

IPCCs SRES udslipsscenarioer og de nye RCP scenarioer

Mennesker påvirker opvarmningen af atmosfæren og havene, ændringer i det globale vandkredsløb, reduktionerne af sne og is, stigningen i det globale gennemsnitlige havniveau og ændringer i nogle klimaekstremer, som fx tørke og voldsomme regnvejr. Disse vidnesbyrd om menneskets påvirkning er øget siden IPCC's 4. hovedrapport (AR4) /1/. IPCC vurderer i sin seneste 5. hovedrapport (AR5) /2/ at det er ekstremt sandsynligt, at menneskelig påvirkning har været den dominerende årsag til den observerede opvarmning siden midten af det 20. århundrede. Klimaændringer indebærer en risiko for menneskelige og naturlige systemer. Forudsigelser af klimaforandringer kræver oplysninger om fremtidige udledninger eller koncentrationer af drivhusgasser, aerosoler og andre faktorer, der påvirker klimaet. Disse oplysninger udtrykkes ofte i form af scenarioer af menneskelige aktiviteter og deres konsekvenser.

JENS HESSELBJERG CHRISTENSEN

Indledning

Forudsigelser af klimaforandringer kræver oplysninger om fremtidige udledninger eller koncentrationer af drivhusgasser, aerosoler og andre faktorer, der påvirker klimaet. Disse oplysninger udtrykkes ofte som scenarioer af menneskelige aktiviteter og deres konsekvenser. IPCC scenarioer har fokuseret på menneskeskabte udledninger og omfatter ikke ændringer i naturlige påvirkningsfaktorer såsom påvirkning fra solen eller vulkaner eller naturlige udledninger af fx metan (CH₄) og lattergas (N₂O).

Graden af menneskeskabt global opvarmning på længere sigt afgøres primært af de samlede udledninger over tid. De er derfor afhængige af både, hvornår udledningerne toppe, på hvilket niveau de toppe, og hvor hurtigt de derefter aftager. Forud for arbejdet med IPCC's 5. hovedrapport er defineret en række repræsentative scenarioer for den fremtidige klimapåvirkning, RCP-scenarijerne (Representative Concentration Pathways /3/), som er-

statter de hidtidige SRES standardscenarioer (Special Report on Emissions Scenarios /4/).

Hvad er SRES?

SRES scenarijerne, som stammer fra 2001, er baseret på fremtidsvisioner for de menneskelige aktiviteter og samfund, som generelt er mere velstående end i dag. Scenarijerne omfatter en lang række fremtidige niveauer for økonomisk aktivitet med det samlede globale bruttonationalprodukt stigende til 10 gange de nuværende værdier i år 2100 i det laveste og til 26 gange i de højeste scenarioer. Mange af SRES-scenarijerne forudsætter en indsnævring i indkomstforskelle blandt de globale regioner.

Teknologi er mindst lige så vigtig en drivkraft som demografisk forandring og økonomisk udvikling, og SRES-scenarijerne omfatter et større antal forskellige energistrukturer. Dette forhold afspejler usikkerheder om fremtidige fossile ressourcer og teknologisk forandring. Scenarijerne omfatter stort set alle de mulige ændringer, fra lav til høj økonomisk vækst, og fra høje andele af fossile brændstoffer, olie og gas eller kul, til høje andele af ikke-fossile brændstoffer.

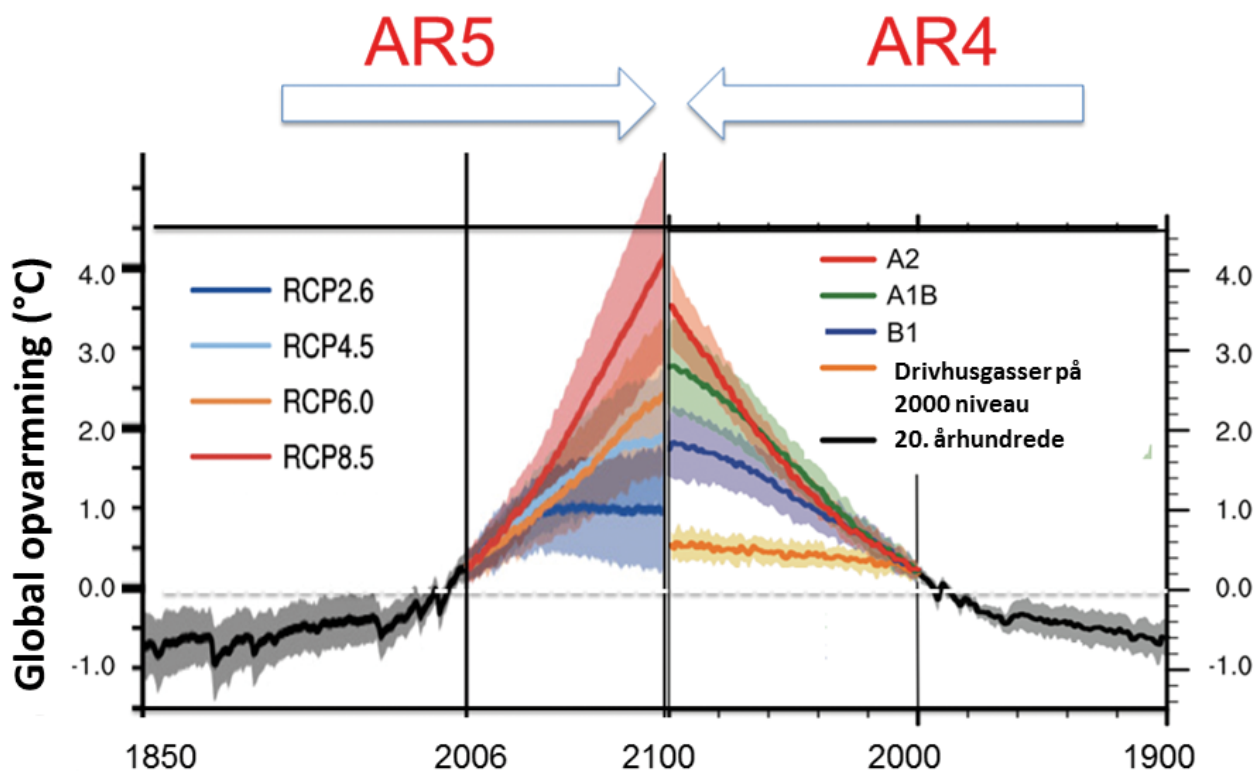
I de fleste scenarioer fortsætter reduktionen

