

Klimaendringer – nytt grunnkurs november 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 at global temperaturstigning ikke skal 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.

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 – 7 års mellomrom. Disse vurderer forskningen på området; IPCC driver ikke selv forskning. I august 2021 kom første del av den sjette vurderingsrapporten.¹ IPCC gir 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 2019. Disse rapportene vil senere bli referert til som IPCC (2021), IPCC (2018), IPCC (2019a) og IPCC (2019b). Denne oversikten er i betydelig grad basert på disse rapportene.²

Noen konklusjoner, fra IPCC (2021) «Summary for Policy Makers» er gitt nedenfor:

Det er ingen tvil om at menneskets påvirkning har ført til oppvarming av atmosfære, hav og land. Det har vært utbredte og hurtige endringer i atmosfæren, havene, kryosfæren³ og biosfæren.

Menneskeskapte klimaendringer påvirker allerede ekstreme hendelser i vær og klima i alle deler av kloden. Siden forrige hovedrapport er det sikrere observasjoner av endringer i ekstreme hetebølger, nedbør, tørke og tropiske sykloner, og spesielt er betydningen av menneskeskapt påvirkning blitt klarere.

Bedre forståelse av klimatiske prosesser, paleoklimatiske studier og klimasystemets reaksjon på økt strålingspådriv, gir et estimat av klimafølsomheten⁴ på 3°C med mindre usikkerhet enn i forrige hovedrapport.

Den globale overflatetemperaturen vil fortsette å stige i det minste til midten av dette århundret for alle de antatte utslippsscenariene. Oppvarmingen vil stige med mer enn 1.5°C og 2°C innen 2100 uten kraftige reduksjoner i utslipp av CO₂ og andre drivhusgasser i de nærmeste tiårene.

¹ IPCC, 2021. Sixth Assessment Report, [Sixth Assessment Report — IPCC](#)

² IPCC-rapportene finnes ved å gå inn på <https://www.ipcc.ch/>

³ 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.

⁴ Global temperaturstigning ved en dobling av CO₂-konsentrasjonen. Mer om dette senere.

Mange av endringene forårsaket av tidligere og fremtidige utslipp av drivhusgasser, er irreversible i hundrer eller tusener år. Dette gjelder særlig endringer i hav, innlandsis [Antarktis, Grønland] og globalt havnivå.

Om hendelser med lav sannsynlighet, men store konsekvenser, sier rapporten: [Slike hendelser], som nedsmelting av innlandsis, plutselige endringer i havsirkulasjon, noen sammenfallende ekstreme hendelser og betydelig større oppvarming enn det sannsynlige intervallet, kan ikke utelukkes og må tas med i risikovurderinger.

For å begrense menneskeskapt global oppvarming til et gitt nivå må akkumulerte CO₂-utslipp begrenses slik at en i det minste når netto nullutslipp. Utslipp av andre drivhusgasser må samtidig reduseres kraftig.

International Energy Agency (IEA) har tidligere vært beskyldt for å høre for mye på «fossillobbyen». Men i en rapport fra 2021 heter det: Det er ikke behov investeringer i ny produksjon av fossil energi i vårt netto-null scenario⁵.

Noe liknende ble uttrykt i en leder i det kjente tidsskriftet Nature (26 april 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.

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.⁶ Verdens meteorologiske organisasjon (WMO) kom tidlig i 2021 med rapporten State of the Global Climate 2020.⁷

En kan skille mellom fire typer tiltak for å motvirke menneskeskapt klimaendringer: redusere utslipp av klimagasser, fjerne klimagassene fra atmosfæren, manipulere klimasystemet (geoengineering) og tilpassing.

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

⁵ IEA, 2021. Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector

⁶ 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/)

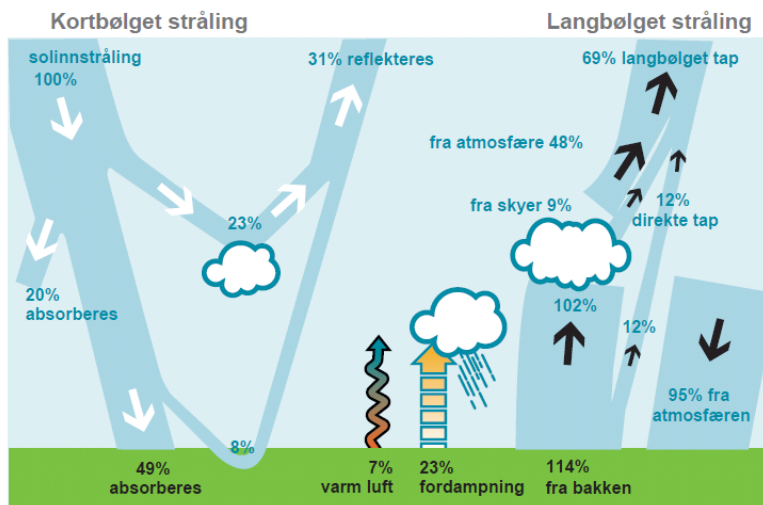
⁷ WMO, State of the global climate, 2021. [State of Climate in 2021: Extreme events and major impacts | World Meteorological Organization \(wmo.int\)](https://www.wmo.int/news-room/press-releases/2021/03/state-of-climate-in-2021-extreme-events-and-major-impacts)

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.⁸ I en senere publikasjon justerte han verdien til 4°C. Økningen i global temperatur ved en dobling av CO₂-konsentrasjonen, når det er oppnådd likevekt, omtales som klimafølsomheten (climate sensitivity). IPCC (2021) angir at klimafølsomheten er 3 °C, og at det er mer enn 67% sannsynlighet for at den er mellom 2,5°C og 4°C, og mer enn 90% sannsynlighet for verdier mellom 2°C og 5°C. Tidligere har det vært angitt større usikkerhetsintervaller. Noen av siste generasjon klimamodeller (CMIP6) gir imidlertid verdier opp mot 6 grader, så den øvre grensen må fortsatt anses som noe usikker⁹.

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.

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.



⁸ Arrhenius, S., 1896. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *Philosophical Magazine*, 41, 251, 237-77.

⁹ 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/>

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 lufta 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, drøvtvggere (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 Potensial, 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.) 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.¹⁰

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 problemer knyttet til disse. men overensstemmelsen med bakkemålinger synes nå å være god¹¹. Det er mye mer komplisert å måle nedbør enn temperatur, og usikkerheten i målingene er betydelig større. IPCC (2021) påpeker at en nå har lengre og bedre måleserier enn tidligere, og at konklusjonene dermed er sikrere.
- *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 CO_2 -konsentrasjonen i atmosfæren i de siste 800 000 år ved at en har analysert lufta i små bobler som er sperret inne i isen.

¹⁰ Feldman et al., 2015. Observational determination of surface radiative forcing by CO_2 from 2000 to 2010, Nature, 519, 339 – 343.

¹¹ Sobrino et al., 2020. Surface Temperature of the Planet Earth from Satellite Data over the Period 2003–2019 <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/12/2036>

Zou et al., 2021. Post-millennium atmospheric temperature trends observed from satellites in stable orbits. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2021GL093291>

- *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 reproduserte observert global overflatetemperatur i etterfølgende år rimelig bra¹². Syukuro Manabe og Klaus Hasselmann fikk nobelprisen i fysikk 2021 begrunnet med at de la grunnlaget for vår kunnskap om jordas klima og hvordan menneskeheten påvirker det. 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.

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.¹³ En nyere undersøkelse fant imidlertid at den mest sannsynlige verdien var 2,7°C over førindustriell temperatur.¹⁴ Smelting av permafrost og ødeleggelse av regnskogen i Amazonas på grunn av tørke er andre eksempler. AMOC, Atlantic Meridional Overturning Circulation), som Golfstrømmen er en del av, er blitt svakere i senere år. Noen forskere hevder en kan være i nærheten av et vippepunkt hvor det ikke blir mulig å snu trenden. Det vil i så fall få store klimavirkninger, men dette er kontroversielt. Sannsynligheten for å nå et vippepunkt i dette århundret, er liten.^{15,16} En beskrivelse av vippepunkter er gitt i en artikkel av Lenton og medarbeidere¹⁷. Konsekvensene dersom ett eller flere vippepunkter nås, vil bli dramatiske.

