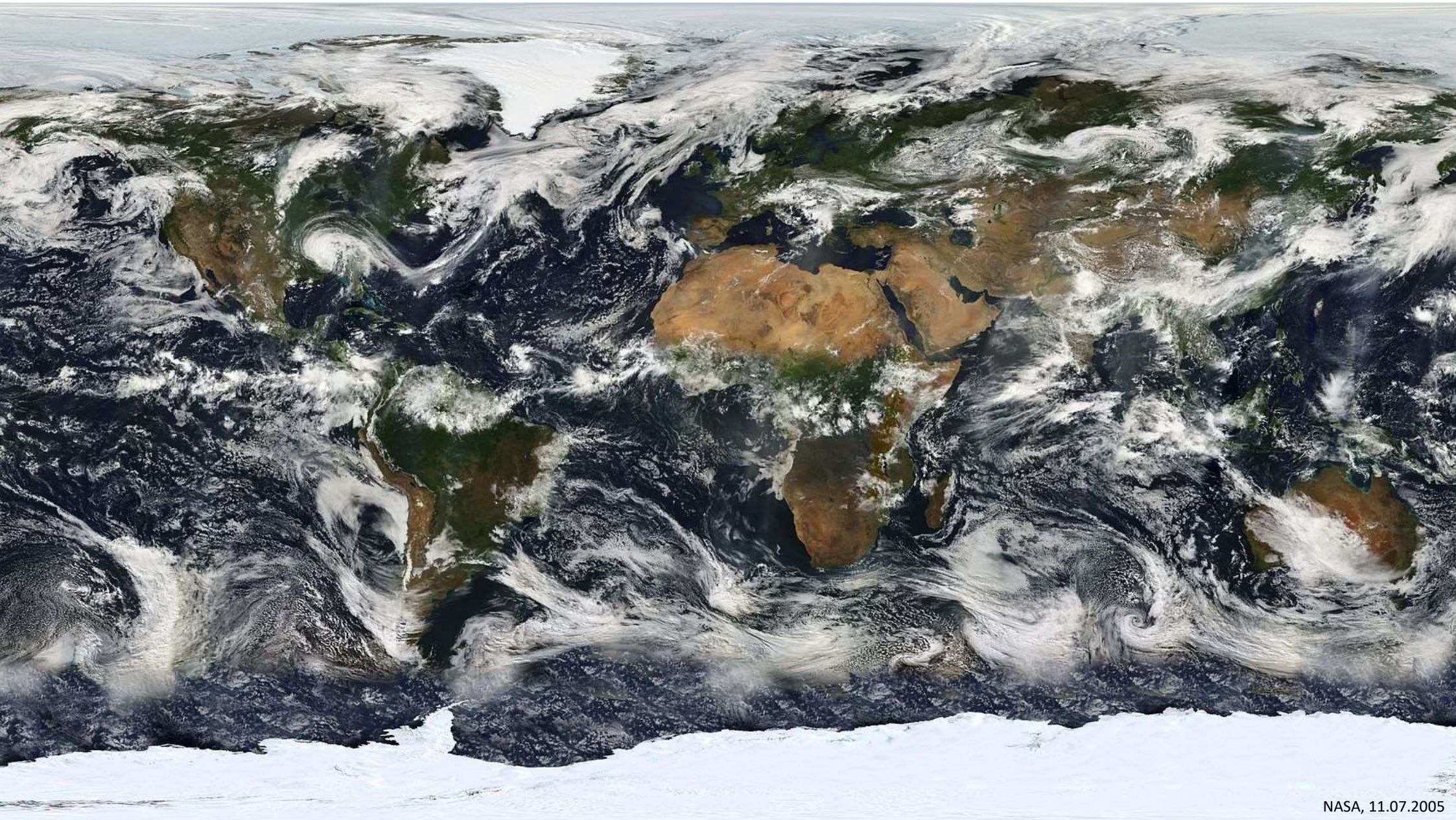


A dramatic sky with a large, dark, horizontal cloud formation and sunbeams. The sky is a deep blue, and the clouds are white and grey, with some darker, more ominous-looking clouds in the center. Sunbeams are visible in the upper left corner, creating a sense of light breaking through the clouds.

Betydningen av skyer på jorda og hvordan vi mennesker endrer dem

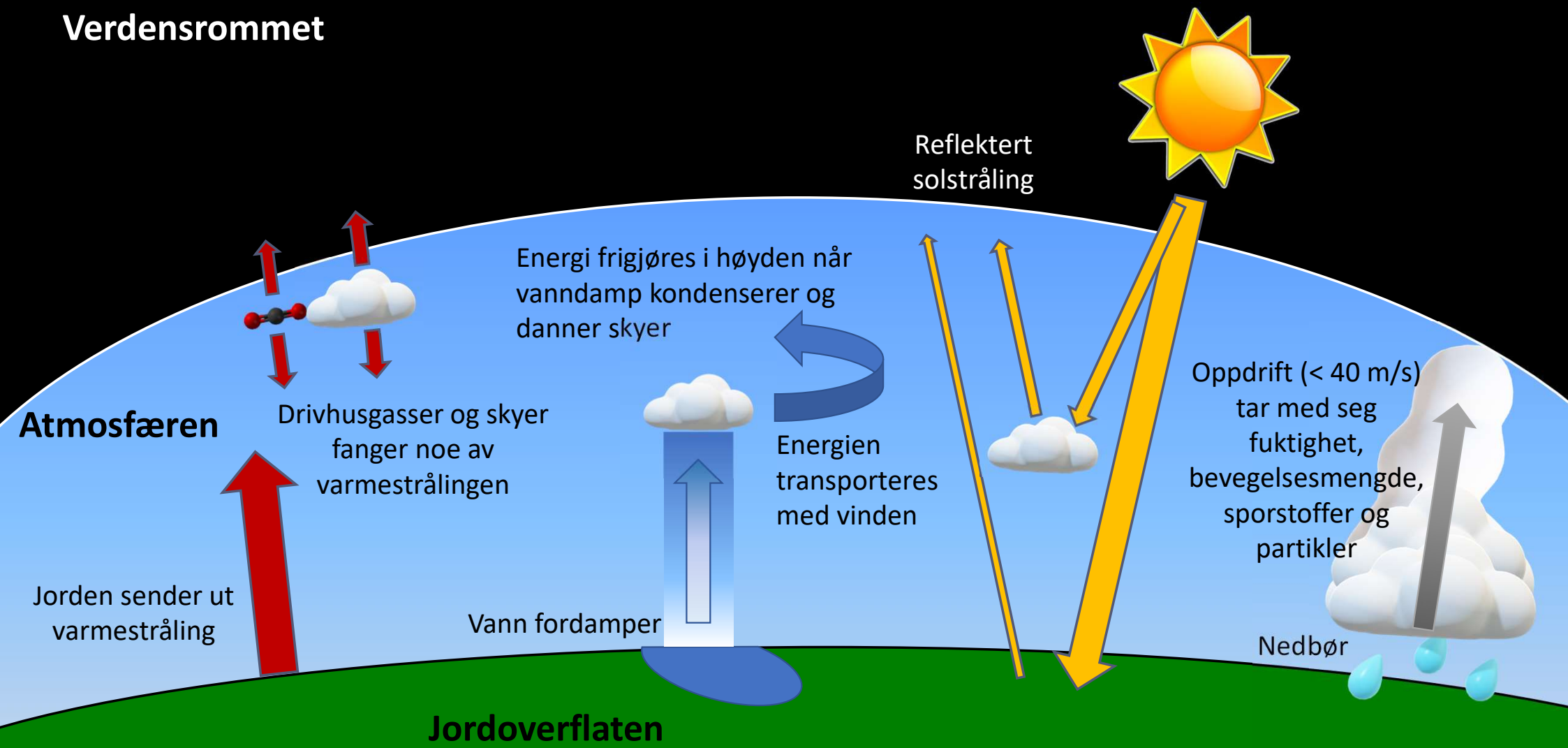
Kari Alterskjær, CICERO – Senter for klimaforskning

Realfagkonferansen 2021



Skyenes innvirkning på klimasystemet

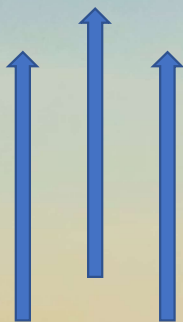
Verdensrommet



- Atmosfæren inneholder ca. 12 900 km³ vann.
- 1000 meter høyt fjell av vann over deler av Trøndelag.
- Om alt vannet falt ned samtidig, ville det dekket jorda med 2.5 cm vann.
- Det utgjør 0.001 % av alt vannet på jorda og 0.04 % av ferskvannet.



Vår kilde til ferskvann



Årlig faller det gjennomsnittlig 71.5 cm vann over jordas landområder.

