en Tæthed = 1, maa være omtrent følgende:

Vandstandshøiden mell. Æquator og Vendekredsene	= 6,6 Fod.
do. — Vendekredsene og 40° Br.	= 4,2 —
do. — 40° og 50° Br. . . . .	= 2,2 —
do. — 50° og 60° — . . . . .	= 0,9 —
do. paa 60° Br. . . . .	= 0,0 —
do. mell. 60° og 70° Br. . . . .	= 3,0 —

Men et saadant Fald af Vandspeilet kræver med Nødvendighed, at der maa strømme Vand fra Æquator langs Overfladen baade imod Syd og imod Nord, og dette kan ikke finde Sted uden at Vandstanden maa sænke sig under Troperne, saafremt der ikke igjen tilstrømmer de tropiske Have en lige saa stor Vandmængde. Men sænker Vandspeilet sig under Troperne, saa bliver der ikke mere Ligevægt i de dybere Dele af Havet, og en Strøm langs Havets Bund maa blive Følgen baade fra Nord og fra Syd imod Æquator. At en svag Strømning i denne Retning virkelig finder Sted, fremgaaer af den Omstændighed, at Havets Temperatur aftager med Dybden.

Paa Grund af Vandspeilets Fald maatte der altsaa, naar ingen andre Kræfter vare virksomme, gaae en Overfladestrøm fra Æquator imod Polerne, og en Understrøm langs Havbunden fra Polerne imod Æquator, saaledes som Maury oprindeligt antog. Men Strømforholdene forandres væsentligt paa Grund af andre Kræfters Indgriben. Den varme Overfladestrøm fra Æquator, som uden andre Kræfters Mellekomst vilde løbe imod Nord, modvirkes af Nordost-Passaten, som udøver et skraat Tryk paa Havfladen, hvis Virkning er større end Virkningen af Vandspeilsfaldet; derved fremkommer der fra  $30^\circ$  Brede en Opstemning af Vandet ned imod de Vandmasser, som Sydost-Passaten stræber at sætte op fra det sydlige Atlanterhav, og samtidigt dermed tvinger Passaten Overfladevandet paa den nordlige Halvkugle til at bevæge sig Sydvest hen imod det caraibiske Hav, saaledes som Franklin antog. Igjennem dette Hav og den mexikanske Bugt, hvor Passaten ikke er fremherskende, løber Vandet videre mod Nord igjennem Floridastrædet, og derved opstaaer Golfstrømmen. Men til at drive Golfstrømmen fra den mexikanske Bugt igjennem Floridastrædet til  $30^\circ$  N. Br. behøves der et Fald af Vandspeilet, som kan bestemmes ved Hjælp af de almindeligt gjældende Formler for Vandets Bevægelse i Strømme, og derved findes det, at Vandstanden i den mexikanske Bugt maa ligge c. 6 Fod høiere end Vandspeilet ved St. Augustine. Naar vi dernæst efter Vægtfyldeforholdet af Havvandet ved St. Augustine bemærke, at Vandstanden paa dette Punkt maa ligge omtrent  $3\frac{1}{2}$  Fod over det Nulpunkt, som svarer til en Middeltæthed = 1 af Havvandet, saa følger deraf, at Vandspeilet i den mexikanske Bugt ligger c.  $9\frac{1}{2}$  Fod over samme Nulpunkt, og at Passaten opstemmer Vandet omtrent 3 Fod i den mexikanske Bugt.

Efterat denne umaadelige Vandstrøm, der i Snævringen ved Bemini findes at have en Vandføring pr. Sec. af 1600 Millioner Cubikfod, har passeret St. Augustine, fortsætter den sit Løb i nordostlig Retning, som foran omtalt. Til at drive Golfstrømmen

frem igjennem denne lange Bane, har Strømmens Vandspeil i det Høieste et Fald af  $3\frac{1}{2}$  Fod; men det er let at overbevise sig om, at den Kraft som deraf resulterer, er fuldkommen ude af Stand til at udføre et saa stort Arbeide som denne Bevægelse fordrer, og det er derfor utvivlsomt, at Golfstrømmen paa hele denne Strækning maa være paavirket af en drivende Kraft, hvorpaa man hidtil ikke har været opmærksom. Men hvilken er den Kraft, som man saaledes har overseet? Kraften er mærkelig nok en gammel Bekjendt, hvis Betydning og Indflydelse man kun ikke tilstrækkeligt har gjort sig klar, uagtet Kepler skal være den, som først har henledet Opmærksomheden derpaa. Den Kraft, som driver Golfstrømmen frem i nordlig Retning, er nemlig i det Væsentlige ingen anden end en Virkning af Jordens daglige Rotation, og denne Virkning har ikke blot sin Betydning for Golfstrømmen; den er, som vi skulle see, den væsentlige Aarsag til alle Havets og Luftens Strømninger. At Jordens daglige Rotation maa udøve en Indflydelse paa alle Strømme, der bevæge sig fra Æquator mod Polen, og omvendt, er vel bekjendt; det har Kepler som sagt paaviist, og at Passatvindenes Retning skyldes Jordens Rotation, det er ligeledes erkjendt af Alle. Men skjøndt man vel er enig om, at Rotationen maa udøve Indflydelse paa Vandstrømmene, saa har man dog hidindtil været meget uenig om, hvor stor denne Virkning er; idet Nogle paastaae, at Jordrotationen er den væsentlige Aarsag baade til den nordostlige Retning, som Golfstrømmen antager, og til den sydvestlige Retning, som Polarstrømmene fra Nord følge, medens Andre paastaae, at det er umuligt, at Rotationen kan fremkalde nogen mærkelig Forandring i de Baner, som Havstrømmene vilde beskrive selv om Rotationen ikke fandt Sted. Men imedens man saaledes tvistes om, hvorvidt Jordrotationen fremkalder en mærkelig Forandring i Havstrømmenes Baner, saa ere Alle enige deri, at vi vide yderst lidt og i ethvert Tilfælde intet sikkert om de Love, hvorefter baade Hav- og Luftstrømmene bevæge sig, idet vi for

