

# Crafoordpriset 2006

*Kungl. Vetenskapsakademien har beslutat utdela Crafoordpriset i geovetenskaper 2006 till **Wallace S. Broecker**, Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University, Palisades, NY, USA, "för hans innovativa och nydanande forskning om den globala kolcykeln i havet - atmosfären - biosfären och dess samspel med klimatet".*

## Klimatförändringen och "det stora oplanerade koldioxid-experimentet"

Genom att kombinera sin biogeokemiska forskning om havens sammansättning med kunskapen om havsströmmarna och det komplexa utbytet av kol mellan haven, biosfären och atmosfären bidrar **Wallace S. Broecker** kraftfullt till vår förståelse av hur klimatet kan förändras och de mekanismer som utlöser klimatförändringar.

### Klimatförändringar

Under miljarder år har klimatet ständigt förändrats på jorden. Bara under den senaste årmiljonen har det inträffat minst tio klimatcykler med globala temperaturförändringar på mer än 10 °C. Klimatet har sålunda gått från istid till växthus och tillbaka till istid igen många gånger.

En del förändringar har varit gradvisa, andra snabba. Särskilt under istiderna har det funnits snabba förändringar som skett på några årtionden upp till några få århundraden med lokala temperaturförändringar på 10–20 °C. Dessa förändringar kan förklaras med variationer av solinstrålningen på glacialt känsliga höga nordliga latituder, effekter av jordens varierande bana runt solen och ändringar av jordaxelns lutning. Ovanpå dessa stora cykler finns många snabba förändringar som beror på andra, delvis gåtfulla processer – de påverkar alla kraftigt människans miljö. Vad hände förr i tiden – hur snabbt och varför? Vad händer i dag?

För att få svar på dessa frågor är det nödvändigt att förstå det komplexa samspelet mellan jordens fem sfärer: atmosfären, hydrosfären, kryosfären (is), biosfären och geosfären. Detta tvärvetenskapliga angreppssätt inom geovetenskapen har slagit igenom snabbt under de senaste femtio åren och kallas nu vanligen Earth System Science, dvs. vetenskapen om det samverkande Jordsystemet.

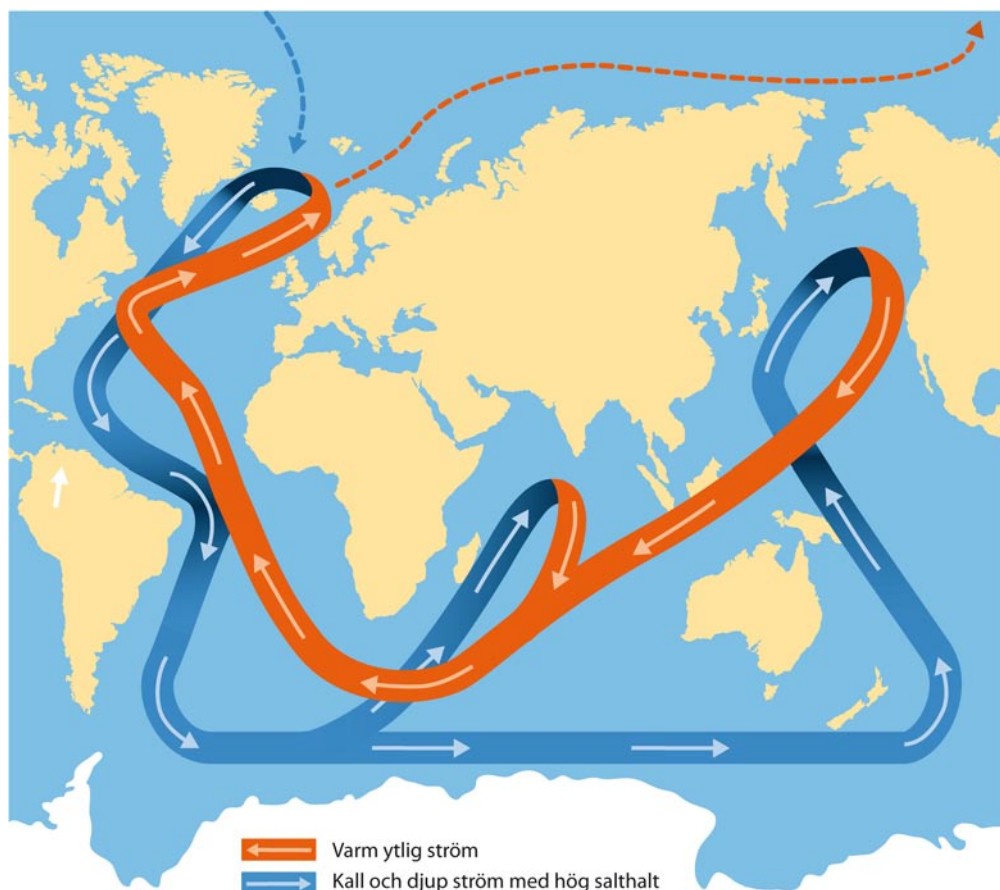
Crafoordpriset år 2006 tilldelas Wallace S. Broecker som under sin långa karriär integrerat sina expertkunskaper i biogeokemi med Earth System Science för att förstå samspelet mellan haven och atmosfären och klimatförändringar. Han har gjort pionjär-insatser för vår förståelse av havens sammansättning, särskilt kolcykeln och gasutbytet mellan haven och atmosfären. Han har kombinerat dessa data med kunskapen om havsströmmarna och utvecklat modeller som ökat förståelsen för processerna bakom klimatförändringar förr i tiden. Han har sedan tillämpat detta för att förstå de förändringar som sker i dag.