I Bergen er samme estimat 251 cm

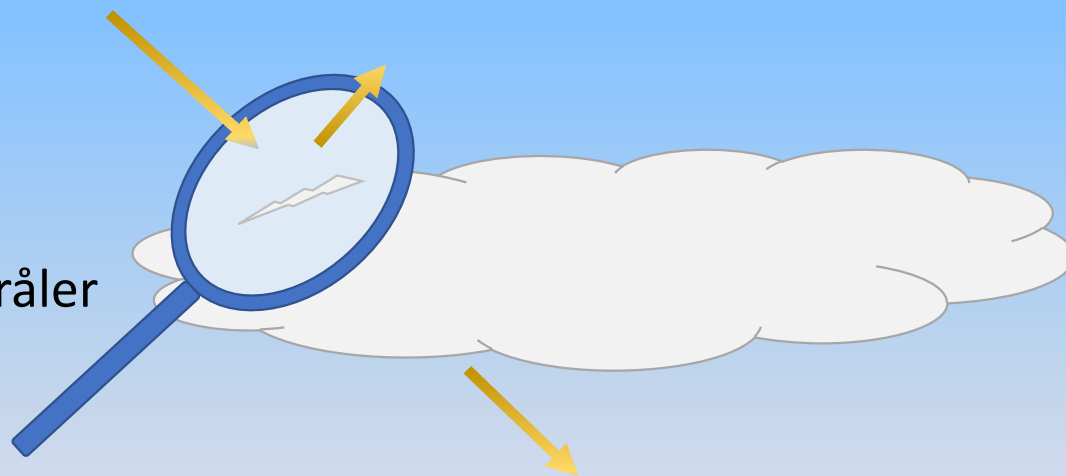


Skyenes innvirkning på energibalansen



I snitt returneres ca 15 % av energien fra sola tilbake til verdensrommet

Refleksjon av kortbølget stråling/solstråler





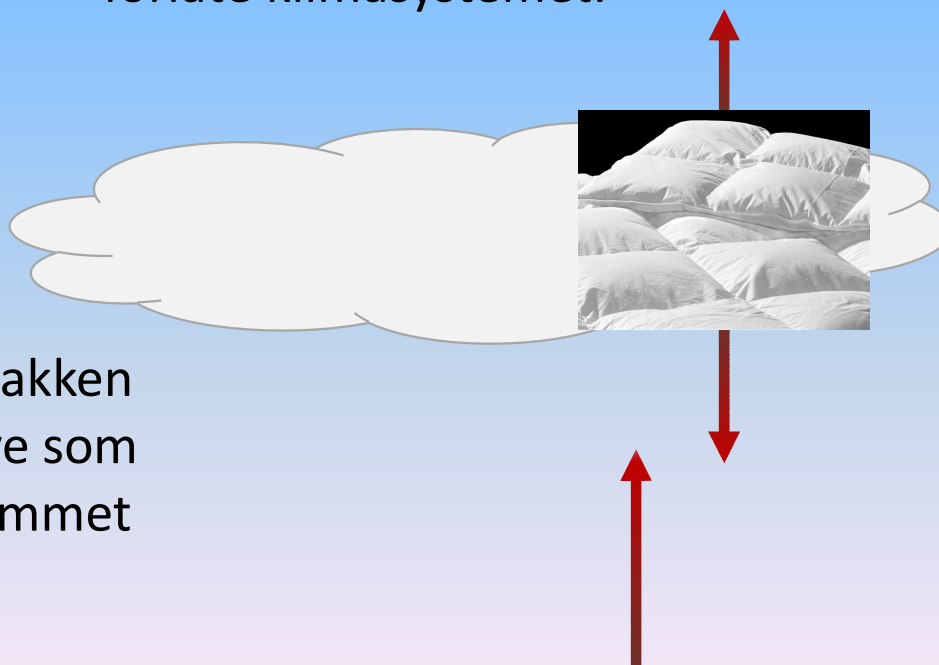
Skyenes innvirkning på energibalansen



I snitt hindrer skyene omkring 7.5 % av varmestralingen fra bakken i å forlate klimasystemet.

Drivhuseffekt:

Tar opp langbølget «varmestraling» fra bakken og reduserer hvor mye som slipper ut i verdensrommet



Stor effekt om

- toppen av skyen er mye kaldere enn bakkens overflate

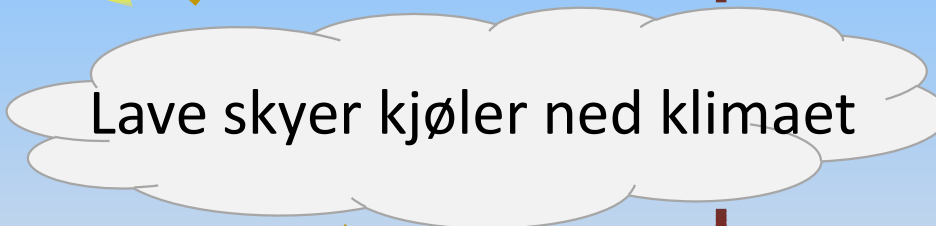
Skyenes innvirkning på energibalansen



Høye tynne skyer varmer opp klimaet

Stor effekt om

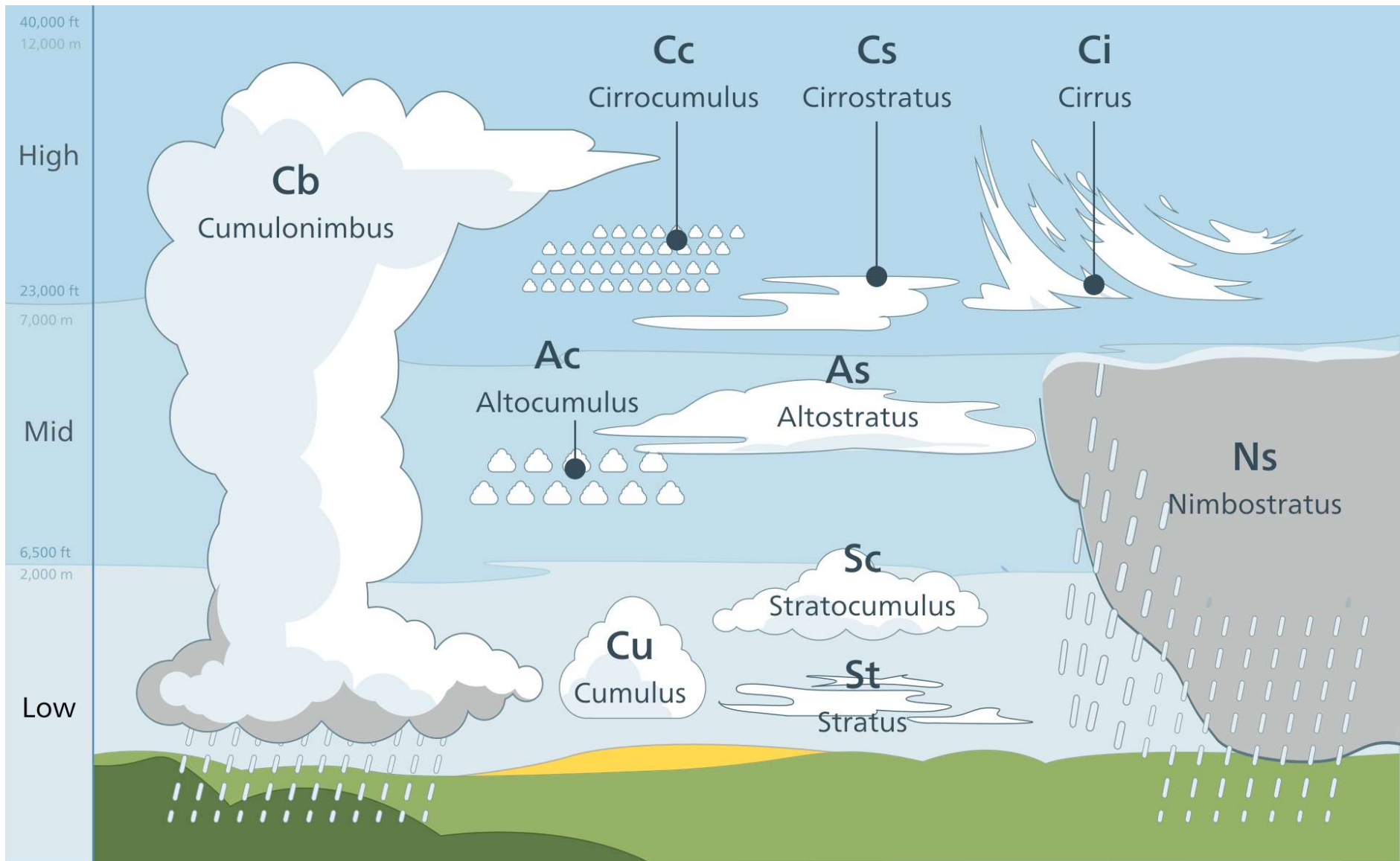
- skyen er tykk
- bakken under skyen er mørk
- mye solenergi tilgjengelig



