

Global opvarmning

Af Otto Leholt (2020)

Indhold:

| | |
|---|----|
| Indledning | 2 |
| Kulstofkredsløbet | 3 |
| Klimaforskningens historie | 5 |
| Koncentration af drivhusgasser | 7 |
| Jordens gennemsnitstemperatur | 8 |
| Korrelation og kausalitet! | 9 |
| Beviserne på global opvarmning | 10 |
| Feedback mekanismer | 12 |
| Konsekvenserne | 14 |
| Energiressourcer | 16 |
| Energiforbruget eksploderer | 17 |
| Energi- og klimapolitik | 20 |
| Vedvarende energi | 21 |
| Er vedvarende energi et reelt alternativ? | 22 |
| Data for Co2 udledning | 24 |



For yderligere data, figurer og opgaver m.v. se www.hf-kurset.dk/otto/geografi/

Sidst udskrevet: d. 05-12-2021 15:25:00
 Antal tegn 48968 = 20 normalsider

Indledning

I de sidste par årtier har globale klimaændringer været højt på den internationale dagsorden.

Man taler om en global opvarmning, som vil ændre de klimatiske betingelser for plante - og dyrelivet og dermed også mennesket. I mediernes dækning af denne globale opvarmning, kan man møde overskrifter med apokalyptisk karakter som: ”Jorden smelter” og ”Jorden har feber”, mens andre taler om, at vi står overfor *den 6. masseudryddelse* af livsformer på jorden – men denne gang frembragt af mennesket selv.

I sig selv er det ikke nyt, at klimaet ændrer sig, for jordens klima har altid været under forandring. Alene i de sidste 400.000 år har der været fire langvarige istider kun afbrudt af kort varmereperioder på ca. 10.000 år. De sidste istid sluttede for ca. 12.000 år siden.¹

Det nye er imidlertid, at man taler om, at den globale opvarmning skyldes menneskets udledning af de såkaldte drivhusgasser. Drivhusgasser som CO₂ kommer fra vores afbrænding af fossile brændstoffer som olie, kul og gas.

Siden 1992 har der været afholdt utallige internationale klimakonferencer, hvor alverdens lande har forsøgt at nå til en international aftale om at reducere udslippet af drivhusgasser og dermed forsøge at bremse den globale opvarmning. Mens klimakonferencen i København i 2009 var en total fiasko, så lykkedes det i Paris i 2015, at få både USA og Kina med på en målsætning om at holde den globale temperaturstigning på under 1.5 °C.

I Danmark har vi gennem mange år lagt afgifter på vores energiforbrug, for på den måde at få os til at begrænse vores forbrug og dermed klimapåvirkningerne. Ligeledes har vi indført vedvarende energikilder som f.eks. vindkraft, for at begrænse forbruget af fossile brændsler. I 2019 vedtog det

danske Folketing en klimalov, som forpligter os til at reducere vores udslip af drivhusgasser med 70 % i 2030 i forhold til niveauet i 1990. Problemet er nu, hvordan man så gør det i praksis?

Mens nogle ser klimaforandringerne som uafvendelige og derfor noget, som vi må tilpasse os, ser andre det som en proces mennesket nødvendigvis må og skal søge at stoppe.

Mens der næppe kan være tvivl om at klimaforandringer vil ændre livsbetingelserne for dyr, planter og mennesker, så er der fortsat meget forskellige meninger om hvad vi *bør, kan* eller *skal* gøre for at modvirke klimaforandringerne.



Mediernes grafiske illustrationer af den globale opvarmning er ofte ganske dramatiske som i eksem-

Nogle vil afvente teknologiske løsninger og taler for en gradvis tilpasning til ændrede klimabetingelser, mens andre kræver radikale ændringer her og nu af hele vores livsstil.

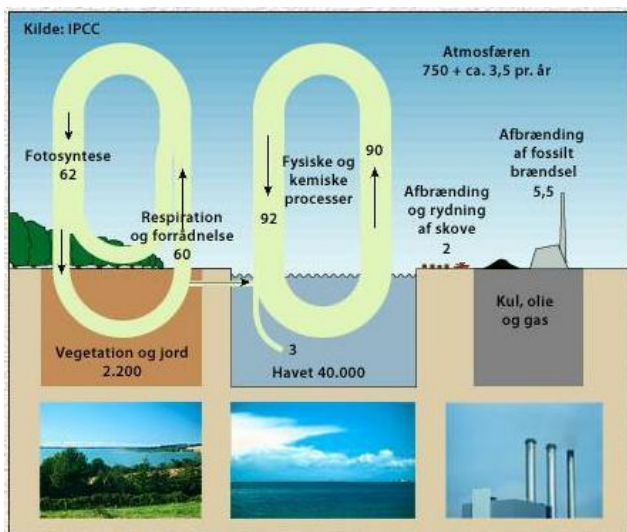
Mens man i 1980'erne levede under frygten for en 3. verdenskrig med anvendelse af atombomber og dermed menneskehedens udslættelse, er klimaforandringerne for nogle blevet vor tids apokalyptiske fremtidsmareridt.

¹ Læs mere om fortidens klimaændringer på www.hf-kurset.dk/otto/geografi/naturlige-klimaforandringer.asp

Kulstofkredsløbet

Karbon C er det grundstof, som indgår i flest kemiske forbindelser, og er derfor også det fjerde mest almindelige grundstof i universet, efter hydrogen, helium og oxygen. Karbon indgår da også i alle kendte livsformer på jorden, og udgør ca. 18,5 % af menneskets kropsvægt.

Kulstof findes alle vegne, men vi kan skelne mellem forskellige reservoirer, nemlig: Atmosfæren, biosfæren, oceanerne og jordens skorpe hvor kulstof blandt andet findes i kul og olie. Kulstoffet indgår i flere biologiske-kemiske kredsløb, som vist i [figur 1](#).



Figur 1 Simpel model af kulstofkredsløbet, og menneskets bidrag hertil. Tal angiver gigaton kulstof pr år. Udover de her viste tal er der oplagret enorme mængder af kulstof i jordens skorpes sedimentære bjergarter.

I de grønne planters fotosyntese optages kulstof fra atmosfæren i form af CO_2 , og omdannes til kulhydrater og ved respiration afgives kulstof igen som CO_2 til atmosfæren. Landjordens biomasse anslås at optage 62 Gt kulstof årligt og afgive 60 Gt til atmosfæren gennem respiration. De resterende 2 Gt indgår i dødt organisk materiale i jorden, som f.eks. tørv.

Særlig i Karbon-tiden for 299-359 mio. år siden blev store mængder af kulstof bundet i tørv. I gennem millioner af år blev disse tørvlag dækket af sediment og under stigende tryk blev tørv omdannet til *stenkul*.

I oceanerne optages ligeledes kulstof i form af CO_2 fra atmosfæren. Dette sker dels gennem planteplanktons fotosyntese, men også ved at atmosfærens CO_2 opløses i havvandet. I de kolde havområder nær nordpolen og sydpolen optages enorme mængder af CO_2 i oceanerne og føres af dybhavsstrømmene tilbage mod de varme havområder hvor kulstof igen frigives til atmosfæren i form af CO_2 . Samlet set er der dog næsten balance i optag og frigivelse, idet havene skønnes at optage 92 Gt og frigive 90 Gt CO_2 årligt.

En meget lille del af dette kulstof aflejres på havbunden som dødt organisk materiale. Hvis dette organiske materiale bliver fanget i et iltfattigt miljø, f.eks. ved at blive tildækket af sediment (sand, ler, kalk m.v.), vil den naturlige nedbrydningsproces gå i stå. I stedet kan det organiske materiale omdannes til olie og gas. Denne proces tager godt 100 millioner år.²

Når vi i dag afbrænder kul, olie og gas – de såkaldte *fossile brændstoffer* – så frigives kulstoffet igen til atmosfæren som CO_2 . Herved påvirker mennesket de naturlige kredsløb, idet kulstof, som var oplagret i jordens skorpe, bringes ud i atmosfæren og biosfæren igen. I figur 1 ses det, at vores afbrænding af fossile brændstoffer årligt frigiver ca. 5,5 Gt CO_2 til atmosfæren. Ligeledes frigiver vi CO_2 ved afbrænding og rydning af skove. Menneskets samlede CO_2 udslip angives til ca. 7,5 Gt årligt. Heraf optages 3,5 Gt i atmosfæren, mens de øvrige 4 Gt optages af henholdsvis biosfæren og oceanerne.

Da CO_2 er en drivhusgas, er det netop atmosfærens stigende indhold af CO_2 , som er centralt i den nuværende debat om en menneskeskabt global opvarmning.

² Animation af dannelse af kul og olie;
<https://youtu.be/j9WRFqkhgus>

Den naturlige drivhuseffekt

Princippet i den naturlige drivhuseffekt er følgende. Jorden opvarmes af solens *kortbølgede* indstråling, og jorden afgiver herefter denne varme til atmosfæren som *langbølget* varmestråling.

Pointen er nu, at uden atmosfærens drivhuseffekt ville jordkloden afgive mere varme (118 %) end jorden absorberer fra solen (48 %) – se figur 2. Forklaringen er enkel. Vi modtager jo kun solstråling i dagtimerne og mest omkring ækvator, mens jorden afgiver varme døgnet rundt og fra alle steder på kloden. Uden den *naturlige* drivhuseffekt ville gennemsnitstemperaturen for jorden være 33° lavere, altså *minus* 18° C. Med drivhuseffekten har jorden en gennemsnitstemperatur på ca. 15° C.

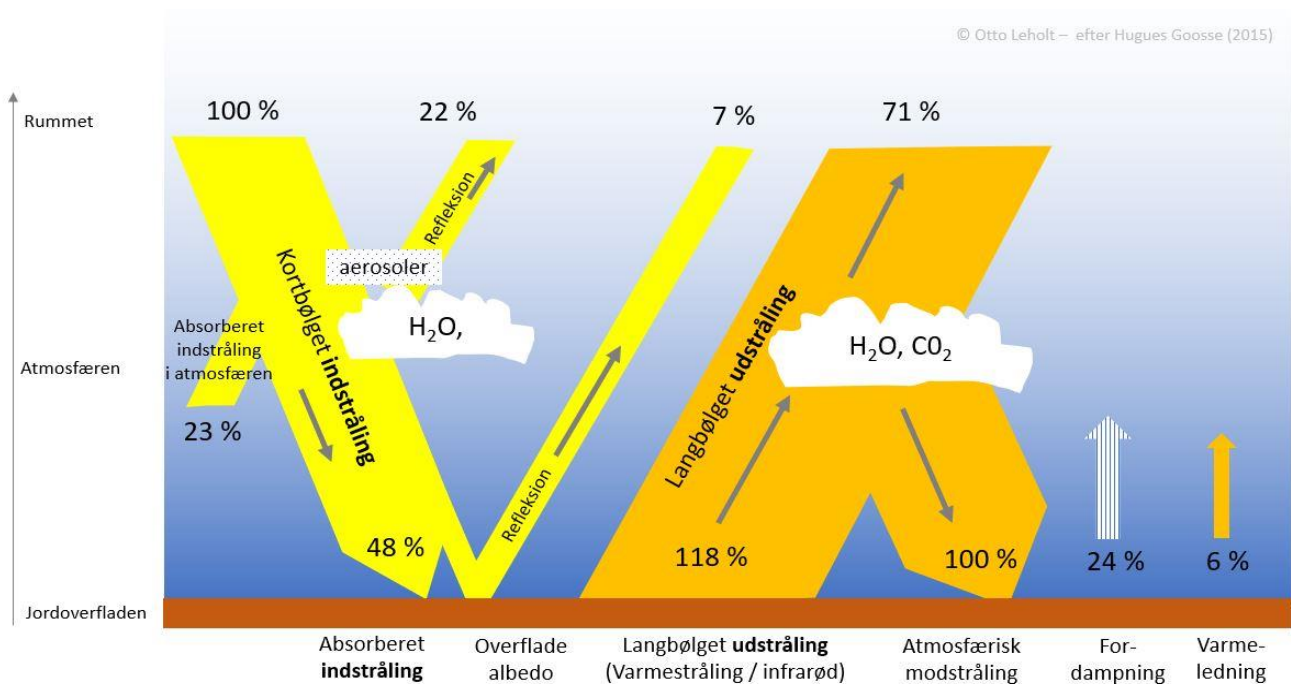
De vigtigste drivhusgasser og deres bidrag til drivhuseffekten er:

- Vanddamp H₂O 50 %
- Kuldioxid, CO₂ 25 %
- Metan CH₄ 7 %
- Lattergas 3 %
- CFC gasser m.v.

Som det fremgår, er vanddamp den vigtigste drivhusgas, og tegner sig for ca. 50 % af jordens naturlige drivhuseffekt. Dette kender du også fra hverdagen. På en vinterdag med skyfri blå himmel vil det altid være koldere end hvis det er overskyet. Forklaringen er, at skyerne holder på jordens varmeudstråling, ligesom dynen holder på din kropsvarme når du sover.

Denne effekt forstærkes så af de andre drivhusgasser som Co₂, CH₄ m.v. Figur 6 viser, at langt størstedelen af jordens langbølgede varmeudstråling (100 af 118) holdes tilbage i den nedre atmosfære af skyerne og de øvrige drivhusgasser. Det er altså her vi ser drivhuseffekten.

