

Den globale opvarmning

Af Katrine Krogh Andersen, Miljøstyrelsen

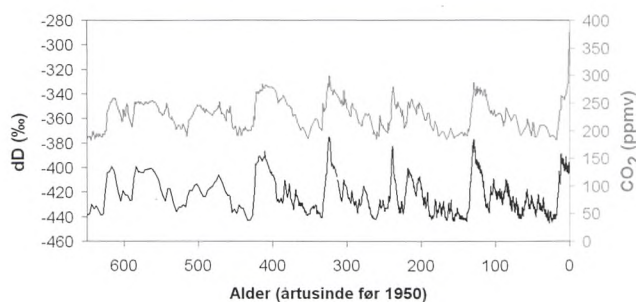
I de senere år er det blevet mere og mere tydeligt, at klimaet er under forandring. FN's klimapanel udgav i februar 2007 første del af sin Fjerde Hovedrapport om den naturvidenskabelige baggrund for de globale klimaforandringer. I denne artikel gennemgås væsentlige udsagn fra den nye rapport, og selve IPCC processen beskrives.

Indledning

De seneste år har vejrmæssigt været præget af klimatiske rekorder, ikke blot i Danmark, men i store dele af verden. År 2006 var på verdensplan det sjette varmeste år registreret siden målingerne startede i 1850, og 11 ud af de seneste 12 år er blandt de varmeste registrerede. I blandt andet Danmark og USA blev 2006 det varmeste år nogen sinde registreret, og i 2007 har store dele af alperne været uden sne indtil et godt stykke ind i januar måned. Mange steder på den nordlige halvkugle blomstrede forårsblomsterne længe før tid. Alle disse faktorer kan ses som led i den globale opvarmning, som i disse år bliver mere og mere tydelig. FN's klimapanel udsender i år sin Fjerde Hovedrapport (se boks) om den naturvidenskabelige forståelse af de globale klimaforandringer, og i den første delrapport, som blev udgivet i starten af februar blev det blandt andet slået fast, at menneskelige aktiviteter har haft en opvarmende effekt på Jordens klima siden år 1750, og at det meste af opvarmningen siden midten af det 20. århundrede med over 90 % sikkerhed er menneskeskabt.

Tidligere tiders klimaforandringer og observerede ændringer

Jordens klima har altid varieret, og i den seneste million år har det svinget mellem varmeperioder af omkring 10.000 års varighed og istider af 100.000 års varighed. Dette ses blandt andet ud fra klimakurver fra iskerneboringer i Grønland og Antarktis.

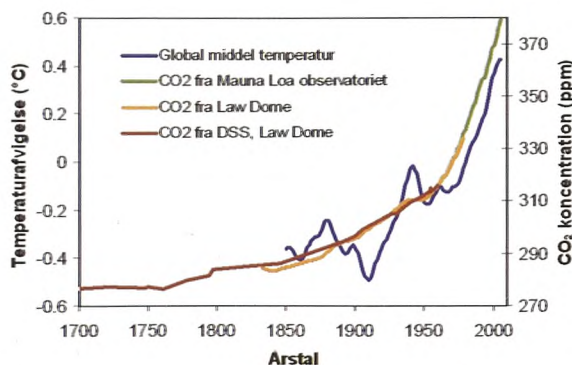


Figur 1. Klimakurver fra Antarktiske iskerneboringer. Det relative indhold af deuterium i isen, δD , hænger tæt sammen med temperaturen da sneen blev dannet. Det ses her, at koncentrationen af CO_2 i luftboblerne i isen svinger i takt med temperaturen igennem de seneste 650.000 år, og at den nuværende koncentration af CO_2 i atmosfæren ligger væsentligt over det naturlige niveau. (Data: EPICA, Vostok og Mauna Loa).