Øieblikket hverken vide om de strømmende Vand- eller Luftpartikler bevæge sig uden Modstand i deres Baner eller om de bevæge sig under Modstand og under Paavirkning af Kræfter, og endnu mindre vide, hvorfra disse hidrøre, deres Størrelse o. s. v. At man ikke tilfulde har været opmærksom paa Jordrotationens Indflydelse paa Strømforholdene, har øiensynligt sin Grund deri, at man kun har havt en mangelfuld Kundskab om Lovene for flydende Legemers Bevægelse i Strømme; thi havde man kunnet vise, at en saadan Kraft maatte være virkende, saa vilde det sande Forhold næppe have undgaaet Opmærksomheden. Sagen er nemlig meget simpel: Tænke vi os en materiel Deel, f. Ex. en Deel af en Vandstrøm at bevæge sig fra Æquator i Retning af Meridianen i en bestemt begrændset Kanal, saa maa denne Deel efter Forløbet af Tiden  $t$ , idet den befinder sig paa Bredegraden  $\theta$  og idet  $R$  betegner Jordradien, ligesom Jordoverfladen bevæge sig med en Hastighed fra Vest til Øst =  $\frac{2\pi R}{86400} \cdot \cos \theta$ . I det næste Øieblik  $dt$ , hvori den betragtede Deel ankommer paa Bredegraden  $(\theta + d\theta)$ , vil den med Hensyn paa Kanalens Sider forholde sig som om den var paavirket af en Kraft, der i Tiden  $dt$  vilde meddele den en Hastighedstilvæxt  $\frac{2\pi R}{86400} \cdot \sin \theta d\theta$  fra Vest til Øst, hvis Delen var fuldkommen fri; den drivende Kraft, som hidrører fra Jordrotationen, kan derfor fremstilles ved:

$$\psi = \frac{2\pi R}{86400} \cdot \sin \theta \cdot \left(\frac{d\theta}{dt}\right) = \frac{2\pi}{86400} \cdot \sin \theta \cdot v,$$

naar  $v$  betegner Hastigheden i den betragtede Kanal. Men da Bevægelsen ikke er fri, eftersom den betragtede materielle Deel er bunden til at bevæge sig i en Kanal fra Syd til Nord, saa vil den for Eenhed af Masse udøve et Tryk =  $\psi$  fra Vest til Øst imod Kanalens Sidevægge. Antages den betragtede Deel at være en Deel af en Vandstrøm, som er tvungen til at følge Kanalen, saa er det klart, at Vandspeilet i Kanalen vil indstille sig med en Stigning fra Venstre til Høire,



og betegne vi denne Stigning ved  $h$  paa en Brede af Kanalen  $= l$ , saa maa vi naturligviis have:

$$g \frac{h}{l} = \frac{\sin \theta \cdot v}{13750}.$$

At Strømmens Vandspeil maa antage samme Fald enten den bevæger sig i en fast Kanal eller den løber frit i Havet, naar Banen er den samme, det er klart. Men det er endvidere klart, at hvorledes end Banen er beliggende paa Jordoverfladen, saa maa den bevægede Deel, der ved Tiden  $t$  befinder sig paa Bredegraden  $\theta$  og efter Øieblikket  $dt$  ankommer paa Bredegraden  $(\theta + d\theta)$ , formedelst Jordrotationen bevæge sig paa samme Maade som naar Jorden var stillestaaende og Delen blev dreven fra Vest til Øst af en Kraft:

$$\psi = \frac{2 \pi R}{86400} \cdot \sin \theta \cdot \frac{d\theta}{dt} = \frac{\sin \theta \cdot \sin \omega \cdot v}{13750},$$