Wallace Broecker har ägnat sig åt viktiga frågor som: Hur regleras atmosfärens naturliga koldioxidhalt av olika processer i jordens kolcykel? Hur fungerar samspelet

mellan dessa processer och på vilket sätt är jordens klimat relaterat till dessa processer och effekterna av dem? Vad händer till exempel i dag med den koldioxid vi släpper ut i atmosfären? Hur mycket förstår vi egentligen om den fortfarande delvis gåtfulla kolcykeln och hur försiktiga måste vi vara inför framtidens ökande växthuseffekt?

### Haven påverkar klimatet

Vatten täcker omkring 70 procent av jordens yta och haven är en stor levande miljö som samspelar med atmosfären och kontinuerligt reagerar på temperaturförändringar. Vattnet finns i tre faser – fast (is), vätska och gas – och spelar en dominerande roll för att hålla klimatet i balans. Som ånga är vatten den dominerande växthusgasen; som vätska i haven är vatten en enorm reservoar för andra växthusgaser, varav den viktigaste är koldioxid.



Figur 1. De stora havsströmmarna är en viktig del av det samverkande Jordsystemet. Om de ändras kan det få stora effekter på klimatet. Bilden visar en förenkling av det globala transportbandet av varmt vatten som minskar temperaturskillnaderna mellan Atlantens högre och lägre breddgrader.

En drivkraft i den globala havscirkulationen är djupvattenbildningen. I norra Atlanten kyls ytvattnet ner (speciellt på vintern) av de kalla luftmassorna från Grönland och Kanada. Dessutom bildas havsis som ökar koncentrationen av salt i ytvattnet. Tillsammans gör detta att ytvattnet blir tyngre än underliggande vatten. Det sjunker

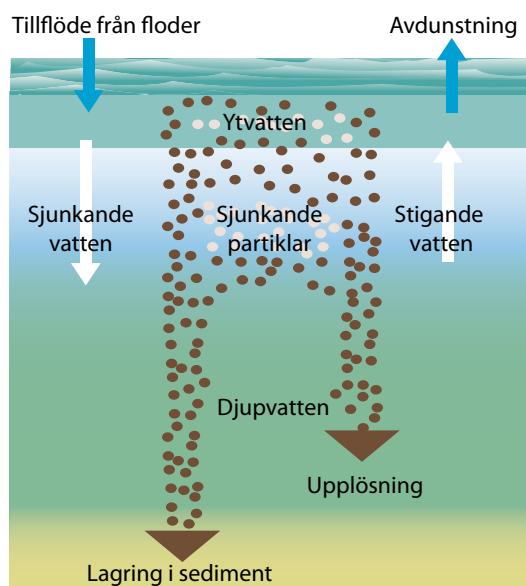
då ner mot havets djupare delar och ersätter det "gamla" djupvattnet som strömmar söderut på stort djup. Detta vatten ersätts av att relativt varmt ytvatten strömmar tillbaka norrut – i Atlanten i form av den nordatlantiska strömmen, varav den så kallade Golfströmmen är en del. Havsvattencirkulationen är ett mycket komplext globalt system som spänner över alla världshav.