¹² 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>

¹³ 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>

¹⁴ 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>

¹⁵ Caesar et al., 2021. Current Atlantic Meridional Overturning Circulation weakest in last millennium, <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00699-z>

¹⁶ N. Boers, 2021. Observation-based early-warning signals for a collapse of the Atlantic Meridional Overturning Circulation. [Observation-based early-warning signals for a collapse of the Atlantic Meridional Overturning Circulation \(nature.com\)](https://www.nature.com/articles/d41586-019-03595-0)

¹⁷ 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

6. Utslipp og konsentrasjoner av klimagasser

Utslipp av CO₂ til atmosfæren for landene med størst utslipp fra bruk av fossilt brensel for perioden 1960 til 2021 er vist i Fig.2.¹⁸ Det var en nedgang i utslippene, anslått til 5,4%, i 2020 i forhold til 2019 på grunn av pandemien. Nedgangen var dessverre forbigående. I 2021 er det anslått at utslippene blir omtrent som i 2019. Totalt var utslippene av CO₂ i 2020, inkludert utslipp fra endret bruk av land, omtrent 10,2 GtC (37,4 GtCO₂). Utslipp av andre klimagasser er anslått til 13,5 GtCO₂-ekvivalenter (100års perspektiv).¹⁹

Kina er det landet som har størst utslipp, men per person er utslippene i USA mye større.

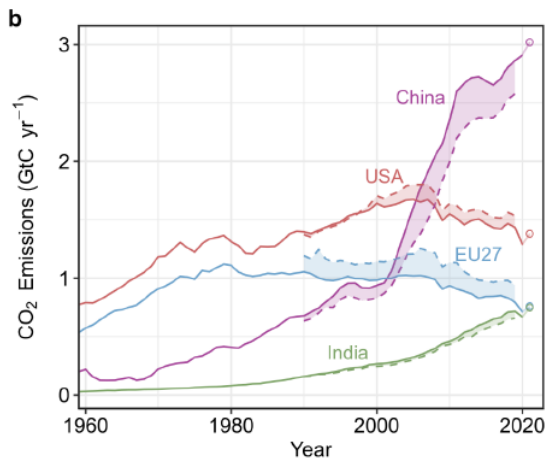


Fig. 2. CO₂-utslipp fra viktige land. Her er utslippene gitt i GtC per år. For å få verdiene for CO₂ må det multipliseres med 3,67. Verdiene for 2021 (sirkler) er foreløpige. Heltrukne linjer er territoriale utslipp, stiplede linjer er baser på konsum. Gt er det samme som milliarder tonn. Nedgangen i 2020 skyldes pandemien. Utslippene har dessverre økt raskt igjen. Utslipp per person var i 2020 (i tonn C): USA: 3,9; Kina: 2,0; EU: 1,6; India: 0,5; Norge: 2,1. Gjennomsnittet i verden var 1,2.

¹⁸ Figuren er fra Global Carbon Budget 2021 (preprint). <https://doi.org/10.5194/essd-2021-386>

¹⁹ United Nations Environment Programme (2021). *Emissions Gap Report 2021*. [Emissions Gap Report 2021 | UNEP - UN Environment Programme](https://www.unep.org/emissions-gap-report-2021)

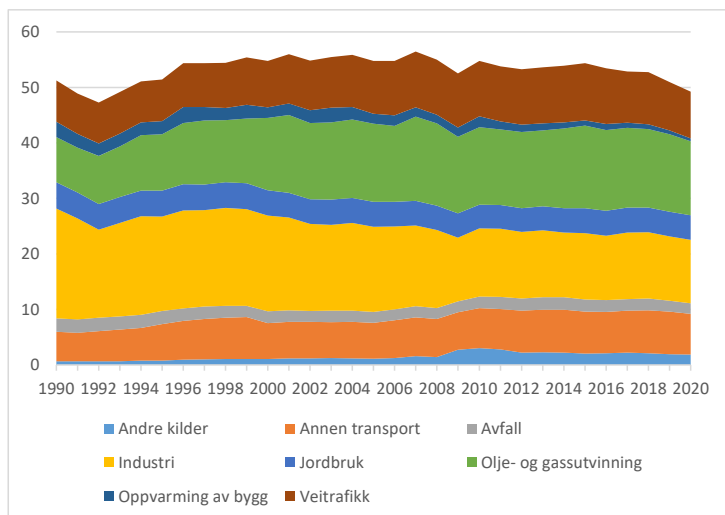


Fig. 3. Norske utslipp klimagasser fra 1990 til 2020 (millioner tonn CO₂ekv). Bidrag fra andre gasser enn CO₂ er beregnet for et 100-års perspektiv. Bidragene fra «Andre kilder» og «Avfall» for 2020 var ikke klare og er anslått, men det betyr lite. Norske bidrag til internasjonal luft- og skipsfart er ikke med.

Fig. 3 viser norske utslipp av klimagasser fra 1990 til 2020. Siden 2016 har det vært en svak reduksjon i totalutslippene på ca 4%. Det største bidraget til nedgangen kom fra veitrafikk som sank med omtrent 16% i denne perioden. Det var litt mer bruk av biodrivstoff i 2020 enn i 2016, men bruk av drivstoff basert på palmeolje var drastisk redusert. (Problemer med bruk av biodrivstoff diskuteres senere.) Sammenliknet med 1990 har totalutslippene avtatt med 3,9 prosent. Ser vi bare på den viktigste klimagassen, CO₂, har det vært en betydelig økning fra 1990, hele 18%.²⁰.

Litt under halvparten av den CO₂-mengden vi slipper ut, blir i atmosfæren. Resten tas opp i havet eller på land.²¹ CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren har økt betydelig siden førindustriell tid fra omkring 280 ppm (parts per million) til omtrent 416 ppm, se Fig. 4.

:

²⁰ [Norges klimagassutslipp ble redusert i pandemiåret 2020 - Miljødirektoratet \(miljodirektoratet.no\)](https://miljodirektoratet.no/nyheter/norges-klimagassutslipp-ble-reduisert-i-pandemiaret-2020)

²¹ 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.

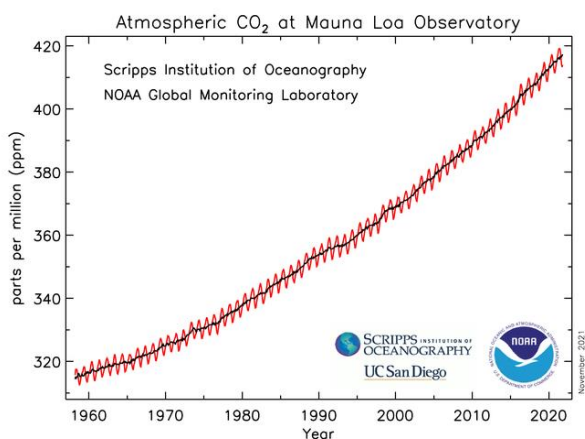


Fig. 4. CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren. Rød kurve viser årstidsvariasjonene, svart kurve er utglattet. Nøyaktige målinger begynte først i 1958. Før det har en spredte målinger, men de var ofte unøyaktige og/eller påvirket av lokale forhold.²²

Metankonsentrasjonen i atmosfæren har økt med en faktor på omtrent 2,5 siden førindustriell tid og er nå omtrent 1893 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.²³

7. Utviklingen i temperatur

Global temperatur fra slutten av 1800tallet til oktober 2021 er vist i Fig. 5a. Økningen fra førindustriell tid er omtrent 1,1 grad C. Økningen er størst i Arktis, der den er omtrent tre ganger så stor som globalt og spesielt stor om vinteren²⁴. 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 menneskeskapte utslipp. Andre naturlige variasjoner spiller også inn, spesielt variasjoner i solintensiteten og 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 varmt. Slike forhold kommer gjerne med 2-7 års mellomrom. Utpregede El Niño-forhold medfører høy global temperatur.²⁵ Midlet over tiårsperioder, er økningen imidlertid ganske jevn (Fig. 5b).