hvori  $v$  endnu betegner Hastigheden i Banen og  $\omega$  betegner Banens Retningsvinkel med Bredecirkelns østlige Retning. Men som en Følge heraf kunne vi see bort fra Jordrotationen og betragte Jorden som stillestaaende, naar vi til de øvrige drivende Kræfter, som virke paa Vandet, føie Kraften  $\psi$ , virkende fra Vest til Øst. Opløses Rotationskraften  $\psi$  deels efter Banen og deels lodret derpaa, samt antage vi, at Strømmen har et Fald  $\frac{du}{d\lambda}$  i Banens Retning, saa finde vi, at dens Vandspeil lodret paa Strømretningen maa have en Stigning  $\left(\frac{h}{l}\right)$  fra Venstre til Høire, der er bestemt ved:

$$g \frac{h}{l} = \frac{\sin \theta \sin^2 \omega \cdot v}{13750}, \dots \dots \dots (\text{A})$$

samt at den bevægede Masse drives frem af en Kraft:

$$\left[ \frac{\sin \theta \cdot \sin \omega \cdot \cos \omega \cdot v}{13750} + g \frac{du}{d\lambda} \right],$$

der ifølge den fremstillede Theori af Strømforholdene leder til følgende Ligning for Vandstrømmens Løb:

$$u = \frac{V^2 - V_0^2}{2g} + \frac{0,016}{3} \cdot \frac{V^2 + V \cdot V_0 + V_0^2}{2g} \cdot \frac{\lambda}{H} \cdot \frac{\sin \theta \cdot \sin \omega \cdot \cos \omega}{13750} \cdot \frac{V + V_0}{2g} \cdot \lambda \dots (B),$$

hvori  $u$  er Strømmens Fald paa Længden  $\lambda$ ,  $H$  er Strømmens fulde Dybde,  $V_0$  dens Begyndeshastighed og  $V$  dens Slutningshastighed efter at have gennemløbet Veien  $\lambda$ . Ved hertil efter Theorien at sætte Strømmens Vandføring pr. Sec.

$$Q = 0,82 \cdot V \cdot H \cdot \lambda \dots \dots \dots (C)$$

haves de Grundformler, som formeentlig ville føre til Erkjendelsen af Lovene for Havstrømmenes Løb paa hele Jordens Overflade, idet Vinklen  $\theta$ , der regnes positiv paa den nordlige og negativ paa den sydlige Halvkugle, i numerisk Værdi er beliggende mellem  $0^\circ$  og  $90^\circ$ , medens Vinklen  $\omega$  efter Beværelsens Retning kan ligge i 1ste, 2det, 3die eller 4de Quadrant.

Af disse tre Grundformler for Strømbevægelsen i Havet sees, at enhver Strøm, som bevæger sig paa den nordlige Halvkugle, har et Vandspeil, som er stigende fra Venstre til Høire i hvad Retning Strømmen end bevæger sig, samt, at naar Bevægelsesretningen ligger i 1ste eller 3die Quadrant, saa drives Strømmen fremad af Jordrotationen, medens Jordrotationskraften modvirker Bevægelsen, naar denne foregaaer i 2den eller 4de Quadrant; det sees fremdeles at en Bevægelse i en af disse Quadranter kun er mulig naar Strømmen er paavirket af et tilstrækkeligt Fald eller af en tilsvarende Kraft, fremkaldt f. Ex. af Vindens Virkning, Havvandets Vægtfylde o. s. v. Naar Strømmen bevæger sig i Retning af Meridianen, saa er dens Vandspeilsfald, lodret paa Strømretningen, et Maximum, men Rotationen forøvrigt uden Indflydelse paa Strømmens Løb. Bevæger Strømmen sig lodret paa Meridianen, saa er baade Faldet  $\frac{h}{l} = 0$  og Rotationskraften i det Hele uden Indflydelse paa dens Løb.

Betragte vi nu Golfstrømmens Løb fra dens Udspring af den mexikanske Bugt, saa sees det, at paa Veien igjennem Florida strædet, fra Bemini til St. Augustine, hvor Strømmen løber lige imod Nord, bevæges den alene af Vandets Fald, der for denne Strækning

kan sættes = 6 Fod, som foran angivet. Under denne Bevægelse har Strømmen en Stigning fra Vest til Øst, som langs hele Strækningen omtrent beløber sig til 1,3 Fod paa Strømmens Brede.

Fra St. Augustine indtil Bugten ved New York løber Golfstrømmen omtrent N. O. hen, og paa hele denne Strækning drives den frem af Jordrotationen med en Kraft svarende til et Vandspeilsfald af 9 à 10 Fod, medens Strømmen heelt igjennem har en Stigning af 1,2 Fod fra Venstre til Høire.