For at opretholde et stabilt klima skal den samlede solindstråling være lig den samlede varmeudstråling fra jorden. Dette kan du se øverst i figur 2, hvor indstrålingen fra solen er sat til 100% og udstrålingen også er 100% (22% + 7% + 71%). Det samme ses ved jordoverfladen, hvor indstrålingen er 48%, mens varmestrålingen er 18% (118 - 100) + 24% + 6% = 48%. I et varmere klima er det klart, at alle værdierne i modellen vil ændre sig.



Figur 2 Atmosfærens strålingsbalance og den naturlige drivhuseffekt. Figuren læses fra øverst t.v. Den samlede solstråling er sat til 100%, og de øvrige strålingsværdier er i forhold hertil.

Læs mere om atmosfæren og strålingsbalancen i *Klimatologi-kompndiet s. 5-8*,

se <http://www.hf-kurset.dk/otto/geografi/tekster/introduktion-til-klimatologi-1997-2018-ver-4-4.pdf>

Klimaforskningens historie ³

Atmosfærens betydning for klimaet og dermed livet på jorden har været kendt længe. Allerede i 1820'erne havde en fransk videnskabsmand fastslået, at uden en atmosfære ville jorden være meget koldere, og i 1859 kunne engelske videnskabsmænd påvise, at det primært var vanddamp og kuldiioxid som fastholdt jordens varmeudstråling. I 1890'erne fremsatte den svenske forsker Svante Arrhenius den hypotese, at menneskets afbrænding af kul og olie kunne forstærke atmosfærens naturlige drivhuseffekt.

Mens der i den første halvdel af det 20. århundrede ikke var nogen særlig videnskabelig interesse omkring klima og klimaændringer, så ændres det efter 1950. Det var ikke mindst det amerikanske militær, som under den Kolde Krig ønskede at få større viden om vejrforhold i relation til krigsførelse m.v. Bedre måleinstrumenter og offentlig finansieret forskningsmidler bidrog til at fremme forskningen i jordens klimasystem.

I 1960'erne blev det påvist at CO₂ faktisk blev ophobet i atmosfæren. Det skyldes først og fremmest den unge forsker Charles Keeling, som i 1958 var begyndt at måle CO₂ koncentrationen i atmosfæren fra Mauna Loa observatoriet på Hawaii. Keelings målinger bekræftede, at atmosfærens CO₂ indhold steg støt fra år til år – se Figur 4, s. 7

I 1960'erne begyndte videnskabsfolk at udarbejde simple modeller for klimasystemet, og der kom også stigende interesse for at forstå tidligere tiders klimaændringer gennem studiet af geologiske aflejringer i undergrunden.

Med 1970'ernes stigende miljøbevidsthed, fulgte en stigende bekymring omkring mennesket påvirkning af de naturlige økosystemer og herunder klimaet. Nogle fremhævede, at den almindelige luftforurening af røg og sodpartikler ville reducere solstrålingen og føre til en afkøling af jorden. Mens nogle talte om muligheden for en ny istid, talte andre om, at en generel opvarmning af jordens klima

på blot et par grader, kunne få uoverskuelige og uforudsigelige konsekvenser for klimasystemet.

Det som forskerne først og fremmest var enige om i 1970'erne, var at man kun havde en meget ringe forståelse af klimasystemet. Det var også klart, at klimasystemet var yderst kompliceret og var påvirket af flere variable, herunder; solaktiviteten, vulkanisme, oceanstrømme, jordens hældning m.v. I 1970'erne omtalte man klimasystemet som et *kaotisk system*, hvor små ændringer ét sted i systemet kunne forårsage store ændringer andre steder. En ofte anvendt metafor for dette var udsagnet om, at *"en sommerfugl basker med vingerne i Kina, og ændrer vejret i Paris"*! Dette skal selvfølgelig ikke tages bogstaveligt, men var blot et billede på et klimasystem, som ved meget små forandringer kunne bringes ud af balance.

Mens man ikke havde registreret nogen global opvarmning siden starten af 1940'erne, begyndte man i slutningen af 1970'erne at se en svag stigning i den globale gennemsnitstemperatur. I sommeren 1988, som i øvrigt var den varmeste sommer man nogensinde havde målt, slog en række forskere, herunder computerprogrammøren James Hansen, alarm og advarede om, at en øget drivhuseffekt ville føre til stigende temperaturer i den nærmeste fremtid.

I december 1988 oprettes under FN *The Intergovernmental Panel on Climate Change*, også kendt som FN's klimapanel eller **IPCC**, som siden hen har fået status som den videnskabelige autoritet i klimaspørgsmålet. IPCC har som sit formål, at:

"give en videnskabelig vurdering af risikoen for menneskeskabte klimaændringer, og de mulige konsekvenser heraf og mulighederne for tilpasning og afbødning heraf." ⁴

I offentligheden var der i 1980'erne kommet øget fokus på atmosfærens betydning for mennesket i forbindelse med, at man havde observeret huller i ozonlaget over de arktiske områder. Den øgede UV-stråling som fulgte heraf, udgjorde en direkte sundhedsfare (hudkræft) for mennesker samt for dyr og planter. Gennem en international aftale i Montreal

³ Kilde: <https://history.aip.org/climate/summary.htm>

⁴ https://www.ipcc.ch/organization/organization_history.shtml

i 1987 blev det besluttet, at forbyde de industrielle CFC-gasser som ødelagde ozonlaget. Ligeledes var der i 1980'erne stor opmærksomhed på problemet med syreregn, som følge af luftforurening fra kraftværker, biler, affaldsforbrænding og landbruget. Alt sammen var med til at bringe offentlig opmærksomhed på mennesket udledning af gasser til atmosfæren.

Samtidigt viste udboringer af iskerner på Antarktisk at skiftet mellem varmeperioder og istider var foregået meget hurtigt, og ikke mindst iskernerne fra Vostok (1985-95) viste en klar korrelation (sammenhæng) mellem atmosfærens CO₂ koncentration og temperaturerne. (se figur 6, s. 9)

I 1992 afholdte FN den første konference om Miljø og Udvikling i Rio de Janeiro. Her vedtog man en *Klimakonvention* (uden bindende krav) hvis målsætning var:

"at stabilisere drivhusgasserne på et niveau, som forhindrede en farlig menneskelig påvirkning af klimasystemet"

Samme år udgav IPCC sin første rapport om klimaændringerne.⁵ Heri fastslog man, at den naturlige drivhuseffekt var vigtig for klimaet og at menneskelige aktiviteter øgede mængden af drivhusgasser i atmosfæren. Derudover opstillede man forskellige scenarier for, hvad den fremtidige udledning af drivhusgasser ville betyde for klimaet i det 21. århundrede. Man forventede, at den globale gennemsnitstemperatur ville stige med ca. 3° C over niveauet i 1990.

Hermed kom der stigende fokus på CO₂ og dets betydning for drivhuseffekten. Det viste sig ikke mindst på FN's klimakonference i Tokyo i 1997. Her vedtog man *Kyoto-protokollen*, som pålagde ilandene at reducere deres CO₂ udledninger. Ulandene blev, af hensyn til deres fortsatte økonomiske udvikling, ikke pålagt nogen reduktionsforpligtelser. USA valgte her, som gentagne gange senere, ikke at tilslutte sig aftalen om CO₂ reduktioner.

Disse FN-aftaler er alene *hensigtserklæringer*, som ikke indebærer sanktionsmuligheder overfor medlemslande, som ikke opfylder deres reduktionsforpligtelser. Siden da har FN hvert år afholdt de såkaldte COP møder (*Conference of the Parties*) hvor der forhandles om en ny aftale efter Kyoto-aftalen. Først under COP-15 i Paris i 2009 lykkedes det at lave en ny aftale, som også USA samt Kina tilsluttede sig.

I de sidste to årtier er klimaspørgsmålet blevet et stadig større tema i den offentlige debat. Ikke mindst tidligere vicepræsident Al Gores bog og filmen *"En ubekvem sandhed"* fra 2006, var med til at bringe klimaspørgsmålet ud til den brede offentlighed.⁶ Offentlighedens bekymring for klimaændringerne blev yderligere styrket af katastrofefilm fra Hollywood, som *The Day After Tomorrow* (2004), ligesom mediernes hyppige rapportager om oversvømmelser, tørke, orkaner, skovbrande og andre ekstreme vejrphenomener, var med til at styrke billedet af et klimasystem, som var kommet ud af balance.

Siden den første rapport fra IPCC er der udkommet yderligere 4 rapporter, den sidste i 2014. Mens der i de første rapporter blev talt om en vis usikkerhed og forskellige grader af sandsynlig for en menneskelig påvirkning af klimaet, var der nu almindelig enighed (konsensus) om følgende:

1. at der sker en global opvarmning
2. at denne opvarmning fremmes (signifikant) af menneskets udledning af CO₂, og
3. at sådanne klimaændringer vil få alvorlige konsekvenser for livsbetingelserne for flora, fauna og mennesker.
4. at klimaforandringerne må modvirkes gennem reduktion af vores CO₂ udledninger

Igennem de sidste 2-3 årtier har der været meget forskellige holdninger til klimaspørgsmålet - se tabel 1 s. 7.

⁵ https://www.ipcc.ch/ipccreports/1992%20IPCC%20Supplement/IPCC_1990_and_1992_Assessments/English/ipcc_90_92_assessments_far_overview.pdf

⁶ Se uddrag fra filmen her: [An Inconvenient Truth](#)

På den ene side er der 'alarmisterne' som taler om 'klimakrisen' og anser klimaforandringerne som en direkte trussel mod menneskeheden overlevelse. Dette synspunkt indebærer at klimahensyn må gå forud for alt andet, herunder den personlige frihed til at have den livsstil som man ønsker.

På den anden side stod de, som enten var skeptiske overfor hvorvidt vi gennem CO2 reduktioner overhovedet kunne bremse klimaændringer, og endelig var der dem, som helt *benægter* at der er tale om en *menneskeskabt* globalopvarmning.

I de sidste par år er 'alarmisternes' holdning blevet stadig mere dominerende i offentligheden også blandt børn og unge. Det sidste skyldes nok ikke mindst den 15-årige svenske skolepige Greta Thunberg, som i august 2018 indledte sin skolestrejke for klimaet.

Nogle forskere, som blandt andet Judith Curry, mener at klimadebatten har nået et stadie hvor videnskabelig metode, evidens og kausalitet erstattes af indikationer, holdninger og værdipolitik og hvor kritik og usikkerhed afvises med henvisning til almindelig konsensus.

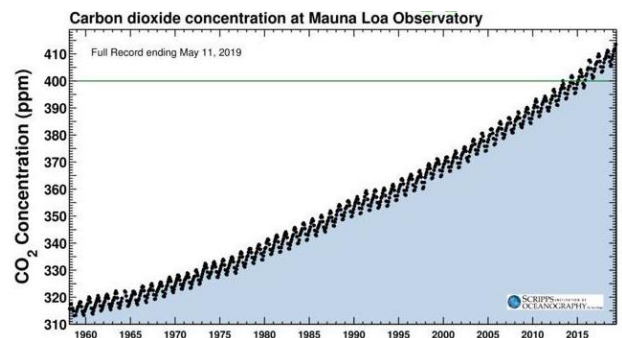
Man kan med nogen ret sige, at klimaspørgsmålet ikke længere er et rent videnskabeligt spørgsmål, men er blevet en politisk og ideologisk kampplads, som handler om langt mere end klimasystemet og ændringer i dette.

I det følgende skal vi se på de *videnskabelige data* som ligger til grund for klimadebatten.

Koncentration af drivhusgasser

Co2 koncentrationen i atmosfæren måles i parts pr. million (*ppm*) – dvs. hvor mange Co2 molekyler der er pr. én million luftmolekyler.

I slutningen af 1950'erne var Co2 koncentrationen ca. 310 ppm., men er i dag (2019) steget til over 415 ppm. (Se figur 4, s7) Bemærk i øvrigt de årlige udsving i CO2 koncentrationen. Dette skyldes at CO2 niveauet falder i sommermånederne hvor planterne optager Co2 gennem fotosyntesen, omvendt stiger Co2 koncentrationen i vintermånederne.



Figur 4 Den såkaldte Keeling-kurve, som viser atmosfærens CO2 koncentration i ppm fra 1958-2019, er steget fra 315 ppm til 415 ppm.

| Alarmisterne | Main-stream | Skeptikerne | Benægtterne |
|---|--|---|---|
| Synspunkter | | | |
| En menneskeskabt katastrofe Den største udfordring for menneskeheden i det 21. årh. ↓ Klimapolitik må have 1. prioritet Politiske indgreb for at ændre befolkningens forbrugsmønstre Opgør med forbrugs- og vækstøkonomien | Én af flere udfordringer mennesket står overfor Vil ændre livsbetingelserne for mennesker, dyr og planter ↓ Kan modvirkes gennem internationale aftaler Fremme af vedvarende energi Energi- og klimapolitik integreres i andre politikområder | Ja – klimaet ændrer sig Tvivlsomt om mennesket alene er årsag hertil ↓ Kan ikke afværges ved politiske indgreb Forberede os på klimaændringerne Teknologiske løsninger vil vise sig .. | "Løgnen om klimaændringer" En ideologisk kampagne -> som giver staten øget magt over borgerne ↓ 'Aflsløre FN's klimapanel' Tilbagevise argumenter og data Bekæmpe forsøg på overnational klimapolitik ⇔ totalitarisme |

Tabel 1: Skematisk fremstilling af holdningerne i klimadebatten i starten af det 21. århundrede.