af det globale skovområde i nogle årtier, hovedsageligt på grund af øget befolkning og indkomsttilvækst, men i de fleste scenarioer vendes denne tendens, så vi ender med en stigning i skovareal i år 2100 sammenlignet med 1990. Ændringer i forbindelse med udnyttelse af landbrugsjord sker hovedsageligt ved ændringer i fødevareefterspørgsel forårsaget af demografiske skift og kostændringer koblet til velstandsudviklingen.

Hvad er RCP?

Ingen af SRES scenarijerne er formulerede så de tager hensyn til eventuelle globale klimapolitiske beslutninger, som sigter på at afbøde klimaforandringerne. Her adskiller RCP scenarijerne sig væsentligt, idet flere af de nye scenarioer specifikt er formulerede som stabiliserings-scenarioer.

Formålet med de nye scenarioer er at give beslutningstagerne bedre muligheder for at kunne vurdere konsekvenserne af de forventede klimaændringer under forskellige niveauer af global opvarmning. Dermed kan beslutningstagerne bedre vurdere passende tiltag for klimatilpasning og reduktion af drivhusgasudledningen. En lang række sammenlignende modelstudier - Coupled Model Inter-



Figur 1. Sammenligning mellem IPCCs vurderinger af den fremtidige globale temperaturudvikling fra de anvendte scenarier i den 4. (AR4; højre) og 5. hovedrapport (AR5; venstre). Det fremgår at AR5 opererer med fire scenarier, mens AR4 kun anvender 3. Sidstnævnte har resulteret i den fejlagtige opfattelse at der er tale om et scenarie, som er mere sandsynligt end andre (det midterste – A1B). Med fire scenarier i AR5, er det gjort mere tydeligt, at ingen af scenarierne kan anses for mere sandsynlige end andre.

comparison Project Phase 5 (CMIP5) - baseret på de nye scenarier med de mest opdaterede klimamodeller danner baggrund for vurderingerne om fremtidens klima i store dele af IPCC's 5. hovedrapport.

Tabel 1 viser 4 RCP-scenarier og hvordan de udvikler sig. Scenarierne er navngivet efter den beregnede netto strålingspåvirkning ved tropopausen (toppen af vejrsystemerne i 8-12 kms højde), som mængden af drivhusgasser giver anledning til. Denne påvirkning er den egentlige drivhuseffekt og udtrykkes i W/m^2 . Strålingspåvirkningen er defineret som ændringen i den nedadrettede strålingsfluks ved tropopausen, som skyldes ændringer i atmosfærens indhold af drivhusgasser og aerosoler.

Ændringer ses i forhold til en atmosfære, hvor mængden af drivhusgasser holdes uforandret, men tager hensyn til at den øvre atmosfære (stratosfæren) er i såkaldt strålingsbalance. For at gøre sammenligninger mellem scenarier så enkle som muligt vælger man ofte at udtrykke alle drivhusgasser og aerosoler ved hjælp af begrebet ækvivalent CO_2 . Det skal forstås sådan, at den samlede strålingspåvirkning kunne udtrykkes udelukkende ved at atmosfæren havde ændret på CO_2 indholdet, mens de øvrige drivhusgasser og aerosoler var holdt konstant. Scenarierne er her globale scenarier, men der kan formuleres en række socio-

økonomiske regionale scenarier, som vil være konsistent med disse overordnede scenarier. Temperaturudviklingen fra CMIP5 modelkørslerne i slutningen af det 21. århundrede giver som anvist på figur 1 en vis spredning over den mulige fremtidige globale temperaturudvikling for hvert scenarie. Det centrale estimat for den globale opvarmning i 2100 angives her som en slags bedste bud for det pågældende scenarie.

