

Klimaendringer – nytt grunnkurs 2021

Hans Martin Seip

Professor emeritus, Kjemisk institutt, UiO; tidligere også ansatt ved CICERO Senter for klimaforskning. Mangeårig medlem av Besteforeldrenes klimaaksjon.

1. Bakgrunn for klimakrisen.

Siden førindustriell tid har den globale temperaturen steget med omtrent 1,1°C. Utslippene av klimagasser øker fortsatt.

Det er et mål å begrense global temperaturstigning til godt under 2°C, helst bør den ikke overstige 1,5°C. Planlagt produksjon av fossilt brensel vil gi en langt større global temperaturstigning. Norge, som har tjent så mye på olje og gass, burde føle et spesielt ansvar, men i praksis ser vi lite til dette. Det finnes lyspunkter, spesielt der raske prisfallet på fornybar energi. At USA igjen slutter seg til Paris-avtalen, er også svært positivt.

En snakker ikke lenger om klimaendringer, men **klimakrise**. På engelsk benyttes ofte «climate emergency», altså nødsituasjon.

Et par sitater fra ledere i det kjente tidsskriftet Nature illustrerer betydningen av å begrense klimaendringene:

- Den beste politiske løsningen synes å være å underordne all annen politikk – nasjonal og internasjonal – målet om å stabilisere jordas klima. (27 sept., 2018)
- Å redusere karbonutslippene betyr å ta smertefulle avgjørelser: stoppe nye investeringer i leting etter og produksjon av fossilt brensel, og så stenge eksisterende anlegg. Det vil ikke bli lett, men det må sies. (26 april 2018)
-utviklingsland – inkludert Kina og India – som er plaget av luftforurensninger i mange byområder, har begynt å se ren energi i sammenheng med helse og luftkvalitet. Klimapolitikk og bærekraftig utvikling som fremmer ren, lav-karbon energi, går hånd i hånd. (26 april 2018)¹

I sin nyttårstale 2019 sa Angela Merkel:

Det vil være våre barn og barnebarn som må leve med konsekvensene av det vi gjør eller avstår fra å gjøre i dag. Derfor bruker jeg all min styrke for å sikre at Tyskland yter sitt bidrag - økologisk, økonomisk, sosialt - for å få klimaendringer under kontroll.

I rapporten fra World Economic Forum «The Global Risk Report, 2020», kom for første gang miljøproblemer som svikt i bekjempelse av klimaendringer og ekstremvær øverst på lista. I utgaven for 2021 var riktignok infeksjonssykdommer angitt å ha størst virkning, men miljø- og klimaproblemer kom høyt både når det gjaldt virkninger og særlig sannsynlighet.² Verdens meteorologiske organisasjon kom tidlig i 2020 med rapporten *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2019*³. En foreløpig rapport for 2020 kom i januar 2021.⁴

¹ Siste kulepunkt er tatt med mest fordi jeg selv har arbeidet mye med dette, se f. eks. *Climate Change and Air Quality— Measures with Co-Benefits in CHINA*, Environmental Science & Technology. August 15, 2006

² World Economic Forum. The Global Risk Report 2020, 2021.

http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risk_Report_2020.pdf

[The Global Risks Report 2021 | World Economic Forum \(weforum.org\)](https://www.weforum.org/publications/the-global-risks-report-2021)

³ https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10211

⁴ State of the Global Climate 2020 PROVISIONAL REPORT [doc_num.php \(wmo.int\)](https://www.wmo.int/publications/state-of-the-global-climate-2020-provisional-report)

Temaet for dette notatet er stort. Vi skal se på

- Drivhuseffekten – hva er det?
- Utslipp av klimagasser og konsentrasjoner
- Temperaturutviklingen hittil. Hvilke virkninger ser vi?
- Hvordan blir utviklingen videre – mulige fremtidige virkninger
- Tiltak for å redusere utslipp
- Litt om norske forhold
- Lite om
 - Tilpassing til klimaendringer
 - Geoengineering (partikler i atmosfæren, jern i havet)
 - Befolkningsvekst

2. Litt historikk

Den første som benyttet ordet «*drivhuseffekten*» omtrent i den betydning vi skal anvende det, var franskmannen Fourier i artikler i 1820-årene. Han hadde neppe noen stor forståelse av fenomenet, og navnet er noe misvisende. I et vanlig drivhus er det mest endret luftsirkulasjon som betyr noe, og det er det ikke i fenomenet vi skal diskutere. En slik forståelse hadde imidlertid den svenske kjemikeren Svante Arrhenius. Han publiserte i 1896 en grundig artikkel der han beregnet at en dobling av CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren ville øke den globale temperaturen med 5 – 6°C.⁵ I en senere publikasjon justerte han verdien til 4°C. Inntil nylig har det vært vanlig å angi 1,5 – 4,5°C. En grundig undersøkelse fra 2020 fant at verdien var 2,6 – 3,9 °C (66% sannsynlighet); 2,3 – 4,7 °C (90% sannsynlighet)⁶. Noen av siste generasjon klimamodeller (CMIP6) gir imidlertid verdier opp mot 6 grader, så den øvre grensen må fortsatt anses som noe usikker⁷. Økningen i global temperatur ved en dobling av CO₂-konsentrasjonen, når det er oppnådd likevekt, omtales som klimafølsomheten (climate sensitivity).

Drivhuseffekten er et naturlig fenomen. Uten den ville jorda vært omtrent 33 grader kaldere. Når vi snakker om drivhuseffekten, mener vi imidlertid ofte den *økte effekten* på grunn av menneskenes påvirkning av atmosfærens sammensetning.

FNs klimapanel, The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), ble opprettet i 1988 og har 195 medlemmer. Det utgir vurderingsrapporter (Assessment Reports) vanligvis med 5 – 6 års mellomrom. Disse vurderer forskningen på området; IPCC driver ikke selv forskning. Den femte og foreløpig siste vurderingsrapporten består av tre delrapporter fra ulike arbeidsgrupper og oppsummeringsrapporter. Den kom i 2013 og 2014. En del stoff i dette kapittelet er fra disse, men sjekket mot senere publikasjoner. Neste vurderingsrapport er ventet i 2021. IPCC gir imidlertid også ut andre viktige rapporter. Spesielt viktig for oss er rapporten *Global Warming of 1.5 °C* fra 2018 der det særlig ses på forskjeller i virkninger av oppvarming på 1,5°C og 2°C. To andre rapporter IPCC - *SROCC The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* og *IPCC Climate Change and Land* kom i

⁵ Arrhenius, S., 1896. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *Philosophical Magazine*, 41, 251, 237-77.

⁶ S. Sherwood et al. 2020. An assessment of Earth's climate sensitivity using multiple lines of evidence. *Rev. Geophysics*.

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2019RG000678>

⁷ Zelinka et al., 2020, Causes of higher climate sensitivity in CMIP6 models, *Geophysical Research Letters*, <https://doi.org/10.1029/2019GL085782>

Se også Seip, 2020, Hvor redd skal vi være CO2? <https://www.besteforeldreaksjonen.no/2020/02/hvor-redd-skal-vi-vaere-co2/>

2019. Disse rapportene vil senere bli referert til som IPCC (2018), IPCC (2019a) og IPCC (2019b). Denne oversikten er i betydelig grad basert på disse rapportene.⁸

3. Drivhuseffekten

Drivhuseffekten oppstår fordi kortbølget stråling fra sola i stor grad når inn til jordoverflaten som blir varmet opp. Jorda sender da ut langbølget stråling (varmestråling). En del av denne absorberes av gasser i atmosfæren, og disse sender så ut stråling. Noe av denne sendes tilbake til jorda. Som vist i Fig. 1 er bildet noe mer komplisert enn beskrevet her.

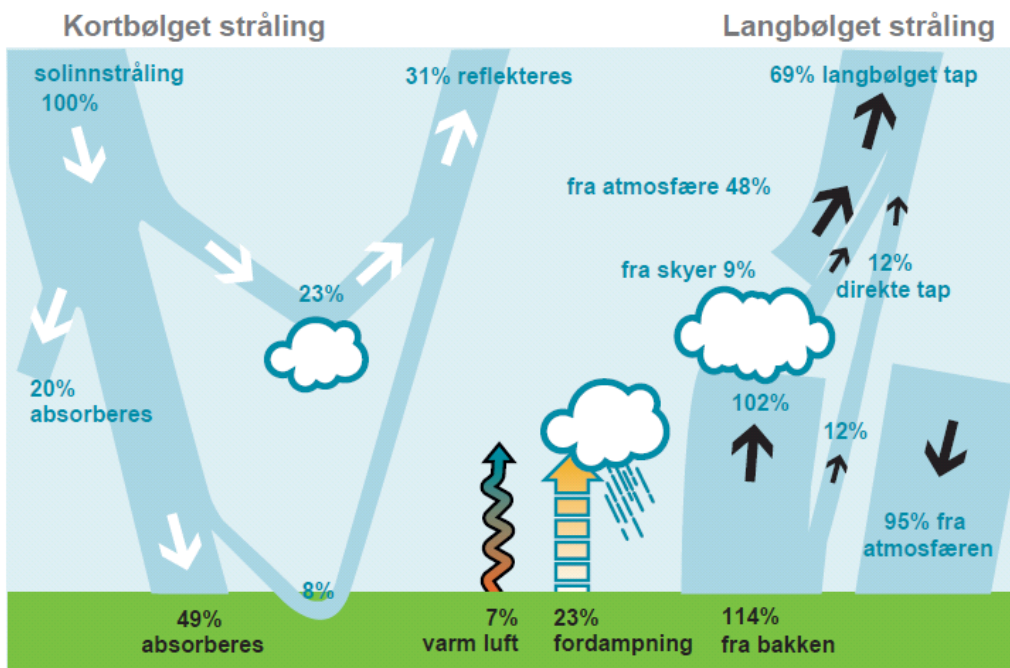


Fig. 1. Jordas energibalanse. Solinnstrålingen (satt til 100%) er omtrent 340 W/m^2 . På figuren kan det se ut som energien inn og ut øverst i atmosfæren er den samme, men i virkeligheten er det nå en liten ubalanse. Det kommer omtrent $0,9 \text{ W/m}^2$ mer inn enn det går ut. Dette fører til temperaturstigning.

Vanndamp og skyer bidrar mest til drivhuseffekten. Disse påvirkes bare indirekte av mennesker. Vanndampkonsentrasjonen innstiller seg hovedsakelig etter temperaturen. Når temperaturen øker, kan luften ta opp mer vanndamp. Av de drivhusgassene vi sender ut i atmosfæren, er karbondioksid (CO_2) den viktigste. Det aller meste av utslippene kommer fra bruk av fossilt brensel, kull, olje og gass. For perioden 2010 – 2019 er andelen anslått til 86%. Per produsert energienhet gir forbrenning av kull omtrent dobbelt så mye CO_2 som gass. Noe kommer også fra sementproduksjon og avskoging. Metan (CH_4) spiller også en viktig rolle. Denne gassen har kort oppholdstid i atmosfæren (omtrent 10 år), mens det vil være en betydelig mengde CO_2 igjen i atmosfæren etter hundrer av år. Kilder til utslipp er avfallsforbrenning, naturgass, drøvtyggere (de raper metan) og våtmarker. Metan har mye større klimavirkning per kg enn CO_2 . Siden metan har mye kortere oppholdstid enn CO_2 , vil forholdet mellom virkningen av en kg metan og en kg CO_2 variere med tidsperspektivet. Dette forholdet betegnes gjerne Global Warming Potential, GWP. I et 20års perspektiv er GWP for metan 80 – 85; i et 100års perspektiv 30 – 35. Lystgass (N_2O) er neste på listen. Den viktigste kilden er jordbruk. Ozon (O_3) er en drivhusgass. (Vi snakker her om ozon i lavere delen av atmosfæren, troposfæren.)

⁸ IPCC-rapportene finnes ved å gå inn på <https://www.ipcc.ch/>

Kryosfæren er den frosne delen av jordens overflate der vann finnes i fast form i form av isbreer snødekke, tele, permafrost, havis og islagte vann.

Konsentrasjonen avhenger av konsentrasjonene av organiske stoffer og nitrogenoksider samt sollys. En del andre stoffer, f. eks. hydrofluorkarboner, er også drivhusgasser, men spiller mindre rolle.

Bildet kompliseres av at partikler i atmosfæren også har en betydelig virkning. De fleste partikler (aerosoler) har en avkjølede virkning siden de sprer innkommende stråling. Store vulkanutbrudd kan medføre lavere global temperatur i et par år. Sotpartikler har imidlertid en oppvarmende effekt. De absorberer innkommende lys på grunn av sin mørke farge.

Drivhuseffekten er observert under naturlige forhold.⁹

4. Studier av klimaendringer

Vi kan dele studier av klimaendringer i tre grupper:

- *Instrumentelle målinger* av temperatur, nedbør, vind med mer. For temperaturer er det noenlunde brukbare verdier fra midten av 1800-tallet eller litt seinere. Det er ikke en enkel sak å komme fram til en midlere global temperatur basert på bakkemålinger. I noen områder, som polarområdene, er det langt mellom målestasjonene. Ulike grupper bruker litt forskjellige metoder så de kommer fram til litt varierende kurver for temperaturutviklingen, men forskjellene er ikke store. Nå brukes også satellitt-målinger av temperaturen. Det er også betydelige problemer knyttet til disse. Det er mye mer komplisert å måle nedbør enn temperatur, og usikkerheten i målingene er betydelig større.
- *Paleoklimatiske metoder* brukes for å studere fortidens klima. En kan benytte variasjoner i f. eks. iskjerner, sedimenter, årringer i trær eller koraller (naturlige arkiver). Iskjerner fra Antarktis og Grønland har for eksempel gitt viktige opplysninger om CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren i de siste 800 000 år ved at en har analysert lufta i små bobler som er sperret inne i isen.
- *Klimamodeller* basert på kunnskap om klimasystemet. Klimamodellene er blitt mer og mer kompliserte ved at flere prosesser tas med. Komplekse modeller kobler ikke bare atmosfære og hav, men har også beskrivelser av skyer, nedbør, aerosoler, is-prosesser med mer. Såkalte *Earth System Models* beskriver også kilder og sluk for karbon. Det er fortsatt betydelig usikkerheter i beskrivelsen av mange prosesser. Likevel viste en gjennomgang at de fleste klimamodeller publisert mellom 1970 og 2007 reproduiserte observert global overflatetemperatur i etterfølgende år rimelig bra¹⁰. Statistiker George Box har sagt: *Alle modeller er gale, men noen modeller er nyttige*. Vi kan trygt si at klimamodellene er nyttige. De er nødvendige for at vi skal kunne si noe om fremtidens klima.