Forklaringen på det stigende CO₂ indhold i atmosfæren finder man i vores stigende forbrug af de fossile brændstoffer; kul olie og gas. Især efter 1950'erne er det globale energiforbrug steget voldsomt. Det skyldes ikke mindst at verdensbefolkningen er mere end fordoblet, men også på grund af en markant højere materiel levestandard for stadig flere mennesker i samme periode.

Nu er en CO₂ koncentration på 400 ppm ikke i sig selv alarmerende, og svarer jo kun til ca. 0,04 % af atmosfærens samlede gasarter. Når det har skabt bekymring, er det fordi atmosfæren indhold af CO₂ ikke har været over 300 ppm i de sidste 400.000 år – se [figur 6](#), s. 9.

Da CO₂ er en drivhusgas, er det derfor naturligt at antage, at atmosfærens øgede CO₂ indhold vil påvirke jordens klima og føre til en global opvarmning.

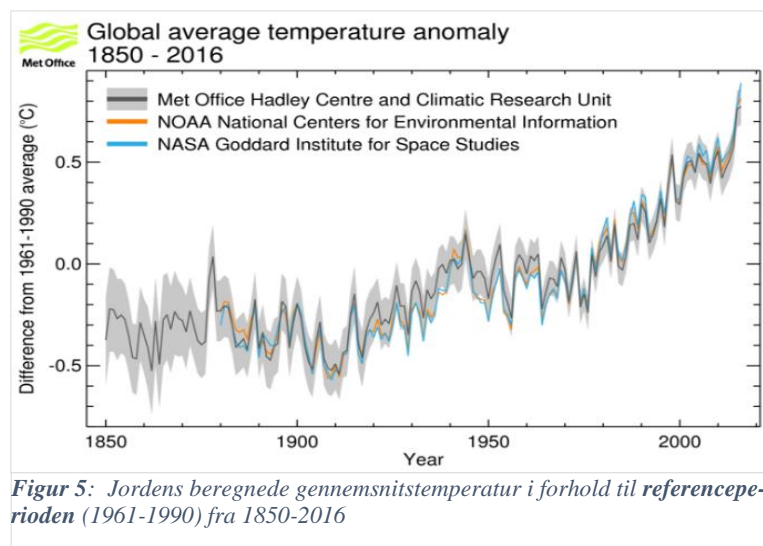
CO₂ er heller ikke den eneste menneskeskabte drivhusgas. Atmosfærens indhold af **metan** CH₄, som tegner sig for ca. 7 % af jordens drivhuseffekt, er også stigende. Metan koncentrationen i atmosfæren er steget fra 720 ppb (part pr. milliard) før industrialiseringen (år 1750) til i dag at ligge på ca. 1830 ppb. Selv om der her er tale om en forsvindende lille andel af de samlede luftmolekyler – altså 1820 pr én milliard luftmolekyler - så er CH₄'s effekt som drivhusgas 28 gange stærkere end CO₂.

Metan indgår i et naturligt kredsløb, ligesom vi så det med CO₂. Metan frigives til atmosfæren når mikroorganismer nedbryder organisk materiale. Man mener at ca. 37 % af den øgede metan koncentration stammer fra menneskelige aktiviteter. Det er først og fremmest landbruget som bidrager, dels fra stadig flere husdyr (kvæg og får) som via deres tarmsystem ud slipper CH₄, dels fra afbrænding af organisk materiale og endelig fra forrådnelsesprocesser i vådområder, herunder overrislede rismarker.

Jordens gennemsnitstemperatur

Først i midten af 1800-tallet fik man termometre til at lave direkte målinger af lufttemperaturen. Ud fra de målinger som siden er registreret, har man kunnet tegne en kurve for udviklingen i jordens gennemsnitstemperatur fra 1850 til i dag.

Temperaturkurven som er vist nedenfor, angiver variationer i den globale gennemsnitstemperatur i forhold til referenceperiode 1961-90, hvor jordens gennemsnitstemperatur blev beregnet til 15° C. ⁷



Figur 5: Jordens beregnede gennemsnitstemperatur i forhold til referenceperioden (1961-1990) fra 1850-2016

Temperaturkurven viser, at jordens gennemsnitstemperatur lå knap 0,5 ° C lavere i slutningen af 1800-tallet og steg derefter ca. 0,5 ° C i første halvdel af det 20. århundrede. Herefter stagnerer temperaturen for så igen at stige fra slutningen af 1970'erne og frem til i dag. Alt i alt kan man sige, at jordens gennemsnitstemperatur er steget med ca. **0,85° C** siden 1880.

Flere forskere har fremhævet at temperaturmålingerne for den første del af perioden er meget usikre. Man har kun haft få målestationer og de har primært været lokaliseret i byerne, mens man helt har manglet målinger fra oceanerne, som udgør 70 % af jordens overflade, og fra andre svært tilgængelige områder på kloden. Frem mod vores egen tid bliver målingerne mere detaljerede og omfattende. I slutningen af 1950'erne begynder man at anvende vejrballoon til temperaturmålinger og fra 1979 har

⁷ Kilde: <https://www.metoffice.gov.uk/research/monitoring/climate/surface-temperature>

man kunnet måle temperaturerne ved hjælp af satellitter og dermed fået ret præcise målinger fra hele jordkloden.

Korrelation og kausalitet!

Umiddelbart er der *korrelation* – dvs. sammenhæng eller sammenfald – mellem temperaturstigningen i de sidste årtier og det stigende CO₂ og CH₄ koncentration i atmosfæren. At der er korrelation, betyder dog ikke nødvendigvis, at der også er tale om *kausalitet*, altså en direkte årsag og virkningsforhold. Dvs. at det ene, her Co₂ indholdet i atmosfæren, er årsag til det andet, her temperaturen.

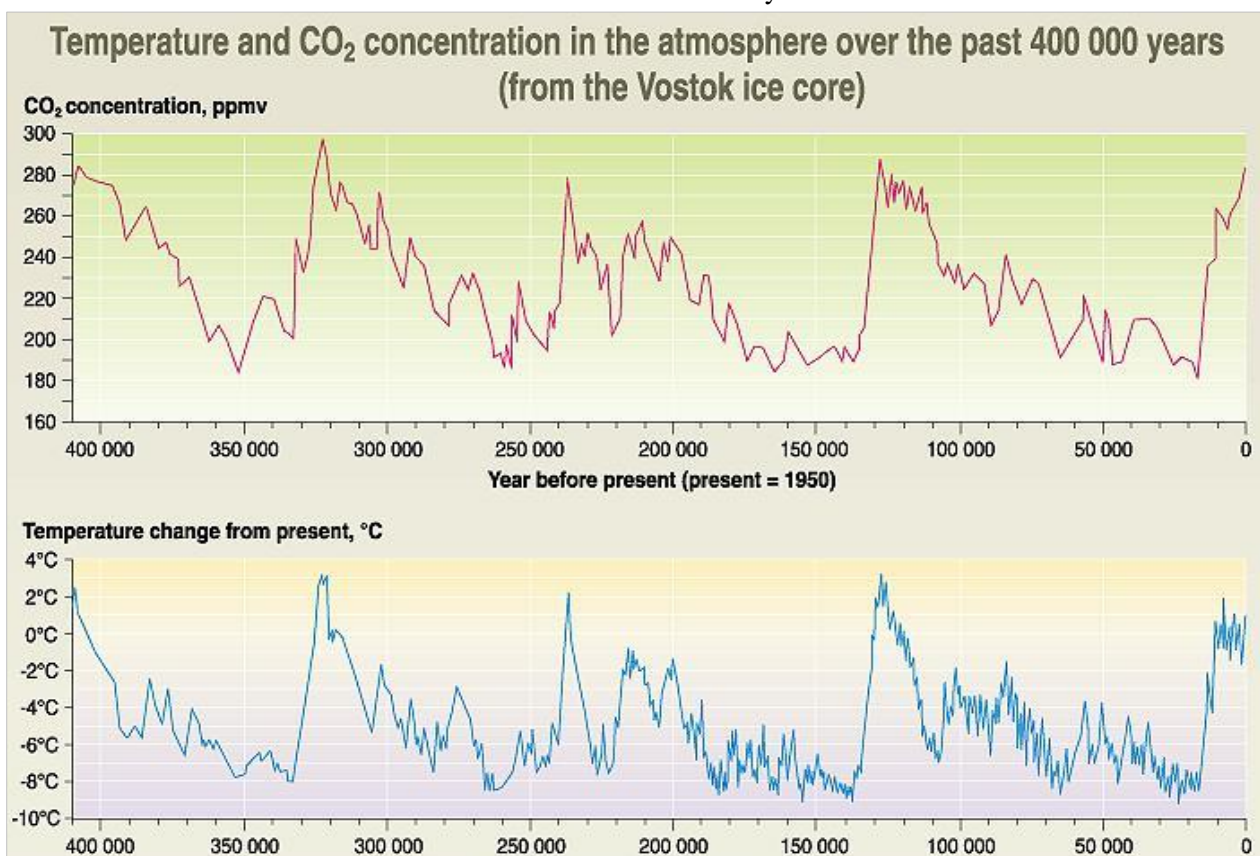
Det samme problem kan illustreres med nedenstående figur 6, som viser atmosfærens CO₂ koncentration og temperaturafvigelser fra referenceperioden (de 15° C i årene 1961-90) igennem de sidste 400.000 år. Data har man her fra iskerneboringer på Antarktis. Mens man mere eller mindre direkte kan måle Co₂ koncentrationen i isens luftbobler, er temperaturerne beregnet gennem bestemmelse af indholdet af bestemte iltisotoper. Der er altså tale

om indirekte – eller såkaldte proxy-data - og ikke direkte temperaturmålinger.

Umiddelbart syntes de to kurver at følges ad. Der er med andre ord en tydelig *korrelation* mellem CO₂ koncentrationen og temperaturen. Når Co₂ koncentrationen stiger, så stiger temperaturen. Dette synes umiddelbart at bekræfte teorien om, at Co₂ styrer klimaet. Det er imidlertid ikke så enkelt. Hvad vi ikke kan se på kurverne, i den her viste målestok, er at temperaturen stiger flere hundrede år før Co₂ koncentrationen i atmosfæren stiger!

Forklaringen er, at når istiderne sluttede og blev afløst af kortere (ca. 10.000-årige) varmeperioder eller mellemistider, så steg også havtemperaturen. Men varmt vand optager mindre Co₂ end koldt vand, hvorfor Co₂ koncentrationen i atmosfæren stiger. Omvendt under istiderne. Det koldere havvand optager nu mere Co₂ fra atmosfæren, med det resultat at atmosfærens Co₂ indhold falder.

Nok er Co₂ vigtig for drivhuseffekten, men Co₂ er – som vi skal se senere- ikke den eneste variabel i klimasystemet .



Figur 6 Data fra iskerneboringer på Antarktis viser atmosfærens indhold af Co₂ og den globale middeltemperatur i forhold til i dag igennem de sidste 400.000 år. Der er en tydelig *korrelation* (sammenhæng) mellem de to kurver, selvom *kausaliteten* (årsag-virkningsforholdet) er mere kompliceret end som så.

Beviserne på global opvarmning

At jordens gennemsnitstemperatur er stigende, er ifølge IPCC ubestrideligt. Beviser herpå finder man i følgende observationer:⁸

- Siden 1850 er jordens gennemsnitstemperatur steget med 0,85° C
- Især i de sidste 35 år har opvarmningen været tydelig og siden år 2000 har man oplevet gentagne varmerekorder. Således er 16 af de 17 varmeste år siden temperaturmålingerne begyndte registreret efter år 2000.
- Iskapperne i arktisk og antarktisk smelter. På Grønland er iskappen reduceret med 150-250 km³ is i årene 2002-2006 og på Antarktisk iskappen reduceret med 152 km³ i samme periode.
- Overalt i verden ser man, at gletsjere formindskes som følge af den globale opvarmning, det gælder i Alperne, Himalaya, Andes, Rocky Mountains og Alaska
- Perioden hvor landområderne på den nordlige halvkugle er snedækkede er afkortet i de sidste 50 år og sneen forsvinder tidligere end før.
- I løbet af det 20. århundrede er vandstanden i verdenshavene steget med ca. 20 cm, og stigningstakten i det 21. århundrede syntes at være tiltagende.
- Havisen i de arktiske områder er både formindsket i udbredelse og i tykkelse siden 1950'erne.
- Stigende forsuring af oceanerne pga. oceanernes optagelse af øgede mængder Co₂. Dette har ikke mindst vist sig i ødelæggelse af koraller, idet korallerne er meget følsomme overfor ændringer i havtemperatur og vandets stigende surhedsgrad.

- Hyppigere forekomst af ekstreme vejrphænomener som tørke, hedeølger, skovbrande, oversvømmelser og orkaner.