²² Se Seip, 2008. Lite skeptiske klimaskeptikere:

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

²³ Se https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends_ch4/

²⁴ AMAP 2021, Arctic climate change update 2021: key trends and impacts.

²⁵ 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.

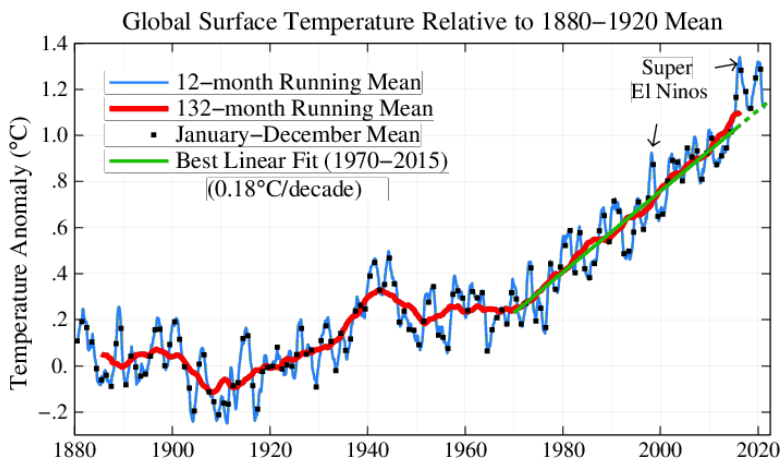
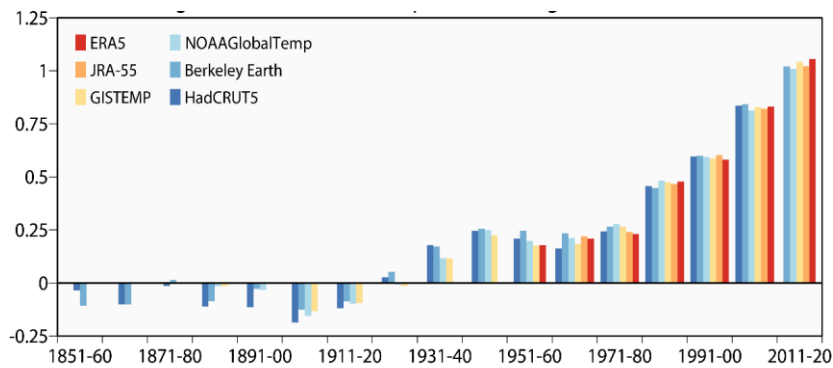


Fig. 5a. Global temperatur 1880 – oktober 2021. Legg merke til den høye temperaturen ved «Super El Niño». De to varmeste årene var 2016 og 2020 med praktisk talt samme globale temperatur. De siste sju årene var de varmeste i denne perioden.²⁶ 2021 ser ut til å bli noe kjøligere enn 2019 og 2020. Dette var forventet på grunn av La Niña-forhold. Likevel ligger 2021 an til å bli et av de 10 varmeste årene, mest sannsynlig nr 6. I 1991 var det et stort vulkanutbrudd på Filippinene (Pinatubo). Dette medførte store partikkelutslipp som førte til relativt lave temperaturer i 1992-1993.



²⁶ Hansen & Sato, [OctoberTUpdate+BerlinRally.18November2021.pdf \(columbia.edu\)](https://www.columbia.edu/~ese1403/OctoberTUpdate+BerlinRally.18November2021.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.²⁷

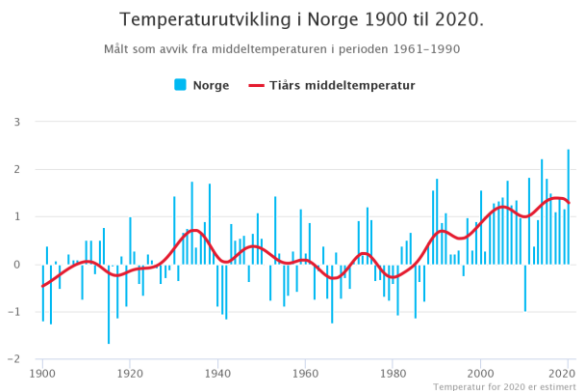


Fig. 6. Utviklingen i temperatur i Norge. 2020 var det varmeste året i perioden.

Temperaturutviklingen i Norge fra 1900 til 2020 er vist på Fig. 6²⁸. 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 vinteren²⁹. Også nedbøren i Norge har økt siden 1900.

Temperaturutviklingen siden siste istid (Holocen) er vist i Fig. 7.³⁰ 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.

²⁷ <https://climate.copernicus.eu/2020-warmest-year-record-europe-globally-2020-ties-2016-warmest-year-recorded>

²⁸ Meteorologisk institutt, <https://www.met.no/vaer-og-klima/klima-siste-150-ar>

²⁹ Hanssen-Bauer et al, Climate in Svalbard 2100 (2019)

³⁰ 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>

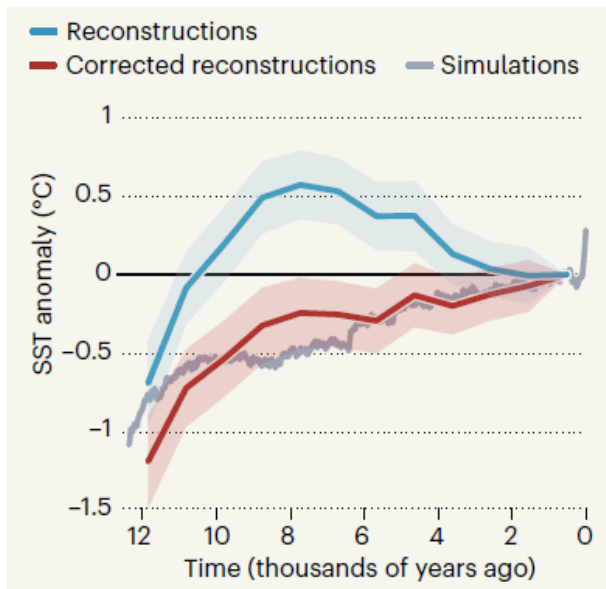


Fig. 7. Temperaturutviklingen i Holocen.

En undersøkelse som kombinerer paleoklimatiske data med modellrekonstruksjoner gir liknende temperaturvariasjoner, men temperaturen fra rundt 10 000 år siden og fram til den industrielle perioden er mer stabil³¹.

8. Virkninger

Klimaendringer har påvirket naturlige systemer og mennesker på alle kontinenter og alle havområder. En del virkninger ser vi allerede i dag³². En av de mest skremmende hendelsene i 2021 var den ekstreme hetebølgen i det nordvestlige USA og vest i Canada i slutten av juli og begynnelsen av juli. Temperaturen i Canada kom opp i nesten 50 °C, nesten 5 grader høyere enn den tidligere rekorden. Hvis ikke utslippene reduseres raskt og drastisk, vil ekstreme hendelser bli adskillig hyppigere 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.^{33,34}

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

³¹ Osman et al., 2021. Globally resolved surface temperatures since the Last Glacial Maximum <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03984-4>

³² 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>

³³ Se f. eks. Schiermeier, 2018, Climate as culprit, Nature, 560, 20 - 22.