5. Tilbakekoblinger (feedbacks) og vippepunkter

Øker temperaturen skjer det andre endringer som i sin tur påvirker temperaturen, for eks:

- Mer vanddamp i atmosfæren – temperaturen øker siden vanddamp er en klimagass.
- Mindre is og snø – mindre sollys reflekteres – temperaturen øker
- Mindre permafrost. Økte utslipp av metan og CO₂ og temperaturen øker.
- Endring i skydekningen – Usikkert, men høyst sannsynlig forsterkende.

Dette er eksempler på positive tilbakekoblinger, det vil si de bidrar til større temperaturstigning. Det finnes også negative tilbakekoblinger som motvirker temperaturøkningen. Et mulig eksempel er at utbredelsen av skog kan spre seg mot nord og mot større høyder over havet. Disse trærne vil ta opp CO₂. Totalt sett er de positive tilbakekoblingene dominerende.

⁹ Feldman et al., 2015. Observational determination of surface radiative forcing by CO₂ from 2000 to 2010, *Nature*, 519, 339 – 343.

¹⁰ Z. Hausfather et al, 2019. Evaluating the performance of past climate model projections. *Geophys. Res. Letters*. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2019GL085378>

Dersom temperaturstigningen går over en viss grense, er det (tilnærmet) umulig å snu utviklingen av noen prosesser. Disse grenseverdiene kalles gjerne *vippepunkter*. Smeltingen av Grønlands innlandsis er et eksempel. Vippepunktet kan være ved en økning i global temperatur på bare 1,5 - 2°C. Ifølge en artikkel publisert i januar 2019, kan vippepunktet allerede være nådd.¹¹ En nyere undersøkelse fant imidlertid at den mest sannsynlige verdien var 2,7°C over førindustriell temperatur.¹² Smelting av permafrost og ødeleggelse av regnskogen i Amazonas på grunn av tørke er andre eksempler. Golfstrømmen (også kalt AMOC, Atlantic Meridional Overturning Circulation) er blitt svakere i senere år. Her kan det også være et vippepunkt hvor det ikke blir mulig å snu trenden. Dette vil få store klimavirkninger også i våre områder. Sannsynligheten for at dette vil skje i dette århundret, er ikke stor, men på grunn av de store konsekvensene, er det bekymringsfullt at det kan skje.¹³ En oppdatert beskrivelse av vippepunkter er gitt i en artikkel av Lenton og medarbeidere¹⁴. Konsekvensene dersom ett eller flere vippepunkter nås, vil bli dramatiske.

6. Utslipp og konsentrasjoner av klimagasser

Utslipp av CO₂ til atmosfæren for landene med størst utslipp og for resten av verden fra bruk av fossilt brensel for perioden 1960 til 2020 er vist i Fig.2.¹⁵ Det har vært en viss nedgang i utslippene i 2020 i forhold til 2019 på grunn av pandemien. Det er grunn til å frykte at nedgangen er forbigående. Totalt var utslippene av CO₂ i 2019, inkludert utslipp fra endret bruk av land, omtrent 42,2 GtCO₂. Utslipp av andre klimagasser er anslått til 14,8 GtCO₂-ekvivalenter (100års perspektiv).¹⁶ Kina er det landet som har størst utslipp, men per person er utslippene i USA mye større.

¹¹ M. Bevis et al., 2019. Accelerating changes in ice mass within Greenland and the ice sheet's sensitivity to atmospheric forcing. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1806562116.

Men se også Shepherd et al., 2020. Mass balance of the Greenland Ice Sheet from 1992 to 2018 <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1855-2>

¹² Noël et al A 21st Century Warming Threshold for Sustained Greenland Ice Sheet Mass loss. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2020GL090471>

¹³ Caesar et al., 2021. Current Atlantic Meridional Overturning Circulation weakest in last millennium, <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00699-z>

¹⁴ Lenton et al 2019, Climate tipping points - too risky to bet against. Nature 575, 592 – 593. Det er feil i denne artikkelen, rettelse finnes på

https://www.nature.com/articles/d41586-019-03595-0?fbclid=IwAR0axCO7TmkJ34bprB2948XqNQUXPr8tMX4VZjz4AC6dm_f7uvH37hUSMQo#correction-0

¹⁵ Figuren er fra Global Carbon Budget 2020. <https://doi.org/10.5194/essd-12-3269-2020>. Mange figurer kan hentes fra <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/>

¹⁶ United Nations Environment Programme (2020). *Emissions Gap Report 2020*. <https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020>

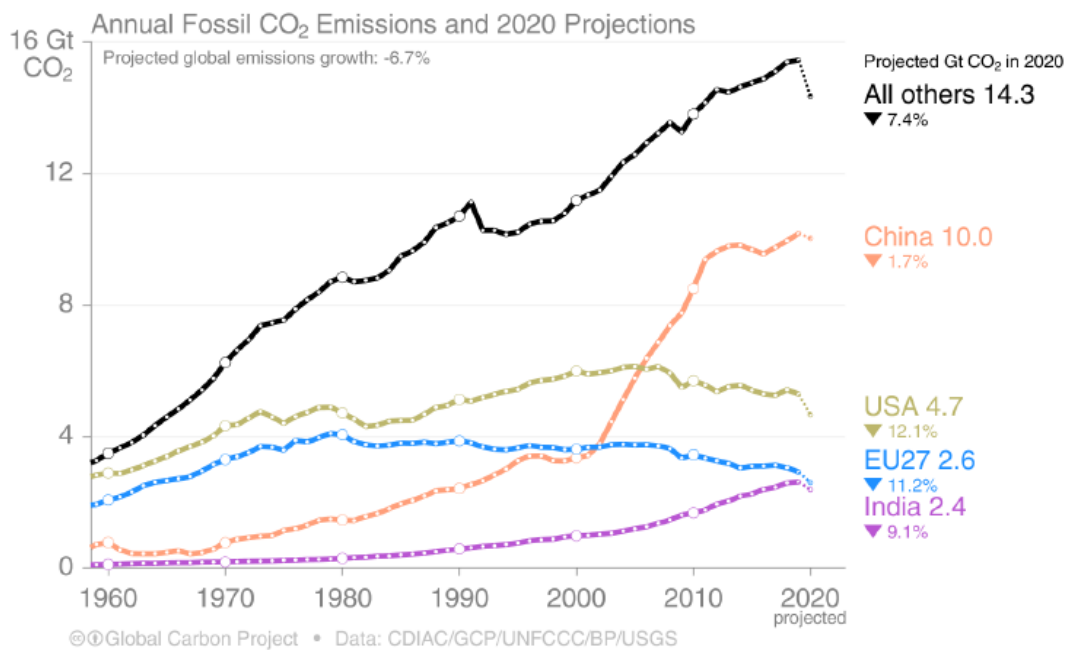
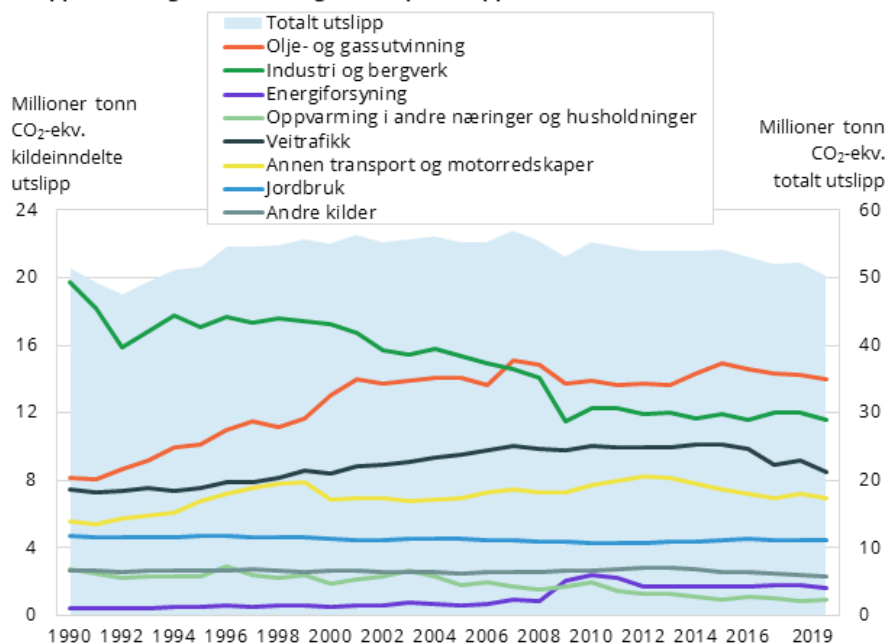


Fig. 2. CO₂-utslipp fra viktige land og resten av verden samlet. Verdiene for 2020 er foreløpige. Gt er det samme som milliarder tonn. Nedgangen i 2020 skyldes pandemien. Vil utslippene øke raskt igjen? Utslipp per person var i 2019 (i tonn): USA: 16,1; Kina: 7,0; EU: 6,6; India: 1,8; Norge: 7,9. Gjennomsnittet i verden var 4,8.

Utslipp av klimagasser totalt og fordelt på utslippkilder



Kilde: Utslipp til luft, Statistisk sentralbyrå.

Fig. 3. Norske utslipp klimagasser fra 1990 til 2019. Bidrag fra andre gasser enn CO₂ er beregnet for et 100-års perspektiv. Norske bidrag til internasjonal luft- og skipsfart er ikke med.

Fig. 3 viser norske utslipp av klimagasser fra 1990 til 2019. I 2019 var det en nedgang i totalutslippene på 3,7 prosent sammenlignet med 2018. Det største bidraget til nedgangen kom fra veitrafikk som sank med 7 prosent. Årsakene til dette var reduksjon i salg av bensin og autodiesel kombinert med økt andel biodrivstoff i drivstoffblandingen i 2019. (Problemer med bruk av biodrivstoff diskuteres

senere.) Sammenliknet med 1990 var det en nedgang på 2,3 prosent. Ser vi bare på den viktigste klimagassen, CO₂, var det en betydelig økning fra 1990, hele 19,6%.¹⁷

Litt under halvparten av den CO₂-mengden vi slipper ut, blir i atmosfæren. Resten tas opp i havet eller på land.¹⁸ CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren har økt betydelig siden førindustriell tid fra omkring 280 ppm (parts per million) til omtrent 412 ppm, se Fig. 4.

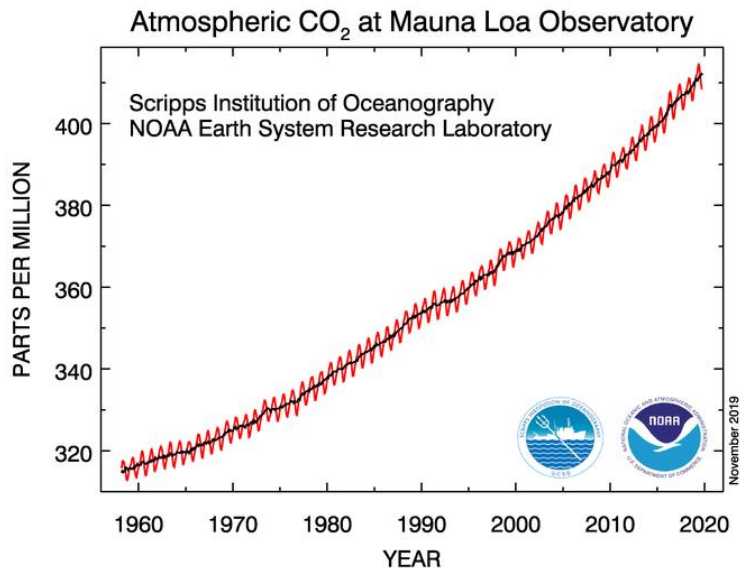


Fig. 4. CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren. Rød kurve viser årstidsvariasjonene, svart kurve er utglattet. Nøyaktige målinger begynte først i 1958. Før det har en spredte målinger, men de var ofte unøyaktige og/eller påvirket av lokale forhold.¹⁹

Metankonsentrasjonen i atmosfæren har økt med en faktor på omtrent 2,5 siden førindustriell tid og er nå omtrent 1870 ppb (parts per billion). (Billion er her etter amerikansk og engelsk definisjon og svarer til vårt milliard). I perioden 1999 – 2006 var konsentrasjonen nesten konstant for så å øke igjen. Det er fortsatt diskusjon om årsakene til dette.²⁰

7. Utviklingen i temperatur

Global temperatur fra slutten av 1800-tallet til 2020 er vist i Fig. 5a og b. Økningen fra førindustriell tid er omtrent 1,1 grad C. Økningen er størst i Arktis, der den er spesielt stor om vinteren. Det er flere forskergrupper som utarbeider slike kurver. Overensstemmelsen er god som vist i Fig. 5b.

Vi ser at økningen i temperatur fra år til år er langt mer ujevn enn økningen i CO₂-konsentrasjonen. Dette skyldes delvis virkninger av andre stoffer i atmosfæren. Partikkelkonsentrasjonen er for eks. viktig. Det vil være variasjoner både i naturlige utslipp (vulkanutbrudd) og menneskeskapt utslipp. Andre naturlige variasjoner spiller også inn, spesielt variasjoner i havstrømmer som fører til at vekslende varmemengder lagres i havet. ENSO-fenomenet (El Niño – Southern Oscillation) er viktig. Dette er et fenomen knyttet til luft- og havstrømmer i den tropiske delen av Stillehavet. Under El Niño-forhold er det øvre laget av havet utenfor vestkysten av Sør- og Mellom- Amerika uvanlig

¹⁷ [Laveste klimagassutslipp siden 90-tallet - SSB](#)

¹⁸ Det er store naturlige CO₂-strømmer til og fra atmosfæren. Det er derfor riktigere å si at CO₂-mengden i atmosfæren øker med knapt halvparten av utslippene. Det er ikke nødvendigvis de molekylene som slippes ut, som forblir i atmosfæren.

¹⁹ Se Seip, 2008. Lite skeptiske klimaskeptikere:

<http://cicero.uio.no/no/posts/klima/lite-skeptiske-klimaskeptikere>

²⁰ Se https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends_ch4/

varmt. Slike forhold kommer gjerne med 2-7 års mellomrom. Utpregede El Niño-forhold medfører høy global temperatur.²¹ Midlet over tiårsperioder, er økningen imidlertid ganske jevn (Fig. 5b).