Billeder som dette, er nærmest blevet ikoniske for den globale opvarmning i de sidste årtier.

På denne baggrund kunne IPCC, i deres femte og foreløbig sidste rapport fra 2013, konkludere følgende:

- 1) Opvarmningen af klimaet er ubestrideligt
- 2) Menneskets indflydelse på klimasystemet er tydelig
- 3) Fortsatte CO₂ udledninger vil forstærke klimaændringerne
- 4) Begrænsning af klimaændringer kræver en væsentlig reduktion i vores udledning af CO₂

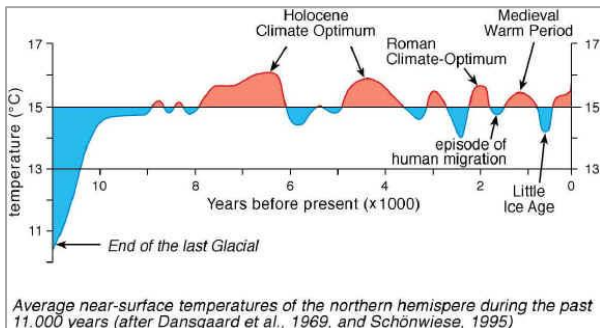
Skeptikernes relativering af data.

Ovenstående observationer er tydelige indikationer på, at klimaet bliver varmere. Men om det så kan tilskrives menneskets udslip af drivhusgasser, er en anden ting. Nogle vil mene, at de klimaændringer vi oplever nu, ligger inden for de naturlige klimavariationer, som man har beregnet siden afslutningen af den sidste istid for ca. 11.000 år siden. Se figur 7 s. 11.

Andre vil mene, at beviserne på den globale opvarmning er overvældende, og at sammenfaldet med atmosfærens stigende indhold af drivhusgasser nødvendigvis må pege på en menneskeskabt global opvarmning. Der er imidlertid flere ting i de

⁸ Kilde: <https://climate.nasa.gov/evidence/>

anførte data og observationer som kan problematiseres. Spørgsmålet er, om observationerne er entydige og nødvendigvis peger på en menneskeskabt global opvarmning?



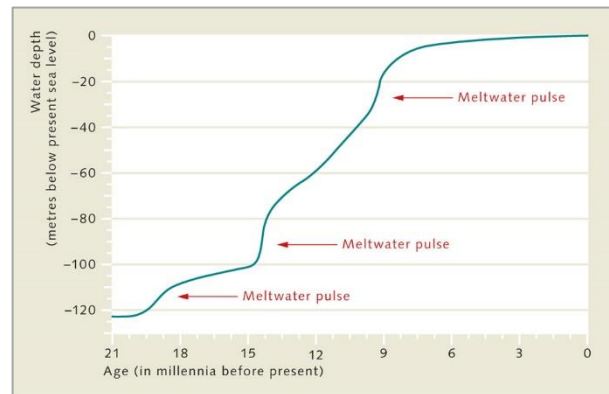
Figur 7: Variationer i den globale gennemsnitstemperatur siden sidste istid. De 15 °C på y-aksen er den globale gennemsnitstemperatur i referenceperioden (1961-90). Som det ses har der været kortere og længere perioder hvor det har været godt 1 ° varmere eller koldere. Her er ikke tale om nogen menneskelige påvirkninger af klimaet, men om naturlige klimavariationer.

Isafsmeltningen i de arktiske områder ses naturligvis som et tydeligt bevis på den globale opvarmning. Alene i årene 2000 til 2016 blev isafsmeltningen på Antarktis opgjort til ca. 1500 Gt, altså en enorm mængde is. Tallet bør dog sammenlignes med den samlede ismasse på Antarktis. Da de samlede ismasser anslås til 30 mio. km³, er der altså tale om en reduktion på kun 0,005 % af den samlede ismasse.

Hele spørgsmålet om isafsmeltningen er nok mere kompliceret end som så. I en artikel fra okt. 2015, kunne NASA oplyse, at tilvæksten af is på Antarktisk oversteg isafsmeltningen, og at der således ikke var tale om, at de samlede ismasser var faldende.

Når man fremhæver **havvandsstigningen** i det 20. århundrede som indikation på opvarmning, bør dette ses i sammenhæng med, at vandstanden har været stigende siden afslutningen af den sidste istid – se **figur 8**. Vandstanden er på 20.000 år steget med 120 m eller 0,6 cm årligt. En vandstandsstigning på 20 cm i det 20. årh., svarende til 0,2 cm årligt er således ikke i sig selv usædvanligt.⁹

En anden ting er, at man i årene 1998-2013 ikke kunne registrere nogen yderligere **opvarmning** af



Figur 8: Havvandsstigningen siden afslutningen af sidste istid.

atmosfæren – se figur 5, s.8. Man talte derfor om en **pause i den globale opvarmning**. NASA har forklaret denne 'pause' med, at opvarmningen blev opslugt af oceanerne hvor overskudsvarmen blev fordelt til dybere lag i oceanerne.¹⁰ At temperaturen igen stiger efter 2013, skyldes angiveligt, at man nu inkluderer temperaturstigningen i oceanerne. Af klimaskeptikerne blev pausen i opvarmningen set, som et tegn på at der slet ikke skete nogen global opvarmning i den periode.

Nogle forskere stiller sig også skeptisk overfor IPCC's konklusioner, og har blandt andet har fremhævet følgende kritikpunkter mod IPCC:

- IPCC er alene fokuseret på udledningen af drivhusgasser - især CO₂
- IPCC ignorerer andre faktorer (naturlige klimaforandringer, solaktivitet, oceanerne, havstrømme m.v....)
- IPCC giver ingen forklaring på temperaturstigningen i starten af det 20. årh. hvor CO₂ niveauet var betydeligt lavere eller pausen i opvarmningen fra 1940-70.
- IPCC underspiller den videnskabelige usikkerhed og overdriver den videnskabelige konsensus (enighed) i klimaforskningen.
- Klimaforskningen er blevet politiseret, dvs. et holdningsspørgsmål frem for faktabaseret naturvidenskab. Der er sket en polarisering af en offentlige debat mellem "de troende" og "de vantro".

⁹ <https://www.nasa.gov/feature/goddard/nasa-study-mass-gains-of-antarctic-ice-sheet-greater-than-losses>

¹⁰ <https://www.nasa.gov/feature/jpl/study-sheds-new-insights-into-global-warming-trends>

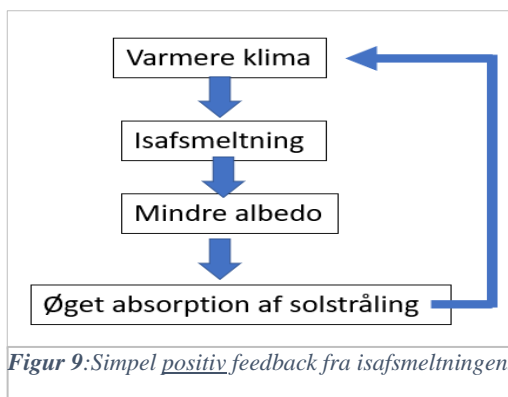
Feedback mekanismer

Man kan måske undre sig over, at en relativ beskedent temperaturstigning på knap én grad celsius over 150 år, kan give anledning til bekymring. Årsagen er imidlertid at klimasystemet indeholder en lang række feedback- eller tilbagekoblingsmekanismer, som kan forstærke virkningen af selv små ændringer i systemet.

Man taler om positive og negative feedback mekanismer. En positiv feedback betyder at processen – i dette tilfælde den globale opvarmning – forstærkes. Omvendt vil en negativ feedback mekanisme betyde at opvarmningen modvirkes.

I det følgende skal vi kort se på en række af disse feedbackmekanismer, som kan følge af en stigende global temperatur.

1. Isafsmeltningen i de arktiske områder, vil reducere albedoeffekten (den % del af sollyset som reflekteres). Hermed absorberes en større del af sollyset og omsættes dermed til varme i jordoverfladen. Dette vil øge jordens infrarøde varmestråling og føre til yderligere



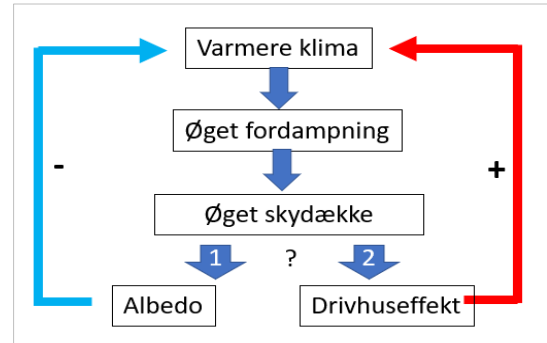
Figur 9: Simple positiv feedback fra isafsmeltningen.

isafsmeltning.

Denne effekt vil altså være selvforstærkende for opvarmningen og betegnes derfor som positiv feedback. Det er af samme grund, at man forventer at temperaturstigningerne vil være størst i de arktiske områder.

2. I et varmere klima vil der være en større fordampning, og dermed flere skyer. Men netop H₂O er en vigtig drivhusgas, og et øget skydække vil derfor forstærke den naturlige drivhuseffekt med yderligere opvarmning til følge. Altså en positiv feedback.

3. Men skyerne har samtidigt en albedoeffekt, som betyder at de reflekterer sollys, og således modvirker opvarmningen. Det sidste vil altså være en negativ feedback-mekanisme.



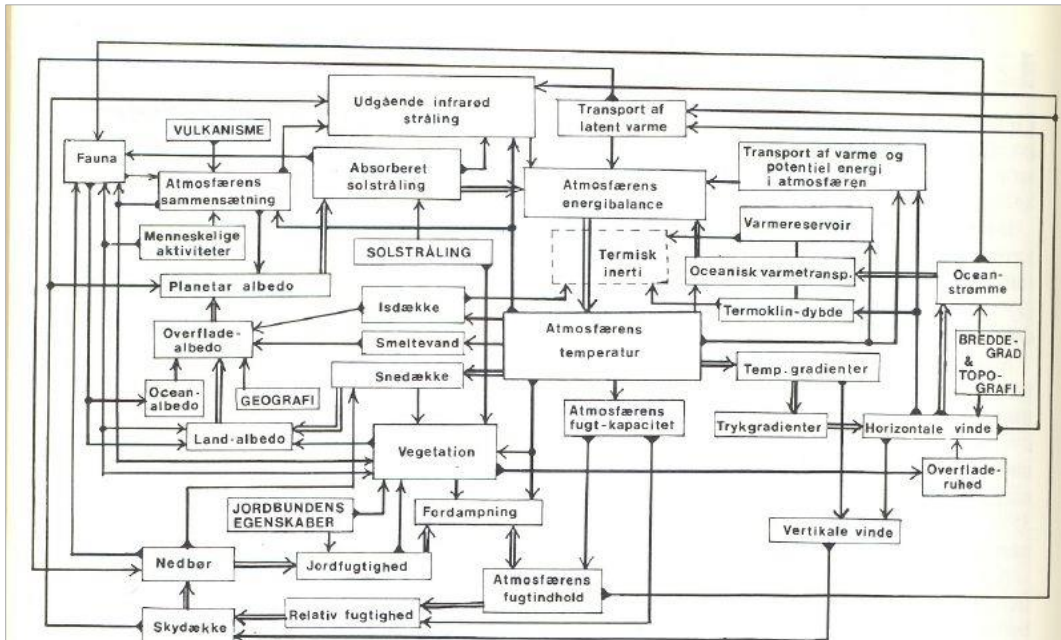
Figur 10: Eksempel på at skydækket har både positiv og negativ feedback.

4. I et varmere klima vil vækstperioden i de tempererede- og polare klimaområder blive forlænget. Den øgede plantevækst vil betyde mere fotosyntese og dermed optagelse af atmosfærens CO₂ indhold.
5. Når temperaturen stiger i oceanerne, vil deres evne til at optage CO₂ fra atmosfæren svækkes. Dermed øges CO₂ koncentrationen i atmosfæren med øget drivhuseffekt til følge.
6. Den øgede opvarmning i de arktiske områder, vil føre til optøning af permafrosten. Hermed igangsættes biokemiske nedbrydningsprocesser i jorden og i tidligere nedfrosne sumpområder, som vil frigive store mængder metan til atmosfæren, og således forstærke drivhuseffekten

Mens nogle af disse feedbackmekanismer vil forstærke opvarmningen, vil andre modvirke opvarmningen. Det kan derfor være uhyre vanskeligt at fastslå hvad den samlede effekt vil være.

uoverskuelige konsekvenser for klimasystemet. IPCC erkender dog, at man ikke kender det præcise niveau – altså den temperaturstigning - som vil udløse en sådan effekt, men fastslår blot at risikoen

stiger med højere temperaturer.¹¹



Figur 11: Model over feedback-mekanismer i klimasystemet. (Willy Dansgaard 1973). Klik for stort billede

Hertil kommer ændringer i havstrømme, lufttryk og vinde, som vist i højre side af figur 11. Disse mere dynamiske klimaelementer vil også påvirke det samlede klimasystem. Mens man godt kan beskrive og forklare vekselvirkningen mellem de enkelte klimakomponenter i figur 11, er det straks meget mere vanskeligt – om ikke umuligt – at forudsige, hvad den samlede effekt af alle disse relationer mellem klimakomponenterne vil være.