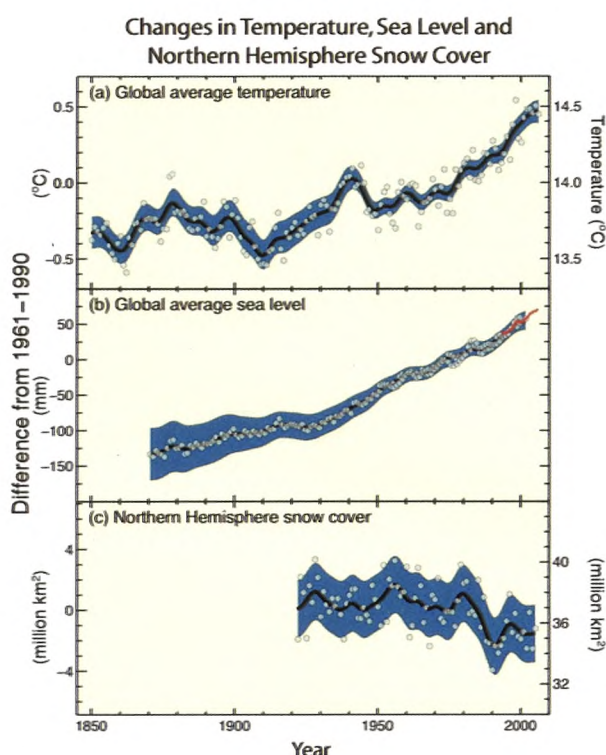
Figur 1 viser således hvordan mængden af CO_2 i atmosfæren og temperaturen har svinget stort set i takt igennem de seneste 650.000 år. Såvel metan (CH_4), som kuldioxid (CO_2) har en forholdsvis lang levetid i atmosfæren, hvilket gør, at gasserne er nogenlunde velblandede i atmosfæren og koncentrationen er derfor stort set den samme over hele kloden. For de naturlige klimasvingninger over de seneste hundredetusinder af år ligger mængden af drivhusgasser indenfor et veldefineret interval. Siden omkring år 1750, er koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren dog steget voldsomt (figur 2), hovedsageligt på grund af menneskelige aktiviteter. Stigningen i CO_2 skyldes ifølge den netop udgivne første del af IPCC's fjerde hovedrapport hovedsageligt afbrændingen af fossile brændstoffer, og ændringer i arealanvendelse, for eksempel skovhugst, hvorimod stigningen i CH_4 hovedsageligt tilskrives landbruget. CO_2 koncentrationen i atmosfæren er i dag 380 ppm, og CH_4 koncentrationen er 1774 ppb. Samlet set svarer den menneskeskabte drivhuseffekt i dag til ca. 430 ppm CO_2 ækvivalenter.

IPCC

FN's Klimapanel, IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) blev i 1988 nedsat af *World Meteorological Organisation* (WMO) og *United Nations Environment Programme* (UNEP). IPCC offentliggør i løbet af 2007 den fjerde hovedrapport (*4th Assessment Report – AR4*) om globale klimaforandringer [1]. De tidligere hovedrapporter kom i 1990, 1995 og 2001. Derudover er der udgivet forskellige sær-rapporter, f.eks. om ozonlaget, udledningsscenerier og lagring af CO_2 i undergrunden. IPCC's rolle er, at give samlede vurderinger af relevante emner i forhold til de globale klimaforandringer. Vurderingerne er baseret på offentliggjort videnskabeligt, teknisk og samfundsøkonomisk materiale, og indebærer altså ikke i sig selv ny forskning eller overvågning. Hovedrapporterne er fordelt på tre arbejdsgrupper, hvoraf den første beskæftiger sig med den (natur-)videnskabelige baggrund for de globale klimaforandringer, den anden med påvirkninger, tilpasning og sårbarhed, og den tredje med mulighederne for mod-virkning af klimaforandringer. Sammenfatningen for beslutningstagere (SPM) for den første del af den fjerde hovedrapport, fra første arbejdsgruppe, blev frigivet i februar 2007, og de to næste følger i løbet af foråret. I alt har over 800 forfattere og 450 hovedforfattere bidraget til AR4, og over 2500 eksperter har kommenteret rapporterne.



Figur 2. Den globale middeltemperatur siden år 1850 vist som afvigelsen fra gennemsnittet over 1961-90 (se også figur 3) og CO₂-koncentrationen i atmosfæren siden 1700. (CO₂ data: David Etheridge et al, CSIRO og C.D. Keeling et al, SIO; temperatur data: CRU).



Figur 3. Observerede klimaændringer siden 1850. a) Den globale middeltemperatur ved Jordens overflade baseret på instrumentelle temperaturmålinger. For perioden inden 1850 er man henviset til rekonstruktioner baseret på forskellige temperaturindikatorer, hvis man vil have et billede af den globale middeltemperatur. b) Ændring i det globale havniveau siden 1870. Den røde kurve er fra satellitmålinger, c) Snedækket på den nordlige halvkugle for marts-april. Alle værdier er angivet som afvigelser fra gennemsnittet over perioden 1961-90. (Kilde: IPCC).