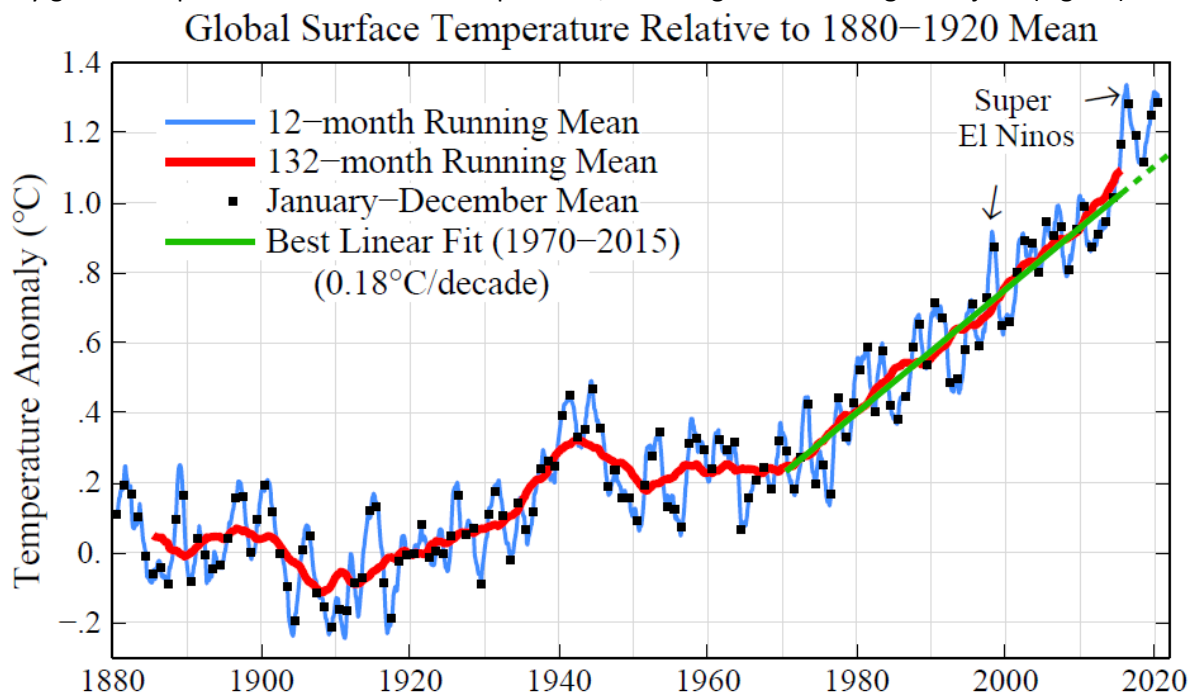
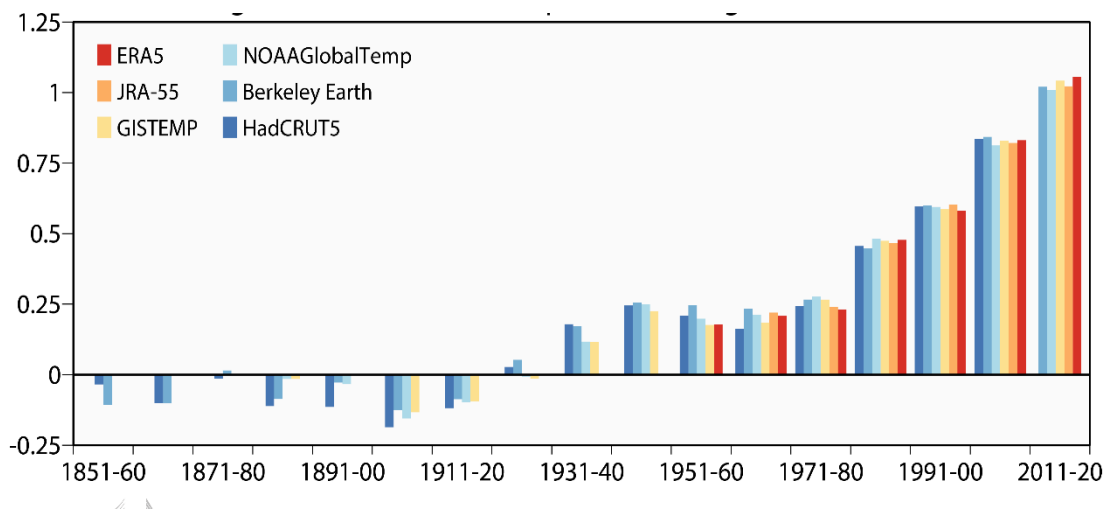


Fig. 5a. Global temperatur 1880 – 2020. Legg merke til den høye temperaturen ved «Super El Niño». I 1991 var det et stort vulkanutbrudd på Filippinene (Pinatubo). Dette medførte store partikkelutslipp som førte til relativt lave temperaturer i 1992-1993. De to varmeste årene var 2016 og 2020 med praktisk talt samme globale temperatur. De siste seks årene var de varmeste i denne perioden.²²



²¹ El Niño betyr gutten. Fenomenet oppstår ofte ved juletider, og fiskerne i Sør- og Mellom-Amerika ga det dette navnet med tanke på Jesu fødsel. Den motsatte fasen betegnes ofte La Niña (jenta). Det er et naturlig fenomen som kan spores mange hundre år tilbake. Det er mulig at klimaendringer kan påvirke frekvensen og/eller styrken. Den norske meteorologen Jacob Bjerknes var den første som ga en vitenskapelig forklaring på fenomenet.

²² Hansen et al, 2020. Global Temperature in 2020
[20210114_Temperature2020.pdf \(columbia.edu\)](https://www.columbia.edu/~ese14/20210114_Temperature2020.pdf)
 Usikkerheten er stor under verdenskrigene, se Huang et al.
<https://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/JCLI-D-19-0395.1>

Fig. 5b. Global temperaturendring (°C) midlet over tiårsperioder. Flere av gruppene som utarbeider slike temperaturkurver benytter mye av de samme rådataene, men bearbeider dataene i områder med få målestasjoner ulikt. Berkeley Earth benytter imidlertid et mye større datamateriale.²³

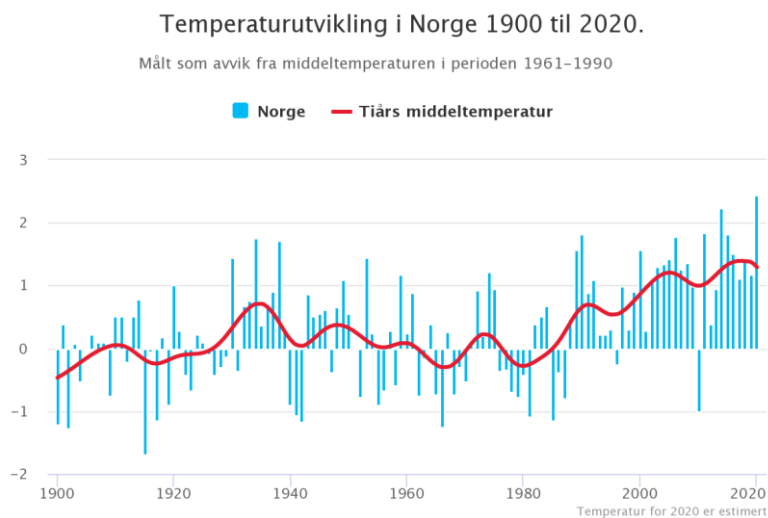


Fig. 6. Utviklingen i temperatur i Norge. 2020 var det varmeste året i perioden.

Temperaturutviklingen i Norge fra 1900 til 2020 er vist på Fig. 6²⁴. Temperaturøkningen varierer i ulike deler av landet. Økningen har vært spesielt stor på Svalbard, 3 -5 grader de siste 40 – 50 årene. Temperaturstigningen der har vært størst om vinteren²⁵. Også nedbøren i Norge har økt siden 1900.

Temperaturutviklingen siden siste istid (Holocen) er vist i Fig. 7.²⁶ Denne viser resultater fra et arbeid publisert i januar 2021. Ifølge denne undersøkelsen stiger temperaturen stort sett gjennom hele perioden. Det stemmer bra med modellberegninger, noe tidligere paleoklimatiske studier ikke gjorde. Den nye studien benytter, som tidligere undersøkelser, prøver fra havsedimenter. Forskjellen består i at det er tatt hensyn til at prøvene i stor grad er bestemt av temperaturen i den varmeste årstiden. Forskerne har funnet en metode for å beregne årets middeltemperatur. Det er selvfølgelig betydelige usikkerheter i temperaturen i tidligere tider, men den nye undersøkelsen gjør det svært sannsynlig at det ikke har vært høyere globale temperaturer enn i dag i denne perioden. Stigningen tidlig i perioden antas henge sammen med smelting av isbreer, senere med økende konsentrasjoner av klimagasser.

²³ <https://climate.copernicus.eu/2020-warmest-year-record-europe-globally-2020-ties-2016-warmest-year-recorded>

²⁴ Meteorologisk institutt, <https://www.met.no/vaer-og-klima/klima-siste-150-ar>

²⁵ Hanssen-Bauer et al, Climate in Svalbard 2100 (2019)

²⁶ Hertzberg, 2021. A seasonal solution to a palaeoclimate puzzle. <https://www.nature.com/articles/d41586-021-00115-x>

Bova et al., 2021. Seasonal origin of the thermal maxima at the Holocene and the last interglacial. <https://www.nature.com/articles/s41586-020-03155-x.pdf>

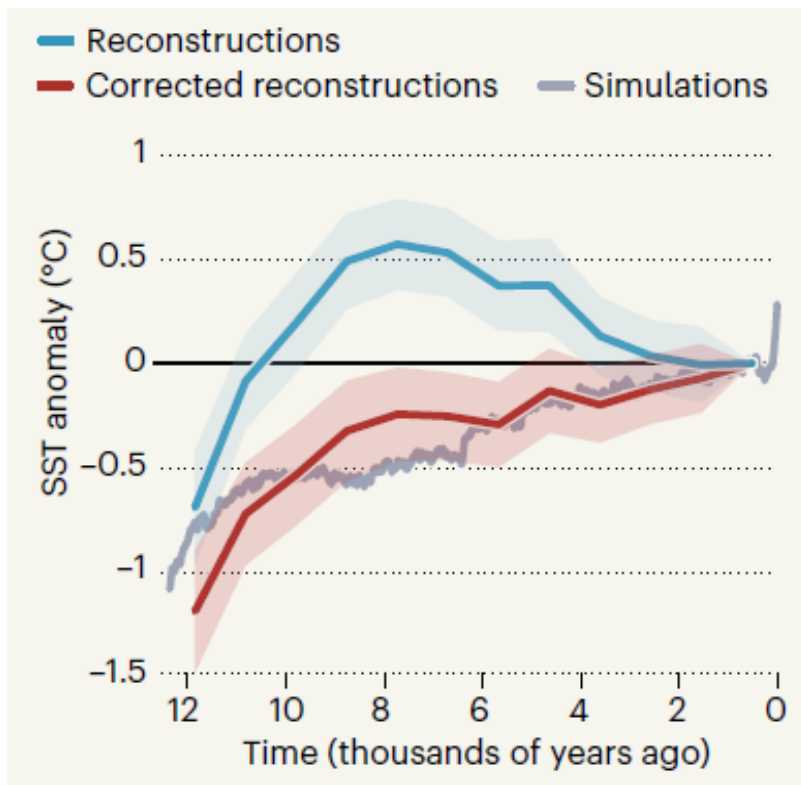


Fig. 7. Temperaturutviklingen i Halocen.

8. Virkninger

Klimaendringer har påvirket naturlige systemer og mennesker på alle kontinenter og alle havområder. En del virkninger ser vi allerede i dag²⁷, men hvis ikke utslippene reduseres raskt og drastisk, vil det bli adskillig verre i nær fremtid. Når det gjelder ekstremvær, f. eks. svært kraftige nedbørepisoder og hetebølger, angis det oftest hvordan sannsynligheten for slike endres ved global oppvarming. Det arbeides imidlertid med metoder for å kunne si noe om bidraget fra global oppvarming til enkeltepisoder.^{28,29}

Fig 8 som er tatt fra IPCC (2018), viser noen av systemene som påvirkes, hvordan det er i dag og hva som kan skje i fremtiden. Vi ser at det allerede observeres betydelige skader på varmtvanns-koraller, i Arktis og mer flom i kystområder. Også terrestriske systemer er utsatt og hetebølger gir økt sykdom og dødelighet. Rapporten fra World Economic Forum omtalt tidligere angir ekstremvær som en av de største farer menneskeheten står overfor². Vi skal her for det meste se på hvilke endringer vi ser i dag, fremtidig mulig utvikling vil bli diskutert mer seinere.

Stigning i havnivå. Ved global oppvarming stiger havnivået både fordi varmere vann har lavere tetthet³⁰, og fordi isbreer og innlandsis smelter. I perioden 1900 – 2018 steg det midlere havnivå

²⁷ For ekstremvær i 2020 se f. eks. The Guardian, 30 Dec. 2020. Floods, storms and searing heat: 2020 in extreme weather <https://www.theguardian.com/environment/2020/dec/30/floods-storms-and-searing-heat-2020-in-extreme-weather>

²⁸ Se f. eks. Schiermeier, 2018, Climate as culprit, Nature, 560, 20 - 22.

²⁹ Climate crisis linked to at least 15 \$1bn-plus disasters in 2019 <https://www.theguardian.com/world/2019/dec/27/climate-crisis-linked-to-at-least-15-1bn-plus-disasters-in-2019>

³⁰ Tettheten av saltvann avtar hele tiden med økende temperatur, mens tettheten av ferskvann er størst ved 4°C.

med omtrent 18 cm. Stigningen har økt i senere år og var i perioden 1993 – 2018 omtrent 3,35 mm/år ifølge en undersøkelse (Frederikse et al., 2020).³¹ Stigningen varierer fra sted til sted.

Havis, innlandsis og isbreer. Global oppvarming gir mindre havis i Arktis, særlig om sommeren. Endringene for perioden der en har satellittmålinger, er vist i Fig. 9. De siste 20 år har massen av innlandsisen på Grønland avtatt. Endringene i innlandsisen i Antarktis har det vært vanskeligere å måle, men det synes nå klart at ismassen avtar også her³².

Isbreer har krympet nesten over hele verden. En publikasjon fra april 2019 angir at for perioden 2006 – 2016 har smelting av isbreer bidratt med en stigning i havnivået på $0,92 \pm 0,39$ mm per år. (Innlandsisen i Antarktis og på Grønland er ikke inkludert.)