Det er formentlig også baggrunden for, at IPCC har sat som et mål, at man skal søge at holde den globale temperaturstigning under 2° C i det 21. århundrede. Forklaringen herpå kan måske findes i temperaturkurven for de sidste 400.000 år – se figur 6 s. 9. Her ses det, at temperaturerne i de sidste 400.000 aldrig har været mere end 1-2 ° varmere end i referenceperioden (1961-90). Det er formentlig derfor, at man taler om en temperaturstigning på over 2° C som et ”*tipping-point*” eller et ”*point of no return*”. Man frygter, at en højere temperaturstigning vil igangsætte irreversible eller uafvendelige feedbackmekanismer, som vil få store og

og ikke mindst Golfstrømmen.

Grønlandspumpen
Et af de mere spekulative eksempler omkring feedbackmekanismerne, er hypotesen om en ny istid, som følge af en global opvarmning!

Baggrunden er teorien om hvilke kræfter der driver oceanstrømmene –

Man taler her om en Grønlandspumpe, hvor *koldt og saltholdigt vand* i området ud for Grønland, synker til bunds på grund af det kolde salte vands høje densitet. Herved trækkes varmt overfladevand langt op på de højere breddegrader, og bidrager her til et relativt mildt klima.

Tanken er nu, at med opvarmning af havet, mindre isdannelse, øget afsmeltning af ferskvand fra Grønlands indlandsis, så vil havvandets densitet falde og Grønlandspumpen bringes til ophør. Hermed ophører varmetransporten fra de tropiske områder til Nordatlanten, og det kunne i værste fald føre til en ny istid på de nordlige breddegrader. Det er dette hypotetiske scenarie som blev voldsomt dramatiseret i katastrofefilmen ”*Day After Tomorrow*”.

¹¹ https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf s. 13

Konsekvenserne...

Ud fra almene klimatologi kan man opstille en lang række konsekvenser af en fortsat global opvarmning. I den sidste rapport fra FN's klimapanel (IPCC) fra 2014 konkluderer man da også, at vi allerede ser konsekvenserne af den globale opvarmning i dag.

Det er også klart, at mange af de ekstreme vejrfænomener som vi hører om i disse år, svarer til det man måtte forvente i et varmere klima. Det gælder fænomener som: tørke, skybrud og oversvømmelser, hyppigere og kraftige orkaner, havvandstigning, hedebølger, færre kolde vintre og varmere somre m.v. Eksempelvis vil fordampningen af vand være større i et varmere klima, luften kan indeholde mere vanddamp og nedbøren vil derfor også være større osv.

Helt overordnet vil de nuværende grænser mellem klima- og plantebælterne blive forskudt mod nord. Eksempelvis vil de tørre subtropiske områder i Nordafrika brede sig til Sydeuropa, den tempererede klimazone vil brede sig mod nord og den polare klimazone i nord vil blive stærkt formindsket.

Dette vil ikke bare ændre betingelserne for landbrugsproduktionen, men også for udbredelsen af det naturlige plante- og dyreliv. Nogle arter vil forsvinde og andre komme til. Med andre ord vil løvfældende skov og nåleskov brede sig længere mod nord end tilfældet er i dag. Det betyder også, at områder, som i dag ikke kan opdyrkes på grund af for lave temperaturer, vil kunne opdyrkes i fremtiden.

IPCC advarer dog om, at mange planter risikerer at uddø, da de ikke kan tilpasse sig de nye klimatiske forhold med den hastighed som klimaforandringerne menes at ville få. Man mener endvidere, at de mest udsatte økosystemer er koralrevene og de polare økosystemer. Selvom fødevarerproduktionen i nogle områder, vil have fordel af et varmere klima, finder IPCC, at en temperaturstigning på over 2° C, vil have en negativ betydning for den globale fødevarerproduktion og fiskeriet som helhed.

Flere steder i det sydlige Skandinavien – herunder Danmark – er vækstsæsonen allerede forøget med 30-40 dage siden 1980. Det er blandt andet forklaringen på, at man i dag kan dyrke vin og majs i Danmark. I fremtiden kan vi forvente at få et klima

der ligner det vi kender fra Frankrig, og hvor forskellen på årstiderne vil blive mindre udtalte.

Den globale opvarmning vil mest tydelig vise sig i de arktiske områder, hvor opvarmningen vil reducere sne- og isdækket og dermed starte en selvforstærkende proces (positiv feedback) som fører til yderligere opvarmning. Det er også derfor at man er særlig optaget af, at følge isafsmeltningen i de arktiske områder, som er en vigtig indikator på den globale opvarmning.

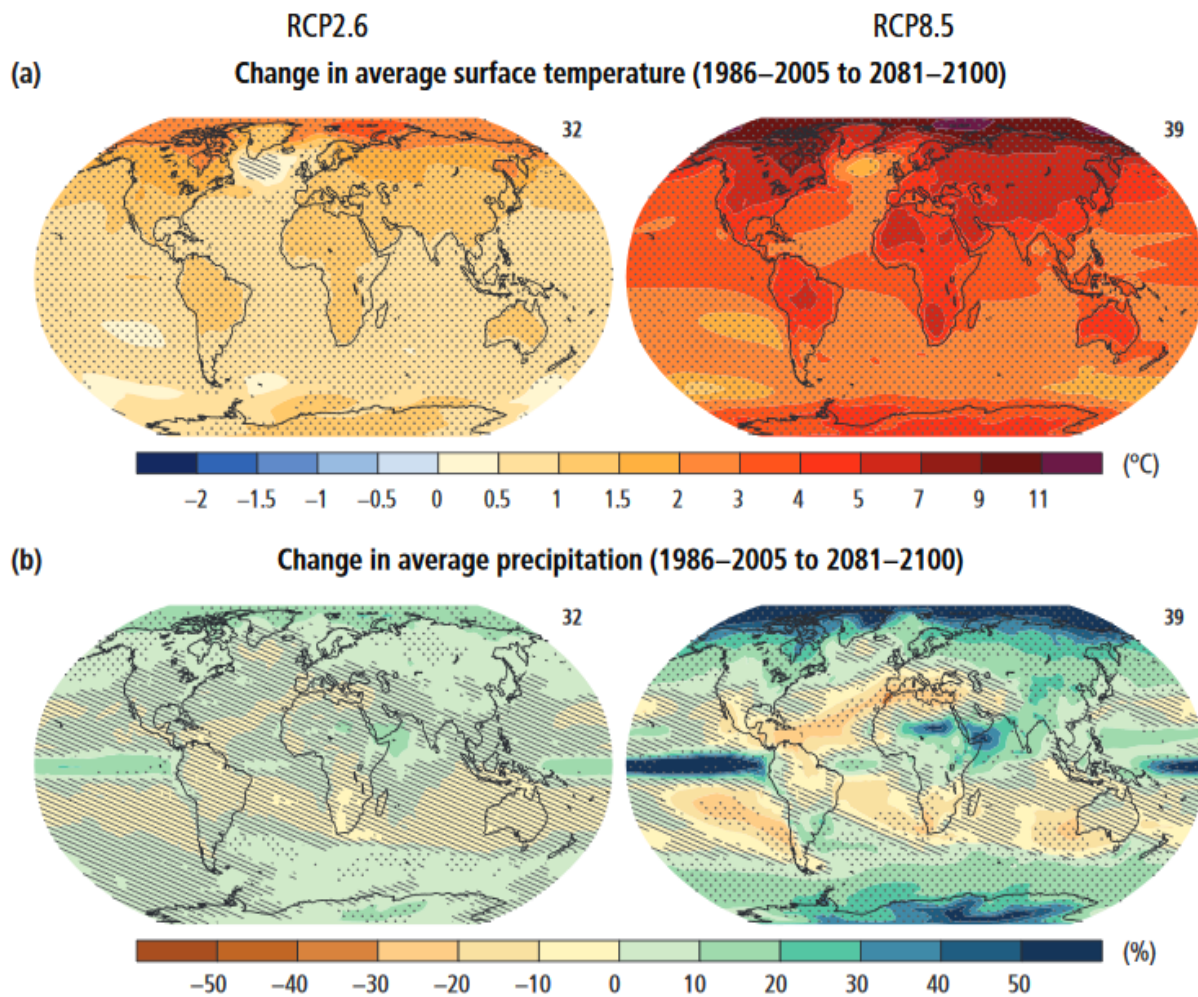
En af de alvorligste konsekvenser af den globale opvarmning, er den stigende vandstand i havene. IPCC anslår at vandstanden i slutningen af det 21. århundrede vil være et sted mellem 26 - 82 cm højere end i perioden 1986-2005. Vandstandsstigningerne følger dels af isafsmeltningen, men også på grund af at varmt vand udvider sig og således vil føre til stigning af havniveauet. Dette truer ikke mindst en lang række lavtliggende øer i Stillehavet, men også tæt befolkede kystområder rundt om i verden. Ikke mindst i Sydøstasien i lande som Philippinerne, Bangladesh m.v.

Langt større og mere katastrofale havvandsstigninger kan derimod ventes hvis f.eks. den Grønlandske indlandsis smelter helt bort. I så fald vil havniveauet kunne stige med op til 7 meter! IPCC mener at der er risiko herfor, hvis temperaturen stiger med 1-4°C over førindustrielt niveau.

Hvilke konsekvenser den globale opvarmning vil få i det 21. århundrede kan ikke siges med sikkerhed. Det afhænger jo for det første af hvor høje temperaturstigninger vi vil opleve. For det andet afhænger konsekvenserne af hvad vi gør for at *tilpasse* os nye klimabetingelser og for det tredje af, hvad vi gør for at *afbøde* en menneskeskabt global opvarmning.

Det sidste handler om at begrænse og reducere mennesket CO₂ udledninger.

IPCC vurderer, at atmosfærens CO₂ koncentrationen skal holdes under 450 ppm for at sikre, at temperaturen ikke stiger med mere end 2°C i det 21. årh. Dette vil dog kræve, at udledningen af de menneskeskabte drivhusgasser reduceres med 40-70 % i 2050 i forhold til 2010.



Figur 12: IPCC's scenarier for ændringer i temperatur og nedbør i slutningen af det 21. årh. i forhold til perioden 1986-2005. Der er tale om to forskellige modelberegninger, hvor man i **RCP2.6** forudsætter at udledningen af drivhusgasser kulminerer mellem 2010-20 og derefter falder. I **RCP 8.5** forudsættes det, at udledningen af drivhusgasser fortsætter med at stige op gennem det 21. årh. Bemærk at i begge scenarier vil temperaturstigningen blive størst i de arktiske områder. Dette skyldes den positive feedback fra isafsmeltningen.

RCP – står for Representative Concentration Pathways.

Kilde: IPCC: *Climate Change 2014 – Synthesis Report – Summary for Policymakers*, s. 12

Energiressourcer

Når man taler om en menneskeskabt global opvarmning, er årsagen hertil vores stigende forbrug af fossile brændsler, som er kilden til den øgede CO₂ udledning og dermed en forstærket drivhuseffekt.

Vi skal derfor i det følgende se nærmere på vores energiforbrug, og hvilke muligheder der er for at omlægge energiforbruget til vedvarende ikke fossile energikilder.

Fossile brændsler og industrialisering

Mennesket har altid anvendt jordens ressourcer, men forbruget har været stærkt begrænset dels af befolkningstallet og dels af den viden og teknologi, som man har haft til både udvinding og udnyttelsen af ressourcerne. Ressourceforbruget har desuden været koncentreret omkring de vedvarende ressourcer som vind, vand, planter og dyr.

Al energi kommer i sidste ende fra solen. Det er solen, der får vand til at fordampe, så der dannes nedbør, der kan anvendes til vandkraft i floder og vandløb. Det er også solens forskellige opvarmning af jorden, der danner højtryk og lavtryk og dermed skaber den vindkraft som kan udnyttes af vindmøller. Vores fødevarer er også omdannet solenergi, idet vores kulturplanter gennem fotosyntese omdanner lys, CO₂ og vand til stivelse og sukker. Fossile brændstoffer er dannet af organisk materiale for millioner af år siden og indeholder således oplagret solenergi i form af kulstof. Ved afbrænding omdannes kulstoffet til varme.

Med opfindelsen af dampmaskinen (1773) blev det muligt, for første gang nogensinde, at skabe mekanisk energi (bevægelse) på grundlag af varmeenergi fra afbrænding af kul. Dampmaskinen blev først brugt til at pumpe vand op af kulminerne og dernæst til at drive *maskinerne* i de engelske bomuldsfabrikker. I 1825 åbnede den første jernbane i England, hvor dampmaskinen blev brugt til at drive *lokomotivet*. I de kommende år bredte jernbanerne sig over den industrialiserede verden i Europa og USA. Med den samtidige udvikling af *dampskibene* var der sket en revolution af mennesket transportmuligheder til lands og til vands. Alt sammen drevet frem af energien fra afbrænding af kul.