Fremtidens klima under SRES og RCP scenarier

RCP'erne er kendetegnede ved deres anslåede samlede strålingspåvirkning i år 2100 i forhold

Tabel 1. Oversigt over fire RCP-scenarier, og hvordan de udvikler sig fra i dag frem til 2100.

Betegnelse	Strålingsforcing	Drivhusgaskoncentration	Temperaturstigning i 2100 (centrale estimat) ift. 1980 - 1999	Udvikling i drivhusgasudslip
RCP8.5	Over $8,5 W/m^2$ i 2100	Over 1370 ppm CO_2 -ækvivalent i 2100	Ca. $4,5 ^\circ C$	Stigende
RCP6.0	Ca. $6 W/m^2$ ved stabilisering efter 2100	Ca. 850 ppm CO_2 -ækvivalent ved stabilisering efter 2100	Ca. $2,6 ^\circ C$	Stabilisering
RCP4.5	Ca. $4,5 W/m^2$ ved stabilisering efter 2100	Ca. 650 ppm CO_2 -ækvivalent ved stabilisering efter 2100	Ca. $1,7 ^\circ C$	Stabilisering
RCP2.6 / RCP3-PD	Topper ved ca. $3 W/m^2$ før 2100 og aftager derefter	Topper ved ca. 490 ppm CO_2 -ækvivalent før 2100 og aftager derefter	Ca. $0,8 ^\circ C$	Topper og aftager derefter

til år 1750: 2,6 W/m² for RCP2.6, 4,5 W/m² for RCP4.5, 6,0 W/m² for RCP6.0 og 8,5 W/m² for RCP8.5. Hvad resultaterne fra CMIP5 angår, skal disse værdier kun opfattes som vejledende, eftersom klimapåvirkningen som følge af alle påvirkningsfaktorer varierer modellerne imellem på grund af specifikke modelkarakteristika og behandlingen af kortlivede klimakomponenter, som eksempelvis aerosoler. Disse fire RCP'er omfatter et modvirkningsscenario, der leder til et meget lavt påvirkningsniveau (RCP2.6), to stabiliseringsscenarier (RCP4.5 og RCP6.0) og et scenario med meget store drivhusgasudledninger (RCP8.5). Dermed kan RCP'erne repræsentere en række klimapolitikker i det 21. århundrede. I RCP6.0 og RCP8.5 topper strålingspåvirkningen ikke i år 2100; i RCP2.6 topper den og bliver mindre og i RCP4.5 stabiliseres den i 2100. Alle RCP'er giver geografisk opløste datasæt vedrørende ændring i arealudnyttelsen og sektorbaserede udledninger af luftforurenende stoffer, og de specificerer årlige koncentrationer af drivhusgasser og menneskeskabte udledninger frem til år 2100. Selvom RCP'erne spænder over et bredt interval af totale påvirkningsværdier, dækker de ikke det fulde spektrum af udledninger i litteraturen, især ikke for aerosolers

vedkommende.

De fleste CMIP5-simuleringerne er foretaget med fastsatte udviklinger af CO₂-koncentrationer frem mod værdier i år 2100 på hhv. 421 ppm (RCP2.6), 538 ppm (RCP4.5), 670 ppm (RCP6.0) og 936 ppm (RCP 8.5). I alle RCP'er er der foretaget yderligere beregninger med opdaterede data og modeller for atmosfærisk kemi (herunder CMIP5-komponenten atmosfærisk kemi og klima) under anvendelse af de RCP-fastsatte udledninger af de kemisk reaktive gasser (CH₄, N₂O, HFC'er, NO_x, CO, NMVOC). Disse simuleringer muliggør undersøgelser af usikkerheder i forbindelse med tilbagekoblinger i kulstofkredsløbet og atmosfærisk kemi.

Figur 1 sammenligner udviklingen i global middeltemperatur for SRES og RCP scenarierne og viser, at de i 2100 har omtrent samme variation i den mulige globale temperaturstigning.

Referencer

/1/ IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press,

Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

/2/ IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

/3/ van VuurenDP, J Edmonds, M Kainuma, K Riahi, A Thomson, K Hibbard, GC Hurtt, T Kram, V Krey, J-F Lamarque, T Masui, M Meinshausen, N Nakicenovic, SJ Smith, and SK Rose, 2011: The representative concentration pathways: an overview, *Clim. Dyn.*, 31, DOI 10.1007/s10584-011-0148-z

/4/ Nakicenovic, N., J. Alcamo, G. Davis, H.J.M. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grubler, T.Y. Jung, T. Kram, E.L. La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Papper, H. Pitcher, L. Price, K. Riahi, A. Roehrl, H-H. Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, R. Swart, S. van Rooijen, N. Victor, and Z. Dadi. 2000: IPCC special report on emissions scenarios, 570 pp., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2000.

JENS HESSELBERG CHRISTENSEN (jhc@dmi.dk) er centerleder for CPRES, adjungeret professor ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet og forskningsleder ved Danmarks Meteorologiske Institut (DMI)