Endringer i havisen i Arktis påvirker ikke havnivået annet enn indirekte, for eksempel ved at den bidrar til temperaturøkning.

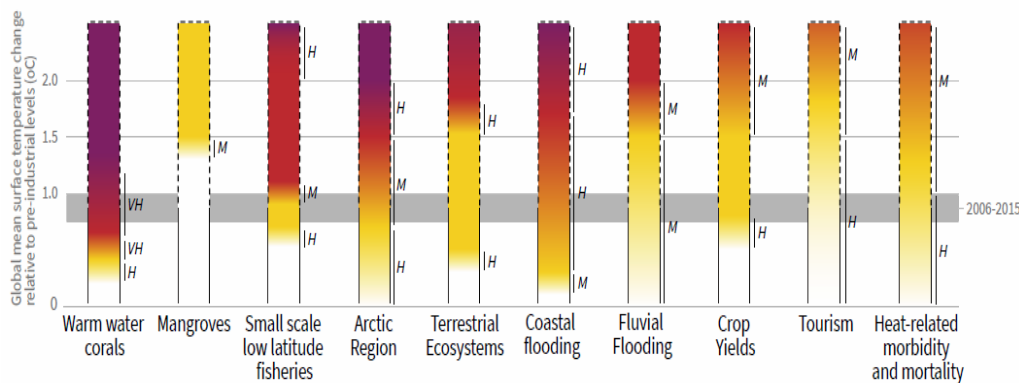


Fig. 8. Virkninger og risiko for virkninger for en del systemer. Temperaturokning fra førindustriell tid er gitt på y-aksen. Hvitt felt betyr ingen påvist skade, farger fra gult til purpur indikerer økende skade. H betyr at det er stor tiltro til resultatene, M står for middels tiltro.

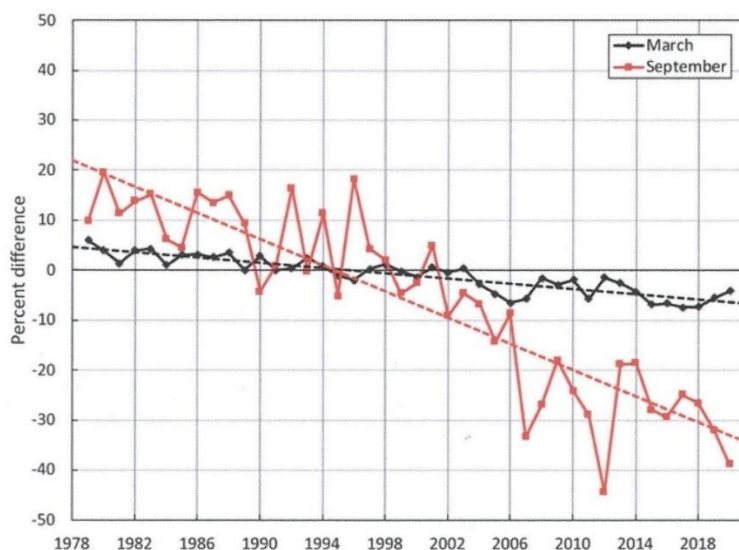


Fig. 9 Avtakende havis i Arktis. Avvik i prosent fra middelet for 1981 -2010. September er måneden med minst is (endring: 13,1% per tiår). Mars er måneden med mest is (endring 2,6% per tiår).

³¹ Se Frederikse et al., 2020. The causes of sea-level rise since 1900. Nature, <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2591-3>

³² IPCC, 2019b, The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, CH. 3.

Helsevirkninger omfatter direkte skader av hetebølger, ofte kombinert med høy luftfuktighet og/eller høyt forurensingsnivå, som i store områder i Europa i 2003, 2017 og 2019, i det nordøstlige Asia i 2018, Midtøsten (i 2019 ble det målt temperaturer rundt 50°C i Irak), Australia i 2019, og i India og Pakistan i 2016 og 2019 med temperaturer over 50°C. I Sibir ble det i juni 2020 målt 38°C, det varmeste som er målt nord for polarsirkelen.

Organismer som forårsaker sykdom kan spres til nye områder (malaria, flått). Virkningen av spredning av malariamygg kan imidlertid motvirkes ved til dels enkle tiltak (utdeling av myggnett). I tillegg kan klimaendringene føre til matmangel og økt migrasjon.

Tørke. Noen tørre områder har blitt enda tørrere. Tørke spiller en betydelig rolle når det gjelder sannsynligheten for branner i skog, lyng og gress. I årene 2017 til 2020 har det vært svært alvorlige branner i en rekke land (Chile, Portugal, Kroatia, Frankrike, Australia, Sverige, California og andre stater i USA³³, Grønland). I 2019 var brannene i Australia svært dramatiske. Klimaendringer antas å være en medvirkende faktor til økningen av slike branner³⁴. Sommeren 2018 var det en uvanlig lang tørkeperiode i Norge, særlig på Østlandet.³⁵

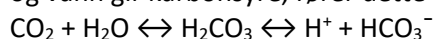
Nedbør. I overensstemmelse med modellberegninger har det vært flere episode med ekstrem nedbør i noen områder. Dette har medført flommer også i Norge.

Jordbruk. Virkninger på jordbruk er vanskelige å bestemme, og resultatene spriker en del. I tillegg til endringer i temperatur og nedbør, vil blant annet mer ekstremvær kunne få alvorlige følger. Dette så vi i Sør-Norge i 2018. Økt CO₂-konsentrasjon fører generelt til at planter tåler tørke bedre. Mange planter vokser også raskere ved høyere CO₂-konsentrasjon (gjødslingseffekten, en negativ tilbakekopling). Dette gjelder ikke såkalte C4-planter som mais og sukkerrør. Planter som vokser raskere, kan imidlertid tape i næringsinnhold. I en artikkel fra 2020 hevdes det at observasjoner tyder på at gjødslingseffekten har avtatt i senere år.³⁶

En studie basert på data fra 1974 til 2013 for de ti vanligste matplantene tydet på at en allerede ser reduserte avlinger for mange av dem. Den prosentvise endringen i global avling varierte fra -13,4% for palmeolje til +3,5% for soya³⁷.

Vi skal komme tilbake til virkningene på jordbruket når vi skal se på virkninger i fremtiden.

Havforsuring. En betydelig del av den CO₂ som slippes ut i atmosfæren, tas opp av havet. Siden CO₂ og vann gir karbonsyre, fører dette til havforsuring.³⁸



Dette er altså ikke et resultat av global oppvarming, men en helt annen virkning av CO₂. Noen organismer med kalkskall antas å bli påvirket først. Korallrev er blant de økosystemer som kan påvirkes mest av havforsuring og varmere vann. Nesten alle varmt-vanns korallrev antas å bli ødelagt ved 2°C global oppvarming.

³³ 'Unprecedented': the US west's wildfire catastrophe explained

https://www.theguardian.com/us-news/2020/sep/12/california-oregon-washington-fires-explained-climate-change?utm_term=b186b6db5624c0f82100a9b98f1e6f47&utm_campaign=GreenLight&utm_source=esp&utm_medium=Email&CMP=greenlight_email

³⁴ Estimer for globale CO₂-utslipp fra branner for perioden 2003 til 2019 (dekker månedene jan – nov) viser likevel en svak nedadgående trend. Dette tilskriver endringer i skogskjøtsel og bruk av branner i tropene. <https://atmosphere.copernicus.eu/did-2019-really-bring-us-unusual-number-wildfires>

³⁵ Meteorologisk Inst (2019), Tørkesommeren 2018

³⁶ Wang et al. 2020. Recent global decline of CO₂ fertilization effects on vegetation photosynthesis. Science 370, 1295–1300. <https://science.sciencemag.org/content/sci/370/6522/1295.full.pdf>

³⁷ Ray et al. 2019 - Climate change has likely already affected global food production. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217148>.

³⁸ Havet har normalt en pH over 8; det er altså svakt basisk. Selv ved adskillig høyere CO₂-konsentrasjon i atmosfæren vil pH de aller fleste steder fortsatt være over 7, altså ikke surt, men mindre basisk.

Vi skal også se nærmere på *tropiske sykloner* i et senere avsnitt.

9. Internasjonale klimaavtaler

Kyoto-avtalen fra 1997 ble undertegnet av de aller fleste land i verden. USA har imidlertid aldri ratifisert den, og Canada har trukket seg. Bare industrilandene hadde forpliktelser. Norge oppfylte sine, men bare fordi avtalen inneholdt såkalte fleksible mekanismer (kvotehandel, felles gjennomføring og Den grønne utviklingsmekanismen (Clean Development Mechanism, CDM)). CDM gjorde det mulig for rike land å investere i klimatiltak i utviklingsland og få godskrevet noe av gevinsten. Som det fremgår av Fig. 2 har de globale CO₂-utslipp økt sterkt i tiden etter Kyoto-avtalen ble inngått. Dette skyldes økte utslipp i utviklingsland, særlig Kina.

Paris-avtalen (2015)

- I Paris-avtalen er målet at temperaturstigningen sammenliknet med førindustriell tid skal være godt under 2 grader. Landene skal arbeide for å begrense temperaturstigningen til 1,5 grad.
- Mål om netto null utslipp (dvs. balanse mellom menneskeskapte utslipp og opptak av klimagasser) i andre halvdel av århundret.
- Landene har meldt inn hvor mye de vil redusere utslippene (NDC: Nationally determined contributions). Disse forpliktelser er langt fra nok til å begrense temperaturstigningen til 1,5 – 2 grader.

Trump trakk USA fra Paris-avtalen. Dette gjaldt fra 4. november 2020. Biden har nå meldt USA inn igjen.

På det såkalte COP24-møtet³⁹ i Katowice i Polen i desember 2018 forsøkte man å bli enige om noen «kjøreregler» for Parisavtalen. Det ble oppnådd noe, men problemer gjenstår:

- Partene ble enige om at det skulle være felles og bindende regler for alle land.
- Behovet for økte ambisjoner: Landene skal sende inn nye forslag til utslippsreduksjoner (mer ambisiøse enn de gamle) hvert femte år, første gang i 2020.
- Klimafinansiering: Rike land skal bidra til klimatiltak i fattige land, men regelboka inneholder ikke en klar definisjon av hva som teller som klimafinansiering, og land står fritt til å melde inn ulike former for finansiering – fra offentlig støtte til private lån.
- Når det gjelder markedsmekanismer (kvotehandel, bærekraftig utviklingsmekanisme) ble det ikke enighet om reglene.
- Det gjenstår også problemer med internasjonal luft- og skipsfart.

I desember 2019 ble COP25 arrangert i Madrid⁴⁰. Det ble oppnådd lite. De fleste problemene ble utsatt til neste møte som skal være i Glasgow. Det skulle vært holdt høsten 2020, men møtet ble utsatt til 2021 på grunn av pandemien.

10. Utslippsscenarier og beregnede temperaturendringer

Klimamodellene kan si oss noe om hva vi kan forvente i fremtiden, men vi må da anta noe om hva utslippene blir. De såkalte «Representative Concentration Pathways» (RCPs) har vært, og er fortsatt,

³⁹ COP24 er det uformelle navnet på the 24th Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Denne konvensjonen stammer fra et møte i Rio i 1992.

⁴⁰ Se <https://www.climatechangenews.com/2019/12/16/cop25-achieved-next/>

Det er et paradoks at disse møtene er sponset av foretak som er store forurensere.

<https://www.commondreams.org/views/2019/12/03/meet-big-polluters-sponsoring-cop25>

mye brukt. Disse betegnes etter deres strålingspådriv⁴¹ i år 2100. De mest brukte er RCP2.6 (optimistisk), RCP4.5, RCP6.0 og RCP8.5 (svært pessimistisk). I IPCC (2018) benyttes også noen andre scenarier, se Fig. 10.

Beregnete temperaturintervaller for de ulike gruppene av scenarier er vist til høyre i Fig. 10. Som nevnt tidligere, er det størst temperaturstigning i Arktis. Fig. 11 viser at slik vil det også være videre i dette århundret.

Vi ser at skal der være håp om å begrense temperaturstigningen til under 2 grader, kreves det drastiske utslippskutt, og de må starte omtrent umiddelbart. En rapport fra UN Environment Programme beskriver det som omtales som «emisjonsgapet», det vil si forskjellen mellom summen av antatte utslipp fra alle land og det som maksimalt kan slippes ut dersom den globale temperaturen ikke skal stige med mer enn 1.5°C eller 2°C. Ifølge rapporten må utslippene reduseres med 7,5 prosent per år fra og med 2020 til 2030 for å begrense temperaturstigningen til 1.5°C og vel 3 prosent per år for å begrense den til 2°C (begge med 66% sannsynlighet)^{42,43}. På grunn av pandemien vil utslippene i 2020 være lavere enn i 2019 (for CO₂ er det anslått at reduksjonen kan bli rundt 7%), men det er grunn til å tro at utslippene vil øke igjen. Mot slutten av dette århundret er det sannsynligvis nødvendig med «negative utslipp». Det betyr at CO₂ må fjernes fra atmosfæren. Vi skal komme tilbake til mulige metoder, men kan allerede her si at å få til negative utslipp i stor nok skala, byr på store utfordringer.

⁴¹ Strålingspådriv eller strålingspådrag (radiative forcing) er et mål på hvilken virkning en naturlig eller menneskeskapt faktor har som mulig klimaendringsmekanisme. Strålingspådrivet er definert som endring i differansen mellom innkommende solstråling og utgående varmestråling fra jorda og måles i W/m².