Men dampmaskiner var store, klodsede og kostbare maskiner og udnyttede kun ca. 10-12 % af kullet energiindhold. Med udvikling af forbrændingsmotoren i sidste halvdel af 1800-tallet blev det muligt at lave små, billige og effektive kraftmaskiner, som kunne udbredes til alle dele af samfundet. Forbrændingsmotoren udnyttede gas eller benzin (fremstillet af olie) til at skabe bevægelsesenergi. Hermed var vejen skabt for de første biler, som begyndte at køre omkring år 1900.

Mens man havde kendt til elektricitet siden antikken, var det først i 1800-tallet, at man fandt ud af at skabe elektricitet ved hjælp af en dynamo. Hermed kunne bevægelsesenergi omdannes til elektricitet. I 1882 åbnede det første kulfyrede elektricitetsværk i New York og i 1891 i Danmark. Hermed kunne der nu leveres strøm til belysning i gader og hjem og til de nye små støvsuge og praktiske elektromotorer i værksteder og fabrikker.

Med dampmaskinen, forbrændingsmotoren, elektromotoren kunne mennesket nu udnytte de enorme mængder af solenergi, som lå opmagasineret i undergrundens fossile brændsler; kul, olie og gas. Hermed var en naturlig barriere overvundet, idet vi ikke længere var begrænset af de naturlige energikilder som vind, vand og muskelkraft.

Den industrielle revolution betød, at vi kunne anvende naturressourcer i et hidtil ukendt omfang og dermed forøge produktionen af varer og forbrugsgoder i et stadig større tempo end nogensinde tidligere.

Den teknologiske udvikling siden 1700-tallet blev fulgt af en naturvidenskabelig revolution, som øgede mennesket forståelse af de fysiske love, kemiske og biologiske processer som styrende naturen, og som mennesket i stigende grad kunne udnytte og kontrollere. Resultatet af hele denne udvikling er, at flere og flere mennesker i dag har en materiel levestandard, som det ville være umuligt at forstille sig for bare 100 år siden.

Energiforbruget eksploderer

Ikke mindst i sidste halvdel af det 20. århundrede skete der en sand eksplosion i verdens samlede energiforbrug, og ikke mindst i forbruget af fossile brændstoffer – se figur 13.

At energiforbruget stiger skyldes to ting: det stigende antal mennesker på jorden og en større økonomisk velstand. I 1960 var vi 3 mia. indbyggere på jorden, mens vi i dag (2017) er 7,6 mia. Frem mod år 2050 forventes verdensbefolkningen at stige til godt 9,6 mia. Hertil kommer, at vi siden slutningen af 1950'erne har oplevet en hidtil uset økonomisk og teknologisk udvikling, som har øget vores materielle velstand og dermed vores energiforbrug.

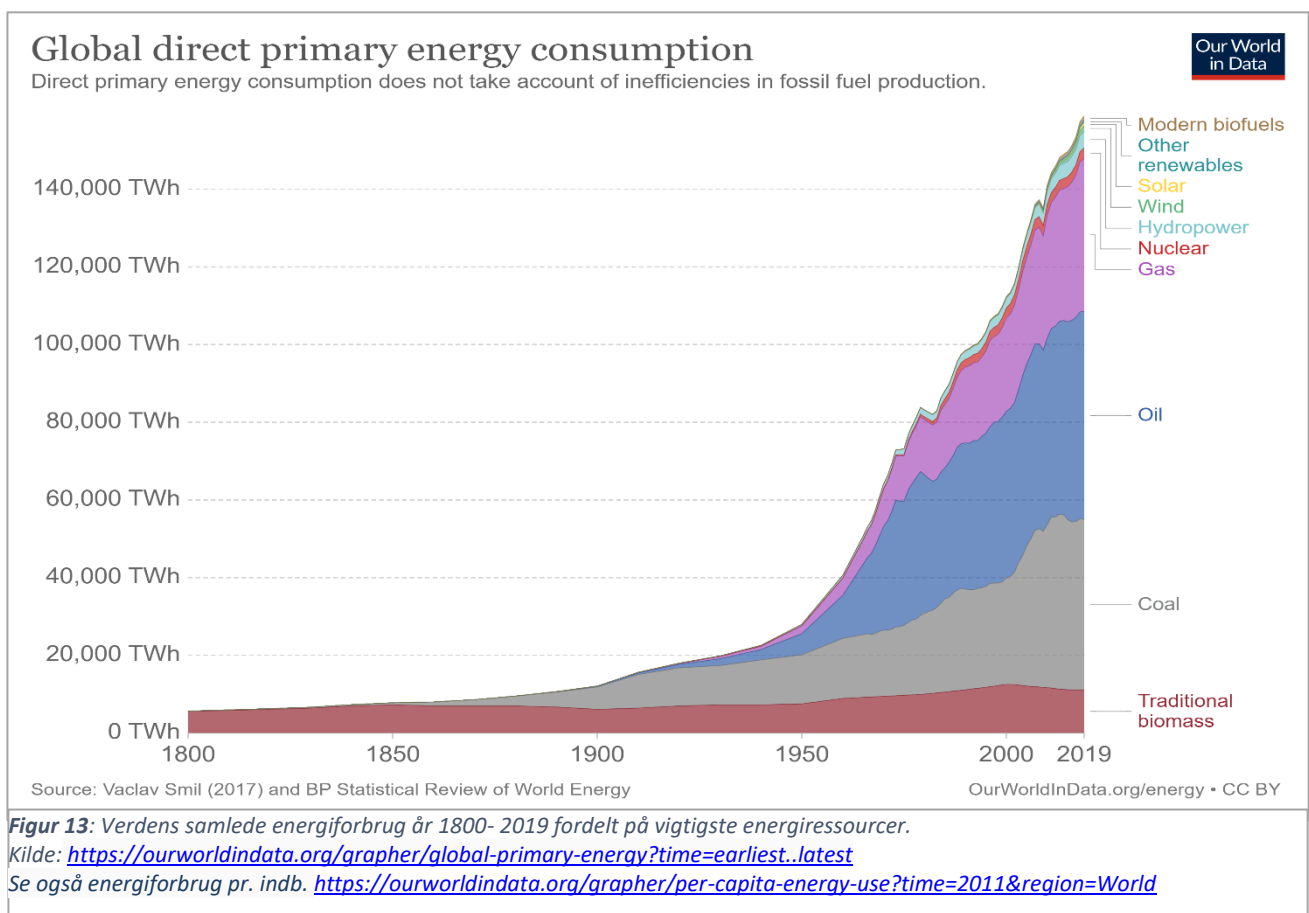
I den første halvdel af 1900-tallet var kullet det dominerende fossile brændsel og overgås først af

olien i løbet af 1960'erne. Siden 1980 er andelen af olie faldet en smule, mens en stigende del af energiforbruget kommer fra naturgassen.

| | Kul | Olie | Naturgas |
|------|-----|------|----------|
| 1900 | 96 | 3 | 1 |
| 1950 | 63 | 27 | 10 |
| 1960 | 50 | 36 | 14 |
| 1970 | 32 | 49 | 19 |
| 1980 | 30 | 49 | 21 |
| 1990 | 31 | 44 | 24 |
| 2000 | 29 | 44 | 26 |
| 2016 | 32 | 39 | 28 |

Tabel 2: Danmarks forbrug af fossile energikilder - fordelt på type i %.

Langt størstedelen af forbruget af fossile brændstoffer lå tidligere i de rige og industrialiserede lande i den vestlige verden (inkl. Japan). Endnu i 1965 tegnede OECD¹² landene sig for 70 % af ver-



¹² Organisation for Economic Co-operation and Development. Oprettet i 1960 med 20 vestlige lande og har senere fået yderligere 15 medlemslande.

dens samlede energiforbrug, mens de i 2016 tegnede sig for knap 42 %. Forklaringen er blandt andet en stagnerende befolkningstilvækst, faldende økonomisk vækst, en ændret erhvervsstruktur med færre energitunge virksomheder og udvikling af energibesparende teknologier.

Samtidigt er energiforbruget steget voldsomt i de nye vækstøkonomier i Asien ¹³, som i 2016 også stod for 42 % af det samlede energiforbrug i verden. Baggrunden herfor var ikke mindst den fortsatte høje økonomiske vækst i Kina. I 2016 tegnede Kina sig alene for 23 % af verdens samlede forbrug, mens USA stod for 17 % og EU for godt 12 %.

Ressourcer, priser og udnyttelse ...

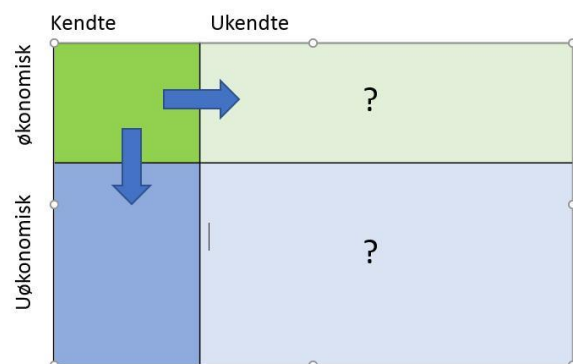
I 1972 udkom bogen ”Grænser for vækst”. Her slog forfatterne alarm og advarede om, at vores ressourceforbrug ikke kunne fortsætte som hidtil. Dels advarede man om de miljømæssige konsekvenser med en stigende forurening af vand og luft, men også om at ressourcerne var endelige – og derfor ville slippe op.

De fossile brændstoffer er selve drivkraften i det moderne industrielle samfund, men de er ikke vedvarende, i den forstand, at de ikke kan fornyes her og nu og derfor vil slippe op en skønne dag. Man har siden da ofte forsøgt at beregne, hvornår vi vil løbe tør for de fossile brændstoffer. Det er imidlertid vanskeligt at sige med sikkerhed. Dette skyldes ikke mindst at ressourcebegrebet er en dynamisk størrelse som vist i figur 14.

Indtil starten af 1970'erne var energipriserne generelt meget lave – og en tønde olie kostede ca. 4 US \$. Men med oliekrisen i 1973 steg oliepriserne fra den ene dag til den næste med 400 %. Endnu en olieprishok fulgte i 1979, som følge af krigen mellem Iran og Irak og revolutionen i Iran. Oliepriserne blev nu fordoblet fra ca. 16 US \$ til 32 US\$ pr tønde (målt i faste priser). ¹⁴

I takt med at oliepriserne steg op gennem 1970'erne, blev det samtidigt økonomisk fordelagtigt at udvinde oliereserver, som nok var kendte, men som det tidligere ikke havde kunnet betale sig at udvinde med de lave oliepriser.

Olieudvinding havde hidtil været koncentreret på landjorden, hvor det var lettest at komme til olien og dermed også billigst. Men med de stigende oliepriser udviklede man nye teknologier, som gjorde olieboring og udvinding muligt i områder, hvor det ikke tidligere havde været hverken teknisk muligt eller økonomisk rentabelt.



Figur 14 Ressourcemodel - mængden af energiressourcer er ikke statiske men dynamiske, idet de afhænger af omfanget af kendte ressourcer og hvorvidt det er økonomisk rentabelt at udnytte disse ressourcer.

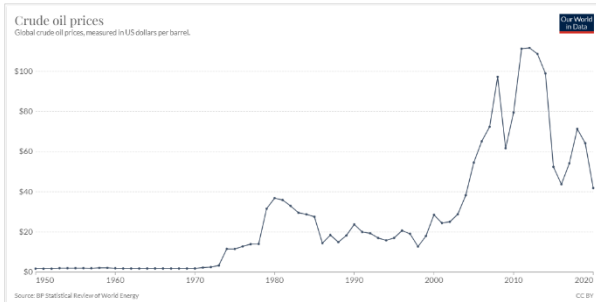
Det gjaldt f.eks. i Nordsøen. Her havde man længe vidst, at der måtte være olie og gas, men med de lave energipriser havde det ikke kunnet betale sig at udvinde disse ressourcer. I 1970'erne begyndte AP Møller olieudvindingen i den danske del af Nordsøen, og tyve år senere (1998) var Danmark blevet selvforsynende med olie.

I 00'erne har der igen været store udsving i oliepriserne som det ses af figur 25. Finanskrisen i 2008 blev fulgt af et boom i olieprisen som toppede på 116 US \$ i 2011, for herefter at styrtdykke til det nuværende niveau på ca. 43 US \$ pr. tønde.

¹³ Inklusive Australien og Japan – kilde: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

¹⁴ Se også <https://ourworldindata.org/grapher/crude-oil-prices>

Høje oliepriser er imidlertid godt for noget, nemlig udnyttelsen af de *vedvarende ikke-fossile energikilder*. Når oliepriserne stiger, bliver vedvarende energikilder som vind, vand og solenergi mere konkurrencedygtige. Dette er vigtigt af helt andre grunde, nemlig den øgede fokus på globalopvarmning pga. de fossile brændstoffer.