Lave skyer kjøler ned klimaet

Stor effekt om

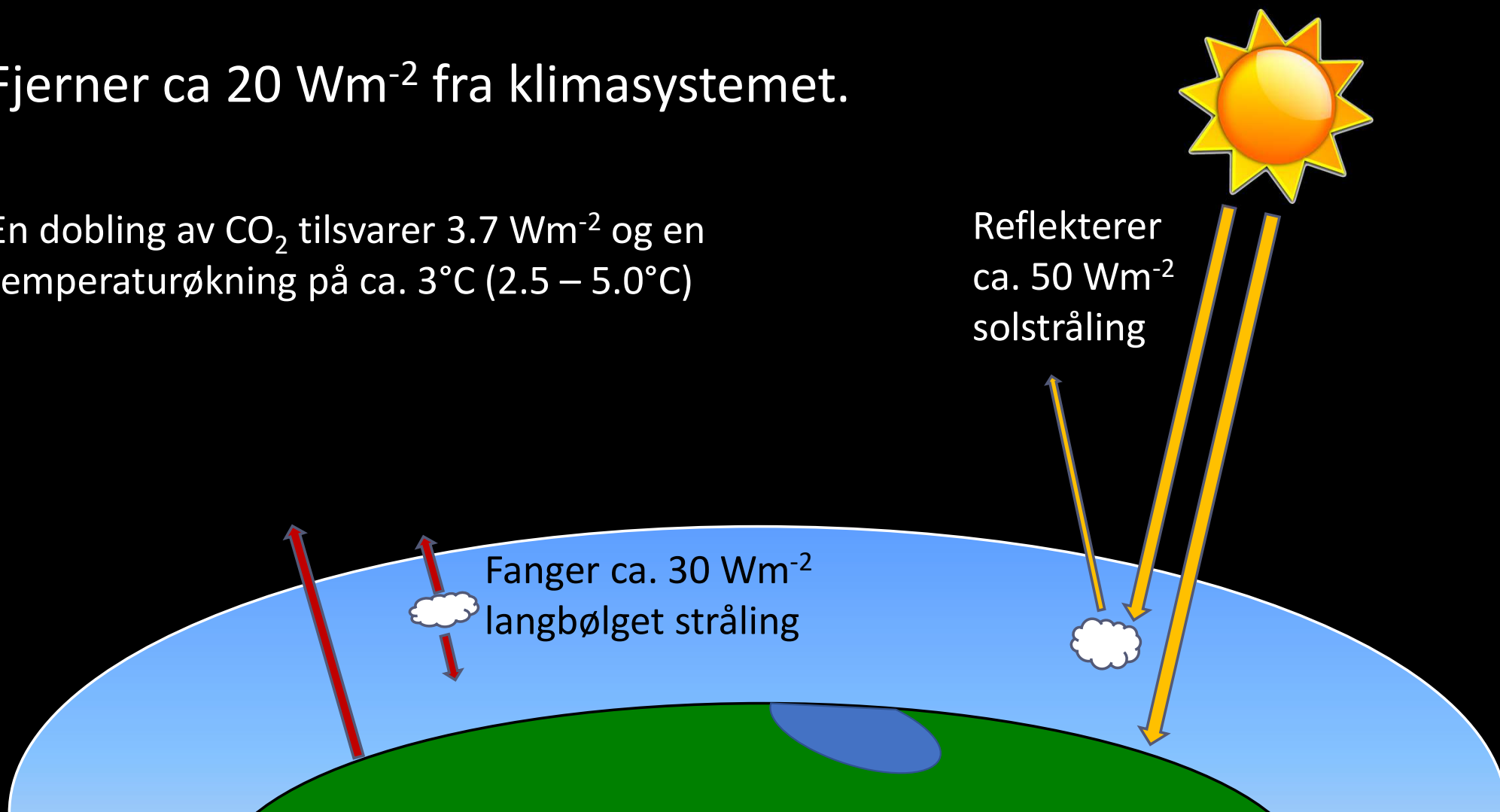
- toppen av skyen er mye kaldere enn bakkens overflate



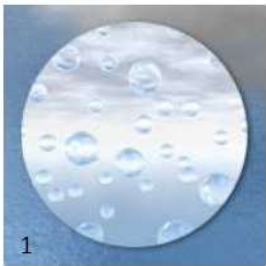
Skyenes innvirkning på energibalansen

Fjerner ca 20 Wm^{-2} fra klimasystemet.

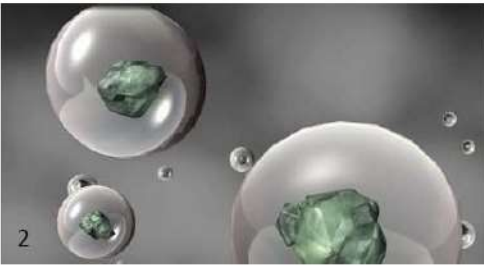
En dobling av CO_2 tilsvarer 3.7 Wm^{-2} og en temperaturøkning på ca. 3°C ($2.5 - 5.0^\circ\text{C}$)



Hva er en sky?



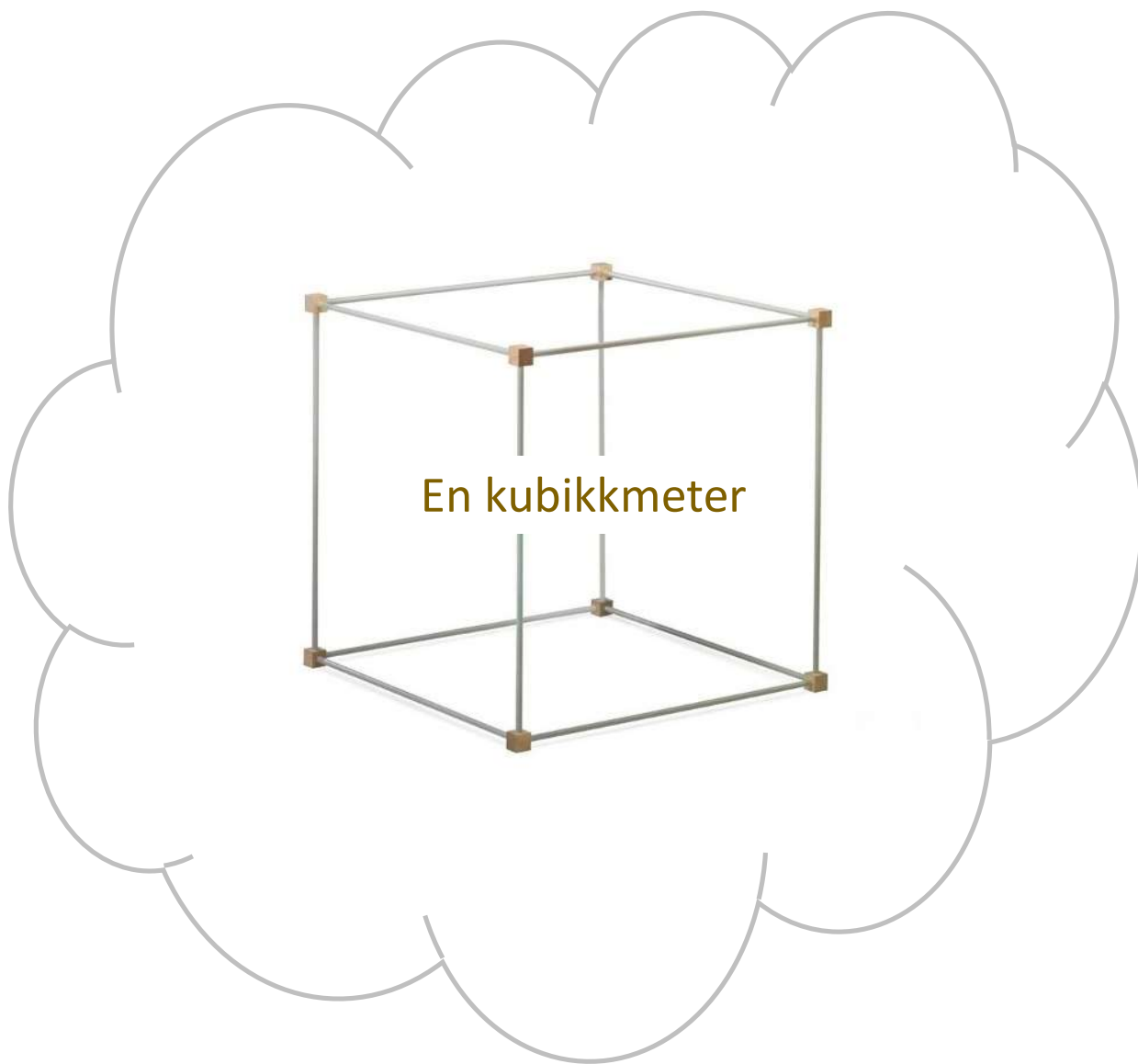
Dråper eller iskrystaller som svever i luft som har blitt avkjølt enten ved å stige eller ved å stråle ut varme.



Dråper dannes når vanndamp kondenserer på partikler som svever i lufta (aerosoler).



Iskrystaller dannes enten ved hjelp av en iskjerne som svever i lufta eller ved spontan frysing om det er kaldt nok (< ca. -40°C).



Hvor mye vann er det i skyene?

En gjennomsnittlig sky har bare 0.5 gram vann per kubikkmeter

Dette tilsvarer vekten av ca 137 sesamfrø, en halv gelébønne eller en tredjedels binders.



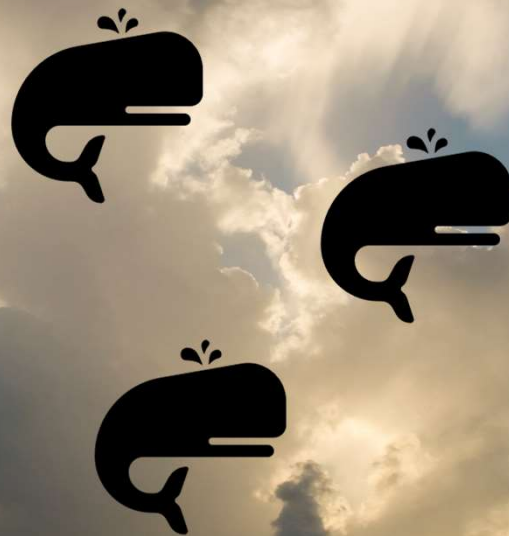
Hvor mye vann er det i en bygesky på en varm sommerdag?