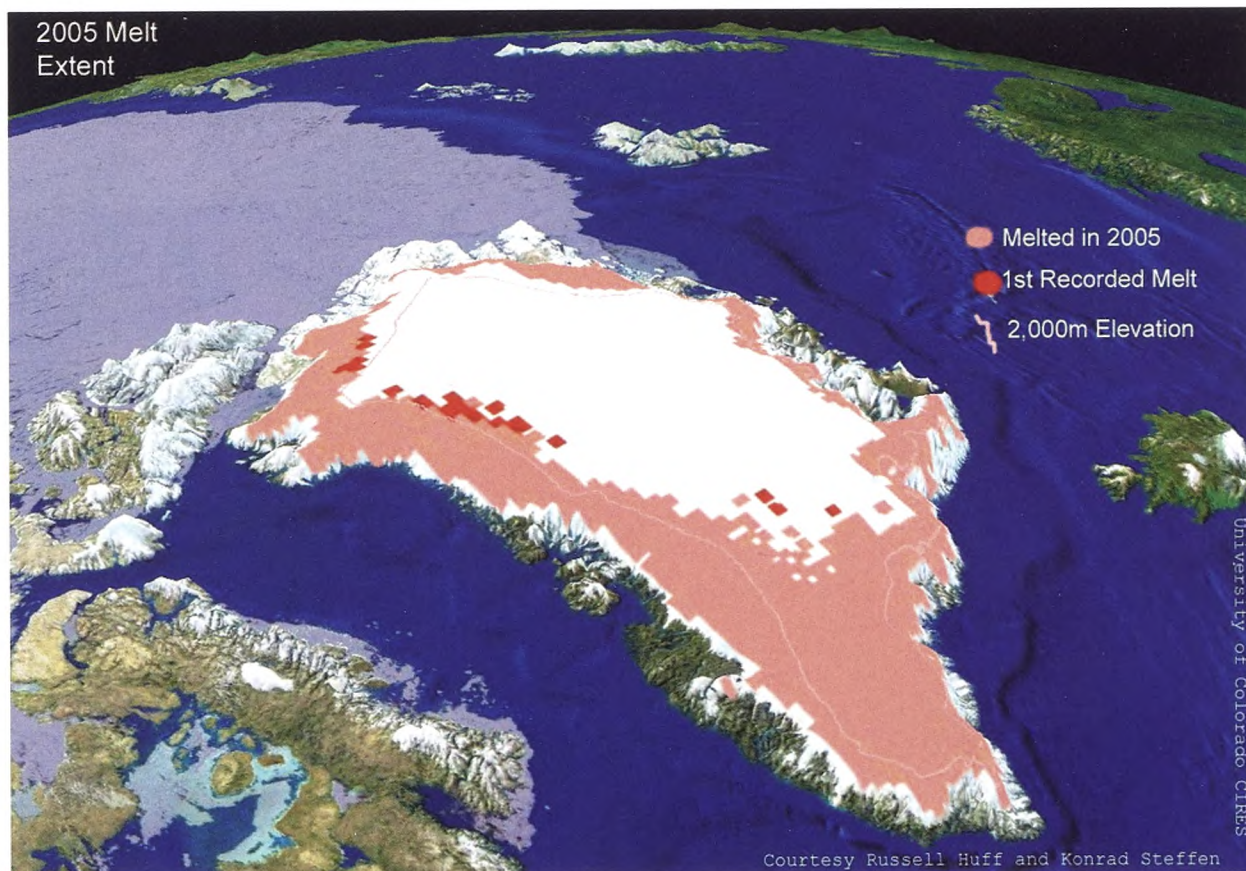
Figur 3 viser, at den globale middeltemperatur ligeledes er steget markant. I perioden 1906-2005 steg temperaturen med 0,74 °C. Den første stigning skete omkring 1910 til 1940, og den anden begyndte efter 1950. Temperaturstigningen i anden halvdel af det 20. århundrede falder sammen med den kraftigste stigning i koncentrationen af CO₂ i atmosfæren (figur 2). Det er da også hovedparten af denne del af temperaturstigningen, som i den nye rapport med 90 % sandsynlighed tilskrives

menneskelig aktivitet. Udover, at temperaturen på Jordens overflade som helhed er steget, er der markante variationer i stigningen. I det arktiske område er temperaturstigningen næsten dobbelt så stor som på kloden som helhed, og generelt er stigningen større over land end over havet. Det anslås, at havet har absorberet 80 % af den ekstra energi, som er tilført klimasystemet på grund af den ændrede strålingsbalance i atmosfæren som følge af de stigende drivhusgaskoncentrationer.

