Matematisk modellering av ozonreaksjoner og den termohaline klimamaskinen

Manuskriptet til Fowler inneholder to andre temaer som kan egne seg til modelleringsseminaret. Dessverre kjenner jeg for lite til dem at jeg uten videre vil anbefale dem, men det er naturligvis fritt fram til å prøve seg. Det vil være mulig at dette ikke fører til stort mer enn å referere fra litteraturen som en finner om stoffet, men begge går rett inn i den pågående debatten om klimaendringer.

1 Reaksjonskinetikk for ozon i stratosfæren

Denne analysen er knyttet til de kjemiske reaksjonene som danner ozon i stratosfæren. Teorien ble opprinnelig utviklet av Chapman, og Fowler viser til boka *An Introduction to Atmospheric Physics* av David G. Andrews (Realfagbiblioteket, 551.51 An2i) for mer informasjon.

Framstillingen i Fowler finnes i avsn. 1.1.8 og oppgave 1.8.

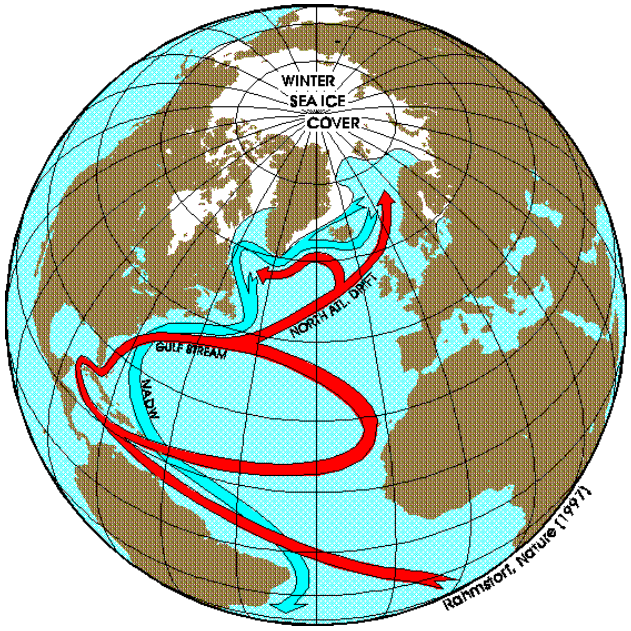
Modellen som stilles opp ser ikke ut til å ta opp aktuelle temaer slik som nedbryting av ozon med klorfluorkarboner og dannelsen av ozonhullet

2 Den termohaline klimamaskinen

Den termohaline klimamaskinen (*thermohaline circulation*) er ikke lite kontroversiel, men går ut på at i alle fall *noe* av grunnen til at Norge har et så mildt klima, er at det er et "transportbånd" (conveyor belt) som sørger for å bringe den varme overflatestrømmen som grener ut fra Golfstrømmen fram til våre kyster. Grenen kalles forøvrig *Den norske atlanterhavstrømmen*, og er ikke selve Golfstrømmen. De fleste meteorologene mener nok at dette ikke er hele historien, overveiende vestlige vinder setter også opp strøm, som Golfstrømmen selv er et eksempel på. Men som vi vet, corioliskraften er sterk på disse størrelsesskalaene, så hvorfor skulle grenen fra Golfstrømmen ellers snu mot venstre og ikke mot høyre?

Ordet termohalin er sammensatt av *varme* og *salt*, og peker på at tettheten til havvann både avhenger av temperaturen og saltinnholdet (*saliniteten* – omfatter også andre salter enn NaCl). Små tetthetsforskjeller kan sette i gang strømmer i havet, såkalt *tetthetsdreven strøm* (*buoyancy driven currents*). Det er en slik strøm som en tenker seg holder liv i Den norske atlanterhavstrømmen, som vist skjematisk på fig. 1. Men hvis en sammenligner med andre figurer av situasjonen (se f.eks. fig. 2), er det tydelig at det ikke er noen entydig oppfatning av hvordan transportbåndet egentlig går.

Mekanismen er i grove trekk som følger: Varmt, saltholdig atlanterhavsvann kommer opp langs Norskekysten og fortsetter opp i Arktis. Der avkjøles det og fryser. Siden isen består av ferskvann, blir resten av vannet enda mer saltholdig og samtidig kaldt. Det blir dermed tungt og faller bokstavelig talt til bunns. Dette tunge dype vannet trekker seg sørover



Figur 1: Figur av transportbåndet i Atlanterhavet kopiert fra http://www.pik-potsdam.de/~stefan/thc_fact_sheet.html