⁴² UNEP, Emissions Gap Report 2020. [Emissions Gap Report 2020 | UNEP - UN Environment Programme](https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020)

⁴³ En diskusjon av utslipp fra forbruk av fossilt brensel i det neste tiåret er gitt i Liebreich: Peak Emissions Are Closer Than You Think – and Here's Why, https://about.bnef.com/blog/peak-emissions-are-closer-than-you-think-and-heres-why/?utm_source=Energi+og+Klima+og+Klimastiftelsens+e-postliste&utm_campaign=3e7287c9cc-RSS_EMAIL_CAMPAIGN_FREDAG&utm_medium=email&utm_term=0_95967e5ed6-3e7287c9cc-569484557

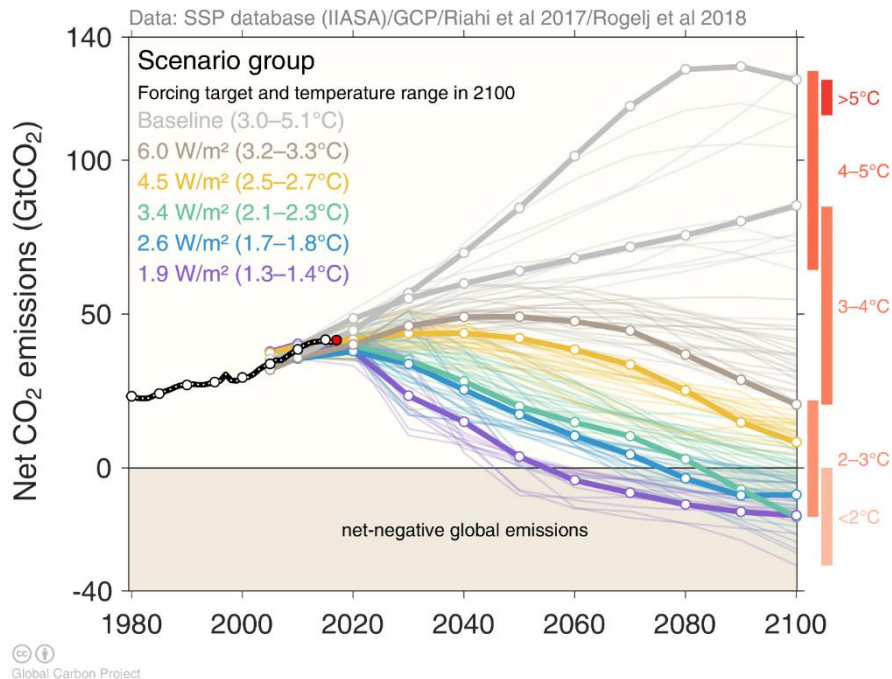


Fig. 10. CO₂-utslipp i ulike utslipp-scenarier. Også utslipp av andre klimagasser og partikler må kvantifiseres. Ulike sett av antakelser kan gi omtrent samme strålingspådriv så det er egentlig snakk om grupper av scenarier. (Vist ved svake linjer.) Mens en tidligere benyttet «Representative Concentration Pathways» (RCPs) er det her vist Shared Socio-economic Pathways (SSPs). Øverste kurve (grå) svarer omtrent til RCP8.5, et svært pessimistisk scenario der utslippene øker nesten hele dette århundret. Den blå kurven svarer omtrent til RCP 2.6, et optimistisk scenario der utslippene avtar raskt fra omtrent 2020.

Med forpliktelsene i den opprinnelige Paris-avtalen⁴⁴ er det knapt 60% sannsynlighet for at temperaturstigningen i dette århundret skal bli mindre enn 3°C. Sannsynligheten for mindre enn 2°C er omtrent 8%.

Karbonbudsjettet. Dette begrepet angir hvor mye CO₂ som fortsatt kan slippes ut uten at den globale temperaturen stiger med mer enn 2°C eller 1,5°C. Det er flere måter å beregne dette på. I en artikkel fra 2019 angis det at skal det være 66% sannsynlighet for at temperaturstigningen ikke blir mer enn 2°C, må utslippene fra og med 2019 være mindre enn 1070 Gt. Dette svarer til omtrent 27 år med dagens utslipp. Med 66% sannsynlighet for at temperaturstigningen ikke skal være mer enn 1,5°C er verdien bare 320 Gt noe som gir bare 8 år med dagens utslipp. Selv om usikkerhetene er store, for eksempel ±250 Gt for 1,5°C, er det helt klart at det er nødvendig med raske og dramatiske utslippskutt.⁴⁵

⁴⁴ Paris-avtalen inneholder landenes oppgitte utslipp fram til 2030. Beregningene her antar omtrent konstante globale utslipp fra 2030 til 2100. Fawcett et al., 2015. *Can Paris pledges avert severe climate change?* Science, 350, 1168-1169.

⁴⁵ J. Rogelj et al., 2019. Estimating and tracking the remaining carbon budget for stringent climate targets, Nature 571, 335 – 342.

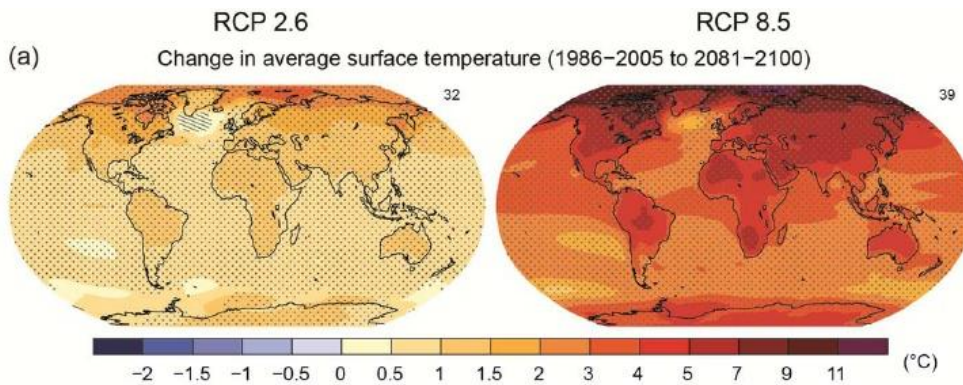


Fig. 11. Beregnede regionale endringer i temperatur i dette århundret for et optimistisk (RCP2.6) og et pessimistisk (RCP8.5) scenario.

Produksjonsgapet En rapport fra høsten 2020⁴⁶ sammenlikner planlagt produksjon av fossilt brensel med det som kan benyttes dersom global temperaturstigning ikke skal bli mer enn 2°C eller 1,5°C. En hovedkonklusjon er at sett samlet for alle produksjonsland planlegges det å produsere omtrent 50 prosent mer fossilt brensel i 2030 enn det som stemmer med et 2°C scenario og 120 prosent mer enn det som vil svare til et 1,5°C scenario. Dette globale produksjonsgapet er enda større enn emisjonsgapet omtalt tidligere. Dette henger sammen lite politisk vilje til å begrense produksjonen, og dermed ambisiøse nasjonale planer, subsidier til produsenter og andre former for offentlig finansiering.

Produksjonsgapet er generelt størst for kull, men i 2040 er det beregnet å være omtrent like stort for kull og olje for 2°C temperaturstigning. For gass er det også et betydelig gap i 2040, men det er stor forskjell på 1,5 og 2 grader. Dersom vi godtar 2°C oppvarming, kan gassproduksjonen være omtrent den samme i 2040 som nå, mens en grense på 1,5°C krever snarlig og betydelig reduksjon. Rapporten påpeker det uheldige i at internasjonale avtaler ikke gir noe insentiv til å begrense produksjon av fossil energi siden det bare er territoriale utslipp som registreres. Den hevder også at det er en vanlig misforståelse at redusert produksjon et sted, bare fører til en like stor økning et annet sted. Det henvises til en studie der det ble funnet at ved en reduksjon i oljeproduksjonen på ett fat et sted reduseres den globale produksjonen med mellom 0,2 og 0,6 fat.

11. Virkninger av fremtidige temperaturstigning.

Havnivå. IPCC (2019b)^{Feil! Bokmerke er ikke definert.} beregnet at middels havnivåstigning i dette århundret ved et lavt utslippsscenario (RCP 2.6) er 43 cm og 84 cm ved et høyt utslippsscenario (RCP 8.5). Nivået vil fortsette å stige etter 2100. Det vil være store lokale variasjoner. Mange forskere tror at nivået kan komme til å stige raskere. Nye observasjoner synes å følge det høye estimatet i alle fall når det gjelder smelting i Antarktis og på Grønland.⁴⁷ Issmeltingen på Grønland skjer raskt, og vi kan være nær vippepunktet der det blir svært vanskelig å hindre at mesteparten av isen forsvinner.^{Feil! Bokmerke er ikke definert.}⁴⁸ Dersom all isen forsvinner, vil havet stige med omtrent 7 m. En slik nedsmelting vil imidlertid ta flere hundre år.

⁴⁶ SEI og andre, 2020. The Production Gap, <http://productiongap.org/>

Se også Seip, Utslippskutt kan ikke vente <https://www.besteforeldreaksjonen.no/2019/12/utslippskutt-kan-ikke-vente/>

⁴⁷ Slater et al. 2020. Ice-sheet losses track high-end sea-level rise projections, Nature Climate Change <https://www.nature.com/articles/s41558-020-0893-y.pdf>

⁴⁸ Sagen et al., 2020. Return to rapid ice loss in Greenland and record loss in 2019 detected by the GRACE-FO satellites. <https://doi.org/10.1038/s43247-020-0010-1>

Jordbruk. Som beskrevet i avsnitt 8 påvirkes jordbruksavlingene av en rekke forhold. Verdensbanken publiserte i 2014 rapporten «Turn Down the Heat» der virkningene av en stigning i global temperatur på 4°C i forhold til temperaturen i perioden 1980 – 2010, ble diskutert. Resultatene for viktige jordbruksprodukter er vist i Fig. 12. Vi ser at mens områdene i nord kommer ut med økte avlinger, er det beregnet dramatiske reduksjoner i varmere strøk. Mange utviklingsland er sterkt utsatt. Forhåpentlig vil vi unngå en så stor endring i temperaturen som antatt her. IPCC (2018) har vurdert mindre stigninger. Rapporten konkluderer med at samlet tyder resultater av studier av virkninger av endringer i temperatur, nedbør, CO₂-konsentrasjon og ekstremvær på at en global oppvarming på 2°C fører til større tap av globale avlinger og næringsverdi enn en global oppvarming på 1,5°C.

Tropiske sykloner (orkaner, tyfoner)

Sykloner kan gjøre enorm skade. Det er derfor viktig å kunne forutsi hvordan disse vil utvikle seg ved global oppvarming. Fysiske betraktninger tilsier at høyere overflatetemperatur i havet vil gi kraftigere sykloner. Beregninger med klimamodeller har derfor tydet at det vil bli flere av de kraftigste syklonene. Sykloner beskrives i kategorier fra 1 til 5, der 5 er de kraftigste. Antallet varierer mye fra år til år, og det var lenge ikke mulig å fastslå om det har vært signifikante endringer i overensstemmelse med beregningene. I et nytt arbeid som bruker data fra 1979 til 2017, finner forskerne imidlertid at andelen sykloner i kategoriene 3 – 5 (maksimal vindhastighet på 185 km/time eller mer) har økt signifikant fra 31,5 % til 39,5%. De så også på endringene i 6 ulike havområder. Klarest økning i andelen av sterke sykloner fant de i nordlige Atlanterhavet og i den sørlige delen av Det indiske hav⁴⁹. En studie fra juni 2018 fant at hastigheten som sykloner beveger seg med, i gjennomsnitt hadde avtatt med omtrent 10% fra 1949 til 2016. Nedgangen var særlig tydelig i enkelte kystområder. Dette kan medføre at nedbørmengden som følger med syklonen, øker betydelig i noen områder. Nedbøren fører ofte til vel så store skader som vinden. Den tropiske stormen Harvey (august 2017), som bl. a. rammet Texas, forårsaket spesielt store skader, delvis fordi den beveget seg uvanlig langsomt. Det er imidlertid usikkert hvordan hyppigheten av tropiske sykloner globalt (samlet for alle kategorier) vil endre seg.

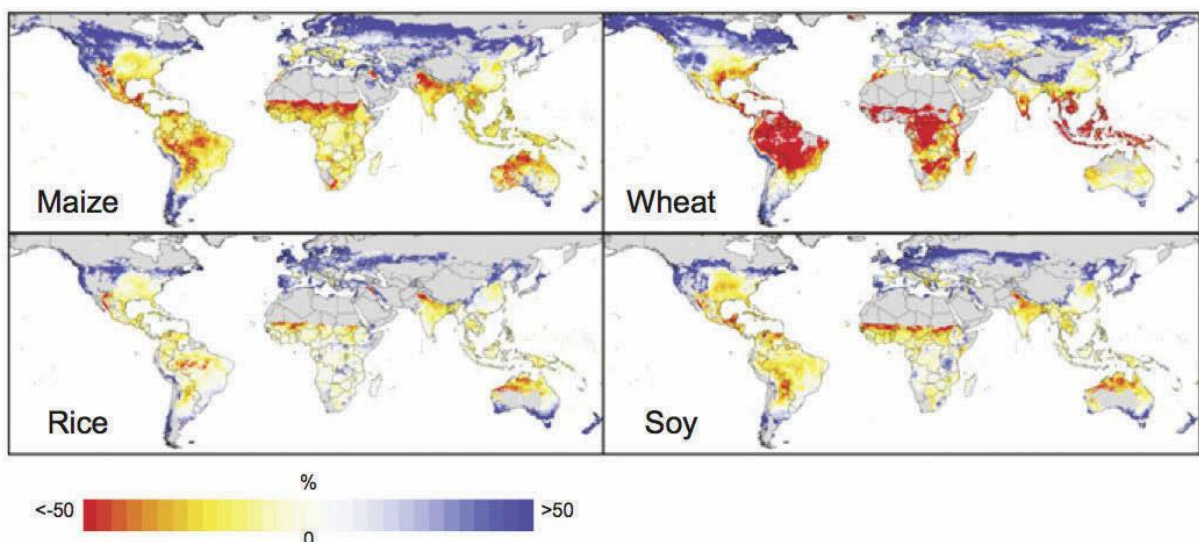


Fig. 12. Midlere endringer (i %) i avlingen for viktige jordbruksprodukter ved en temperaturstigning på 4° relativt til 1980–2010. Verdensbanken 2014.

Biodiversitet

Temperaturøkning kan medføre at arter dør ut. Rapporten IPCC (2018) konkluderer blant annet med

⁴⁹ Kossin et al. 2020. Global increase in major tropical cyclone exceedance probability over the past four decades. <https://www.pnas.org/content/early/2020/05/12/1920849117.short>

- Risiko for lokale artstap, og følgelig for utryddelse, er mye mindre i en 1.5°C enn i en 2°C varmere verden.
- Antall arter beregnet å miste over halvparten av sine klimatiske egnede områder ved global oppvarming på 2°C (18% av insektene, 16% av plantene, 8% av virveldyrene) beregnes redusert til 6% av insektene, 8% av plantene og 4% av virveldyrene ved 1.5°C.

Det er imidlertid betydelig usikkerhet i disse tallene. Ofte er det klimaendringer kombinert med annen menneskeskapt påvirkning som forårsaker redusert biodiversitet.