Om havsströmmarna ändras kan det få stora effekter på klimatet. Om den region där djupvatten bildas till exempel skulle förskjutas söderut skulle det varmare ytvattnet inte nå lika långt norrut som i dag. Mängden sjunkande djupvatten skulle dessutom sannolikt minska eftersom en lägre täthet hos ytvattnet på dessa mer sydliga breddgrader innebär att vattnet inte sjunker så djupt. En tänkbar effekt av detta är ett betydligt kallare klimat i Norden, ett klimat jämförbart med Alaskas.

## Kolets kretslopp

Koncentrationen av koldioxid i atmosfären har ökat med 30 procent under 1900-talet och är en av de viktigaste växthusgaserna. En tredjedel av de årliga utsläppen från förbränningen av fossila bränslen tas upp av haven som är den största så kallade kolsänkan och därmed en viktig regulator av koldioxidhalten i atmosfären.

Wallace Broeckers kanske mest banbrytande insats är att studera kolets kretslopp i Jordsystemet. Tidigare förklarades havsvattnets sammansättning med till exempel kemiska jämviktsprocesser. Broecker införde redan för 35 år sedan istället en flödesmodell som bygger på ett samspel mellan land, atmosfär och hav. Vatten och kemiska ämnen tillförs via atmosfär och floder havens ytvatten där biologiskt material produceras, vilket sedan sjunker ned mot havsbotten. Flödet åt andra hållet sker genom blandning i havet och avdunstning till atmosfären.



Figur 2. Samspelet mellan land, atmosfär och hav är viktigt för att förstå kolets kretslopp. Två avgörande faktorer för hur mycket koldioxid haven kan lagra är hur mycket organiskt material och hur mycket kalcit (kalkspat) som "regnar" ned mot havets botten, och hur detta material bryts ner eller löses upp på olika djup.

Vad är det som gör att haven tar upp koldioxid och hur ser kretsloppet ut? Broecker använde tidigt metoder för att spåra kolet i haven, som bygger på att en del av det kol som finns i vår natur är radioaktivt, nämligen isotopen kol-14. Det har naturliga källor men har också påverkats av atombombsproven och förbränning av fossila bränslen.

Även andra ämnen som har radioaktiva isotoper, till exempel uran och bor, har Broecker använt för att mäta nuvarande och tidigare koldioxidhalt, pH-värden med mera.

Broecker har bidragit till vår förståelse av sambandet mellan atmosfärisk koldioxidhalt och havens kemi. Mängden kalcit (kalkspat; kalcium och karbonatjoner) i sedimenten på havsbotten har en stor betydelse för havens koldioxidupptag. Broecker upptäckte två avgörande faktorer för hur mycket koldioxid haven kan lagra, nämligen hur mycket organiskt material och hur mycket kalcit som ”regnar” ned mot havets botten, och hur detta material bryts ner eller löses upp på olika djup.

### **Isen och sediment som klimatarkiv**

Broeckers intresse för klimatförändringar började redan på 1960-talet. Jordens klimat-historia finns lagrad i inlandsisarna på Grönland och Antarktis och i sediment på kontinenter och havsbotten. Till exempel har luft från istiderna ”fångats” som bubblor och finns bevarad inne i isen. Forskarna kan då mäta koldioxidhalten i luftbubblorna och få en bild av hur atmosfärens sammansättning varierat under jordens historia.