500 tonn vann
(1 km³ sky)

~ 3 blåhvaler

~ 800 norsk rødt fe

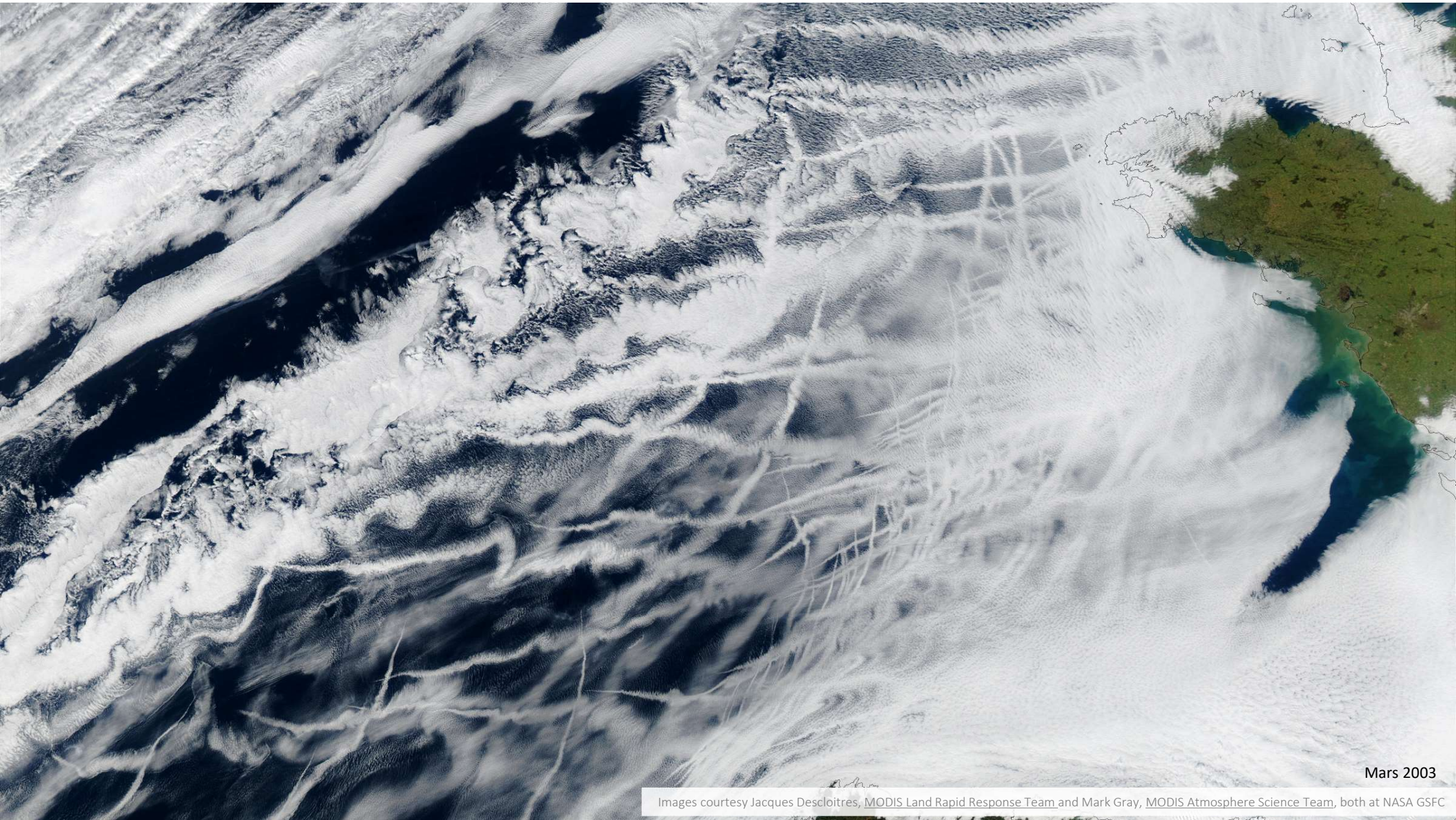
~ 3.5 frihetsgudinner



A satellite image of Earth showing the ice sheets of Antarctica and Greenland, surrounded by swirling white clouds. The image is taken from a high angle, showing the vast expanse of the ice and the intricate patterns of the atmosphere.

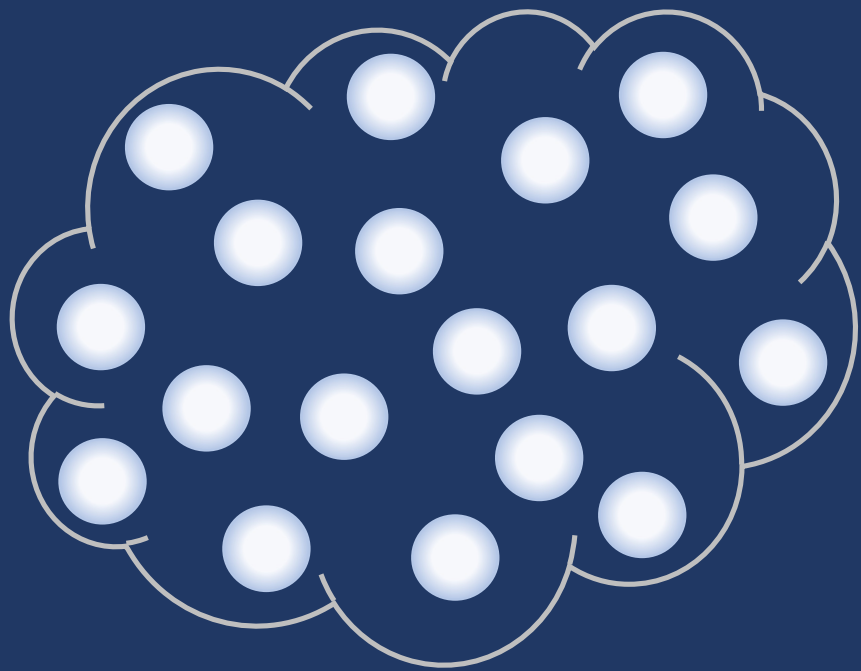
Spørsmål?

Hvordan endrer vi skyene?

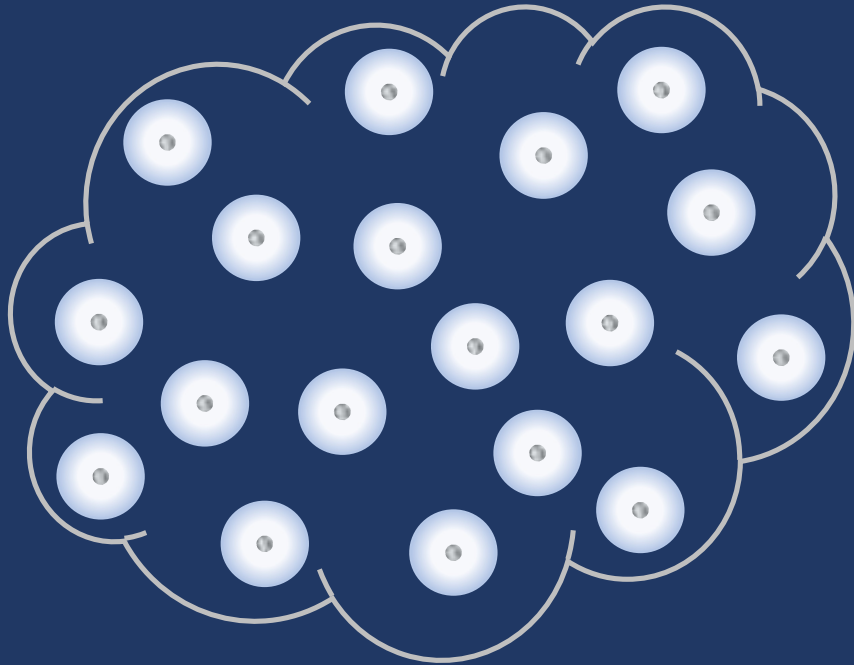


Mars 2003

Images courtesy Jacques Desloîtres, MODIS Land Rapid Response Team and Mark Gray, MODIS Atmosphere Science Team, both at NASA GSFC