³⁴ 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>

største farer menneskeheten står overfor⁶². 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 tetthet³⁵, og fordi isbreer og innlandsis smelter. IPCC (2021) angir at i perioden 1901 – 2018 steg det midlere havnivå med omtrent 20,2 cm, så per år blir det 1,73 mm. Stigningen har økt i senere år og var i perioden 2006 – 2018 omtrent 3,69 mm/år. Stigningen varierer fra sted til sted. Tabell 9.5 i IPCC (2021) gir mer detaljer.

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 massen avtar også her³⁶. 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.

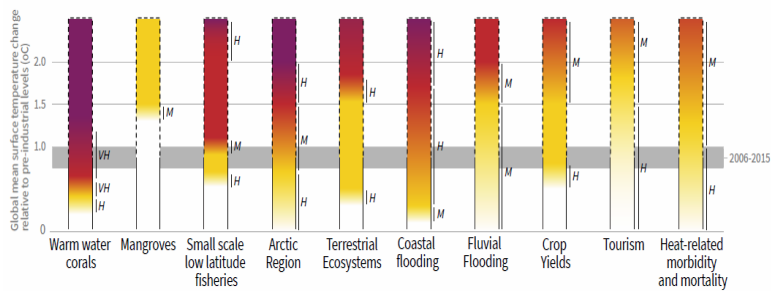


Fig. 8. Virkninger og risiko for virkninger for en del systemer. Temperaturøkning fra førindustriell tid er gitt på y-aksen. Hvitt felt betyr ingen påvist skade, farger fra gult til purpur indikerer økende skade. H betyr at det er stor tiltro til resultatene, M står for middels tiltro.

³⁵ Tettheten av saltvann avtar hele tiden med økende temperatur, mens tettheten av ferskvann er størst ved 4°C.

³⁶ IPCC, 2019b, The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, CH. 3. IPCC 2021 Chapter 9.

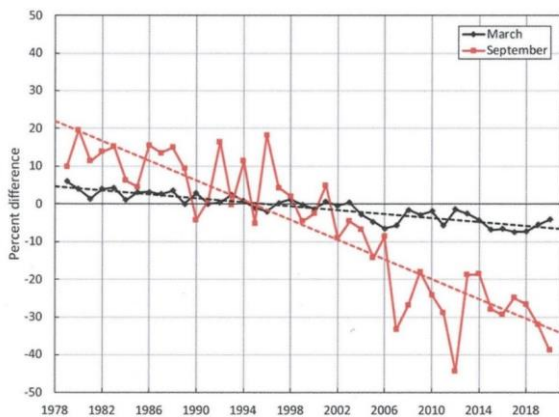


Fig. 9 Avtakende havis i Arktis. Avvik i prosent fra middelet for 1981 -2010. September er måneden med minst is (endring: 13,1% per tiår). Septemberverdien i 2021 var litt høyere enn i 2017. Mars er måneden med mest is (endring 2,6% per tiår).

Helsevirkninger omfatter direkte skader av hetebølger, ofte kombinert med høy luftfuktighet og/eller høyt forurensningsnivå, 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. I 2021 var det ekstreme temperaturer i nordvestlige deler av USA (særlig statene Oregon og Washington) og videre nordover i Canada (British Columbia) fra 25 juni til 1 juli. I det lille tettstedet Lytten 260 km nordøst for Vancouver ble det 29 juni målt hele 49,6 °C. Dette er den høyeste temperaturen som er registrert i Canada. Den tidligere rekorden var 45 °C.

Organismer som forårsaker sykdom kan spres til nye områder (malariamygg, 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 2021 har det vært svært alvorlige branner i en rekke land (Chile, Portugal, Kroatia, Frankrike, Australia, Sverige, California og andre stater i USA³⁷, Grønland). I 2019 var brannene i Australia svært dramatiske. Klimaendringer antas å være en medvirkende faktor til økningen av slike branner³⁸. Sommeren 2018 var det en uvanlig lang tørkeperiode i Norge, særlig på Østlandet.³⁹ IPCC (2021) angir at det er observert mer tørke i mange områder, men bidraget fra menneskeskapte klimaendringer er oftest nokså usikkert. Størst tiltro (confidence) til dette er det vest i Nord-Amerika og i Middelhavsområdet.

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

³⁷ '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

³⁸ Estimator 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.

[Did 2019 really bring us an unusual number of wildfires? | Copernicus](#)

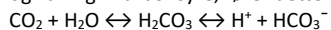
³⁹ Meteorologisk Inst (2019), Tørkesommeren 2018

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.⁴⁰

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 soya⁴¹. En artikkel i Nature Climate Change i 2021 ser på «Total faktorproduktivitet» (TFP). Dette angir totalt utbytte (varer og tjenester) produsert av totale økonomiske ressurser (land, arbeid, kapital). For jordbruk har TFP stort sett vokst helt side førindustriell tid, men mindre enn den ville gjort uten menneskeskapt global oppvarming. Reduksjonen er globalt beregnet til 21%, men reduksjonen er vesentlig større i Afrika, Latin-Amerika.⁴²

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.⁴³



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.

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 ratifiserte den imidlertid aldri, og Canada trakk 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.

⁴⁰ 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>

⁴¹ Ray et al. 2019 - Climate change has likely already affected global food production. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217148>.

⁴² Ortiz-Bobea et al., 2021. Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01000-1>

⁴³ 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.

- Landene meldte inn hvor mye de vil redusere utslippene (NDC: Nationally determined contributions). Disse forpliktelsene 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-møtet⁴⁴ i Katowice i Polen i desember 2018 forsøkte man å bli enige om noen «kjøreregler» for Parisavtalen. Det ble oppnådd noe, men problemer gjenstod:

- 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 (kvotehandling, bærekraftig utviklingsmekanisme) ble det ikke enighet om reglene.
- Det gjensto også problemer med internasjonal luft- og skipsfart.

I desember 2019 ble COP25 arrangert i Madrid⁴⁵. 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.

COP26 ble arrangert i Glasgow i november 2021. Blant resultater var

- Det ble fastslått at kullkraft uten karbonfangst skal «fases ned» og «ineffektive» subsidier av fossil energi skal fases ut. Mange hadde nok håpet på klarere formuleringer, men India, Kina og USA ville ikke at «fases ut» skulle benyttes om kull. Likevel er dette et fremskritt.
- Kina og USA ble enige om å samarbeide om klimaspørsmål. Dette kom som en overraskelse. Det blir spennende å se om dette kan føre til en viss bedring i forholdet.
- Mer enn 100 land forpliktet seg til å redusere metanutslipp. Det er første gang metan nevnes i et sluttdokument fra et COP-møte. Siden metanutslipp har svært stor effekt de første årene, er reduksjon i metan et tiltak som har rask effekt.
- Det var enighet om at klimagassutslippene må reduseres med 45% innen 2030.
- Det ble enighet om «kjøreregler» for kvotehandling, men det er uenighet om de er gode nok.
- Noe uklare uttalelser om hvordan tiltak i fattige land skal finansieres. Spesielt var øystater i Stillehavet misfornøyd med at det ikke foreligger klare forpliktelsene om kompensasjon for skader grunnet klimaendringer.⁴⁶
- Ledere i mer enn 100 land har forpliktet seg til å stoppe avskoging innen 2030.⁴⁷

10. Utslippsscenarioer og beregnede temperaturendringer

⁴⁴ 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.

⁴⁵ 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>

⁴⁶ [Cop26: Pacific delegates condemn 'monumental failure' that leaves islands in peril | Cop26 | The Guardian](#)

⁴⁷ [COP26: World leaders promise to end deforestation by 2030 - BBC News](#)

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, mye brukt. Disse betegnes etter deres strålingspådriv⁴⁸ i år 2100. De mest brukte er RCP2.6 (optimistisk), RCP4.5, RCP6.0 og RCP8.5 (svært pessimistisk). I IPCC (2021) benyttes oftest noen andre scenarier, se Fig. 10.