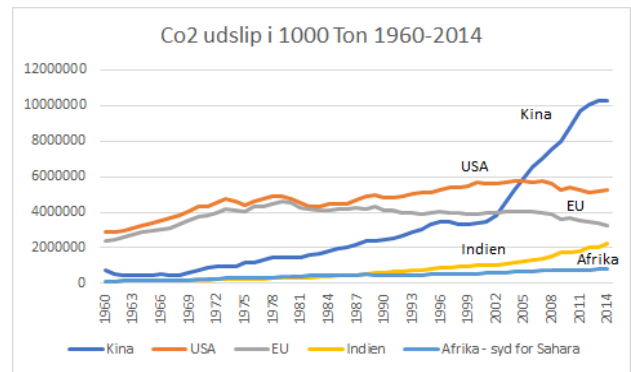
Figur 15 Oliepriserne i US \$ (2016) fra 1950-2020. Kilde: <https://ourworldindata.org/grapher/crude-oil-prices>

Energiforbrug og CO2

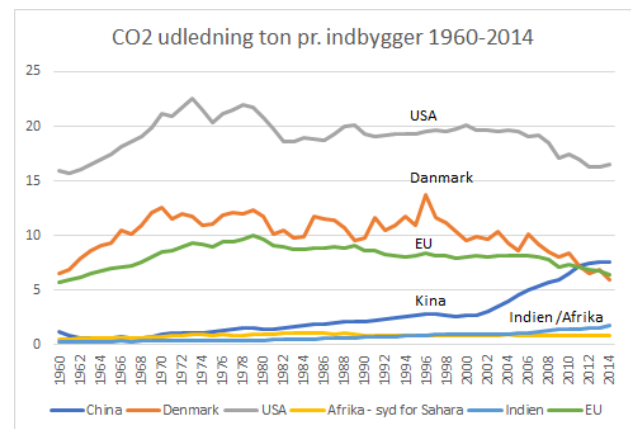
Med verdens stigende forbrug af fossile brændstoffer op gennem det 20. århundrede (se figur 13) er mennesket udledning af CO₂ til atmosfæren steget markant. I de sidste 400.000 år har atmosfærens CO₂ koncentration ikke været over 280-290 ppm, ifølge iskernemålingerne. Da direkte målinger begyndte i 1958, lå CO₂ koncentrationen på 310 ppm, men er siden steget markant og ligger i dag (2019) på ca. 415 ppm. Det er disse tal, der er baggrunden for den aktuelle frygt for en menneskeskabt global opvarmning.

Figur 16-17 viser CO₂ udledningen fra udvalgte lande / regioner i henholdsvis ton og ton pr. indbygger. Indtil 2006 var USA den største enkelt udleder af CO₂ målt i absolutte tal, men bliver herefter overhalet af Kina. Ser man på CO₂ udledningen pr. indbygger, er billedet noget anderledes. Her ligger USA fortsat i front med ca. 17 t / indbygger, mens Kina først omkring 2011 overgår EU og Danmark.

Generelt kan man sige, at der er en positiv korrelation mellem landenes økonomiske udviklingsniveau eller velstand og deres CO₂ udledningerne. Rige lande har et stort CO₂ udslip, mens de fattige lande (her Indien og Afrika syd for Sahara) har et langt lavere CO₂ udslip.

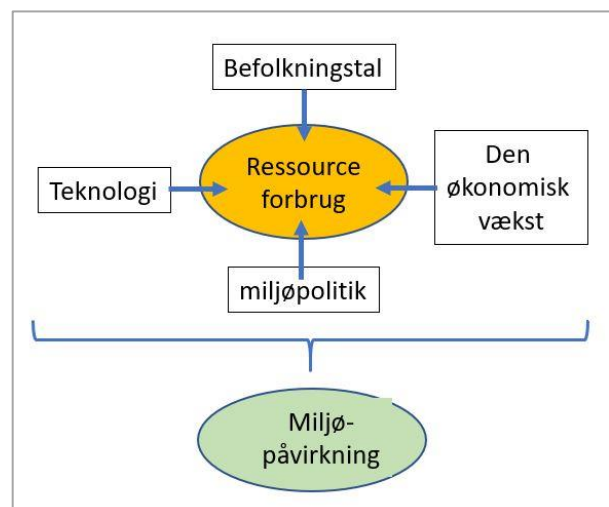


Figur 16 CO₂ udledning i ton - udvalgte lande / regioner 1960-2014. Kilde: Verdensbanken



Figur 17 CO₂ udledning pr. indbygger i ton, 1960-2014. Kilde: Verdensbanken

Men som det fremgår af figur 17, er der også markante forskelle mellem de rige lande. F.eks. er USA's Co₂ udledninger pr. indbygger mere end dobbelt så høj som i Danmark. Det skyldes ikke mindst forskelle i den førte energi- og klimapolitik.



Figur 18: Simple model over faktorer som påvirker vores ressourceforbrug og dermed miljøbelastningen

Energi- og klimapolitik

Endnu i starten af 1970'erne var der stort set ingen, som bekymrede sig om verdens stigende energiforbrug. Men det ændrede sig med ét da den første internationale oliekrise ramte i efteråret 1973. Fra den ene dag til den anden steg oliepriserne med 400 %, og 15 års økonomisk højkonjunktur blev med ét vendt til en international økonomisk krise med faldende vækst og stigende arbejdsløshed. Dette førte i sig selv til en opbremsning i energiforbruget og dermed CO₂ udledningerne.

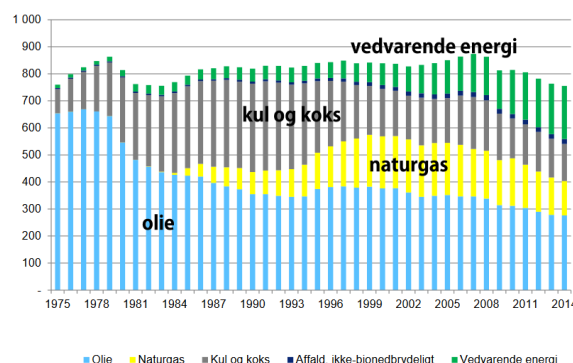
Men der kom tillige øget fokus på energipolitik som et nyt og selvstændigt politikområde. I Danmark handlede det i første omgang om øget *forsyningsikkerhed* med fossile brændstoffer. Det skete ikke mindst gennem øget efterforskning og udvinding af olie og gas i Nordsøen og dermed en mindre afhængighed af importeret olie fra Mellemøsten. Samtidigt udbyggede man forsyningsnettet for fjernvarme, dvs. den overskudsvarme som blev skabt på elværkerne, til afløsning af kulfyrede varmekærter.

Energibesparelser blev nu et vigtigt element i dansk energipolitik. I 1973/74 havde Danmark i en periode indført bilfrie søndage, og omfattende oplysningskampagner skulle lære danskerne at spare på energien, slukke for lyset og spare på opvarmningen. I 1979 fik Danmark et selvstændigt Energinisterium.

I 1980'erne bliver miljøspørgsmålet en del af den samlede energipolitik. Man ønskede at begrænse udslippet af svovl, kvælstof og CO₂ til atmosfæren. Mens man efter oliekrisen i 1973 havde diskuteret muligheden for at indføre atomkraft i Danmark, blev det endeligt afvist af et flertal i Folketinget i 1985. Samtidigt blev det besluttet at stoppe med opførelsen af flere kulfyrede kraftværker og i stedet satse på udbygningen af naturgasnettet, ligesom man begyndte at give tilskud til opsætning af vindmøller.

I 1990 fremlægger den danske regering verdens første handlingsplan for nedbringelse af CO₂ udledningerne. Målet var at sænke CO₂ udledningerne med 20 % inden 2005. Hertil blev der indført miljøafgifter på CO₂ og SO₂ udledninger og afgifter på erhvervslivets energiforbrug. I 1998 var Danmark for første gang selvforsynende med energi,

dels gennem olie og naturgas fra Nordsøen og dels med en stigende elproduktion fra vindmøller.



Figur 19: Sammensætning af Danmarks energiforbrug 1975-2014 opgjort i MJ. Kilde: <http://des-hjemmeside.dk/wp-content/uploads/2016/05/Dansk-energi-politik-i-40-%C3%A5r.pdf>

Som en del af energipolitikken gav staten tilskud til udvikling og anvendelse af forskellige former for vedvarende energi som vindkraft, solvarme og bio-brændsler, samt tilskud til forskellige former for energibesparelser. Det sidste gjaldt ikke mindst varmeisoleringen af boliger og kontorbygninger, og udskiftning af gamle vinduer med nye termovinduer. Hertil kom energiafgifter / grønne afgifter, som skulle tilskynde borgerne til at spare på energiforbruget.

Figur 19 viser udviklingen i Danmarks energiforbrug og sammensætning siden 1975. Bemærkelsesværdigt er det her, at Danmarks samlede energiforbrug stort set er konstant i hele perioden. Derimod ændres sammensætningen, idet olie og kul udgør en mindre del, mens andelen af naturgas og vedvarende energi er stigende. I 2015 fik Danmark 30 % af det samlede energiforbrug fra vedvarende energikilder, mens mere end 40 % af elproduktionen kom fra vindkraften. Mens Danmarks udledning af CO₂ var stigende frem til 1970 og herefter lå på ca. 11-12 ton pr. indbygger indtil slutningen af 1990'erne, er det siden lykkedes at reducere udslippet til kun 6 ton pr. indbygger.

Målet for dansk energi- og klimapolitik er, at Danmarks energiforsyning i 2050 skal være helt fri for fossile brændstoffer. Det kræver således en udbygning af brugen af vedvarende energikilder. Desuden har det danske Folketing vedtaget en Klimalov i dec. 2019, som kræver, at vores udledning af drivhusgasser skal reduceres med 70% i 2030 i forhold til år 1990.

Vedvarende energi

Vedvarende eller alternative energikilder er de energikilder, som er fornyelige eller som gendannes hele tiden. Det gælder først og fremmest solvarme, vind, vandkraft og bølgekraft, solceller, bioenergi og geotermisk energi. I modsætning til de fossile brændsler, som på et tidspunkt vil være opbrugte, er disse energiformer vedvarende, om end ikke altid tilgængelige – hvis f.eks. det er overskyet, vindstille osv.

Omlægningen af vores energiforsyning fra fossile brændstoffer til vedvarende energikilder er motiveret af flere hensyn.

For det første ønsker mange lande at gøre sig mindre afhængig af importeret olie fra Mellemøsten, en region som gennem de sidste årtier har været præget af store og voldsomme konflikter, hvilket har skadet forsyningssikkerheden fra dette område.

For det andet har de sidste års voldsomme udsving i oliepriserne gjort investeringer i nye olieudvindingsprojekter usikre. Hertil kommer at udnyttelse af nye olieresourcer, på havet eller i de arktiske områder, er kostbare og forbundet med større miljørisici end olieudvindingen i de traditionelle olie-kilder på land.

For det tredje er det klart, at vi i fremtiden må og skal finde alternativer til de fossile brændstoffer, da disse simpelthen ophører – før eller siden. Endelig er en omlægning til vedvarende energi dikteret af nødvendigheden af at reducere udslippet af CO₂ og dermed forsøge at bremse den globale opvarmning.

Vindkraft

I vindmøller omsættes vindens kinetiske (bevægelses-) energi til elektrisk energi i form af strøm. Op gennem 1980-90'erne blev det danske selskab Vestas førende inden for udviklingen af vindmøller. Placeringen af landbaserede vindmøller har dog været fulgt af stigende modstand fra lokale beboere, og i de sidste 10-15 år har man i stigende grad satset på etablering af store havvindmølleparker. Dels er vindhastigheden større over havet, og dels er møllerne til mindre gene for mennesker. Til gengæld er anlægsudgifterne langt større på havet end på landjorden.

Vandkraft

I vandkraftværker udnyttes tyngdekraften ved at opdæmme vand bag en dæmning, hvorved vandets tryk – eller potentielle energi - vil øges. Herefter ledes vandet gennem nogle rør til en turbine forbundet med en generator, hvor vandets potentielle energi omdannes til kinetisk energi (bevægelses-) og endelig til elektrisk energi. Vandkraftværker forudsætter floder med en vis vandføring. Kendte vandkraftværker er blandt andet Aswan-dæmningen i Egypten og den gigantiske ”*De Tre Slugters Dæmning*” (Tree Gorges Damm) på Yangtze-floden i Kina. Dæmningen blev bygget i 1990'erne og har en længde på knap to kilometer og en højde på 185 m.

Solenergi

Solfangere bruges til at opvarme vand, som herefter kan anvendes som brugsvand i boligen. Solfangere er i sagens natur afhængige af antallet af solskinstimer. I Danmark kan man ikke dække behovet for varmt brugsvand alene med solfangere, mens det ofte er tilfældet i Middelhavsområdet. Et problem ved solfangere og solvarmeanlæg er, at man mangler en effektiv måde at oplagre energien (varmen) til brug, når solen ikke skinner.

En anden måde at udnytte solstrålingen på er gennem *solceller*. Her omdannes solens strålingsenergi – gennem en ret kompliceret proces - til elektrisk strøm. Solceller var tidligere ret kostbare at installere, men i takt med produktionen heraf øges, ikke mindst i Kina, er priserne faldet markant. Solceller kræver dog ret store overfladearealer for at producere tilstrækkeligt strøm. Mange steder bruges solceller i dag til at producere elektricitet til vejskilte, togsignaler o. lign.

Bioenergi

Udnyttelse af biomasse til energiproduktion sker almindeligvis på tre forskellige måder; som biogas, biodiesel eller bioethanol.

Biogas fremstilles ved at organisk husholdsaffald eller gylle og møg fra husdyrproduktionen anbringes i forrådnelsestanke, hvor materialet omdannes

til biogas (metangas), som herefter kan afbrændes for at skabe varme eller elektricitet.