Partikler



Sot



Sulfat

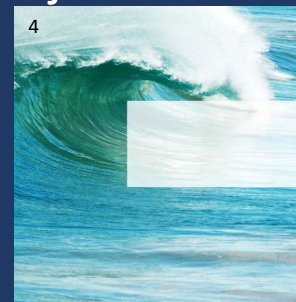


Støv fra landbruk



Menneskeskapte

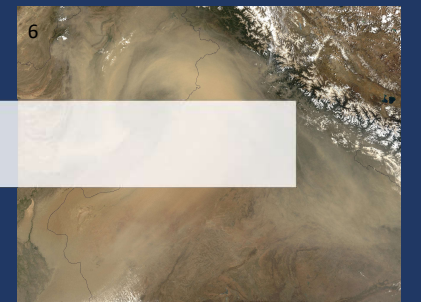
Sjøsalt



Aske

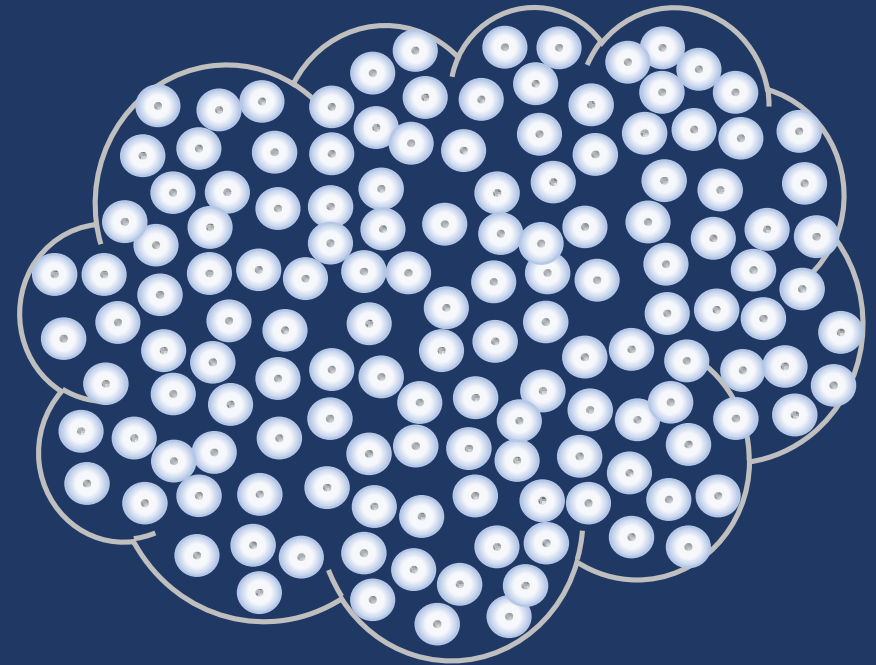
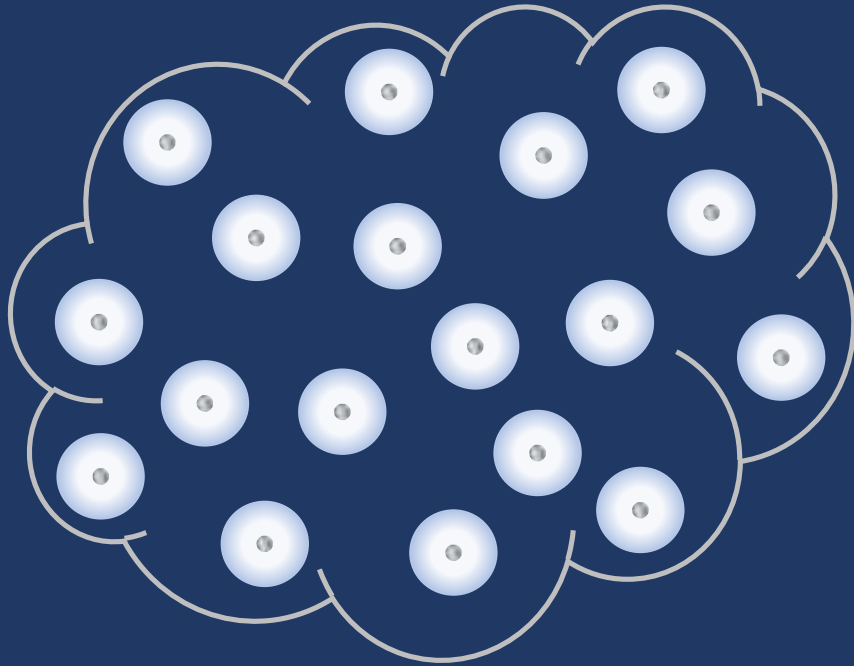


Støv



Naturlige

1: [The paper factory](#) | [The paper factory in Piteå, Sweden.](#) | [Michael Caven](#) | Flickr licensed under CC BY
2: [MIT Study: Vehicle Emissions Cause 58,000 Premature Deaths Yearly in U.S.](#) – [Streetsblog USA](#) licensed under CC BY-NC-ND
3: Copyright [roger geach](#), Licenced under CC-BY-SA-2.0
4: [Catching the waves: it's time for Australia to embrace ocean renewable energy](#) ([theconversation.com](#)) licences under CC BY-ND
5: [GeoNet: About Ngauruhoe](#) licenced under CC BY
6: [Climate change could be intensifying dust storms in India, experts say](#) | [South Africa Today](#) licenced under CC BY-ND



Radius



r



R

Illustrativt tilfelle: $R = 2r$

For samme volum vil antallet små dråper være åtte ganger så høyt som antallet store dråper.

Aerosolers effekt på skyer

Påvirker mikrofysikken til skyene og deres evne til å reflektere solstråling

Når dråpene er mindre i størrelse, kan det bli vanskeligere å danne nedbør

- Mer vann i skyene gjør dem tykkere
- Skyene lever lenger

Aerosoler i lufta tar opp solenergi og varmer opp lufta som skyene dannes i

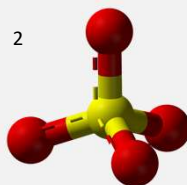
- Effekten avhenger av hvor dette skjer i forhold til hvor skyene er

Hva bestemmer aerosolenes innvirkning?

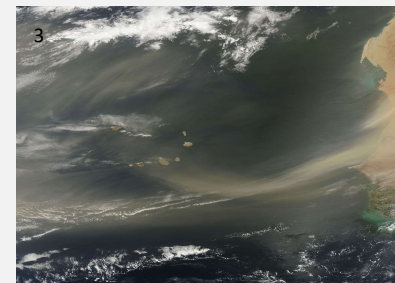
Mengde



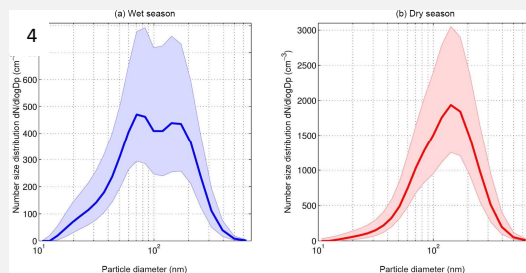
Sammensetning



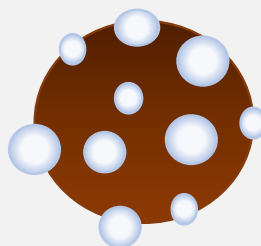
Plassering



Partikkelstørrelse



Hygroskopisitet



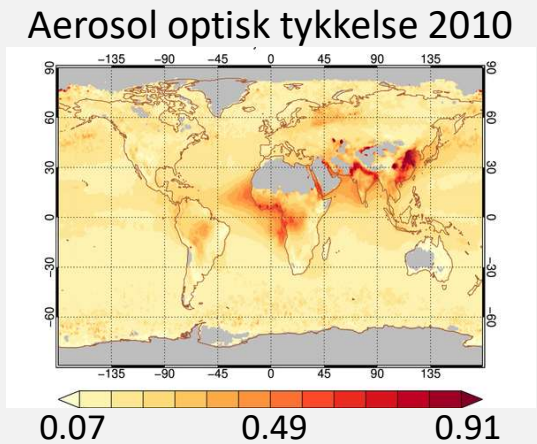
1: Air pollution in Hong Kong – Wikipedia licensed under [CC BY-SA](#)
2: File:Sulfate-3D-balls.png - Wikimedia Commons licensed under [CC BY-SA](#)
3: Saharan Air Layer – Wikipedia licensed under [CC BY-SA](#)
4: ACP - Multi-year statistical and modeling analysis of submicrometer aerosol number size distributions at a rain forest site in Amazonia ([copernicus.org](#)) licensed under [CC BY](#)

Klimaeffekt via menneskeskapte aerosolers innvirkning på skyer

Aerosol optisk tykkelse (AOD) er et mål på hvor mye solenergi er forhindret fra å nå bakken pga. aerosolene.

0.01 – veldig ren luft, 0.4 – veldig forurenset luft. Andøya målestasjon har et årsgjennomsnitt på 0.1.

Menneskelig aktivitet har økt AOD med 15 til 30 % fra 1850 til 2005-2015.



Klimaeffekt via menneskeskapte aerosolers innvirkning på skyer

Aerosol optisk tykkelse (AOD) er et mål på hvor mye solenergi er forhindret fra å nå bakken pga. aerosolene.

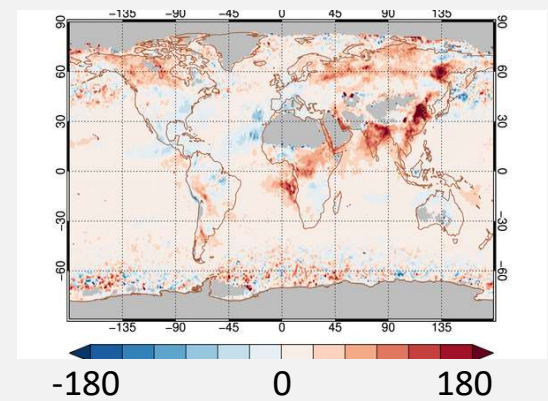
0.01 – veldig ren luft, 0.4 – veldig forurenset luft. Andøya målestasjon har et årsgjennomsnitt på 0.1.

Menneskelig aktivitet har økt AOD med 15 til 30 % fra 1850 til 2005-2015.

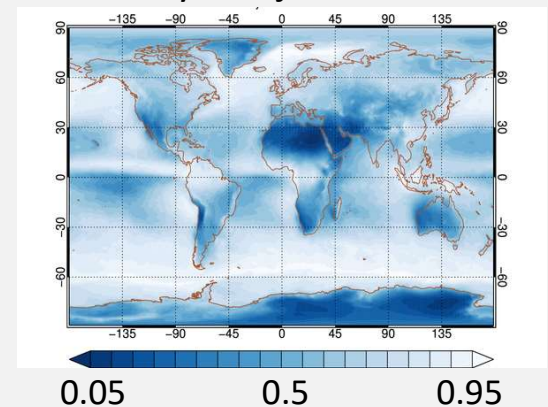
Påvirkningen disse aerosolene har hatt på skyene har endret strålingen med ca. -1.10 til -0.33 Wm^{-2} .