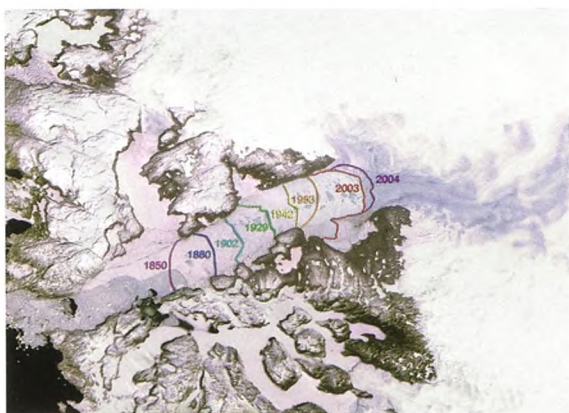
Vandstandsstigninger

Som det fremgår af figur 3b er vandstanden i verdenshavene ligeledes steget over det seneste århundrede. Stigningen var på 0,17 m i det 20. århundrede, men denne stigning er ikke foregået jævnt. Set over hele perioden 1961-2003 var stigningsraten således 1,8 mm om året, men denne rate har været væsentligt højere i det seneste årti. I perioden 1993-2003 steg vandstanden med 3,1 mm året. Omkring halvdelen af vandstandsstigningen skyldes termisk udvidelse af havvandet. Opvarmningen af havvandet siden 1961 er målt ned til en dybde på omkring 3000 m. En vigtig årsag til den hurtigere stigningsrate i det seneste årti er, at massetabet fra gletschere og iskapper har været tiltagende. Smeltningen fra gletschere og iskapper udenfor Grønland og Antarktis bidrager i dag med omkring 0,7 mm om året til vandstandsstigningen. En nylig opgørelse viste, at dette tal dækker over store forskelle. Således har det relative massetab fra gletschere i Patagonien samt Alaska og det nordvestlige USA/sydvestlige Canada været størst for den undersøgte periode (siden 1960). Kun i Europa og Andesbjergene (nord for Patagonien) har gletscherne massebalance været tæt på 0 indtil midt i 1990'erne, hvorefter den ligeledes har været negativ. I Europa dækker dette over, at gletscherne i Skandinavien generelt har modtaget mere nedbør end tidligere, og derfor samlet har haft en positiv massebalance, hvorimod gletscherne i Alperne er skrumpet kraftigt.

For iskapperne i Grønland og Antarktis har der i mange år været tvivl om fortegnet på massebalancen, men de nyeste undersøgelser viser en negativ massebalance for begge de store iskapper, selvom der er stor variabilitet fra år til år. I rapporten anslås iskapperne i Grønland og Antarktis således hver især at have bidraget med 0,21 mm om året til vandstandsstigningen for 1993-2003. I Grønland har nedbøren været tiltagende midt på iskappen, men smeltningen er øget ved randen, hvilket er illustreret på figur 4. Her vises ud fra satellitmålinger området hvor der er registreret smeltning for sommeren 2005. Afsmeltningsområdet strækker sig et godt stykke over 2000 m højde, og år 2002 og 2005 udviser da også den største afsmeltningsrate ud af de 27 år, der er undersøgt. Udover smeltning fra selve indlandsisen bidrager hurtigtflydende randgletschere til den negative massebalance. Fronten af både Helheim og Kangerdlugssuaq gletscherne har trukket sig kraftigt tilbage i de senere år (flere kilometer om året), men også her er der stor variabilitet, og tilbagerækningen ser ud til at have været mindre i år 2006, end i de foregående år.



Figur 4. Området på Grønland hvor der ud fra satellitmålinger er observeret mindst en dag med overfladesmeltning. (Kilde: Russell Huff and Konrad Steffen, CIRES).