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 CO₂-utslippene reduseres med 7,5% per år fra og med 2020 til 2030 for å begrense temperaturstigningen til 1.5°C og 3,5% per år for å begrense den til 2°C (begge med 66% sannsynlighet)⁴⁹. Siden utslippene 2021 ser ut til å bli på samme nivå som 2019, må reduksjonene være enda større de neste 8 årene for å begrense temperaturstigningen til 1,5 eller 2 grader. 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.

Hvis landene overholder sine forpliktelser gitt i forbindelse med COP26 – og det er et meget stort hvis – hevder IEA at temperaturstigningen kan begrenses til 1,8°C.⁵⁰ CarbonBrief fant at mens forpliktelsene ulike land hadde inngått i 2020 ville gi sannsynlig temperaturstigning på 2,6 °C, vil forpliktelser fra COP26 gi 2,3°C. Hvis de også la inn at mange land har sagt at de vil gå inn for klimanøytralitet fra et visst år, ville temperaturstigningen kunne begrenses til 1,8°C. De skriver imidlertid at utsagnene om klimanøytralitet foreløpig ikke kan betraktes som bindende.⁵¹

⁴⁸ Strålingspådriv eller strålingspådrag (radiative forcing) er et mål på hvilken virkning en naturlig eller menneskeskapt faktor har som mulig klimaendringmekanisme. Strålingspådrivet er definert som endring i differansen mellom innkommende solstråling og utgående varmestråling fra jorda og måles i W/m².

⁴⁹ UNEP, Emissions Gap Report 2021. [Emissions Gap Report 2021 | UNEP - UN Environment Programme](#)

⁵⁰ [COP26 climate pledges could help limit global warming to 1.8 °C, but implementing them will be the key – Analysis - IEA](#)

⁵¹ [Analysis: Do COP26 promises keep global warming below 2C? - Carbon Brief](#)

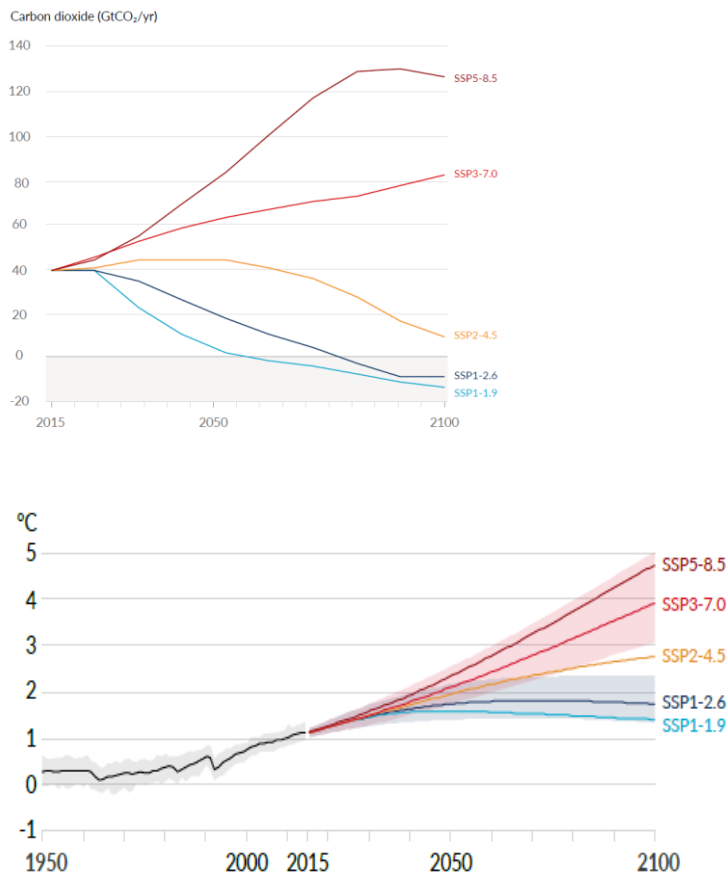


Fig. 10. Øverst: CO₂-utslipp for 5 ulike scenarier. Opp til 2020 er det målte verdier. Også utslipp av andre klimagasser og partikler må kvantifiseres, men er ikke vist her. SSP står for «Shared Socioeconomic Pathways». Scenariet som gir høyest konsentrasjon, er heldigvis lite sannsynlig, også det som gir lavest konsentrasjon er lite sannsynlig. Nederste figur viser beregnet temperatur fram til 2100 i forhold til midlet for 1850 -1900.

IPCC (2021), Summary for Policymakers Table SPM.1, gir beregnede verdier for periodene 2021 – 2040, 2041 – 2060 og 2081 – 2100 i forhold til 1850 - 1900. Bare det aller mest optimistiske scenariet gir mindre enn 1,5°C, 1,4 (1,0 – 1,8) °C mot slutten av århundret. Det midterste scenariet gir 2,7 (2,1 – 3,5) °C og det mest pessimistiske 4,4 (3,3 – 5,7) °C. Tallene i parentes viser intervallet svarende til 95% sannsynlighet.

Som nevnt tidligere, er det størst temperaturstigning i Arktis. Fig. 11 viser at slik vil det også være videre i dette århundret.

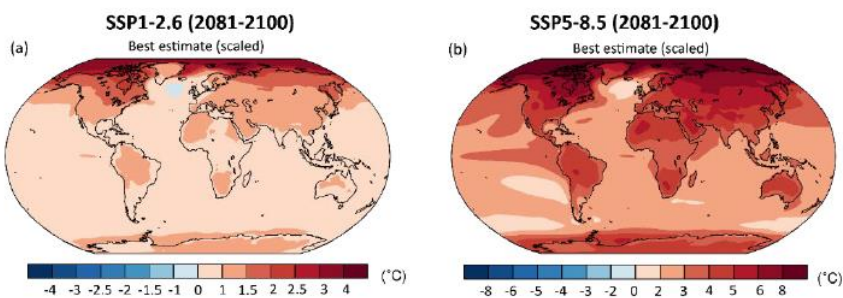


Fig. 11. Beregnede regionale endringer i temperatur i dette århundret for et optimistisk (SSP1-2.6) og et pessimistisk (SSP5-8.5) scenario. IPCC, 2021, Fig. 4.41

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. IPCC (2021) angir en medianverdi på 1350 GtCO₂ og at det 67% sannsynlighet for at verdien ligger i intervallet 900 - 2300 GtCO₂ for 2°Cs grensen og tilsvarende 500 GtCO₂ og 300 – 900 GtCO₂ for 1,5 °C regnet fra begynnelsen av 2020. Ser vi på medianverdiene svarer de til omtrent 36 år og 13 år med dagens utslipp. Det er imidlertid betydelige usikkerheter som ikke inngår i de angitte usikkerhetsintervallene, blant annet i estimatene av utslipp av andre stoffer enn CO₂.

Produksjonsgapet En rapport fra høsten 2021⁵² 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 45 prosent mer fossilt brensel i 2030 enn det som stemmer med et 2°C scenario og 110 prosent mer enn det som vil svare til et 1,5°C scenario. For 2040 øker tallene til 89 og 190 prosent. Dette globale produksjonsgapet er enda større enn emisjonsgapet omtalt tidligere. Dette henger sammen liten 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 også for olje og gass er gapene betydelige særlig for 1,5°C. For gass kan produksjonen i 2040 være nesten like stor som nå dersom vi godtar 2°C oppvarming, mens en grense på 1,5°C krever snarlig og betydelig reduksjon. Rapporten påpeker at ingen av landene med stor produksjon av fossilt brensel erkjenner klart at produksjonen må trappes ned hvis målene i Paris-avtalen skal nås.