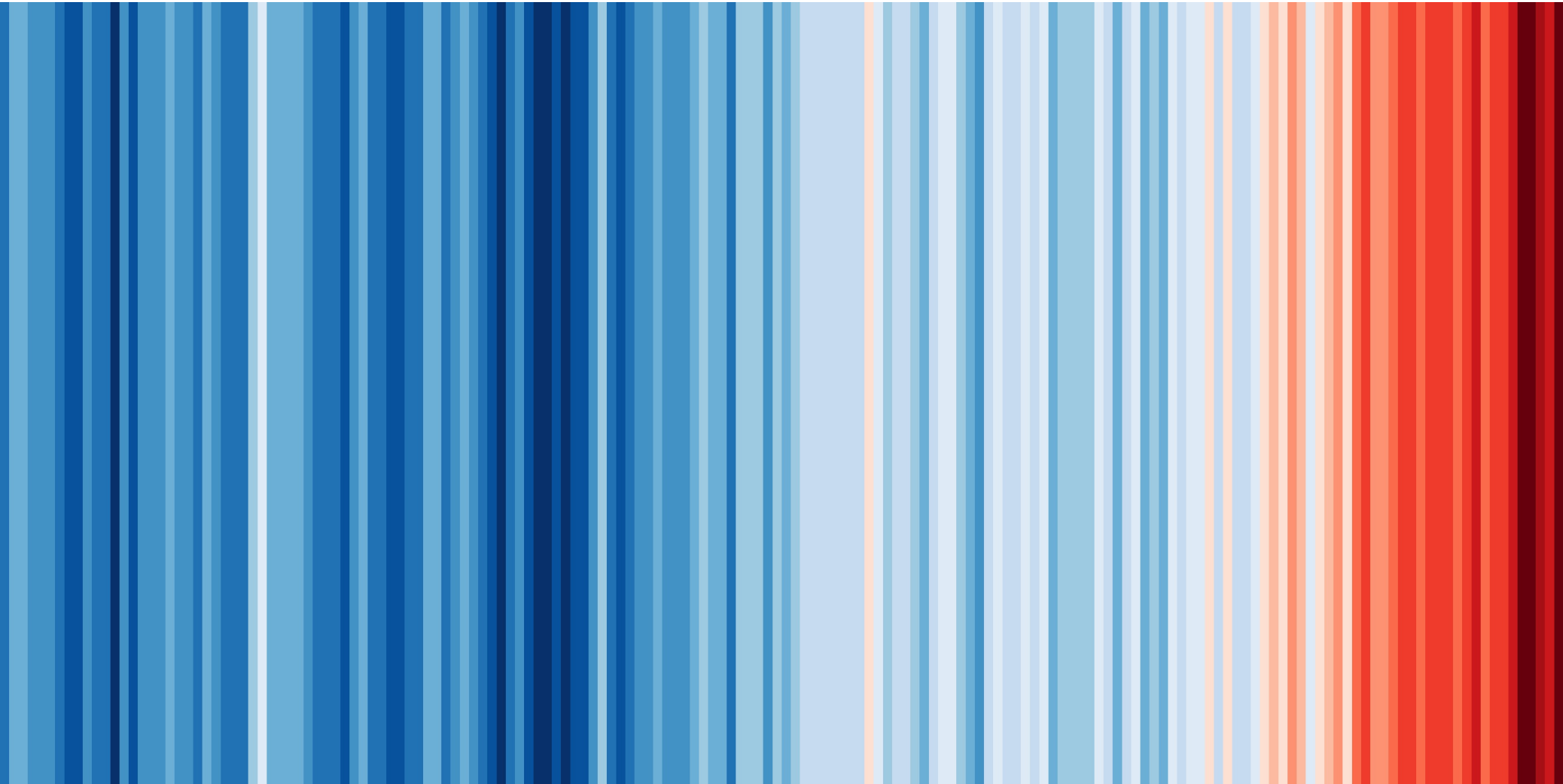
Våre utslipp av drivhusgasser har ført til ca. $+3.84 \text{ Wm}^{-2}$.

Endring i AOD 2000-2011



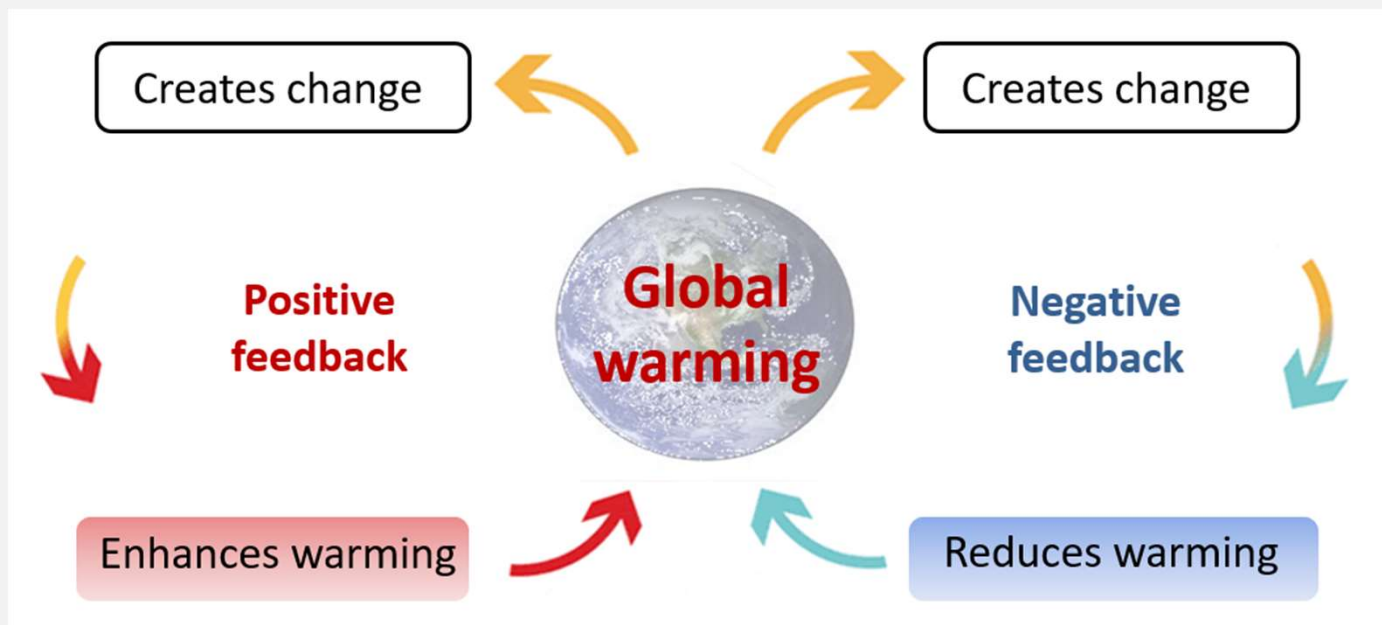
Skyfraksjon 2010





Skyendringer som følge av klimaendringer

Global temperaturendring påvirker skyenes egenskaper. Dette påvirker strålings-budsjettet på jorda, som igjen virker tilbake på temperaturen på jorda. Dette er en loop kjent som **tilbakekoblinger** eller **feedback**.