I Global Biodiversity Outlook 5 heter at dersom en ikke klarer å begrense temperaturøkningen til godt under 2 °C og nær 1,5 °C over førindustriell verdi, vil klimaendringene overskygge alle andre endringer som påvirker biodiversiteten.⁵⁰

12. Tiltak

Avgift på karbonutslipp. Brukes en del, men er ikke omfattende nok. En spesiell variant er «Karbonavgift til fordeling», KAF. Beløpet som kommer inn, deles da ut med det samme beløp til alle i det området systemet gjelder. En kan også gi et noe større beløp til spesielt utsatte grupper.

Personer som har et levesett som gir små utslipp, vil altså tjene på dette.

Det er viktig å være klar over at hvis de 10 prosent i verden med høyest klimagassutslipp reduserer sine utslipp til gjennomsnittsnivået i EU, ville globale utslipp gå ned med omtrent en tredjedel.⁵¹ Den kjente amerikanske klimaforskeren James Hansen har lenge vært en forkjemper for KAF. Han kaller det «Fee and dividend». Det prøves nå i Canada.⁵²

Karbonavgift bør suppleres med andre tiltak som støtte til utvikling av teknikker som kan gi betydelige utslippsreduksjoner.

Kvotehandling. Innen et område, for eks. EU, blir en enige om et tak for det totale utslipp. Landene får tildelt eller kjøper et visst antall kvoter. Kvoteprisen i EU har generelt vært lav, men steg mot slutten av 2020 til over 30 EURO per tonn For å ha den ønskede effekt, må taket (på engelsk «cap») justeres nedover etter hvert.⁵³

Omkring 45% av klimagassutslippene i EU er inkludert i kvotesystemet. De viktigste kvotepliktige sektorene er det aller meste fra produksjon av olje og gass og industri, mens utslipp fra transport og jordbruk stort sett ikke er kvotepliktig. Norske utslipp fra kvotepliktige og ikke-kvotepiktige sektorer er omtrent like store.⁵⁴

Fornybar energi. Det er først og fremst snakk om å utnytte vind, sol og vannkraft. Prisene på energi fra sol og vind har falt kraftig, raskere enn nesten noen har forutsett. Av det totale energiforbruk i 2019 var likevel 84,3% fra fossilt brensel, 11,4% var fornybar energi, vind stod for 2,2% og sol for 1,1%. Ser vi på elektrisitetsproduksjonen blir bilde litt annerledes. Da var 63,3% fra fossilt brensel, 5,3% fra vind og 2,7% fra sol. Vannkraft stod for 15,8% og kjerneenergi for 10,4%.⁵⁵ I følge framskrivninger fra IEA⁵⁶ vil samlet kapasitet fra vind og sol være større enn fra kull i 2025 (Fig. 13).

⁵⁰Global Biodiversity Outlook 5, 2020. www.cbd.int/GB05

⁵¹ [Climate Scientist: World's Richest Must Radically Change Lifestyles to Prevent Global Catastrophe | Democracy Now!](https://www.democracynow.org/2020/05/12/climate-scientist-worlds-richest-must-radically-change-lifestyles-to-prevent-global-catastrophe)

⁵² Dr James Hansen: Oh, Canada! Show the world the path to carbon fee and dividend <http://redgreenandblue.org/2020/05/12/dr-james-hansen-oh-canada-show-world-path-carbon-fee-dividend/>

⁵³ Se: [Carbon Price Viewer - Ember \(ember-climate.org\)](https://ember-climate.org/carbon-price-viewer/)

⁵⁴ Se f. eks. <http://www.miljostatus.no/klimakvoter>

⁵⁵ [Energy - Our World in Data](https://www.worldometers.info/energy/)

⁵⁶ IEA, Renewables 2020. <https://webstore.iea.org/download/direct/4234>

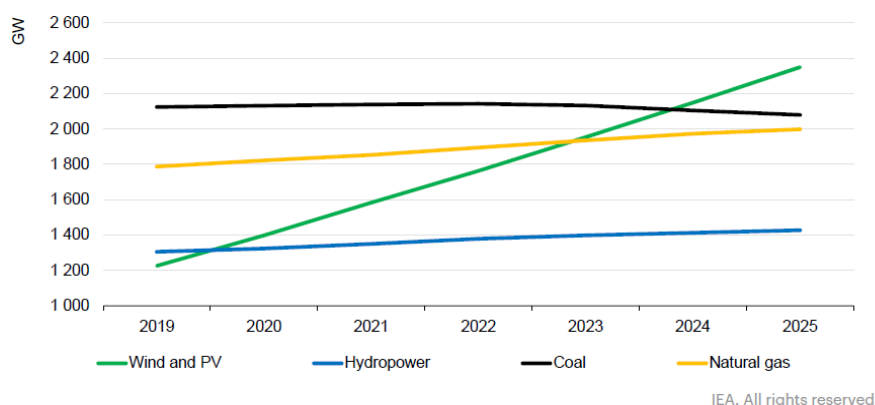


Fig. 13. Totalt installert kapasitet for ulike typer elektrisitetsproduksjon for perioden 2019 - 25 (IEA, 2020).

Energisparing. Mange muligheter, f. eks. bedre isolasjon i bygninger, varmepumper, redusere energiintensiteten⁵⁷.

Karbonfangst og lagring. Det har i mange år vært arbeidet med teknikker for å kunne samle opp CO₂ f. eks. fra kraftverk og lagre det på et sikkert sted⁵⁸. Norge har vært aktive på feltet. En hadde lang erfaring med lagring av CO₂ blant annet på Sleipner-feltet i Nordsjøen helt siden 1996. Det ble derfor planlagt et fullskala renseanlegg som skulle fjerne CO₂-utslipp fra oljeraffineriet og varmekraftverket på Mongstad. «Dette er et stort prosjekt for landet. Det er vår månelanding», sa tidligere statsminister Jens Stoltenbergs i sin nyttårstale i 2007. Prosjektet ble imidlertid utsatt gang på gang, og i september 2013 ble det stanset. Bare et forskningsanlegg ble igjen. Det er nå bevilget støtte til Norcem for CO₂-fangst ved sementfabrikken i Brevik. Det er gitt navnet «Langskip»⁵⁹

Dersom en benytter biomasse i anlegg med karbonfangst og lagring, kan det gi «negative utslipp» (BECCS). Som omtalt tidligere er slike negative utslipp sannsynligvis nødvendige dersom en skal begrense temperaturstigningen til 1,5°C. Det er imidlertid problemer knyttet til beregning av klimagevinsten ved bruk av biomasse, noe vi skal komme tilbake til nedenfor.

Selv om det har vært en nokså treg utvikling når det gjelder karbonfangst og lagring, er det anlegg i drift eller under oppføring flere steder blant annet i Kina⁶⁰ og Canada. Foreløpig er kostnadene store, men avtakende^{Feil! Bokmerke er ikke definert.}. Det kreves imidlertid betydelige energimengder.⁶¹ I noen tilfeller utnytter en oppsamlet CO₂ i annen industri, såkalt CCU (U for utilization). Ofte benyttes oppsamlet CO₂ til å øke oljeproduksjonen (Enhanced Oil Recovery, EOR). Den samlede klimaeffekten er da høyst tvilsom.

⁵⁷ Energiintensiteten er et mål for hvordan effektivt energien brukes. Er energiintensiteten høy, brukes mye energi per enhet i brutto nasjonalproduktet.

⁵⁸ Dette må du vite om CO₂-fangst og –lagring. (Gemini, okt. 2019) <https://gemini.no/2019/10/dette-ma-du-vite-om-ccs-karbonfangst-og-lagring/>

⁵⁹ Noen forskere er svært kritiske til CCS og BECCS. Et eksempel er Sekera & Lichtenberger, 2020. Assessing Carbon Capture: Public Policy, Science, and Societal Need. <https://doi.org/10.1007/s41247-020-00080-5>

⁶⁰ https://www.crugroup.com/knowledge-and-insights/insights/2019/carbon-capture-and-storage-in-china/?utm_medium=Press_release

⁶¹ Sekera & Lichtenberger, 2020. Assessing Carbon Capture: Public Policy, Science, and Societal Need <https://doi.org/10.1007/s41247-020-00080-5>

Direkte fjerning av CO₂ fra atmosfæren. Det er også betydelig aktivitet på dette feltet. Luft suges gjennom filtre som absorberer CO₂ som senere frigjøres og lagres. Den lave CO₂-konsentrasjon i lufta skaper imidlertid problemer. I IPCC (2018) heter det at utnyttelse av slike teknikker i stor skala fortsatt er en utfordring.

Bioenergi – biodrivstoff. Bruk av biomasse er et mulig tiltak for å redusere CO₂-utslippene. Tanken er at CO₂ tas opp når biomassen dannes så opptak og utslipp kompenserer hverandre. Virkeligheten er imidlertid ikke så enkel. Netto effekt er avhengig av råstoffet og dyrkingsmetode, og også av hvilket tidsperspektiv en har. Dyrking og viderebehandling gir utslipp av klimagasser. Kanskje er det ryddet skog for dyrkingen. Dette medfører utslipp, og det tar tid før det er spart like mye. En snakker gjerne om «pay-back time». Noe biodrivstoff gir store utslipp av klimagasser, faktisk større enn vanlig diesel eller bensin selv om tidsperspektivet er mange tiår. Andre problemer er knyttet til ødeleggelse av regnskog og konkurranse med matproduksjon. Skal bruk av biodrivstoff ha noe for seg, må det derfor settes strenge krav til produksjonen, og det krever et strengt kontrollsystem.

I 2017 var nesten 50% av biodrivstoffet benyttet i Norge basert på palmeolje som ofte gir liten eller ingen klimagevinst og betydelige andre problemer. I 2018 var bruken av biodrivstoff betydelig lavere enn i 2017 hovedsakelig på grunn av mye mindre bruk av palmeolje⁶². I 2019 økte bruken av biodrivstoff noe igjen, til omtrent 15 prosent av alt flytende drivstoff som ble brukt til veitransport.⁶³

Regjeringa økte kravet til omsetning av biodrivstoff til 24,5 prosent fra 1 januar 2021. Samtidig øker delkravet til avansert biodrivstoff til 9 prosent. Avansert biodrivstoff teller dobbelt opp mot det overordnede omsetningskravet.⁶⁴

Kjernekraft. Mange, inkludert en del miljøforkjempere som James Hansen, mener vi ikke kommer utenom å bygge ut mer kjernekraft dersom det skal være mulig å begrense temperaturstigningen til godt under 2°C. Det er nok liten grunn til å frykte alvorlige ulykker ved moderne kjernekraftverk under vanlige forhold. Jeg er likevel litt betenkt hvis det bygges kjernekraft-anlegg i mange land. Før eller seinere vil det da oppstå alvorlige konflikter i områder med slike anlegg med uoversiktlige følger. Kjernekraft blir dessuten dyr.⁶⁵

Desinvesteringer i fossil industri. Det pågår kampanjer for å få investorer til å trekke seg ut av tiltak som bruker store mengder fossil energi. Statens pensjonsfond utland (SPU), populært kalt Oljefondet, har sluttet å investere i kullselskaper, men investerer fortsatt i internasjonale banker som finansierer kullindustrien. Den europeiske investeringsbanken skal slutte å investere i prosjekter som benytter fossil energi fra 2021 med unntak for prosjekter med svært lave CO₂-utslipp⁶⁶. Goldman Sachs, som tidligere ikke har vist seg særlig miljøvennlig, vil slutte å finansiere leting og boring i Arktis. Bernadette Demientieff, en representant for urbefolkningen i Canada og Alaska, skrev om kampen for dette i The Guardian 3 januar 2020. Hun skriver at Goldman Sachs er den første amerikanske bank

⁶² <https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/nyheter/2019/mai-2019/salget-av-avansert-biodrivstoff-okte-i-fjor/>

⁶³ <https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/nyheter/2020/mai-2020/flytende-biodrivstoff-okte-med-20-prosent-i-fjor/>

⁶⁴ [Aukar kravet for biodrivstoff frå 2021 - regjeringen.no](https://www.regjeringen.no)

⁶⁵ Seip, 2020. Trenger vi kjernekraft.

<https://www.besteforeldreaksjonen.no/2020/11/kjernekraft-i-klimadebatten/>

⁶⁶ Den europeiske investeringsbanken kutter fossil energi. Teknisk Ukeblad, 15 nov. 2019.

<https://www.tu.no/artikler/den-europeiske-investeringsbanken-kutter-fossil-energi/479096>

som kommer med en slik forpliktelse, og at håpet er at andre følger etter⁶⁷.⁶⁸ I desember 2020 annonserte “The New York State Common Retirement Fund” at det skulle redusere investeringer i foretak som medførte utslipp av klimagasser, og at målet var null-utslipp i 2040.⁶⁹

Noen aktuelle spørsmål

Er gass bedre enn kull?

Forbrenning av naturgass (hovedsakelig metan) gir mindre CO₂ enn forbrenning av kull per produsert energienhet. Det er imidlertid alltid noe lekkasje av metan, mest ved utvinning av skifergass (hydraulic fracturing, fracking) som er mye benyttet i USA. Metan er en kraftig klimagass. Dersom omtrent 3% av metanen lekker ut, er ikke metankraftverk bedre enn kullkraftverk i et 20års perspektiv. Utslippene ved produksjon i Nordsjøen er sannsynligvis små, men det er også utslipp ved transport og bruk. Generelt har en ikke gode nok tall for utslippene. Tilhengere av gasskraft påpeker at slike anlegg kan startes opp og reguleres opp og ned meget hurtig. De er derfor egnet til å supplere sol og vindkraft som har ujevn produksjon. På sikt må imidlertid all fossil energi fases ut.

Hydrogen

Prisen på fornybar elektrisitet (sol, vind) har falt kraftig i senere år. Det er liten tvil om at elektrifisering innen transport, boliger og industri vil spille en sentral rolle i overgangen til et lav-karbon samfunn. Mange mener likevel en bør satse mer på utnyttelse av hydrogen som energibærer. Ikke alt er like lett å elektrifisere. Hydrogen spiller en viktig rolle i alle EU scenarier som gir null netto utslipp i 2050. Slik bruk av hydrogen er ikke nytt.⁷⁰ Det er blitt vanlig å gi hydrogenet fargenavn etter fremstilling basert på graden av utslipp av klimagasser.⁷¹

Grått hydrogen: fremstilles av metan (CH₄) ved oppvarming med vanndamp. Gir utslipp av CO₂.

Blått hydrogen. Metoden over kombineres med CCS.

Turkis hydrogen: fremstilles av metan ved pyrolyse. Gassen ledes gjennom smeltet metall. Det produseres også fast karbon som er et nyttig produkt.