Fra Bugten ved New York løber Golfstrømmen videre i en noget mere østlig Retning over imod Europa, og paa hele denne Vei drives den fremad af Jordrotationskraften, som holder Strømmen opstemmet fra Venstre til Høire til en Høide af omtrent 1 Fod paa Strømmens Brede. Naar den er kommen over imod Europa, deler Strømmen sig som sagt i 2 Dele saaledes, at omtrent den halve Deel løber Sydost henimod den afrikanske Kyst under en Opstemning fra Venstre til Høire, dreven af Tyngden og modvirket af Jordrotationskraften, medens den nordlige Halvdeel tvinges til at fortsætte Veien langs Storbritanniens Kyster i en nordligere Retning paa Grund af den Modstand, som Landet frembyder, men paavirket af Rotationskraften, der driver Vandmassen frem imod Nord under en Opstemning af indtil  $1\frac{1}{2}$  Fod fra Venstre til Høire imod Landet. Undersøge vi Størrelsen af den Indflydelse, som Jordrotationen udøver paa Golfstrømmen fra St. Augustine indtil den naaer den 60de Bredegrad, saa finde vi, at Kraften omtrent er den samme, som den Strømmen vilde være underkastet, hvis Atlanterhavet paa Strækningen fra St. Augustine indtil  $60^{\circ}$  N. Br., hvis Længde er c. 950 Miil, havde et Fald af 25 Fod. Naar Golfstrømmen har passeret Skotlands Nordspids, forsvinder den Modstand, som tvang Strømmen til at følge den nordligere Retning, og fra dette Øieblik af tager Hovedstrømmen et mere østligt Løb over imod Norges Kyster, som den derpaa følger imod Nordost, under en Opstemning imod Land paa Grund af Rotationen. En Deel af

Golfstrømmen støder imidlertid imod Island og forhindres derved fra at løbe videre imod Nord, og denne Deel løber derefter Nordvest hen, modvirket af Jordrotationen, som holder den opstemmet imod Islands sydlige og sydvestlige Kyst. Strømmen maa følgelig have et Fald imod N. V. indtil Polarstrømmen.

Betragte vi dernæst Polarstrømmene og navnlig den, som fra Spidsbergen løber Sydvest hen langs den grønlandske Kyst indtil Cap Farvel, saa see vi, at denne Strøm drives frem af Jordrotationskraften under en Opstemning imod Østkysten af Grønland af omtrent 1 Fod, hvilken Opstemning imidlertid forsvinder i det Øieblik da Strømmen har passeret dette Lands Sydspids. Saasnart Modstanden, der tvang Strømmen til at følge Landet Sydvest hen, forsvinder, kan den ikke mere fortsætte Veien i samme Flugt, men den maa løbe Vester over imod Kysten af Labrador, deels som en Følge af Jordrotationen deels paa Grund af, at den omhandlede østgrønlandske Polarstrøm, naar den kommer fri af Landet har en høiere Stand end Vandspeilet i Davisstrædet. Naar Polarstrømmen paa denne Maade er kommen lidt op i Davisstrædet, møder den de Strømme, som komme fra Nord igjennem Baffinsbugten, og tvinges deraf til at gaae Vester over for senere hen at følge Baffinsbugtens Vandmasser imod Sydost langs Labradorkysten, imod hvilken den samlede Strøm holdes opstemmet af Jordrotationen. Paa Veien indtil Østkysten af Newfoundland er Polarstrømmen modvirket af Jordrotationen, og Vandet maa følgelig have et Fald ned igjennem Davisstrædet, samt derfra videre imod Syd langs Østkysten af Newfoundland indtil Golfstrømmen. Under Polarstrømmens Løb imod Syd langs Østsiden af Newfoundland holdes den opstemmet imod Landet af Rotationskraften; men saasnart Strømmen har passeret Cap Race, forsvinder pludselig den Modstand, som fremkaldte denne Opstemning af Vandmassen, og nu indtræder et ganske lignende Forhold som ved Cap Farvel. Strømmen bøier pludselig om imod Sydvest og strømmer frem i denne Retning

langs Landet, imod hvilket den holdes opstemmet af Jordrotationen, som driver Strømmen frem indtil Florida, medens dens Størrelse og Vandføring bestandigt aftager.

Golfstrømmen og Polarstrømmen løbe paa hele Strækningen fra Newfoundland indtil Florida i en Længde af c. 500 Miil, Side om Side med hinanden og drives begge fremad i deres Baner af Jordrotationen. Under dette Løb holdes Polarstrømmen altsaa opstemmet imod Land af Rotationskraften, som tvinger den til at følge Kysten gennem alle dens Bugter; men hvilken er den Kraft, som tvinger Golfstrømmen, der løber frit i Havet, til at følge Polarstrømmen i alle dens Bugter istedetfor at følge den mere østlige Flugt, som Jordrotationen stræber at give den? Det er naturligviis den Kraft, som Tyngden fremkalder derved, at Golfstrømmens Vandspeil har et Fald lodret paa Strømretningen fra Høire til Venstre af 1,2 Fod paa Strømmens Brede lige fra det Punkt, hvor Strømmen træder ud i Atlanterhavet, indtil New York, og hvorfra den vedbliver at have et Fald af henimod 1 Fod paa Strømmens Brede indtil det Punkt, hvor Strømmen, efterat være kommet over imod Europa, deler sig. Men spørge vi da videre om Grunden til, at Golfstrømmen har dette Fald, saa vil det være klart, at dette maa hidrøre derfra, at Polarstrømmens Vand har en større Vægtfylde end Atlanterhavets Vand og derfor, da det underliggende Hav er i Ligevægt, maa have en lavere Vandstand end Atlanterhavet. At det virkelig forholder sig saaledes, kan heldigviis fuldstændigt godtgøres ved Hjælp af de i de senere Aar af den amerikanske Regjering udførte Undersøgelser over Golfstrømmen, som næppe give Rum for nogen Tvivl om, at Golfstrømmen vedligeholder sin Plads paa Grund af Vægtfyldeforholdet mellem Polarstrømmens og Atlanterhavets Vand. Under disse Omstændigheder er det altsaa let at forstaae at Golfstrømmen maa følge Polarstrømmen i alle dens Bøininger lige til Newfoundland.