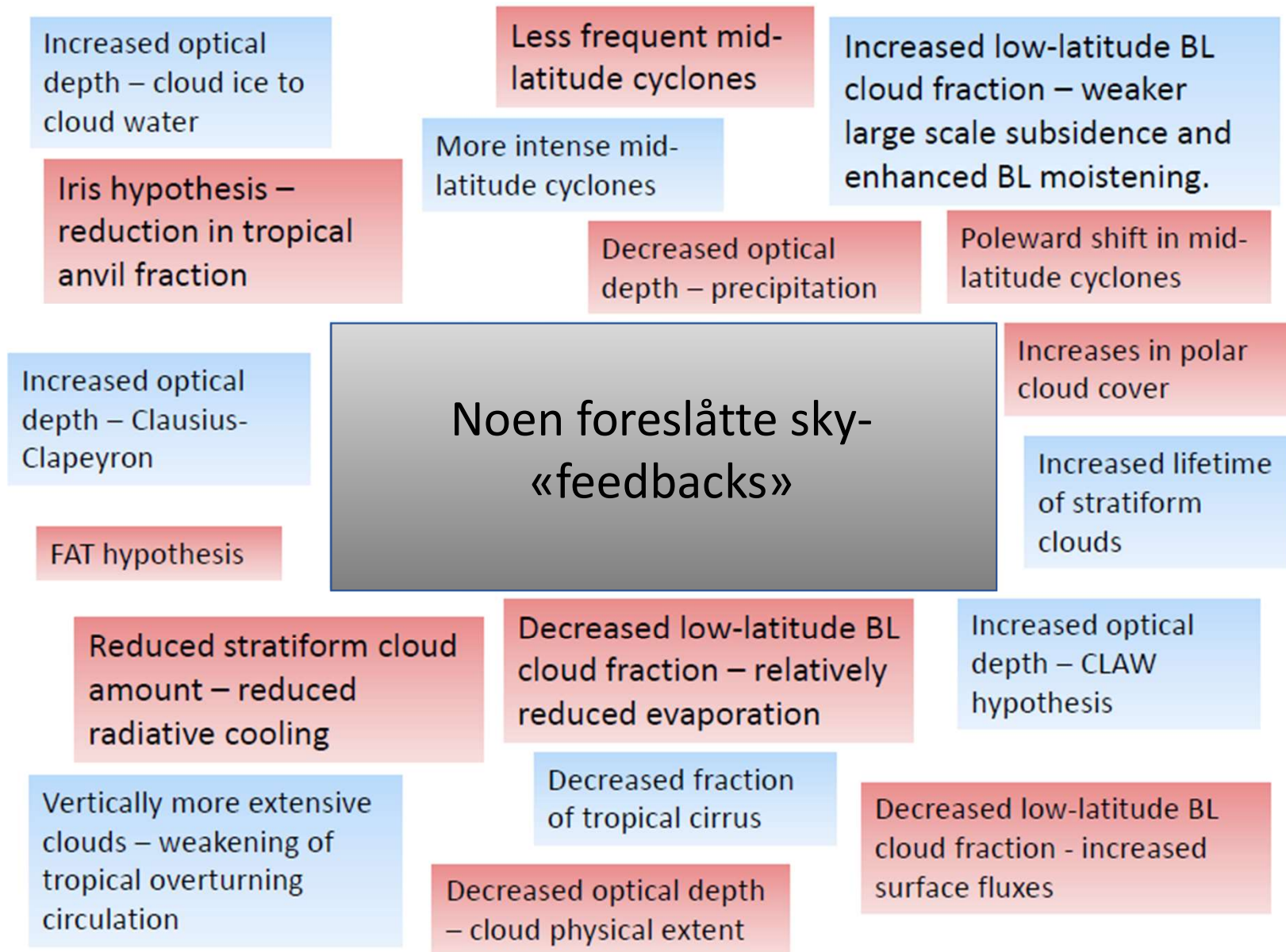
Skytilbakekoblinger / sky-feedbacks

Skytilbakekoblinger kan enten forsterke eller minke global oppvarming. Dette er en av de **største usikkerhetsmomentene** i fremtidige klimaprognoiser.

Det er **utfordrende å beregne** fordi skyene kan endres av mange forhold, og at skyprosessene skjer på mye mindre skala enn oppløsningen i de globale klimamodellene.

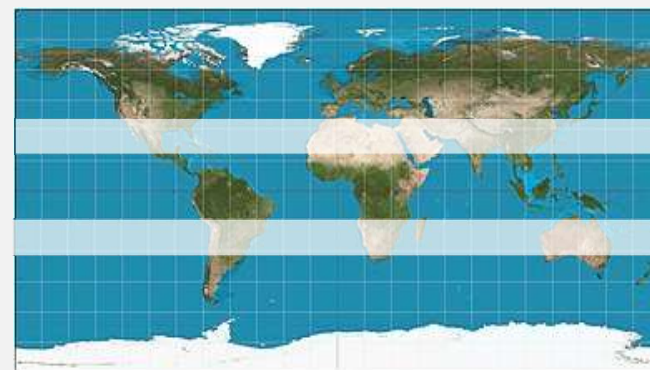
Bedre forståelse nå enn tidligere – bedre observasjoner, nye analysemetoder og modellberegninger med svært høy oppløsning.

Globale klimamodeller gjør også generelt en bedre jobb med å gjenskape skyene enn de har gjort tidligere både pga. økt regnekraft og økt forståelse av skyprosessene.

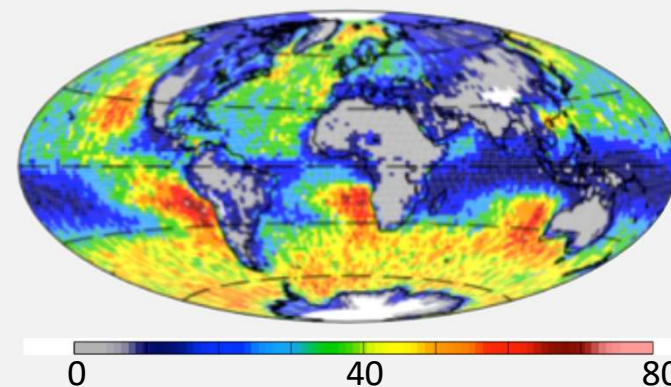


Lave skyer over hav i subtropene vil reduseres – positiv tilbakekobling

- Lave skyer dekker enorme havområder i subtropene.
 - Stor effekt på solstråling pga. stort areal, mørkt underliggende hav og mye solenergi tilgjengelig for refleksjon nært ekvator.
 - Liten effekt på varmestråling fordi skytoppene har ca. samme temperatur som havoverflaten.
- Skyene virker i dag svært avkjølende.



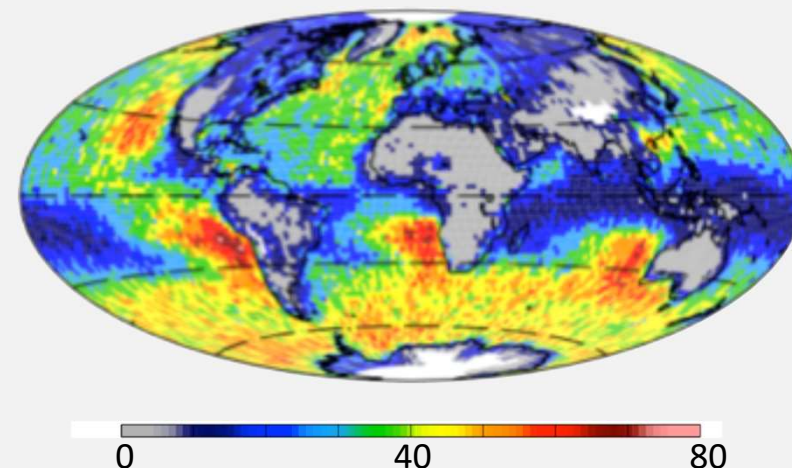
Fraksjon lave skyer, satellitt (CALIPSO-GOCCP)



Lave skyer over hav i subtropene vil reduseres – positiv tilbakekobling

- Svært mange ulike prosesser påvirker disse skyene og hvordan de endres av klimaendringer.
- Uttørring av skyene dominerer - mer tørr luft trenger inn i skytoppene når bakketemperaturen øker.
- Skydekket reduseres når temperaturen øker – mer solenergi absorberes av havet og temperaturen øker ytterligere.
- Positiv tilbakekobling som forsterker global oppvarming.

Fraksjon lave skyer, satellitt (CALIPSO-GOCCP)



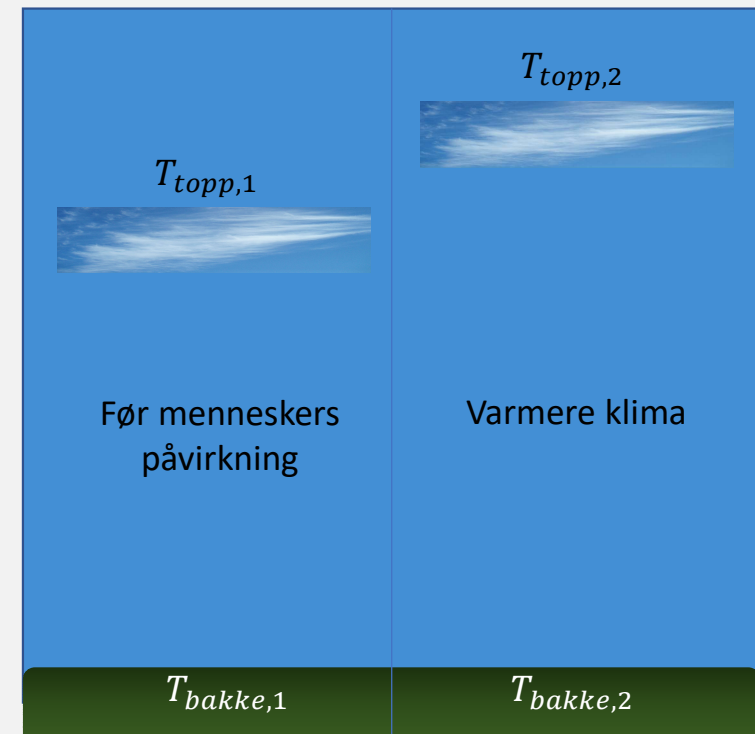
Skytilbakekoblinger / sky-feedbacks – Høye tynne isskyer

Høye skyer flytter seg oppover i atmosfæren etter som den varmes opp og temperaturen i skytoppene forblir uendret.

Når bakketemperaturen øker, øker temperaturforskjellen mellom skytoppen og bakken – mer energi hindres fra å forlate klimasystemet.

Positiv tilbakekobling og forsterket oppvarming.

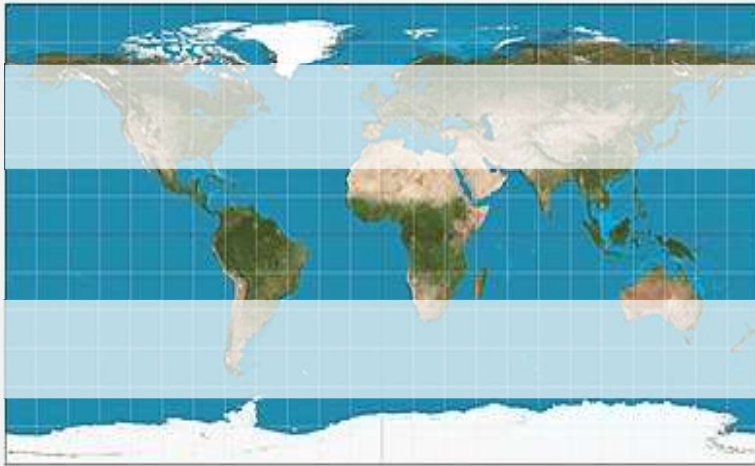
Funnet i satellittobservasjoner, i teoretiske beregninger, finskalamodeller og globale klimamodeller.



$$T_{topp,1} = T_{topp,2}$$
$$T_{bakke,1} < T_{bakke,2}$$

$$T_{bakke,1} - T_{topp,1} < T_{bakke,2} - T_{topp,2}$$

Skytilbakekoblinger / sky-feedbacks – Skyer med is og vann



Skyer på midlere breddegrader består i stor grad av en blanding av is og vann.