När de första resultaten av koldioxidmätningarna från isen på Antarktis publicerades i början av 1980-talet visade det sig att koldioxidhalten har varierat kraftigt med istiderna. Broeckers insats har varit avgörande för att hitta en förklaring. Han band ihop kolets kretslopp i haven med förändrade mönster för havsströmmarna och kunde på så sätt skapa modeller som ligger till grund för den fortsatta forskningen på området.

Han var 20–30 år före sin tid när han föreslog att klimatförändringarna ofta har varit mycket snabba och hängt samman med förändringar av havens globala cirkulationsmönster. Ett konkret exempel är det ”bakslag” i klimatet som skedde under köldperioden Yngre Dryas som började för omkring 12 700 år sedan. Då hade den senaste istiden börja ge vika men klimatet blev plötsligt glacialt igen under 1 100 år eftersom djupvattenbildningen plötsligt kollapsade. En förklaring till det är att stora vattenmassor i Nordamerika ändrade lopp och snabbt tömdes via St. Lawrencefloden ut i Nordatlanten, och att Baltiska Issjön samtidigt dränerades ut i Nordsjön. Dessa smältvattenpulser på båda sidor om Nordatlanten sänkte tätheten hos ytvattnet som därmed hindrades från att sjunka ner och bilda djupvatten.

Forskarna anser att den drivande mekanismen bakom de många och kraftiga klimatsvängningarna under den senaste istiden är försvagningar av eller avbrott i den nordliga djupvattenbildningen, följt av plötsliga återgångar till en djupvattenbildning som liknar den i dag. Man kan tänka sig följande händelsekedja: Under varma perioder med kraftig isavsmältning och kalvning av isberg sjönk gradvis salthalten och därmed också ytvattnets täthet. Därmed minskade eller avbröts den nordliga djupvattenbildningen, vilken försköts söderut. Detta ledde till ett kallare klimat kring Nordatlanten varvid glaciärerna växte och havsisen bredde ut sig. När salthalten gradvis började öka igen på grund av den minskade avsmältningen, ökade även havsisbildningen samtidigt som avdunstningen förblev konstant. Ytvattnet var kallt och blev allt tyngre med den ökande salthalten. Det började att sjunka igen i norr och nordvästra Europa värmdes snabbt upp av vattnet från söder. Att värmen kan störa det mäktiga transportbandet av varmt havsvatten låter som en

paradox, men överfört till dagens klimatkommunikation kan en snabb, global uppvärmning med ökad nederbörd och temperatur leda till att tätheten hos Nordatlantens ytvatten sjunker. Det skulle teoretiskt sett kunna vara inledningen till ett kallare klimat på höga breddgrader.

Wallace Broecker har dessutom myntat begreppet "den bipolära gungbrädan" från senaste istiden. Detta omdiskuterade motsatsförhållande mellan de två halvkloten innebär mycket förenklat att när norra halvklotet värmdes upp av ökad tillförsel av varmt vatten från Sydatlanten kylades södra halvklotet av. Den motsatta effekten skedde när transportbandet försvagades i norr: då förblev en stor del av värmen i söder medan det var kallt i norr.

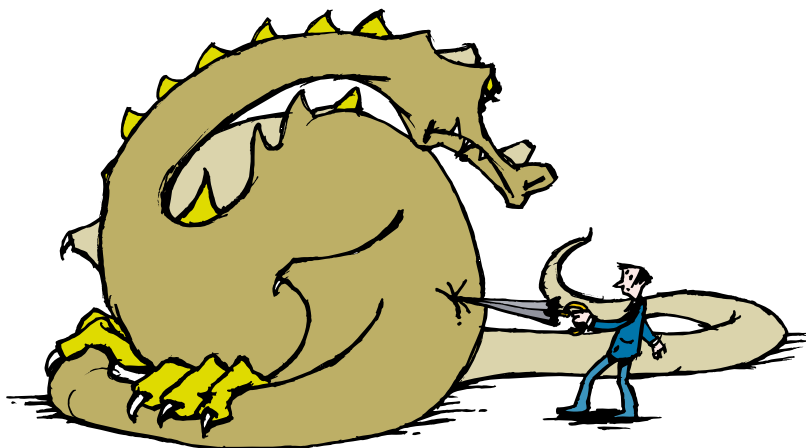
### Leder växthuseffekten till en klimätförändring?