I Norge har det vært en hissig debatt om hvilken virkning det vil ha hvis Norge begrenser sin produksjon. Det har vært hevdet at det bare fører til en like stor økning et annet sted. En gruppe norske forskere fant at om Norge kutter vil omtrent to tredeler erstattes av produksjon andre steder. Estimater er riktignok svært usikkert. De påpeker også at ved å ta initiativ til en internasjonal avtale om tilbudsbegrensning vil norske myndigheter kunne bidra til at Paris-avtalens målsetting realiseres.⁵³ En rapport fra Rystad Energy i august 2021, hevder imidlertid at kutt i norsk oljeproduksjon vil ha liten effekt på de totale klimagassutslippene, og at kutt i gassproduksjonen vil gi

⁵² SEI og andre, 2021. The Production Gap Report, [2021 Report - Production Gap](#)

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

⁵³ Fæhn et al. Parisavtalen og oljeeksporten. [Samfunnsøkonomen nr 3 2018.pdf \(nmbu.no\)](#)

økte utslipp.⁵⁴ I det siste er det imidlertid kommet signaler som tyder på at oljeproduiserende land i Midtøsten har begynt å bekymre seg for klimaendringer, spesielt mer tørke. Det kan få betydning for reaksjonen på et eventuelt norsk kutt i olje- og gassproduksjon.⁵⁵

11. Virkninger av fremtidige temperaturstigning.

Ekstremvær

Vi har nevnt at en allerede ser økning i antall hetebølger og flomepisoder, sannsynligvis også i antallet av de sterkeste orkanene. Spesielt er økende antall og intensitet av hetebølger skremmende⁵⁶. Endringer i hyppigheten av ekstremvær for fremtidige generasjoner er beregnet i en artikkel i Science. Seks typer ekstremhendelser er vurdert, hetebølger, skogbranner (og andre liknende branner), avlingssvikt, tørke, tropiske sykkloner og flom i elver. Beregningene er gjort for tre scenarier, et der det tas hensyn til utslippforpliktelser fra september 2021 og scenarier som begrenser oppvarmingen til henholdsvis 2 og 1,5 grader. Med de beste estimatene blir antall hetebølger for barn født i 2020 i gjennomsnitt henholdsvis 7,5, 5,5 og 4,5 ganger større enn for barn født i 1960 for de tre scenariene. Det vil også være betydelige økninger for andre typer ekstremvær. Det er store regionale forskjeller. Midtøsten og Nord-Afrika er svært utsatt, og vil oppleve de største forandringene i de fleste typer ekstremvær.⁵⁷

Havnivå. Fremtidig havnivåstigning er diskutert i IPCC (2021), Chapter 9 (se spesielt Table 9.5). Beregnet midlere havnivåstigning i dette århundret ved det laveste utslippsscenarioet (SSP1-1.9) er 38 cm og 77 cm ved et høyt utslippsscenario (SSP5- 8.5). Nivået vil fortsette å stige etter 2100. Allerede i år 2150 er verdiene betydelig større, 57 cm og 135 cm. 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.⁵⁸ 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.44~~⁵⁹ Dersom all isen forsvinner, vil havet stige med omtrent 7 m. En slik nedsmelting vil imidlertid ta flere hundre år.

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.

⁵⁴ Rystad Energy, 2021. Utslippseffekten av produksjonskutt på norsk sokkel [PowerPoint Presentation \(norskoljeoggass.no\)](#)

⁵⁵ [Opec member urges oil producers to focus more on renewable energy | Fossil fuels | The Guardian](#)
[Without help for oil-producing countries, net zero by 2050 is a distant dream | Ali Allawi and Fatih Birol | The Guardian](#)

⁵⁶ Met office, 2021. [One billion face heat-stress risk from 2°C rise - Met Office](#)

⁵⁷ Thiery et al., 2021. Intergenerational inequities in exposure to climate extremes, Science, 374, 158 – 160. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abi7339>

Se også [Ekstremvær i barnebarnas tid | besteforeldre for en ansvarlig klimapolitikk \(besteforeldreaksjonen.no\)](#)

⁵⁸ 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>

⁵⁹ 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>

Tropiske sykkloner (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 sykkloner. 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 arbeid fra 2020 som bruker data fra 1979 til 2017, finner forskerne imidlertid at andelen sykkloner 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 sykkloner fant de i nordlige Atlanterhavet og i den sørlige delen av Det indiske hav⁶⁰. En studie fra juni 2018 fant at hastigheten som sykkloner 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 sykkloner globalt (samlet for alle kategorier) vil endre seg.

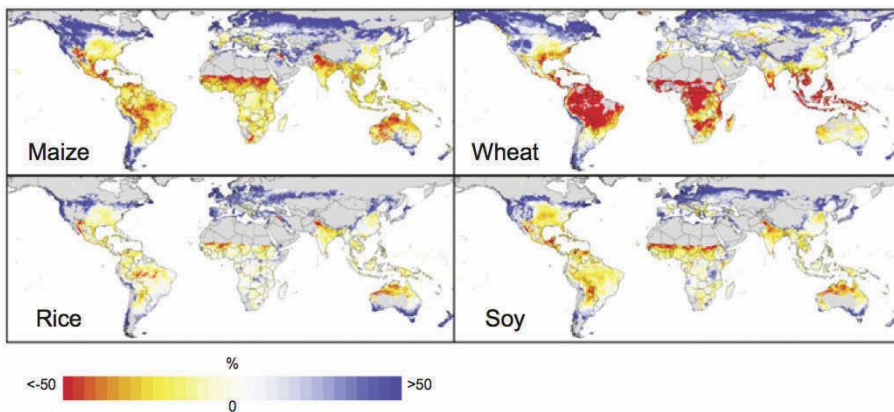


Fig. 12. Midlere endringer (i %) i avlingen for viktige jordbruksprodukter ved en temperaturstigning på 4° relativt til 1980–2010. Verdensbanken 2014.

Biodiversitet

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

- 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.

⁶⁰ 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>

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.⁶¹

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.⁶² Den kjente amerikanske klimaforskeren James Hansen har lenge vært en forkjemper for KAF. Han kaller det «Fee and dividend». Det prøves nå i Canada.⁶³

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 har steget i senere tid og var i november 2021 omtrent 70 EURO per tonn For å ha den ønskede effekt, må taket (på engelsk «cap») justeres nedover etter hvert.⁶⁴ Som nevnt tidligere ble regler for internasjonal kvotehandling vedtatt på COP26, men ikke alle var fornøyd med resultatet.

Omkring 40% av klimagassutslippene i EU er inkludert i kvotesystemet. De viktigste kvotepliktige sektorene er produksjon av elektrisitet og varme, energikrevende industri og luftfart innen EØS-området. Utslipp fra transport og jordbruk er stort sett ikke kvotepliktig. Norske utslipp fra kvotepliktige og ikke-kvotepliktige sektorer er omtrent like store.

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. International Energy Agency (IEA) har for eksempel i flere tiår undervurdert veksten i fornybar energi⁶⁵. 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%.⁶⁶ I følge framskrivninger fra IEA⁶⁷ vil samlet kapasitet fra vind og sol være større enn fra kull i 2025 (Fig. 13).

⁶¹ Global Biodiversity Outlook 5, 2020. www.cbd.int/GB05

⁶² [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)

⁶³ 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/> [What is Canada's National Carbon Tax and how does it affect us? - FutureLearn](https://www.futurelearn.com/courses/what-is-canada-s-national-carbon-tax-and-how-does-it-affect-us/)

⁶⁴ Se: [Carbon Price Viewer - Ember \(ember-climate.org\)](https://ember-climate.org/carbon-price-viewer/)

⁶⁵ ['Insanely cheap energy': how solar power continues to shock the world | Energy | The Guardian](https://www.theguardian.com/energy-environment/2020/jun/04/insanely-cheap-energy-how-solar-power-continues-to-shock-the-world)

⁶⁶ [Energy - Our World in Data](https://www.worldometers.info/energy/)

⁶⁷ IEA, Renewables 2020. <https://webstore.iea.org/download/direct/4234>

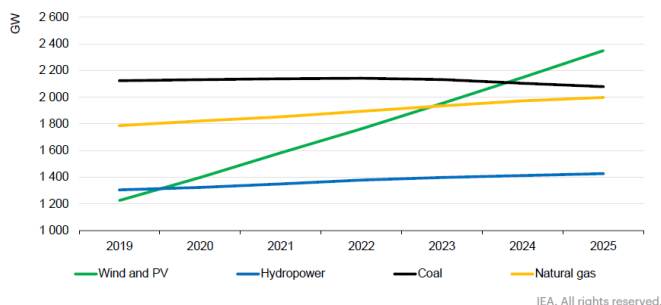


Fig. 13. Totalt installert kapasitet for ulike typer elektrisetsproduksjon for perioden 2019 - 25 (IEA, 2020).