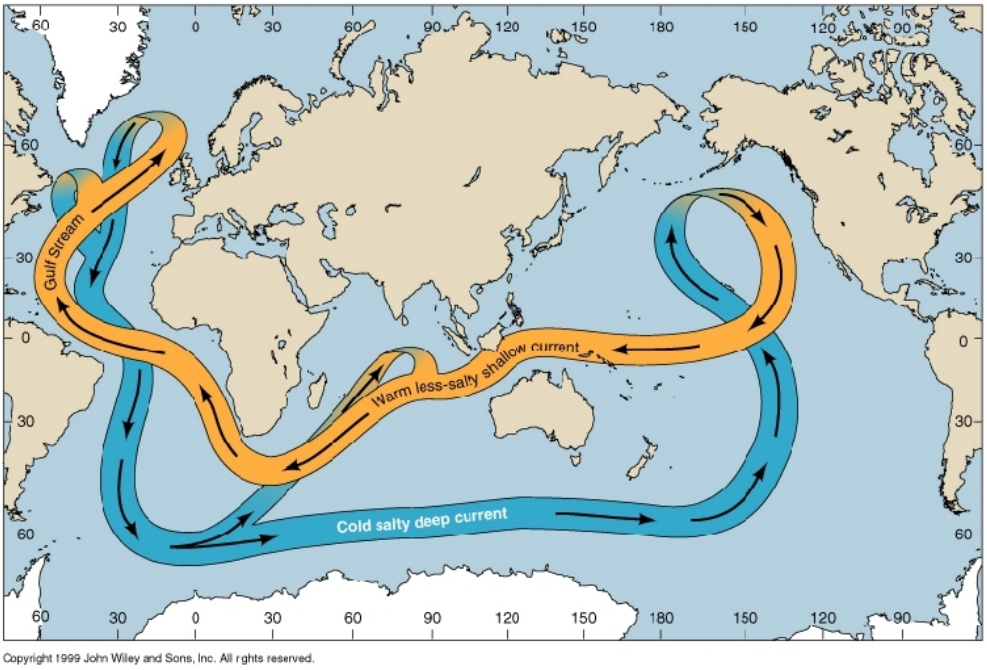
mellom Grønland og Island, og i de mest radikale modellene fortsetter det rundt Afrika og tvers over Stillehavet, før kommer til overflata og snur tilbake, slik som vist på fig. 2. Massebalanse krever at vannet som som går ut av Norskehavet ved dypvannsdannelsen må erstattes, og dette holder da strømmen ved like. Hvis nå temperaturen øker, blir det dannet mindre is, og med tilførsel av smeltevann fra Grønland, kan dypvannsdannelsen svikte. Dermed stopper også transportbåndet opp. Historisk sett mener en dette kan ha skjedd, sist under "den lille istid" på 1500 til 1700 tallet. I manuskriptet til Fowler diskuterer han at perioder med sterkt varierende temperaturer under og delvis etter siste istid (Heinrich- og Dansgaad-Oeschger-hendelser) kan forklares på samme måte (bredemte sjøer som plutselig tømmes ut i havet).

Som nevnt er teorien omdiskutert, men status kan dere finne i [3]. Dette bør være en oppdatert og pålitelig fagartikkel.

Det har også blitt laget oversiktsartikler av norske fagfolk, for eksempel [4]. En interessant hypotese har blitt framsatt av forskere ved Bjerknessenteret for klimaforskning i Bergen. Hypotesen går ut på at sirkulasjonen faktisk kan bli styrket av tilførselen av ferskvann i Arktis [2].

En grundig framstilling av mekanismene bak Den norske atlanterhavstrømmen har også blitt publisert av dette fagets tilsynssensor, professor Bjørn Gjevik ved Inst. for matematikk/mekanikk ved Universitetet i Oslo [1].

Avsnitt 1.4.7 i manuskriptet til Fowler inneholder en kort oversikt over H. Stommels opprinnelige modell for termohalin sirkulasjon. Dette er en to-boks modell som igjen leder til et todimensjonalt system av differensialligninger. Framstillingen er relativt kon-



Figur 2: Figuren har blitt kopiert fra Univ. of Chicagos nettsider, http://geosci.uchicago.edu/~gidon/geosci245/thermohal/thermohaline.html

sentrert, så det vil kreve en viss innsats for å forstå ligningene.

Referanser

[1] Bjørn Gjevik: *Hva driver Golfstrømmen*? http://www.math.uio.no/~bjorng/golfstrom/

[2] Peter M. Haugan: *Blir termohalin sirkulasjon svekket eller stimulert av ferskvannseksport fra Arktis*? Foredrag, 2006, http://www.ngfweb.no/docs/ngf2006_foredrag_04_haugan.pdf

[3] S. Rahmstorf: Thermohaline Ocean Circulation, *Encyclopedia of Quaternary Sciences*, Edited by S. A. Elias, Elsevier, Amsterdam 2006. Tilgjengelig på http://www.pik-potsdam.de/~stefan/Publications/Book_chapters/Rahmstorf_EQS_2006.pdf

[4] Lars Petter Røed, Øyvind Sætra og Arne Melsom: *Tror vi på raske klimaendringer som følge av endringer i GG-olfstrømmen*?, Meteorologisk institutt, Seksjon for oseanografi, http://www.met.no/aktuelt/nyhetsarkiv/1999/1999_06_22_... Tror_vi_pa_raske_klimaendringer_som_folge_av_endringer_i_Golfstrommen.html