Figur 5. Jakobshavns isbræ med markering af isfronten for diverse årstal. De forskellige farver markerer positionen af isfronten siden år 1850. (Kilde: NASA).

Fronten af Jakobshavn isbræ har ligeledes trukket sig kraftigt tilbage over de sidste mange år, hvilket er illustreret i figur 5. Tilbagetrækningen var på 8 km mellem år 2001 og 2003, og isen ved isfronten bevæger sig nu med en hastighed på op til 15 km om året, hvilket vil sige næsten 2 m i timen. Jakobshavn isbræ dræner ca. 7 % af den grønlandske indlandsis, og er den hurtigstflydende isbræ på den nordlige halvkugle.

Den arktiske havis er ligeledes aftaget over de seneste årtier (3 % pr. årti) og ifølge den nye IPCC rapport kan den forsvinde helt om sommeren omkring år 2100. Havisen bidrager dog ikke til det stigende vandspejl. På Antarktis udgøres det observerede mas-

setab hovedsageligt af hurtigtflydende randgletschere, samt formindskelse af flydende istunger.

Forudsigelser for det 21. århundrede

Forudsigelser for det fremtidige klima er i den nye IPCC rapport hovedsageligt baseret på beregninger med 14 såkaldte AOGCM (Atmosphere-Ocean General Circulation Model) klimamodeller. I disse modelkørsler forudsætter man, at de globale udledninger af drivhusgasser vil følge nogle forskellige scenarier beskrevet i en særlig IPCC rapport fra år 2000, *Special Report on Emission Scenarios* (SRES). Dette er alle realistiske scenarier for den fremtidige globale samfundsudvikling med varierende befolkningsudvikling, intensitet i anvendelsen af fossile / alternative energiformer, teknologiske fremskridt, og fokus på lokale versus globale løsninger på forskellige udfordringer. Ingen af disse scenarier tager højde for politisk indgriben i forhold til den globale opvarmning.

Uafhængigt af hvilket scenarium der anvendes viser klimamodellerne en fortsat opvarmning på 0,2 °C pr. årti over de kommende 20 år. Selv hvis koncentrationen af drivhusgasser og aerosoler i atmosfæren var blevet stabiliseret på niveauet fra år 2000 måtte man forvente en fortsat opvarmning på 0,1 °C pr. årti på grund af forsinkelser og tilbagekoblinger i klimasystemet. Den totale opvarmning over det 21. århundrede (2090-2099 i forhold til perioden 1980-1999) beregnes til at ligge mellem 1,1 °C og 6,4 °C, og hvis man kun ser på

de mest sandsynlige udfald for hvert scenarium ligger intervallet på 1,8-4,0 °C. Dette spænd dækker dog igen over en stor spredning. Således varmes landoverfladen markant kraftigere end havoverfladen, og i Arktis ligger forudsigelserne på 2-8 °C. Nordatlanten sydøst for Grønland og det Sydlige Ocean omkring Antarktis opvarmes mindre end de omkringliggende områder på grund af nedsynkningen af havvand i forbindelse med dybvandsdannelsen. Selvom dybvandsdannelsen i Atlanterhavet med over 90 % sandsynlighed forventes at aftage over det 21. århundrede (en reduktion på op til 25 %) er en brat overgang til et andet regime, i stil med hvad der skete under sidste istid, meget usandsynligt. Forståelsen af kulstofkredsløbet i klimasystemet er blevet væsentligt forbedret i løbet af de senere år, og de nye beregninger viser, at en øget mængde af CO₂ i atmosfæren, og den medfølgende opvarmning fører til, at der optages mindre kulstof i havene og biosfæren. Kulstofkredsløbet er således en positiv tilbagekobling i klimasystemet, og for nogle af scenarierne indebærer tilbagekoblingen en ekstra opvarmning på over én grad celsius.