Energisparing. Mange muligheter, f. eks. bedre isolasjon i bygninger, varmepumper, redusere energiintensiteten⁶⁸.

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 sted⁶⁹. 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».⁷⁰ Det er også planer om å fange CO₂ på forbrenningsanlegget på Klemetsrud i Oslo og lagre det i Nordsjøen. Staten har bevilget 3 milliarder kroner under forutsetning av støtte også fra EU. Det er i første omgang avslått, men det er en ny mulighet i 2022.

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 Kina⁷¹ og Canada. Foreløpig er kostnadene store, men avtakende^{Feil! Bokmerke er ikke definert.}⁷². Det kreves imidlertid betydelige energimengder.⁷² I noen tilfeller utnytter en oppsamlet CO₂ i annen industri, såkalt CCU (U

⁶⁸ Energiintensiteten er et mål for hvordan effektivt energien brukes. Er energiintensiteten høy, brukes mye energi per enhet i brutto nasjonalproduktet.

⁶⁹ 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/>

⁷⁰ 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>

⁷¹ https://www.crugroup.com/knowledge-and-insights/insights/2019/carbon-capture-and-storage-in-china/?utm_medium=Press_release

⁷² Sekera & Lichtenberger, 2020. Assessing Carbon Capture: Public Policy, Science, and Societal Need

<https://doi.org/10.1007/s41247-020-00080-5>

amerikanske bank som kommer med en slik forpliktelse, og at håpet er at andre følger etter⁷⁷.⁷⁸ 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 2040.⁷⁹

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, alt er ikke 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.⁸⁰ Det er blitt vanlig å gi hydrogenet fargenavn etter fremstilling basert på graden av utslipp av klimagasser.⁸¹

- 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 også 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. India er et viktig unntak, men de

⁷⁷ <https://www.theguardian.com/commentisfree/2020/jan/03/goldman-sachs-arctic-drilling-gwichin-banks>

⁷⁸ <https://www.theguardian.com/commentisfree/2020/jan/03/goldman-sachs-arctic-drilling-gwichin-banks>

⁷⁹ [New York State Pension Fund Sets 2040 Net Zero Carbon Emissions Target \(govdelivery.com\)](https://www.govdelivery.com)

⁸⁰ En kuriositet: Jules Verne skrev en bok i 1863 "Paris i det tjuende århundret". Der tenker han seg kjøretøy med hydrogen som drivstoff.

⁸¹ Renssen, 2020. The hydrogen solution? <https://www.nature.com/articles/s41558-020-0891-0>

beregner at allerede i 2030 vil el-biler gi mindre utslipp i India⁸². 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.

Hva betyr opptak og utslipp fra jord, skog og myr?

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.

Myrer er store karbonlagre. Ved drenering kommer det luft til, og det vil bli CO₂-utslipp. Drenering bør derfor unngås, og det er også mulig å restaurere tidligere drenert myr.⁸³

Hva kan den enkelte gjøre?⁸⁴

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)⁸⁵ 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.⁸⁶ Siden det er antatt at jordas befolkning vil øke til 10 milliarder innen 2050, må gjennomsnittsførbuket 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.

⁸² <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0488-7>

⁸³ [Ekspertintervjuet: – La myra stå i fred | Myr er viktige karbonlager, og tukler du med myra risikerer du å slippe ut karbon som er lagret siden istiden. Forsker Magni Olsen Kyrkjeeide forklarer. \(energiogklima.no\)](#)

⁸⁴ 46% av Norges befolkning mener klimaproblemet er blant de tre største utfordringene Norge står overfor i dag. En knapp majoritet (52%) mener Norge bør fortsette å lete etter olje og gass i samme grad som i dag. [Title goes here – can run to four lines if required – 30pt \(nelfo.no\)](#)

⁸⁵ <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S0140-6736%2818%2931788-4>

⁸⁶ Se: https://eatforum.org/content/uploads/2019/01/EAT-Lancet_Commission_Summary_Report.pdf og [The cow in the room: why is no one talking about farming at Cop26? | Cop26 | The Guardian](#)

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 år⁸⁷. I en artikkel publisert i 2020 ble det konkludert med at den globale temperaturstigningen ikke kunne begrenses til 1,5 °C uten endring i matvanene. Begrensning til 2 °C ville være mulig, men bare med en svært rask og dramatisk reduksjon av utslipp av klimagasser fra andre kilder⁸⁸.

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?)⁸⁹ Dessverre ser det foreløpig ut til at det blir liten varig effekt.

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-avtalen⁹⁰. 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.⁹¹ 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.⁹²

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, inkluderer Nordhaus' arbeid.⁹³ 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.

⁸⁷ <https://www.theguardian.com/environment/2019/dec/12/peak-meat-climate-crisis-livestock-meat-dairy>

⁸⁸ Clark et al., 2020. Global food system emissions could preclude achieving the 1.5° and 2°C climate change targets. <https://science.sciencemag.org/content/370/6517/705>

⁸⁹ <https://www.theguardian.com/environment/2020/apr/01/the-fossil-fuel-industry-is-broken-will-a-cleaner-climate-be-the-result>

⁹⁰ W. Nordhaus, Climate Change: The Ultimate Challenge for Economics. *American Economic Review* 2019, 109(6): 1991–2014.

⁹¹ Hänsel et al, 2020. Climate economics support for the UN climate targets <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0833-x>

⁹² DeFries et al., 2019 - The missing economic risks in assessments of climate change impacts.

⁹³ Stern & Stiglitz, 2021. The social cost of carbon, risk, distribution, market failures: an alternative approach. <https://www.nber.org/papers/w28472>

- Klimatiltak kan fremme velvære, både på grunn av nytt forbruksmønster og ved at risikoen for dramatiske virkninger unngås.

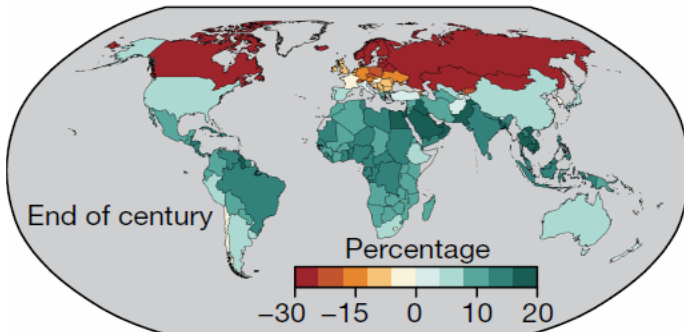


Fig. 14. Prosent økning i BNP per person dersom den globale temperaturstigning begrenses til 1,5°C sammenliknet med en stigning på 2°C. Land med blå fargetoner kommer økonomisk bedre ut dersom temperaturøkningen begrenses til 1,5°C. For land med brun/rød fargetoner er det ikke noen fordel med så store 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.⁹⁴

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 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.⁹⁵

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°C⁹⁶.

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. Det diskuteres om opptak av CO₂ i skog og endret arealbruk skal regnes med. Dette vil i

⁹⁴ Burke et al., 2018. Large potential reduction in economic damages under UN mitigation targets. Nature 557, 649 – 553.

⁹⁵ K. Ricke et al. 2018. Country-level social cost of carbon. Nature Climate Change, 6, 895 – 900.