Men imedens Golfstrømmens Vandspeil altsaa maa betragtes

som havende et jevnt Fald fra Atlanterhavet ned imod Polarstrømmen, vise de Undersøgelser, som den amerikanske Regering har foretaget, at der kun vilde kunne være Ligevægt ved Bunden af Golfstrømmen, naar denne Strøm havde en høiere Vandstand fra Polarstrømmen henimod Atlanterhavet, saaledes at den høieste Vandstand faldt omtrent i  $\frac{1}{3}$  af Golfstrømmens Brede fra Polarstrømmen. Som Forholdene ere, er der altsaa ikke Ligevægt ved Bunden af Golfstrømmen. Polarstrømmens Vand har et Overtryk over Golfstrømmens Vand, hvilket Overtryk voxer fra oven nedad imod Strømmens Bund og foranlediger, at der uophørligt strømmer koldt Vand fra Polarstrømmen ind i Golfstrømmen, særdeles ved Bunden af Strømmen. Efterhaanden som Vandet fra neden af indtræder i Golfstrømmen, meddeler denne de indtrængende Vandmasser sin Varme og sin Bevægelse, og efterhaanden som det paa Grund af Trykforholdene stiger tilveirs og derved uddriver det Vand, hvis Plads det indtager, maa Golfstrømmens Brede voxe. Men for at Bredden af Strømmen skal voxe, maa Vandspeilet i Midten af Strømmen hæve sig saameget over det Fald, som svarer til Ligevægt i Overfladen, at Rotationskraften erhoder den Overvægt, som behøves for at fremkalde Bredeudvidelsen imod Øst, og denne Hævning af Vandspeilet fremkalder tillige den Strøm af varmt Vand langs Overfladen, fra Midten af Golfstrømmen ud over Polarstrømmen, som den amerikanske Kystopmaalings Commission har paaviist.

Det vil altsaa være klart, at Polarstrømmen paa alle Punkter, næsten lige op til Overfladen, har et Overtryk over Golfstrømmen, medens denne til Gjengjæld sender en forholdsviis lille, men varm Overfladestrøm af 20 til 50 Favnes Dybde ud over Polarstrømmen; og det er tilmed klart, at Golfstrømmen i dens hele Dybde maa udøve et Overtryk mod Atlanterhavet, som tvinger dets Vand til at vige Pladsen for de Vandmasser, som Golfstrømmen optager fra Polarstrømmen og fører frem med sig.

Alle de Forhold, som de nyere Undersøgelser over Golf-

strømmen have paaviist, synes fuldstændigt at stemme hermed, og naar vi derfor nu forudsætte, at Golfstrømmens Vandføring netop tiltager med de samme Vandmængder, som Polarstrømmen afgiver under sit Løb, saa følger deraf videre, at hvis Golfstrømmens Vandføring ved Bemini betegnes ved  $Q$ , og Polarstrømmens Vandføring for et vilkaarligt Tværnsnit, beliggende mellem Newfoundland og Florida, betegnes ved  $q$ , saa er Golfstrømmens Vandføring for samme Tværnsnit  $= (Q + q)$ . Ifølge det saaledes Anførte maa det altsaa antages, at den hele Polarstrøm, som fra Østsiden af Newfoundland strømmer ned imod Golfstrømmen, og som fra Cap Race drives Sydvest hen langs den amerikanske Kyst, efterhaanden paa Veien til Florida afgiver hele sin Vandmængde til Golfstrømmen; og sætte vi Polarstrømmens Hastighed Syd for Newfoundland  $= 1,8$  Fod pr. Sec., dens Brede  $= 50$  Miil, og Polarstrømmens Dybde  $= 900$  Fod, saa finde vi dens Vandføring pr. Sec.  $= 1600$  Millioner Cubikfod, og Golfstrømmens Vandføring Syd for Newfoundland maa derfor sættes  $= 3200$  Mill. Cubikfod pr. Sec.