Ytterligare en av Broeckers stora insatser är också hans folkbildande verksamhet. Han deltar aktivt i samhällsdebatten för att föra ut kunskap om det samverkande Jordsystemet till allmänhet, politiker och andra beslutsfattare. Han manar till försiktighet men bygger hela tiden sina argument på vetenskaplig grund och varnar både för att överdriva farorna och för att ta dem för lätt. Han är respekterad av alla läger och har regelbundet under många år, speciellt under Clintonadministrationen, blivit kallad till Vita Huset för hearings om klimatsituationen. Han har inte bara beskrivit problemen med vårt pågående "oplanerade experiment" utan har också betonat utmaningen – att använda vetenskapen för att hitta lösningar. De omfattar både att reducera påverkan från fossila bränslen (till exempel genom att pumpa koldioxid minst en kilometer ned i jordskorpan) och att hitta nya sätt att ta bort koldioxid från atmosfären.

Det är knappast troligt, menar Broecker, att djupvattencirkulationen i Nordatlanten skulle upphöra på grund av våra utsläpp av koldioxid, men den kan försvagas. Kunskapen om jordens tidigare klimat visar också hur snabbt det kan växla även av naturliga orsaker, men många är övertygade om att de senaste decenniernas temperaturhöjning inte är naturlig utan har orsakats av den ökande växthuseffekten bland annat från förbränning av fossila bränslen.

Mekanismerna bakom förändringarna är emellertid inte kända i detalj och det saknas fortfarande viktig kunskap. Wallace Broecker menar att den globala uppvärmningen kan få stora konsekvenser som vi inte kan överblicka i dag. Det komplexa klimatsystemet är som en sovande drake som vi inte ska reta i onödan, är

en av Broeckers liknelser. Men om draken verkligen vaknar så måste vi veta hur vi kan vagga honom till sömns igen!



Figur 3. Broecker liknar det naturliga klimatsystemet vid en drake vi inte ska reta i onödan.

## LÄNKAR OCH LÄSTIPS

### Artiklar:

Advanced information on the Crafoord Prize in Geosciences 2006

Oceans & Climate - The Ocean's Role in Climate & Climate Change, Oceanus volume 39, Number 2, 1996

Atlantic Ocean Circulation, Oceanus volume 37, Number 1, Spring 1994

### Böcker:

På svenska

Hett om kalla fakta, Vetenskapsrådets temaböcker, 2003

Jordens klimat, NFR:s årsbok 1996

På engelska

Broecker, W.S., Greenhouse puzzles. 1992a, New York: Eldigio press

Broecker, W.S. The Glacial World according to Wally. 1992, 1995 New York: Eldigio press

### Länkar:

Wallace Broecker, The Lamont-Doherty Earth Observatory (LDEO)

[http://www.ldeo.columbia.edu/vetlesen/recipients/1987/broecker\\_bio.html](http://www.ldeo.columbia.edu/vetlesen/recipients/1987/broecker_bio.html)

Ocean and Climate Change, Woods Hole Oceanographic Institution

<http://www.whoi.edu/institutes/occi/index.htm>

---

## PRISTAGAREN

### **WALLACE SMITH BROECKER**

Division of Geochemistry

Lamont-Doherty Earth Observatory

Columbia University

P O Box 1000

Palisades, NY 10964-8000

USA

Tel. 001 (845) 365-8413

fax 001 (845) 365-8169

[broecker@ldeo.columbia.edu](mailto:broecker@ldeo.columbia.edu)

<http://www.ldeo.columbia.edu/>

Född 1931 (75 år) i Chicago, amerikansk medborgare, PhD i geologi 1958 vid Columbia University. Newberry Professor of Earth and Environmental Sciences vid Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University, Palisades, NY, USA.