For temperaturer mellom 0 og ca. -40°C , krever overgang fra vanndråpe til iskrystall en iskje. Dette kan være en annen iskrystall eller en partikkel med passende egenskaper.

Det er ofte mangel på iskjerne og vi kan ha mye flytende vann i skyer ned mot -15°C .

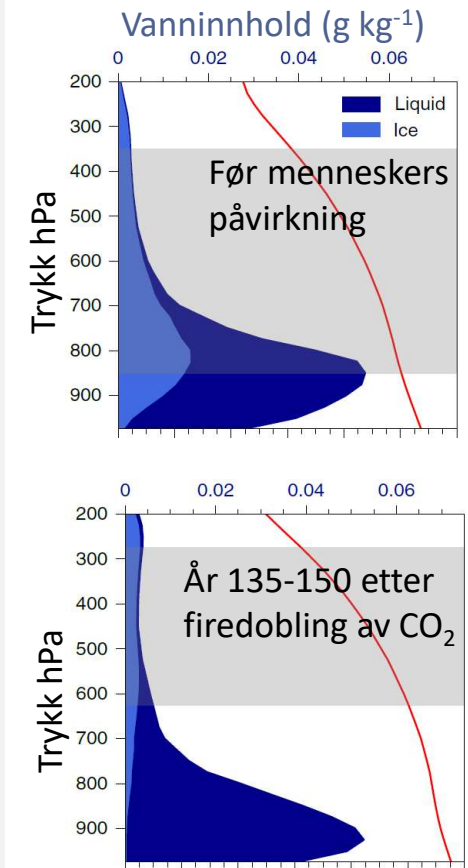
Skytilbakekoblinger / sky-feedbacks – Skyer med is og vann

Vil i større grad gå over til å inneholde vann heller enn is.

Iskrystaller er mye større enn skydråper. Det betyr at en smelting av isen i skyen vil føre til at vannet blir til mange små vanddråper i stedet for få store iskrystaller.

Skyene vil reflektere mer solenergi pga denne smeltingen – negativ tilbakekobling. Reduserer global oppvarming.

Men bare en periode. Når det ikke er mer is igjen å smelte bidrar ikke lenger denne overgangen.



Skytilbakekoblinger / sky-feedbacks – Total effekt

Samlet effekt av skyenes respons på global oppvarming er høyst sannsynlig å forsterke oppvarmingen.

Effekten av hver tilbakekobling er utfordrende å fastsette.

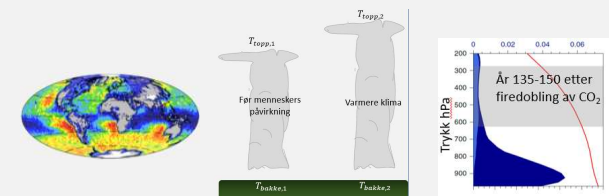
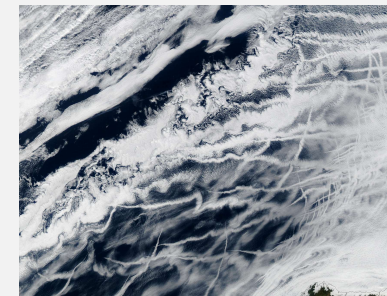
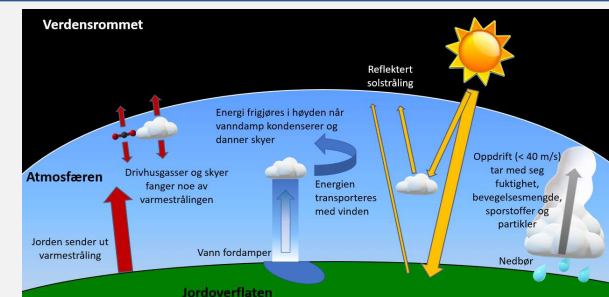
Det blir enda vanskeligere når de ulike tilbakekoblingene kan oppstå samtidig og vekselvirke i ett skyregime.

For å kunne si dette har forskere vurdert

- observasjoner av dagens og tidligere tiders skyer og klima
- resultater fra globale klimamodeller
- resultater fra regionale klimamodeller summert ved å vekte etter skyfraksjon i ulike regioner.

Oppsummering – viktigste poenger

- Skyene er en svært viktig del av klimasystemet
 - Reflekterer solenergi, drivhuseffekt, flytter energi, vann, sporstoffer og aerosoler
 - Kilde til nedbør og derfor ferskvann
- Klimaeffekten av skyene endres pga utslipp av partikler og drivhusgasser.
- Aerosoler endrer skyer og har en sterkt nedkjølende effekt på klimaet
- Skyenes respons på global oppvarming bidrar til å forsterke oppvarmingen ytterligere.





Spørsmål?

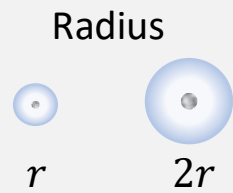
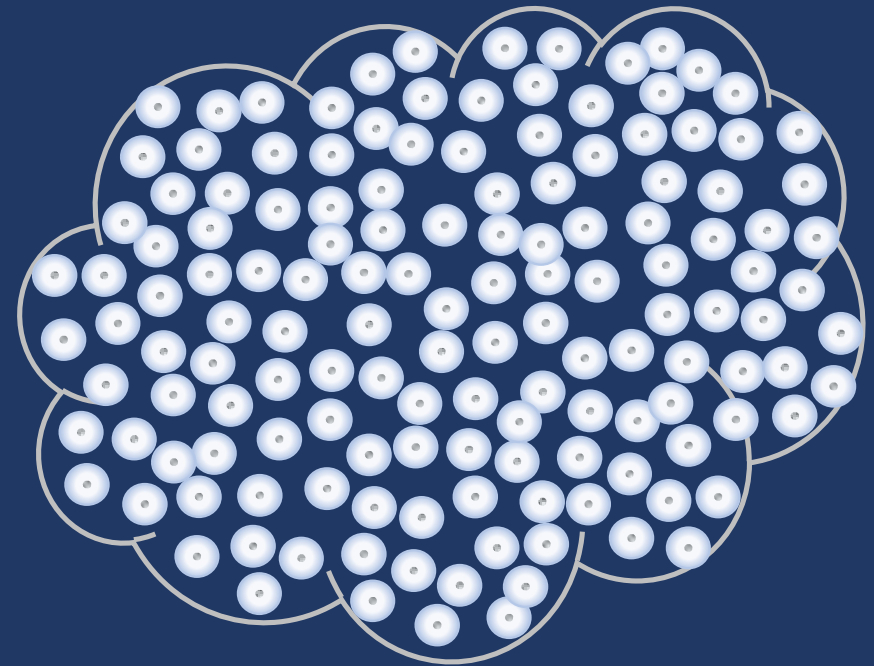
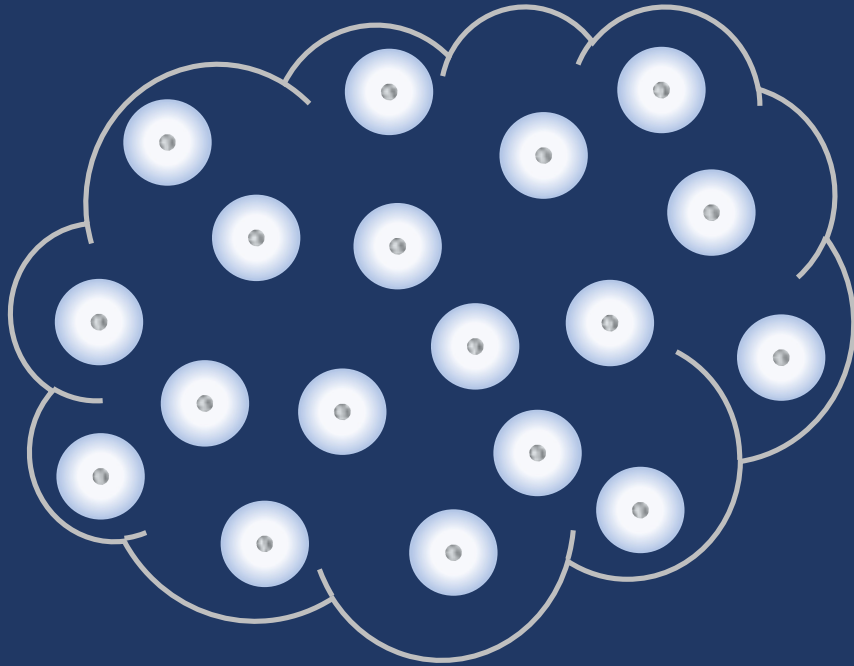
Mars 2003

Images courtesy Jacques Desloîtres, [MODIS Land Rapid Response Team](#) and Mark Gray, [MODIS Atmosphere Science Team](#), both at NASA GSFC

ipcc

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON
climate change





$$Antall_{små} V_{små} = Antall_{store} V_{store}$$
$$Antall_{små} \frac{4}{3} \pi r^3 = Antall_{store} \frac{4}{3} \pi (2r)^3$$

$$Antall_{små} = 8 Antall_{store}$$