Fra den sydlige Deel af det nordatlantiske Hav, mellem Æquator og  $30^\circ$  Brede, bortstrømmer der atter  $1600$  Mill. Cubikfod pr. Sec.; men foruden dette Vandtab lider denne Deel af Atlanterhavet et Vandtab derved, at der fordampes mere Vand fra Havfladen end der falder i Form af Regn og tilstrømmer fra de omgivne Lande. For at danne os en begrundet Mening om Størrelsen af den Vandmængde, som den nævnte Deel af Atlanterhavet afgiver som Vanddamp til Atmosfæren ud over hvad der falder i Form af Regn, kunne vi benytte Resultaterne af en Undersøgelse, som er udført paa St. Helena i Løbet af Aaret 1860 af Lieutenant Haughton. Overskuddet af Fordampningen i Atlanterhavet mellem  $0^\circ$  og  $30^\circ$  Brede kan derefter i Gjennemsnit sættes  $= 0,22''$  Vandhøide pr. Døgn, og gjøres et Fradrag af  $\frac{1}{10}$  formedelst det Vand, som gennem Floder tilstrømmer fra Land, saa komme vi til det Resultat, at Atlanterhavet mellem  $0^\circ$  og  $30^\circ$  Brede paa denne Maade lider

et Vandtab af omtrent 50 Millioner Cubikfod pr. Sec. Den hele Vandmængde, som bortstrømmer fra Atlanterhavet mellem  $0^{\circ}$  og  $30^{\circ}$  N. Br., kan derfor anslaaes til 1650 Mill. Cubikfod pr. Sec.

Antages dernæst at  $\frac{2}{3}$  Deel af den hele Jordoverflade, som ligger Nord for den 30te Bredegrad, directe eller indirecte sender sit Afløbsvand til Atlanterhavet, og regne vi det aarlige Nedslag i Gjennemsnit for denne Deel af Jorden = 22" Vandhøide, saa findes det, at Atlanterhavets nordlige Deel derved erholder en Tilløbsmængde pr. Sec. af c. 50 Mill. Cubikfod Vand eller omtrent den samme Qvantitet, som Fordampningen borttager mellem  $0^{\circ}$  og  $30^{\circ}$  Brede fra Atlanterhavet.

Men deraf følger ligefrem, at da Golfstrømmens sydgaaende Green maa være ligestor med Afgangen af Vand fra den sydlige Deel af det nordatlantiske Hav, saa maa bemeldte Green af Golfstrømmen have en Vandføring af 1650 Mill. Cbfod pr. Sec. og da hele Strømmens Vandføring, idet den har passeret Newfoundland kan sættes = 3250 Mill. Cbfod, saa maa Vandføringen af dens nordgaaende Green sættes = 1600 Mill. Cbfod pr. Sec.; medens Polarstrømmene tilsammen maa regnes at have en Vandføring af 1650 Mill. Cbfod pr. Sec. Fra St. Augustine, hvor Golfstrømmen har en Dybde af henimod 300 Favne aftager Dybden jevnt indtil Newfoundland, hvor den kan anslaaes til 1000 Fod. Fra Newfoundland, hvor Strømmen har en Brede af 80 Miil og en Hastighed af 2 Fod, løber den frem i en Ost-Nordostlig Retning med aftagende Hastighed og voxende Brede, og naar Strømmen har gjennemløbet en Længde af c. 300 Miil, har den en Dybde af noget over 200 Favne, en Hastighed af 0,6 Fod, og en Brede af c. 200 Miil; undersøge vi Strømforholdene nærmere, saa findes det, at Golfstrømmens Vandspeil paa denne Vei stiger omtrent 2 Fod over Vandstanden ved Newfoundland. Indtil Golfstrømmen naaer denne Høide, holdes den som een samlet Strøm ved det Fald af henimod 1 Fod fra Høire til Venstre, som vi have seet at Strømmen har; men naar Strømmen har naaet den angivne Høide, saa har dens sydlige



Deel opnaaet det Fald, som er fornødent for at drive denne Deel af Golfstrømmen Sydost hen mod den afrikanske Kyst med en Hastighed af 0,6 Fod pr. Sec., og en Vandføring af 1650 Mill. Cbfod pr. Sec., og, naar Strømmen paa denne Maade har naaet den 30te Bredegrad, træder Nordost-Passaten til og fører Vandmassen videre frem i sydlig Retning.

Men medens den sydlige Halvdeel af Golfstrømmen saaledes løber imod Syd, løber Strømmens nordlige Halvdeel, som sagt med en Vandføring af 1600 Mill. Cbfod, vedblivende imod Nord langs Kysterne af Storbritannien indtil den 60de Bredegrad. Under dette Løb, hvor Strømmen holdes opstemmet mod Land, og hvor den efterhaanden udvider sig fra 100 til 150 Miil, medens Hastigheden aftager fra 0,6 til 0,3 Fod pr. Sec., drives den frem af Jordens Rotationskraft, og idet Strømmens vestlige Rand, der naturligviis falder sammen med Atlanterhavets Vandspeil, gennemløber en Længde af c. 140 Miil, stiger Vandspeilet  $1\frac{1}{3}$  Fod saaledes at Strømmens vestlige Rand træffer  $60^\circ$  N. Br. under en Vandstand af  $3\frac{1}{3}$  Fod over Havfladen ved Newfoundland.