Globalt set forventes vandstanden fortsat at stige i det indeværende århundrede. Modellerne forudsiger en stigning på 0,18-0,59 m for 2090-2099 i forhold til 1980-1999. Forudsigelsen for vandstandsstigningen tager dog ikke højde for massetab fra Grønlands og Antarktis' iskapper, da disse indtil videre ikke simuleres tilfredsstillende i klimamodellerne. Derudover er de dynamiske processer i de hurtigtflydende randgletschere ikke forstået tilstrækkeligt godt til, at de kan indgå i beregningerne. Dette betyder også, at klimamodellerne ikke reproducerer den øgede vandstandsstigning i det seneste årti i forhold til tidligere tider. Hvis man tager højde for disse processer ved at ekstrapolere den øgede stigning i forhold til de forventede temperaturstigninger anslås det i rapporten, at forudsigelserne for vandstandsstigningen skal øges med 0,1-0,2 m. Sammenligninger med tidligere tiders vandstandsstigninger kan dog føre til væsentligt højere vurderinger af kommende ændringer. For eksempel var temperaturen over Grønland under den forrige varmeperiode Eem for 120.000 år siden omkring 5 °C højere end i dag, og samtidig var vandstanden 4-6 m højere. En sådan stigning kan dog kun forventes, hvis den højere temperatur består henover årtusinder.

IPCC i det politiske system

IPCC-rapporterne er vurderinger af publiceret videnskabelig litteratur, og præsenterer dermed ikke i sig selv ny forskning eller nye data. Den nye rapport om den naturvidenskabelige basis for klimaforandringerne er skarpere i mange af udmeldingerne, end de tidligere rapporter har været, hvilket både skyldes flere og bedre data og flere og mere avancerede klimamodeller. Konklusionerne rykker dog ikke væsentligt på tidligere konklusioner, hvilket er et tegn på, at de beskrevne processer er forholdsvis velforståede.

Når den nye IPCC-rapport har fået stor bevågenhed, så er det dels fordi den giver samlet overblik over

forståelsen af og status for de igangværende klimaforandringer. Dette overblik er skabt ved en omfattende international proces med deltagelse af over tusind forskere (se boksen på første side). Derudover er IPCC rapporterne vigtige dokumenter i den politiske proces for at håndtere klimaforandringerne. Således blev FN's rammekonvention om klimaforandringer [2] vedtaget i 1992 to år efter udgivelsen af den første IPCC hovedrapport, og Kyoto Protokollen blev vedtaget i år 1997 to år efter udgivelsen af den anden hovedrapport. På nuværende tidspunkt er der i det politiske system fokus på de kommende forhandlinger om en ny global klimaafnæftale, som gerne skulle træde i kraft efter Kyoto Protokollen udløber i år 2012. Selvom det kan virke underligt ud fra et videnskabeligt synspunkt er det derfor en væsentlig pointe, at sammenfatningen for beslutningstagere for IPCC rapporterne godkendes af repræsentanter fra de lande, som indgår i WMO og UNEP. Disse repræsentanter er generelt velkvalificerede eksperter, for eksempel fra de meteorologiske institutioner, og deres godkendelse sikrer, at det endelige dokument er et fælles regeringsgodkendt dokument, som kan bruges som grundlag for kommende forhandlinger.

Litteratur

- [1] www.ipcc.ch
- [2] www.unfccc.com
- [3] KVANT har tidligere udgivet to særnumre om klima: KVANT nr. 3-4 (2001).



Katrine Krogh Andersen er klimaekspert i Miljøstyrelsen og tidligere forskningslektor i Is og Klima gruppen på Niels Bohr Institutet.

KVANT-priser

Abonnement kan enten ske via én af udgiverforeningerne eller ved at tegne direkte abonnement (160 kr.) via hjemmesiden, www.kvant.dk.

Løssalg: Prisen på et nummer af KVANT (fra årgang 2007) er 45 kr. plus forsendelse. Bestilling sker ved henvendelse til Lene Körner (koerner@mat.ku.dk).

Større partier: Ved køb af større partier (mindst 30 stk.), er prisen 35 kr. pr. blad plus forsendelse.

Ældre numre: Blade der er på lager af årgang 1990-2005 sælges for 15 kr. pr. stk. plus forsendelse. Årgang 2006 koster 40 kr. pr. blad.

Udsolgte numre: Årg. 1997: nr. 4; 1998: nr. 3,4; 1999: nr. 4; 2000: nr. 1,2; 2003: nr. 1; 2005: nr. 1,3.

Næsten komplette sæt: Et mindre antal 'næsten komplette' sæt sælges for 750 kr. pr. sæt inklusiv forsendelse. Sættet indeholder KVANT, årgang 1990-2005, bortset fra 10-15 udsolgte numre.

Betaling: Sker ved girokort, som vedlægges bladene.