⁹⁶ <https://www.polyteknisk.no/wp-content/uploads/2019/10/Henrik-Sætnes-i-Polyteknisk-Forening-20191023.pdf>

så fall 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.⁹⁷ Tyskland har nylig kommet med planer om hvordan de vil redusere utslippene med 55% sammenliknet med 1990 innen 2030, og i Storbritannia har Boris Johnson sagt at de vil redusere med 68% innen 2030.⁹⁸ I Kina har Xi Jinping erklært at CO₂-utslippene skal nå toppen før 2030, og at Kina skal bli klimanøytralt innen 2060.⁹⁹ Xi har dessuten sagt at Kina vil støtte andre utviklingsland med oppbygning av grønn- og lavkarbonenergi og ikke bygge nye kullkraftverk i andre land.¹⁰⁰ Det gjenstår å se hvor godt planene blir fulgt opp. India tar sikte på å være karbonnøytralt innen 2070. EU, USA og mange andre land har sagt at de vil redusere metanutslippene med minst 30% innen 2030.¹⁰¹

Norges klimamål var i desember 2020 å redusere utslippene med minst 50 prosent og opp mot 55 prosent innen 2030 sammenliknet med 1990-nivå.¹⁰² 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. Den forrige regjeringen la 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 (november 2021), og den har fått en del kritikk blant annet for å være for lite ambisiøs og for lite konkret.¹⁰³ Den nye regjeringen sier etter budsjettforliket med SV at utslippene skal kuttes mer enn Solbergregjeringen la opp til, men det er fortsatt uklart hvordan dette skal gjøres. Av konkrete klimatiltak nevnes at CO₂-avgiften på oljebransjen økes med 28 prosent, og at det ikke blir noen 26. konsesjonsrunde på norsk sokkel i 2022. Det er imidlertid fortsatt lite sammenheng mellom Norges Klimatiltak og norsk petroleumspolitik.

⁹⁷ For EU, se også Energi & Klima 12.10.21

⁹⁸ 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)

⁹⁹ https://www.fmprc.gov.cn/mfa_eng/zxxx_662805/t1817098.shtml

¹⁰⁰ [KaLk3d9ECB53_en.pdf \(unmeetings.org\)](https://www.unmeetings.org/en/2020/12/15/15318835)

¹⁰² <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/>

¹⁰³ Meld. St. 13 (2020 – 2021). For kritikk, se <https://www.nrk.no/norge/kritiserer-klimameldingen-for-mangel-pa-ambisjoner-1.15318835>

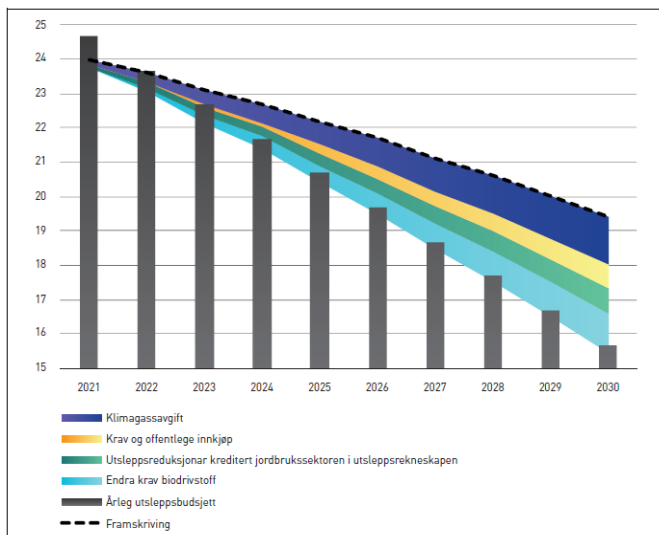


Fig. 15. Plan for 45% reduksjon i ikke-kvotepliktige utslipp (hovedsakelig transport og jordbruk) i 2030 i forhold til 2005. Karbonavgiften skal gradvis økes fra 590 kr per tonn CO₂-ekv til 2000 kr. Det skal gis insentiver til økt bruk av elbiler, f. eks. krav om nullutslipp i offentlige kjøp av personbiler og lette varebiler. Dessuten 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 utslippsfri¹⁰⁴. 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. Sannsynligvis ville andre anvendelser gi 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 steder¹⁰⁵.

Misforholdet mellom raus støtte til oljenæringen gitt i 2020 for årene fremover og den relativt beskjedne støtten til fornybar energi synes å være på klar kollisjonskurs med intensjonene i Paris-avtalen.¹⁰⁶

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 etterlekten.

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.

¹⁰⁴ <https://e24.no/energi/i/kLO7X/equinor-lo-og-nho-sammen-om-nytt-klimamaal-norsk-sokkel-skal-bli-utslippsfri>

¹⁰⁵ <https://www.besteforeldreaksjonen.no/2020/01/meningslos-bruk-av-elkraft/>

¹⁰⁶ [Norway parliament grants more tax relief to oil sector | Reuters](https://www.reuters.com/article/norway-parliament-grants-more-tax-relief-to-oil-sector-idKBL0N28274)

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.¹⁰⁷ 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 23.01.2020¹⁰⁸. 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 miljøorganisasjonene. Anken ble forkastet. Et visst lyspunkt var at 4 av de 15 dommerne dissenterte på noen punkter.¹⁰⁹ Enkelte kjente jurister har uttalt seg kritisk om dommen.¹¹⁰ Miljøorganisasjonene har anket 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.

Det har vært og pågår mange rettsaker som angår klimaforpliktelser rundt om i verden, anslagsvis 1500. Hittil har miljøorganisasjonene tapt de fleste, men ikke alle. I Nederland har høyesterett dømt staten til å kutte utslipp med minst 25 prosent innen 2020 for å sikre retten til liv og helse etter Den europeiske menneskerettskonvensjonen, og en nederlandsk tingrett dømte i mai i år Shell til å kutte alle sine utslipp over hele verden, inklusive fra solgt olje og gass, med 45 prosent innen 2030. I Frankrike gikk fire miljøorganisasjoner til rettsak mot staten for at den ikke gjorde nok for å redusere sine utslipp av klimagasser. Den 3. februar 2021 ble staten funnet skyldig i «å ikke overholde sine forpliktelser».¹¹¹

¹⁰⁷ Se <https://www.besteforeldreaksjonen.no/category/klimasoksmal-arktis/>

¹⁰⁸ Se <http://www.klimasoksmal.no/wp-content/uploads/2020/01/dom.pdf>

¹⁰⁹ Dommen finner du på <https://www.regjeringen.no/contentassets/4a0732c2360c4f7ca197ce19986f8f0f/dom-hoyesterett.pdf>

¹¹⁰ 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://iuridika.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-iuridisk-haerverk/>

¹¹¹The Guardian. Court convicts French state for failure to address climate crisis.

<https://www.theguardian.com/environment/2021/feb/03/court-convicts-french-state-for-failure-to-address-climate-crisis>

Se også: [The Guardian, 2021. Big oil and gas kept a dirty secret for decades. Now they may pay the price](#)

<https://www.nature.com/articles/s41467-021-23810-9>

16. Konklusjoner

- Klimaendringer har påvirket naturlige systemer og mennesker på alle kontinenter og alle havområder.
- Betydelig stigning (omtrent 1,1 °C) i global temperatur siden førindustriell tid. Størst stigning i nordlige områder. Hovedsakelig menneskeskapt.
- Global temperaturstigning vil sannsynligvis nå 1.5°C før 2040.
- 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, men i 2021 ser utslippene ut til å bli omtrent som i 2019. Utslippene må reduseres langt raskere enn forpliktelsene gitt hittil (COP26). Det er dessuten langt fra sikkert at landene overholder sine forpliktelser.
- 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%. Utslipp i 2020 gikk litt ned, 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.

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://energioklima.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

Skeptical Science (<https://skepticalscience.com/>).

Det er også mange nettsider som sprer desinformasjon. *Heartland Institute* i USA er beryktet.

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 djevlels 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.besteforeldreksjonen.no/2020/10/pinlig-fra-professorer/>