Efter at Golfstrømmen, som paa denne Strækning har en Dybde af 200 à 300 Favne, har naaet Nordsiden af Skotland, løber omtrent  $\frac{2}{3}$  Deel af dens Vandmasse Øster over imod Norges Kyster; men  $\frac{1}{3}$  Deel tårner imod Island og fortsætter derefter sit Løb Nordvest hen imod den grønlandske Polarstrøm. Den omhandlede Green af Golfstrømmen, som af Rotationskraften holdes opstemmet imod Landet, antages at have en Dybde af noget over 200 Favne og en Brede af omtrent 50 Miil; til at drive denne over til Polarstrømmen med en Hastighed af 0,3 Fod pr. Sec. udkræves et Fald af c.  $\frac{1}{2}$  Fod. Lægge vi dernæst Mærke til, at den nordgaaende Golfstrøm ved Skotlands Nordspids har en Stigning af 1,5 Fod over imod dette Land, saa sees det let, at den Green af Strømmen, som løber Nordvest hen, begynder sit Løb langs Islands Kyst under en Vandstand, som ligger  $\frac{1}{2}$  Fod høiere end den sydlige Bred af samme Strøm, og det vil derfor tillige være klart, at det Vand, som strømmer langs

den islandske Kyst, vil træffe Polarstrømmen Vest for Island i en Høide af  $3\frac{1}{3}$  Fod over Vandstanden ved Newfoundland. Men imedens Golfvandet langs Kysten af Island strømmer frem imod Polarstrømmen formedelst det omtalte Fald, har Vandet ved den sydlige Bred af Strømmen netop samme Høide som Polarstrømmen og altsaa intet Fald derimod. De Vandmasser af den nordgaaende Golfstrøm, som følge Strømmens vestlige Rand indtil  $60^\circ$  N. Br., og som her nødes til at bøie Vester over, kunne altsaa ikke fortsætte Veien over til Polarstrømmen; de maae strax udbrede sig over Atlanterhavets Vand og derefter strømme Syd hen mod Newfoundland paa Grund af Faldet. Ethvert Strømelement, som ligger mellem den nordlige og sydlige Rand af den omhandlede Golfstrøms Green, vil derimod efter sin Plads i Strømmen føres kortere eller længere over imod Polarstrømmen før det tager Flugten imod Syd, og saaledes er det indlysende, at den varme Strøm maa udbrede sig over det hele Atlanterhav imellem den nordgaaende Golfstrøm og den sydgaaende grønlandske Polarstrøm, idet det varme Vand løber Syd hen efter Vandspeilets Fald. Betragte vi nu først den østgrønlandske Polarstrøms Løb imod Syd, idet vi gaae ud fra, at denne Strøms østlige Rand paa  $65^\circ$  N. Br., Vest for Island, ligger  $3\frac{1}{3}$  Fod over Atlanterhavets Vandspeil ved Newfoundland, samt at Polarstrømmen løber Sydvest hen langs Kysten af Grønland med en Hastighed, som efter Admiral Irminger kan sættes =  $\frac{3}{4}$  Fod pr. Sec., saa er det tydeligt, at denne Strøm drives frem af Jordens Rotationskraft indtil Cap Farvel. Regnes fremdeles efter Irmingers Angivelse, at Strømmen har en Brede af 40 Mill, og forudsætte vi, at Halvdelen af den Vandmængde, som Golfstrømmen sætter op i Ishavet, tilligemed Halvdelen af Nedslaget gaaer tilbage mod Syd med denne Strøm, — medens den anden Halvdeel gaaer ned igjennem Baffinsbugten fra Ishavet —, saa findes det, at Rotationskraften opstemmer den østgrønlandske Polarstrøm, der kan regnes at have en Dybde af c. 1000 Fod, til en Høide af 1 Fod over Strømmens østlige Rand, og naar