Grønt hydrogen: fremstilles ved elektrolyse med fornybar energi.

Hydrogen fremstilles nå mest fra metan. Dette gir imidlertid utslipp av CO₂. Selv hvis det kombineres med fangst og lagring, noe som er dyrt, vil det være noe utslipp. Det må derfor satses på grønt hydrogen i fremtiden. Turkis hydrogen er lovende, men det gjenstår en del før det eventuelt kan brukes i stor skala. Olje og gassindustrien ser nok på blått og turkis hydrogen som et håp for å kunne produsere gass også i fremtiden.

Hvor bra er elektriske biler?

Klimagevinsten avhenger av hvordan elektrisiteten fremstilles. Dette er helt klart et bra klimatiltak dersom fornybar energi benyttes, mer tvilsomt dersom elektrisiteten kommer fra kullfyrte kraftverk. En artikkel i Nature Sustainability i 2020 finner at elektriske biler gir mindre CO₂-utslipp enn bensinbiler i de aller fleste områder ved bruk av 2015 data. Unntak er land som Polen og India, Men

⁶⁷ <https://www.theguardian.com/commentisfree/2020/jan/03/goldman-sachs-arctic-drilling-gwichin-banks>

⁶⁸ <https://www.theguardian.com/commentisfree/2020/jan/03/goldman-sachs-arctic-drilling-gwichin-banks>

⁶⁹ [New York State Pension Fund Sets 2040 Net Zero Carbon Emissions Target \(govdelivery.com\)](https://www.govdelivery.com)

⁷⁰ En kuriositet: Jules Verne skrev en bok i 1863 “Paris i det tjuende århundret”. Der tenker han seg kjøretøy med hydrogen som drivstoff.

⁷¹ Renssen, 2020. The hydrogen solution? <https://www.nature.com/articles/s41558-020-0891-0>

de beregner at allerede i 2030 vil el-biler gi mindre utslipp i India⁷². Spesielt i byområder er det viktig at en ved å erstatte bensin- og dieslbiler med el-biler reduserer luftforurensingen. En rekke metaller er nødvendige i batteriproduksjonen, litium, kobolt, nikkel og flere andre. De kan resirkuleres, men det gjøres ofte i liten grad, for litium er det under 5% som resirkuleres. Her jobbes det med forbedringer. I fremtiden må en gå over til transport som ikke er basert på fossil energi. Da er nok el-biler det mest aktuelle, selv om også hydrogenbiler har sine tilhengere.

Hva er klimaeffekten ved at Norge bidrar til bevaring av regnskog? Det selvsagt bra at Norge bidra til dette, men klimaeffekten er noe usikker. Når skog fjernes, reduseres CO₂-opptaket, men samtidig endres utslipp av flyktige organiske forbindelser som påvirker konsentrasjonene av troposfærisk ozon, metan og aerosoler. Effekten av disse endringene ser ut til å redusere den uheldige klimapåvirkningen av redusert CO₂-opptak mange steder, inkludert tropisk skog. En må dessuten være sikker på at ikke redusert avskoging et sted bare fører til at problemene flyttes til andre steder. Politisk skifte i de aktuelle landene kan fort føre til mer avskoging. Dette ser en nå i Brasil.

Kan vi øke opptak i jord og skog?

Opptak av karbon i jord og skog kan økes ved riktig skjøtsel. Virkningen av skogplanting på klima må vurderes nøye i hvert tilfelle. Redusert refleksjon av innkommende stråling (reduert albedo) kan helt eller delvis oppveie gevinsten ved økt CO₂ opptak. Spesielt i områder med lang periode med snø vil dette være viktig.

Hva kan den enkelte gjøre?⁷³

Fly mindre. Reise kollektivt. Sykle. Redusere matsvinn. Alt dette er bra. Nordmenn flyr mye og utslippene er betydelige. I 2020 har antall flyreiser avtatt drastisk. Det vil være en fordel for klimaet om en ikke vendte tilbake til gamle høyder, eller mer, når pandemien er over.

Spise mindre kjøtt. Spesielt kjøtt fra storfe og sau er forbundet med store utslipp av klimagasser fordi drøvtyggere raper metan. «The Eat and Lancet Report: *Food in the Anthropocene*» (2019)⁷⁴ hevder at innen 2050 bør vi doble konsumet av frukt, grønnsaker, nøtter og belgfrukter, mens forbruket av rødt kjøtt og sukker bør mer enn halveres. Dette vil være gunstig både for helse og miljø.⁷⁵ Siden det er antatt at jordas befolkning vil øke til 10 milliarder innen 2050, må gjennomsnittsförbruket av rødt kjøtt per person reduseres med omtrent 65%. I de rike land må reduksjonen være mye større, for Nord-Amerika over 80%. Det er nok mye riktig i dette, men det er betydelige forskjeller i klimaeffekten av for eksempel kjøtt fra storfe og sau avhengig av oppvekstvilkårene. En prøver også å redusere metanutslippet ved å endre førsammensetningen. I Norge benyttes kyrne som oftest først til melkeproduksjon, og så til kjøttproduksjon. Klimagassutslippene for disse «kombikyrne» blir derfor mindre per produsert enhet enn kyr som bare benyttes til kjøttproduksjon. «Eat and Lancet» rapporten understreker at hvor stor del av folks diett som bør komme fra dyreprodukter, må vurderes ut fra lokale og regionale hensyn.

⁷² <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0488-7>

⁷³ Omtrent halvparten av Norges befolkning mener klimaproblemet er den største utfordring Norge står overfor i dag.

<https://framtida.no/2019/12/02/her-er-tala-fra-klimabarometeret-2019>

Totalt stiller 26 prosent av befolkningen seg positive til bruken av olje som energikilde, opp fra 19 prosent i 2016, kom det fram av Klimabarometeret 2019, som ble gjennomført av Kantar. Størst prosentvis økning har det vært blant dem under 30, og 27 prosent av de spurte i denne aldersgruppen sier de er oljepositive.

<https://finansavisen.no/nyheter/politikk/2020/01/07/7486604/flere-unge-er-positive-til-olje>

⁷⁴ <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S0140-6736%2818%2931788-4>

⁷⁵ Se:

[https://eatforum.org/content/uploads/2019/01/EAT-Lancet Commission Summary Report.pdf](https://eatforum.org/content/uploads/2019/01/EAT-Lancet_Commission_Summary_Report.pdf)

I en annen artikkel i The Lancet foreslås flere tiltak for å begrense utslippene fra landbruket, blant annet ved å sette et tidspunkt for når produksjonen av ulike husdyr skal slutte å vokse. En av forfatterne sier til The Guardian at dette må være innen 10 år⁷⁶.

Virkninger av koronaepidemien.

Klimagassutslippene i 2020 gikk ned på grunn av pandemien. Det diskuteres om krisen kan føre til en varig endring som er gunstig for klima og miljø generelt, se for eksempel denne artikkelen i The Guardian (Will the coronavirus kill the oil industry and help save the climate?)⁷⁷

13. Økonomi

Omstilling til et lav-karbon samfunn er ikke enkelt, og kostnadene ved det er mye diskutert. W. D. Nordhaus fikk i 2018 prisen i økonomi til minne om Alfred Nobel "for integrating climate change into long-run macroeconomic analysis." Ikke alle syns det var helt fortjent, hans anbefalinger har generelt vært relativt beskjedne tiltak. I et arbeid fra 2019 kommer han fram til at det gunstigste forhold mellom kost og nytte er ved en temperaturstigning på over 3°C i 2100 — mye høyere enn målet i Paris-avtalen⁷⁸. Et nyere arbeid som benyttet en oppdatert versjon av Nordhaus' modell, fant imidlertid at nytten ved å begrense oppvarmingen til godt under 2 °C oppveide kostnadene.⁷⁹ Valg av diskonteringsrente for miljøkonsekvenser, noe det er stor uenighet om, spiller en betydelig rolle for resultatene. Hva det betyr hvis vi når ett eller flere vippepunkter, er vanskelig å inkludere i økonomiske modeller.⁸⁰

If all economists were laid end to end, they would not reach a conclusion. George Bernard Shaw

I et arbeid fra februar 2021 er de kjente økonomene Nicholas Stern og Joseph E. Stiglitz svært kritiske til mye av den økonomiske litteraturen om klimaendringer, inkluder Nordhaus' arbeider.⁸¹ I seksjonen «Concluding remarks» står det blant annet:

- Vi fant et sett av viktige metodiske feil som gjennomsyrrer den økonomiske litteraturen om klimaendringer og har analysert noen av konsekvensene inkludert systematisk reduksjon av tiltak mot klimaendringer på grunn av undervurdering av nytten og overvurdering av kostnadene av slike handlinger.
- Mest slående er det [at vår analyse] viser at vekst, spesielt når den måles riktig, faktisk kan fremmes av kraftigere klimapolitikk.
- Klimatiltak kan fremme velvære, både på grunn av nytt forbruksmønster og ved at risikoen for dramatiske virkninger unngås.

⁷⁶ <https://www.theguardian.com/environment/2019/dec/12/peak-meat-climate-crisis-livestock-meat-dairy>

⁷⁷ <https://www.theguardian.com/environment/2020/apr/01/the-fossil-fuel-industry-is-broken-will-a-cleaner-climate-be-the-result>

⁷⁸ W. Nordhaus, Climate Change: The Ultimate Challenge for Economics. *American Economic Review* 2019, 109(6): 1991–2014.

⁷⁹ Hänsel et al, 2020. Climate economics support for the UN climate targets <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0833-x>

⁸⁰ DeFries et al., 2019 - The missing economic risks in assessments of climate change impacts.

⁸¹ Stern & Stiglitz, 2021. The social cost of carbon, risk, distribution, market failures: an alternative approach. <https://www.nber.org/papers/w28472>

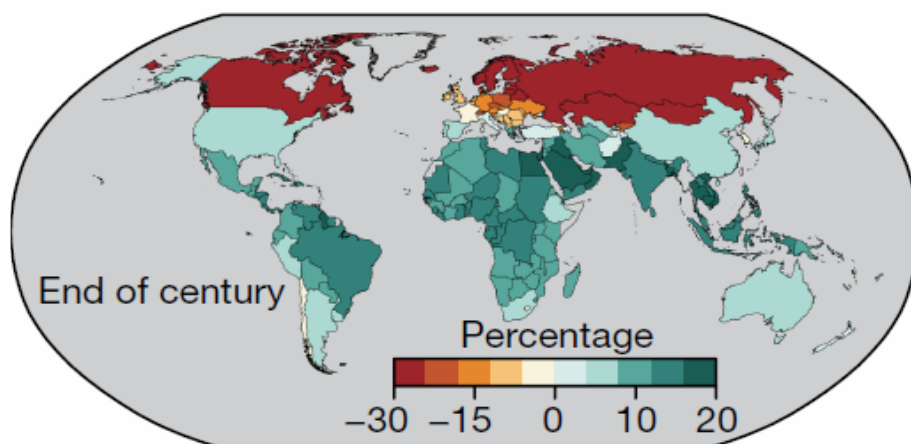


Fig. 14. Prosent økning i BNP per person dersom den globale temperaturstigning begrenses til 1,5°C sammenliknet med en stigning på 2°C. Land med blå fargetoner kommer økonomisk bedre ut dersom temperaturøkningen begrenses til 1,5°C. For land med brun/rød fargetoner er det ikke noen fordel med så store utslippsreduksjoner. Mange fattige utviklingsland er spesielt sårbare.

Et par studier publisert i 2018 tyder også på at Paris-målene er fornuftige også fra et økonomisk synspunkt. En av disse fant at det er 75% sannsynlighet for at verden tjener på å begrense oppvarmingen til 1.5 °C istedenfor å la den fortsette til 2°C. Fig. 14 viser hvordan brutto nasjonalproduktet per person påvirkes i ulike land.⁸²

I et annet arbeid ble den sosiale kostnaden av CO₂-utslipp beregnet for ulike land. Dette er kostnaden på grunn av skader av klimaendringene, evt. nytten hvis verdien er negativ, dersom verdens utslipp øker med av et tonn CO₂. I overensstemmelse med resultatene nevnt ovenfor, er det stor forskjell på landene. Mens mange land i nord kommer ut med gevinst, er det store tap de fleste andre steder. De beregnede verdiene varierer med ulike antakelser, men for India, Kina, USA og Saudi-Arabia er den sosiale kostnaden alltid stor.⁸³

Statkraft har utarbeidet et lavutslippsscenario. Dette ble presentert i et foredrag av Henrik Sætnes. Han finner at kostnadene ved global temperaturstigning på 2°C langt overstiger omstillingskostnaden mot en 1,5-graders verden. Kostnadene ved 3°C temperaturstigning er 2 – 3 ganger større enn ved 2°C⁸⁴.

Selv om det er sannsynlig at disse resultatene gir et noenlunde riktig bilde, må en være klar over at de baserer seg på en del antakelser, og at usikkerhetene fortsatt er store.

14. Klimamål i en del land

Som nevnt tidligere, har EU-landene etablert et kvotesystem. Innenfor systemet kan bedrifter kjøpe og selge kvoter. EU-landene er nylig blitt enige om å redusere utslipp av klimagasser med minst 55 prosent innen 2030 sammenliknet med 1990-nivåene. Det er også et mål at EU skal bli klimanøytralt innen 2050. Opptak av CO₂ i skog og endret arealbruk regnes med. Dette vil gjelde endringer fra 2020. Det vil nok skape problemer blant annet ved at tilvekst av skog også endrer albedo som nevnt tidligere. Hvordan utslippskuttene skal fordeles mellom landene er ikke avklart. Tyskland har nylig kommet med planer om hvordan de vil redusere utslippene med 55% sammenliknet med 1990 innen

⁸² Burke et al., 2018. Large potential reduction in economic damages under UN mitigation targets. Nature 557, 649 – 553.

⁸³ K. Ricke et al. 2018. Country-level social cost of carbon. Nature Climate Change, 6, 895 – 900.

⁸⁴ <https://www.polyteknisk.no/wp-content/uploads/2019/10/Henrik-Sætness-i-Polyteknisk-Forening-20191023.pdf>

2030, og i Storbritannia har Boris Johnson sagt at de vil redusere med 68% innen 2030.⁸⁵ I Kina har Xi Jinping erklært at CO₂-utslippene skal nå toppen før 2030, og at Kina skal bli klimanøytralt innen 2060.⁸⁶ Det gjenstår å se hvor godt planene blir fulgt opp.