Biodiesel kan anvendes som brændstof i biler og produceres ud fra olieholdige planter, som f.eks. raps. Produktionen af raps kræver dog en del gødning, men til gengæld er afbrændingen af biodiesel CO₂ neutral.

Bioethanol fremstilles ved gæring af forskellige planter. I den såkaldte 1. generations-bioethanol anvendes sukkerrør som f.eks. i Brasilien, mens man i USA anvender majs. Problemet herved er dog, at man reelt set anvender fødevarer til energi-produktion, hvilket kan synes uetisk i en verden, hvor millioner af mennesker sulter.

I Danmark satser man på at udvikle 2. generations-bioethanol, hvor man i stedet for fødevarer anvender organiske affaldsprodukter som halm, papir og træflis til fremstilling af bioethanol. Fordelen er her, at man både kan løse et affaldsproblem og samtidigt skabe et bæredygtigt brændstof. Danmark er i dag førende i fremstillingen af 2. generations-bioethanol. Det sker blandt andet på DONG's (Ørstedes) nye biobrændselsanlæg Inbicon i Kalundborg. Anlægget kan sluge 4 tons halm i timen og forventes at kunne producere 5,4 mio. liter bioethanol om året.

Geotermisk energi

Geotermisk energi udnytter varmen fra jordens indre. Almindeligvis stiger temperaturen med ca. 3 °C pr. 100 m under jorden. I 2,5 km dybde vil man derfor vinde vand med temperaturer på 70-80° C. Det er dog bekosteligt at bore så dybt, og derfor anvendes geotermisk energi hovedsageligt i områder, hvor der er vulkansk aktivitet. Det gælder f.eks. på Island, som reelt er en stor vulkanø, og hvor vandet er kogende kun få meter under jordoverfladen.

Er vedvarende energi et reelt alternativ?

Der er rigtig mange gode argumenter for at udskifte vores fossile energikilder med miljø- og klimavenlige vedvarende energikilder. Men spørgsmålet er, hvorvidt dette er teknisk, praktisk og økonomisk muligt, hvis vi samtidigt skal opretholde vores nuværende levestandard?

Diskussion herom er ligeså modsætningsfuld som den tidligere debat om, hvorvidt klimaændringer er menneskeskabte eller ej. Nogle af synspunkterne skal kort præsenteres her, mens svarene herpå må indtil videre – blæse i vinden.

Skeptikerne:

- Sol- og vindenergi er sporadiske energikilder, som afhænger af vind og vejr.
- Der er endnu ikke fundet praktiske løsninger på oplagring af store mængder af energi fra sol og vind.
- Store centrale solcelleanlæg – f.eks. i Spanien, Sahara, Mellemøsten m.v., vil kræve tusindekilometer lange transmissionsnet, med efterfølgende energitab.
- Sol – og vindanlæg er pladskrævende
- Energipriserne på sol, vind mv. er dyre og kan ikke konkurrere med energipriserne fra fossile brændsler
- Verdens fremtidige energibehov vil stige, pga. befolkningstilvæksten og ønsket om fattigdomsbekæmpelse. Behovet kan ikke dækkes af vedvarende energikilder.
- Trods de enorme investeringer i vedvarende energi dækkede disse kilder kun 4 % af verdens energiforbrug i 2016.
- Energieffektiviteten ved brug af fossile brændsler er stadig stigende – eksempelvis kører bilerne i dag meget længere på en liter benzin end tidligere og forurener langt mindre.

Tilhængerne:

- Skal den globale opvarmning holdes under 2° C ("The tipping point") i det 21. århundrede, er det nødvendigt at afvikle brugen af fossile brændsler hurtigst muligt
- Med den rette kombination af vedvarende energikilder (sol, vind, vand, biobrændsler m.v.) og nye smarte teknologier kan vores energibehov dækkes uden fossile brændsler

- Priserne på vedvarende energi har været stærkt faldende i de sidste årtier. F.eks. er prisen på solceller halveret siden 2008.
- Energibesparende teknologier udvikles stadig hurtigere og billigere – tænk f.eks. på el-bilen, som for få år siden var dømt ud.
- Priserne på fossile brændstoffer medregner ikke de miljø- og klimamæssige omkostninger, som brugen af disse medfører.
- Det samlede energiforbrug vil ikke nødvendigvis stige, men derimod falde som følge af øget energieffektivitet og smarte teknologier.
- Ikke kun energiforbruget, men også vores generelt høje ressourceforbrug er ikke kun en trussel mod klimaet, vand og luftkvaliteten, men også mod jordens økosystemer og dermed dyre og plantelivet. Vi skal derfor reducere vores samlede energi og ressourceforbrug.

Afsluttende bemærkninger.

Vi har i det foregående set, hvordan klimaet har ændret sig igennem tiderne, og berørt de naturlige forklaringer, man har givet herpå. Det er ubestrideligt, at klimaet fortsat ændrer sig, og det er den almindelige opfattelse, at menneskets udledning af drivhusgasser – ikke mindst CO₂ - bidrager til at forstærke den globale opvarmning.

Konsekvenserne af denne opvarmning er dog mere usikre. En række konsekvenser kan umiddelbart uddrages af den almindelige klimatologi – f.eks. varme vejr - >mindre isdække, mere nedbør nogle steder og mere tørke andre steder, forskydning af klima- og plantebælter m.v.

Når IPCC har sat en grænseværdi på temperaturstigningen i det 21. århundrede på maksimalt + 2° C, skyldes det først og fremmest klimasystemets kaotiske natur. Man frygter med rette, at en yderligere temperaturstigning vil kunne igangsætte en lang række komplicerede feedbackmekanismer, som vil accelerere klimaændringerne med store og uforudsigelige konsekvenser og dermed gøre en tilpasning vanskeligere.

Forskningen i jordens klimasystem og klimaændringer i fortiden er en relativ ny videnskabelig disciplin. Mange vil derfor også hævde, at der endnu er store huller i vores forståelse heraf, ikke mindst spillet mellem oceanerne og atmosfæren for ikke at nævne variationer i solaktiviteten og den kosmiske stråling, som af samme grund helt er udeladt i denne fremstilling.

Indikationerne på klimaforandringer er mange og korrelationen med CO₂ koncentrationen i atmosfæren påfaldende. Men nogle vil mene, at det netop kun er indikationer og korrelation, og derfor ikke nødvendigvis er beviser på en menneskelig påvirkning af klimaet.

Andre vil hævde, at klimadebatten er ovre – beviserne stilling er indiskutable og uafviselige – og, at menneskeheden lige nu befinder sig på en skæbnesvanger kollisionskurs med naturen og klimaet. Klimaspørgsmålet er ikke længere kun et naturvidenskabeligt spørgsmål, men er et moralsk og etisk spørgsmål, som ikke kun berører os, her og nu, men hele menneskeheden og ikke mindst de fremtidige generationer. Klimaudfordringen bliver således til et personligt ansvar om den rette bæredygtige livsstil, men også til en kritik af den vestlige civilisation og den materielle livsstil.

Globale klimaaftaler kommer næppe til at ændre noget ved klimaet, men vil om ikke andet, forpligte politikkerne på at fremme energibesparelser og vedvarende energiformer. Der er mange gode grunde til at afvikle brugen af de fossile brændstoffer. Om denne omstilling så skal ske gennem politiske indgreb, lovgivning, forbud og påbud er så i sidste ende et politisk spørgsmål.

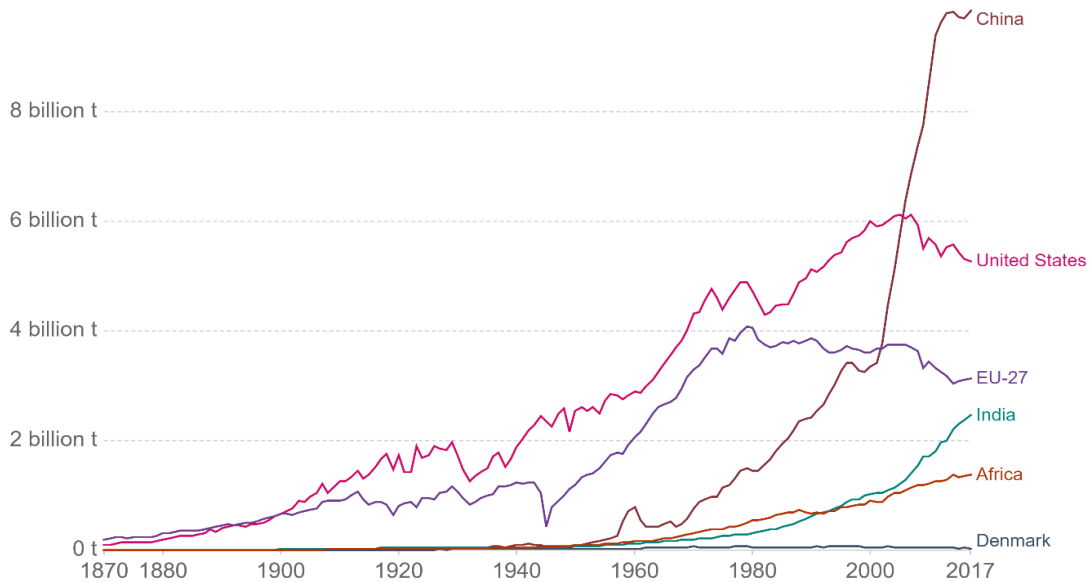
Man kan også håbe på, at omstillingen til vedvarende energi vil blive fremmet af markedet, i takt med at vedvarende energi bliver konkurrencedygtigt med de fossile brændsler. Om vi så vil opleve, at klimaet lader sig justere ligesom radiatoren i stuen er så et andet spørgsmål, som kun fremtiden vil vise.

○ 0 -

Data for Co2 udledning

Annual CO₂ emissions

Carbon dioxide (CO₂) emissions from the burning of fossil fuels for energy and cement production. Land use change is not included.



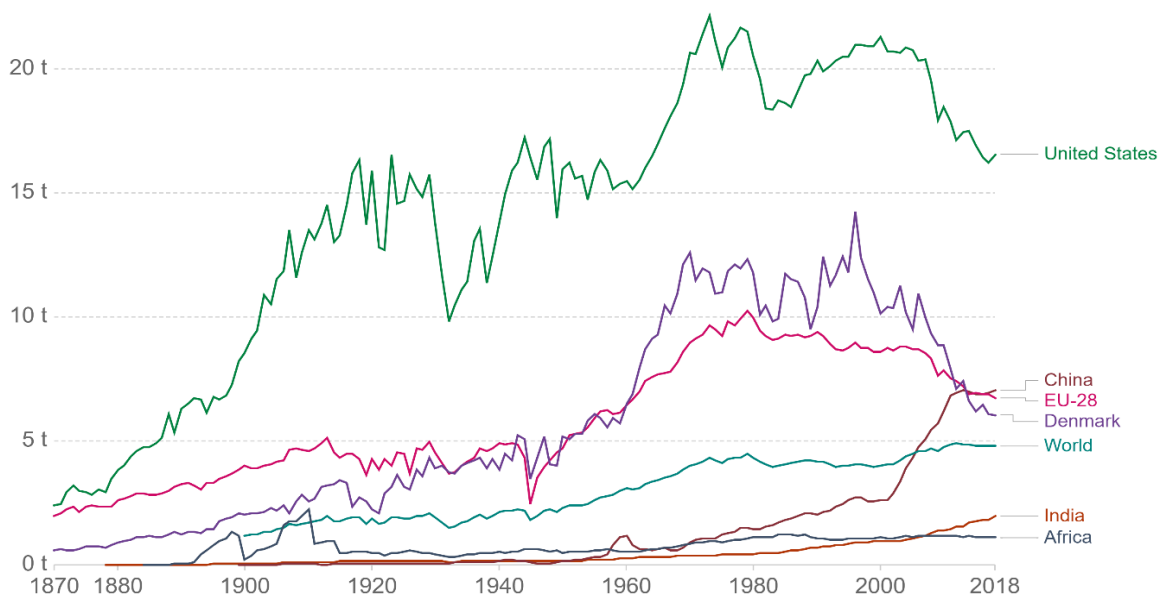
Source: Global Carbon Project; Carbon Dioxide Information Analysis Centre (CDIAC)
 Note: CO₂ emissions are measured on a production basis, meaning they do not correct for emissions embedded in traded goods.
 OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

Figur 20: Samlede årlige Co2 udledninger i mia. ton fra udvalgte lande 1870-2017

Kilde: https://ourworldindata.org/grapher/annual-co2-emissions-per-country?time=2016&country=~OWID_WRL®ion=World

Per capita CO₂ emissions

Carbon dioxide (CO₂) emissions from the burning of fossil fuels for energy and cement production. Land use change is not included.



Source: OWID based on CDIAC; Global Carbon Project; Gapminder & UN
 Note: CO₂ emissions are measured on a production basis, meaning they do not correct for emissions embedded in traded goods.
 OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions/ • CC BY

Figur 21 Årlige Co2 udledninger i ton pr. indbygger for udvalgte lande.

Kilde: <https://ourworldindata.org/grapher/co-emissions-per-capita?stackMode=absolute&time=2018®ion=World>