Strømhastigheden betragtes som constant indtil Sydspidsen af Grønland, saa findes det fremdeles, at Strømmens Vandspeil maa være stigende indtil Cap Farvel, navnlig fra  $3\frac{1}{3}$  Fod indtil 5 Fod over Havfladen ved Newfoundland langs Strømmens østlige Rand, der naturligviis falder sammen med Atlanterhavets Vandspeil. Dersom Golfstrømmen dernæst, efterat have passèret Cap Farvel, skulde strømme lige ned imod Newfoundland, saa maatte Vandet i Davisstrædet staae opstemmet til den Høide, som kunde forhindre Strømmen fra at bevæge sig i en mere vestlig Retning. Men da Vandet i Davisstrædet ikke kan have nogen høiere Vandstand end den, som behøves til at drive de tilstrømmende Vandmasser Syd hen saa hurtigt som de tilstrømme, og da det Vandspeilsfald som dertil udkræves ved  $63^{\circ}$  N. Br. ikkun beløber sig til  $3\frac{1}{2}$  Fod over Vandstanden ved Newfoundland, saa har altsaa Polarstrømmen, idet den naaer Cap Farvel, et Fald over imod Davisstrædet af  $2\frac{1}{2}$  Fod langs den grønlandske Kyst og  $1\frac{1}{2}$  Fod langs Polarstrømmens modsatte Bred. Formedelst dette Fald drives Strømmen fra Cap Farvel langs den grønlandske Kyst, under en Opstemning derimod, nogle Bredegrader op i Davisstrædet. Men da der som sagt løber en Koldvandsstrøm fra Nord ned igjennem Baffinsbugten og Davisstrædet imod Sydost, saa maa Vandspeilet have et Fald i denne Retning, og den østgrønlandske Strøm kan derfor kun naae et Stykke op i Davisstrædet før den tvinges til at løbe Vester over imod Kysten af Labrador, som den i Forening med Vandet fra Baffinsbugten følger imod Syd paa Grund af Vandspeilets Fald. Den saaledes forenede Polarstrøm, hvis Vandføring kan anslaaes til henimod 1200 Cubikfod pr. Sec., har en Brede af 50 Miil, en Hastighed af  $\frac{5}{6}$  Fod pr. Sec. og en Dybde af omtrent 250 Favne; den løber Sydost hen under Paavirkning af Rotationen, som modvirker og opstemmer den imod Labradorkysten samt Kysten af Newfoundland, langs hvis Østside den forsætter sit Løb ned imod Golfstrømmen indtil den har passeret Cap Race, hvor den bøier Vester over og strømmer ned imod Florida, som tidligere omtalt.

Betragte vi nu atter den varme Strøm, som fra Golfstrømmen løber Sønden om Island og derfra efterhaanden udbreder sig over Atlanterhavets koldere Vande, idet den følger Faldet imod Syd, saa see vi, at naar denne varme Strøm kommer udfor Sydspidsen af Grønland, saa har den en Stigning fra Venstre til Høire af omtrent  $2\frac{1}{2}$  Fod fra Golfstrømmen indtil Cap Farvel, og denne Stigning viser, at Strømmen virkelig løber imod Syd. Men denne Stigning af Vandspeilet fra Venstre til Høire sætter os fremdeles istand til at bedømme Strømforholdene noget nærmere. Da nemlig den vestlige Bred af den varme Strøm følger Polarstrømmen, saa kunne vi gjøre Regning paa, at den langs Polarstrømmen har en Dybde af 1000 Fod og  $\frac{3}{4}$  Fods Hastighed ligesom denne, og regne vi dernæst, at Strømhastigheden aftager jevnt ned imod Golfstrømmen samt at alle Strømelementer omtrent ere parallelt løbende indtil Tværsnittet ved Cap Farvel, saa kan det efter Faldet af Vandspeilet lodret paa Strømretningen paavises, at Strømhastigheden langs Golfstrømmen maa være henimod  $\frac{1}{2}$  Fod pr. Sec. Men naar den tilbagegaaende Green af Golfstrømmen under det stedfindende Fald løber Sydvest hen med et Fald af henved  $\frac{1}{2}$  Fod langs den østlige Bred, saa kan det fremdeles paavises, at Strømhybden maa være omtrent 76 Fod. Naar vi paa samme Maade bestemme Strømhybden for et Antal af Punkter tværs paa Strømmen og derefter beregne hele Strømmens Vandføring, saa findes det, at denne beløber sig til 470 Mill. Cubikfod pr. Sec., hvilket netop paa det Nærmeste svarer til hvad den maa antages at udgjøre. Bestemme vi dernæst hvorledes de forskellige Strømelementer af den varme Overfladestrøm maa bevæge sig videre frem under Paavirkning af det forhaandenværende Fald af Havfladen i Forbindelse med Jordrotationen, saa findes det, at denne Strøm i det Hele taget maa følge det angivne Løb af Polarstrømmen, som efterhaanden maa antages at optage dens Vandmasser, der fra neden af maae trænge ind deri, fordi Strømmens Vand er vægtfuldere end Polarstrømmens Vand; og det findes tillige, at Vandet, idet det saaledes

strømmer ned imod Polarstrømmen, maa udbrede sig over hele Atlanterhavet lige til Newfoundland.

Idet jeg saaledes har paaviist, at vi efter den angivne Theori temmelig fuldstændigt kunne gjøre Rede for alle de Forhold som Strømbevægelserne i Havet frembyde, skal jeg til Slutning kun bemærke, at det ligger i Sagens Natur, efter hele vor ufuldkomne Kundskab til Havstrømmenes Løb, at mange Enkeltheder kunne være meget forskellige fra hvad jeg i det Foregaaende har anført; men hvad Hovedsagen angaaer, da troer jeg paa den anden Side at kunne være sikker paa, at Strømforholdene stedse ville findes at være som jeg her har søgt at vise.

At de Forhold, som jeg nu har søgt at paavise for Strømme i Havet, ogsaa finde Anvendelse paa Strømningerne i Luften, er klart, og at alle disse Strømninger i tidligere Perioder, hvor Temperaturen paa Jorden var større end nu, have været langt stærkere og af en langt mere indgribende Natur end nu fortiden, behøver vel blot at nævnes.