Norges klimamål er nå (desember 2020) å redusere utslippene med minst 50 prosent og opp mot 55 prosent innen 2030 sammenlignet med 1990-nivå.⁸⁷ Siden Norge knytter norske utslippsmål til EU, må en forvente at målet endres til minst 55%. Imidlertid ligger vi dårlig an til å nå dette målet.

Regjeringen har lagt fram en «Klimaplan for 2021 – 2030». Der skisseres det hvordan en kan oppnå en 45% reduksjon i ikke-kvotepfiktige utslipp i 2030 sammenliknet med 2005. Planen er ikke vedtatt (februar 2021), og den har fått en del kritikk blant annet for å være for lite ambisiøs og for lite konkret.⁸⁸

Det er fortsatt lite sammenheng mellom Norges Klimatiltak og norsk petroleumspolitik.

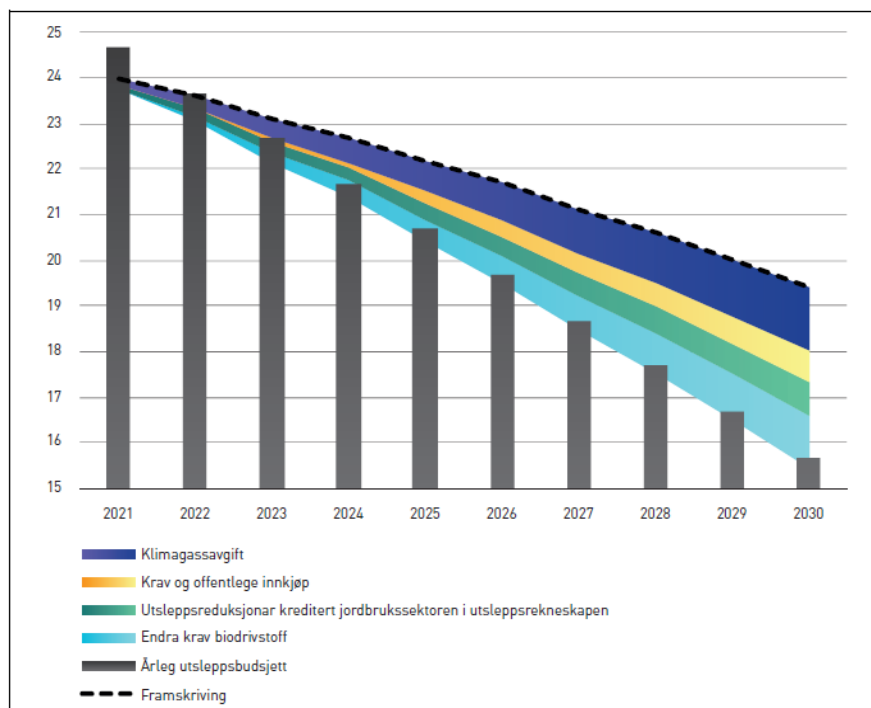


Fig. 15. Plan for 45% reduksjon i ikke-kvotepfiktige utslipp (hovedsakelig transport og jordbruk) i 2030 i forhold til 2005. Karbonavgiften som nå er 590 kr per tonn CO₂-ekv skal gradvis økes til 2000 kr. Det

⁸⁵ Towards a Climate-Neutral Germany, 2020.

<file:///M:/Artikler/Artikler-andres/Year%202020/Öko-Institut%20-%20Towards%20a%20Climate-Neutral%20Germany.%20Executive%20Summary.pdf>

The Guardian, Dec. 2020.

<https://www.theguardian.com/environment/2020/dec/03/uk-vows-outdo-other-major-economies-emissions-cuts-by-2030>

The Sixth Carbon Budget, The UK's path to Net Zero

<https://www.theccc.org.uk/publication/sixth-carbon-budget/>

Se også EU agrees on tougher climate goals for 2030 | News | DW | 11.12.2020

[EU agrees on tougher climate goals for 2030 | News | DW | 11.12.2020](https://www.fmprc.gov.cn/mfa_eng/zxxx_662805/t1817098.shtml)

⁸⁶ https://www.fmprc.gov.cn/mfa_eng/zxxx_662805/t1817098.shtml

⁸⁷ <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/>

⁸⁸ Meld. St. 13 (2020 – 2021). For kritikk, se <https://www.nrk.no/norge/kritiserer-klimameldingen-for-mangel-pa-ambisjoner-1.15318835>

skal gis insentiver til økt bruk av elbiler, f. eks. krav om nullutslipp i offentlige kjøp av personbiler og lette varebiler. Dessutan nye krav om biobrensel.

Equinor, LO og NHO har satt som felles mål om å kutte utslippene med 40 prosent innen 2030, målt mot 2005. I 2050 skal norsk oljeproduksjon være utslippsfri⁸⁹. På John Sverdrup feltet erstatter elektrisitet fra land bruk av gass. Dette reduserer utslipp på feltet. Det er delte meninger om hvor gunstig dette er. Det bidrar til at Norge kan oppfylle sine forpliktelser i Paris-avtalen. Men det krever mye fornybar energi. Kanskje ville det være andre anvendelser som ga bedre klimaeffekt. Klimaeffekten er avhengig av hvordan den gassen som blir tilgjengelig, anvendes. Dersom den erstatter kullforbruk i Tyskland er virkningen betydelig, men hvis tilførselen av gass hemmer omstilling til fornybar energi, er det ikke bra. Kvotehandelen kompliserer bildet. Dersom ikke kvoter slettes, vil utslippskuttet kunne føre til økt utslipp andre steder⁹⁰.

Misforholdet mellom raus støtte til i oljenæringen gitt i 2020 for årene fremover og den forslåtte støtten til fornybar energi synes å være på klar kollisjonskurs med intensjonene i Paris-avtalen.⁹¹

15. Grunnlovens § 112 (Miljøparagrafen)

Denne paragrafen lyder:

Enhver har rett til et miljø som sikrer helsen, og til en natur der produksjonsevne og mangfold bevares. Naturens ressurser skal disponeres ut fra en langsiktig og allsidig betraktning som ivaretar denne rett også for etterleken.

Borgerne har rett til kunnskap om naturmiljøets tilstand og om virkningene av planlagte og iverksatte inngrep i naturen, slik at de kan ivareta den rett de har etter foregående ledd.

Statens myndigheter skal iverksette tiltak som gjennomfører disse grunnsetninger.

På bakgrunn av denne paragrafen anla Greenpeace, Natur og Ungdom med Besteforeldreaksjonen som partshjelper sak mot Staten for å stoppe leting etter olje i Barentshavet.⁹² Saken var oppe i Tingretten høsten 2017, og miljøorganisasjonene tapte. Kjennelsen ble anket.

Saken ble behandlet i Borgarting lagmannsrett høsten 2019. Denne gangen var også Naturvernforbundet partshjelper. Dommen kom 23.01.2020⁹³. Igjen ble staten frifunnet. Likevel var miljøorganisasjonene mer fornøyd med denne dommen enn med dommen i tingretten.

Lagmannsretten kom, i motsetning til tingretten, til at Norge har et ansvar for utslipp som skjer ved forbrenning av eksportert olje og gass. De skriver:

«Lagmannsretten legger derfor til grunn at også utslipp fra forbrenning etter eksport er relevant i vurderingen.»

I tingretten ble miljøorganisasjonene pålagt saksomkostninger. Dette gjorde ikke lagmannsretten: «Lagmannsretten er likevel kommet til at det foreligger tungtveiende grunner som gjør det rimelig å fritta miljøorganisasjonene for kostnadsansvaret, både for tingretten og for lagmannsretten. Saken gjelder sentrale verdier knyttet til miljøet og borgernes framtidige livsvilkår.

Saken ble anket til høyesterett. Den ble behandlet i plenum, noe som er relativt sjelden. Det var derfor en viss optimisme før dommen falt 22.12.2020, men den var en skuffelse for

⁸⁹ <https://e24.no/energi/i/kJLO7X/equinor-lo-og-nho-sammen-om-nytt-klimamaal-norsk-sokkel-skal-bli-utslippsfri>

⁹⁰ <https://www.besteforeldreaksjonen.no/2020/01/meningslos-bruk-av-elkraft/>

⁹¹ [Norway parliament grants more tax relief to oil sector | Reuters](https://www.reuters.com/news/analyst/norway-parliament-grants-more-tax-relief-to-oil-sector)

⁹² Se <https://www.besteforeldreaksjonen.no/category/klimasoksmal-arktisk/>

⁹³ Se <http://www.klimasoksmal.no/wp-content/uploads/2020/01/dom.pdf>

miljøorganisasjonene. Anken ble forkastet. Et visst lyspunkt var at 4 av de 15 dommerne dissenterte på noen punkter.⁹⁴ Enkelte kjente jurister har uttalt seg kritisk om dommen.⁹⁵ Miljøorganisasjonene vurderer å anke til Den europeiske menneskerettsdomstolen i Strasbourg.

Jusprofessor H.P. Graver om dommen i Høyesterett: Når domstolene abdiserer, er spørsmålet overlatt til historiens dom. Den kjenner vi ikke. Den kan bli streng.

16. Konklusjoner

- Klimaendringer har påvirket naturlige systemer og mennesker på alle kontinenter og alle havområder.
- Betydelig stigning (vel 1 grad) i global temperatur siden førindustriell tid. Størst stigning i nordlige områder. Hovedsakelig menneskeskapt.
- Global temperaturstigning vil sannsynligvis nå 1.5°C mellom 2030 og 2052 hvis den fortsetter å øke som nå.
- Vi ser allerede alvorlige virkninger (stigende havnivå, tørke, branner, ekstremvær mm).
- Globale utslipp av klimagasser steg til og med 2019. Litt nedgang i 2020 pga pandemien. Utslippene må reduseres langt raskere enn forpliktelsene i Paris-avtalen tilsier.
- CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren fortsetter å stige.
- Norske utslipp har avtatt litt de siste årene. Totalt utslipp av klimagasser var i 2019 2,3% lavere enn i 1990. Ser vi på CO₂, den viktigste klimagassen, var det imidlertid en økning på nesten 20%. Antagelig en nedgang i utslipp i 2020, men vil det vare?
- Sannsynligvis vil verden tjene på å begrense oppvarmingen til 1,5 °C istedenfor å la den fortsette til 2°C. Muligheten for at vi når ett eller flere vippepunkter må tas på alvor.
- Det er mulig, men svært vanskelig, å begrense temperaturstigningen til 1,5°C. Det vil også være krevende å begrense stigningen til 2°C. Tekniske forbedringer kan gi store utslippsreduksjoner, men endret livsstil synes nødvendig.
- Fortsatt er det mye i klimasystemet som er for dårlig kjent, og vi kan få overraskelser. Men det er ingen unnskyldning for å la være å handle.

Avsluttende kommentar.

Jeg har kanskje virket litt pessimistisk i dette notatet. For å slutte i en litt mer optimistisk tone vil jeg gjengi de siste linjene i Amanda Gormans dikt som hun fremførte da Biden ble innsatt som president 20 januar 2021.

*For there is always light,
if only we're brave enough to see it.
If only we're brave enough to be it.*

⁹⁴ Dommen finner du på <https://www.regjeringen.no/contentassets/4a0732c2360c4f7ca197ce19986f8f0f/dom-hoyesterett.pdf>

⁹⁵ Jusprofessor om klimasøksmålets dom: – Høyesterett har stilt seg på feil side av historien

[Jusprofessor om klimasøksmålets dom: – Høyesterett har stilt seg på feil side av historien – E24](#)

Graver, Kommentar til Høyesteretts dom i klimasøksmålet - En nærsynt dom

<https://juridika.no/innsikt/en-n%C3%A6rsynt-dom>; se også <https://www.besteforeldreaksjonen.no/2020/12/en-naersynt-dom/>

Se også <https://energiogklima.no/kommentar/hoyesteretts-dom-i-klimarettssaken-er-juridisk-haerverk/>

Tillegg: Noen aktuelle web-sider

The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (FNs klimapanel). Nettsidene inneholder svært mye informasjon, blant annet vurderingsrapportene (Assessment Reports) og rapportene Global Warming of 1.5°C, Climate Change and Land og IPCC - SROCC (2019), The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.

Rapportene er tykke og det kan lønne seg nok å se etter Summary-rapporter. Adressen er:

<https://www.ipcc.ch/>

CICERO Senter for klimaforskning

<https://www.cicero.oslo.no/no>

Spesielt kan CICEROs nettmagasin *KLIMA* anbefales. Dette kan en abonnere på.

<https://www.cicero.oslo.no/no/posts/klima>

Bjerknessenteret for klimaforskning

<https://www.bjerknes.uib.no/forside>

Nettmagasinet *Energi og Klima* gis ut av [Norsk klimastiftelse](#).

<https://energiogklima.no/>

Miljødirektoratet publiserer rapporter som omhandler klimaendringer og tiltak.

<https://www.miljodirektoratet.no/>

Besteforeldrenes klima-aksjon har en nettside med sikte på å spre informasjon om klimaproblemet (ikke bare for eldre).

<https://www.besteforeldreaksjonen.no/>

Diskusjoner som kan være av interesse, finnes på *Real Climate* (<http://www.realclimate.org/>) og *Sceptical Science* (<https://skepticalscience.com/>).

Det er også mange nettsider som sprer desinformasjon. Beryktet er *Heartland Institute* i USA. Instituttet er sterkt kritisert i flere artikler blant annet i *The Guardian*, se f. eks. *Leak exposes how Heartland Institute works to undermine climate science*, 15.02.2012

<https://www.theguardian.com/environment/2012/feb/15/leak-exposes-heartland-institute-climate>

Et eksempel på virksomheten til Heartland Institute er kampanjen for å skape tvil om global oppvarming med blant annet denne plakaten.



Det norske nettstedet til organisasjonen som har tatt det misvisende navnet *Klimarealistene* må også leses med et svært kritisk blikk. Jeg ser ikke bort fra at det kan være nyttig med en djevelens advokat noen ganger, men bruk ikke informasjon herfra uten grundig sjekk i mer pålitelige kilder.

<http://www.klimarealistene.com/>

I forbindelse med klimarettssaken i Høyesterett sendte Klimarealistene et såkalt Prosess-skriv, se

<https://www.klimarealistene.com/wp-content/uploads/2020/09/Prosesskriv-til-Hoyesterett-rev-E.2final.pdf>

Trass i at det var mange professorer og en nobelprisvinner blant underskriverne inneholdt det en rekke feil, benytter utdatert informasjon og utelater viktige nye forskningsresultater. En kommentar er gitt på

<https://www.besteforeldreaksjonen.no/2020/10/pinlig-fra-professorer/>