Rapport nr. 05/2016

Norsk Klimastiftelse
NORWEGIAN CLIMATE FOUNDATION

Klimaendringer og klimarisiko

Kunnskapsstatus 2016
Klimafaglig bakgrunnsnotat

Av Eystein Jansen, Bjerknessenteret og UiB

Foto: Yann Caradec, CC

FORORD

Notatet skal gi en faglig oppdatert oversikt over sentrale elementer i klimaforskningen med relevans for situasjonen etter Paris-avtalen fra desember 2015.

Det er utarbeidet som et oppdrag fra Norsk Klimastiftelse. Notatet baserer seg i hovedsak på siste hovedrapport fra FNs Klimapanel (IPCC) AR5 fra 2013 og nyere forskning som er kommet til etter 2013. Det er i hovedsak Arbeidsgruppe 1 (WG1) sin delrapport i AR5 som er vektlagt.

Bergen 15. mai, 2016

Eystein Jansen

eystein.jansen@uib.no

REDAKSJON
Anders Bjartnes (ansvarlig redaktør)
Helga Flesche Kleiven
Pål W. Lorentzen

FORFATTER
Eystein Jansen

DESIGN
Ramona Brekkhus

UTGIVER
Norsk Klimastiftelse,
co/Impact Hub Bergen
Holmedalsgården 3
5003 Bergen

Norsk Klimastiftelse
NORWEGIAN CLIMATE FOUNDATION

Norsk Klimastiftelse ble opprettet i 2010. Stiftelsen arbeider for kutt i klimagassutslippene gjennom overgang til fornybar energi og andre lavutslippsløsninger. Stiftelsen er basert i Bergen og har støtte fra et bredt nettverk i næringsliv, akademia, organisasjoner og offentlige institusjoner. Stiftelsens styre ledes av Pål W. Lorentzen.

NORSK KLIMASTIFTELSE STØTTES AV:

BKK
Kavlifondet
O. Kavli og Knut Kavlis Allmennyttige Fond
SparebankenVest
- satser på Vestlandet
UMOE

Forside foto: Yann Caradec, Creative Commons, Flickr

INNHOLD

4
Konklusjoner

6
Bakgrunn

8
Klimastatus 2016

10
To grader – geografisk fordeling

12
Langtidsrisiko og havstigning

16
Nasjonale klimaeffekter

18
Arktis og Barentshavet

20
Karbonbudsjettet

24
Sannsynlighet for å nå togradersmålet

25
Byrdefordeling – norsk ansvar

27
Litteratur-referanser

KONKLUSJONER

1 Norge, representert ved Regjeringen og øvrige statlige myndigheter, har som aktivt medlem i FNs Klimapanel (IPPC) og som deltakere på IPCCs plenum vedtatt IPCC-rapportene som den etablerte kunnskapen som basis for politikkutforming i klimaspørsmål. Myndighetene må forutsettes å være kjent både med de konkrete klimaendringene som pågår og som kan skje som følge av klimagassutslipp, de risiki og effekter dette forventes å få for natur og samfunn, og tiltak som kan bidra til å unngå uønskede klimaendringer slik det er nedfelt i FNs Klimakonvensjon.

2 Menneskeskapt global oppvarming er uomtvistelig og kan observeres i en rekke elementer i klimasystemet. Effektene på natur og samfunn er i hovedsak negative. I forhold til togradersmålet er vi nå omtrent halvveis, med en global oppvarming på nesten 1 grad, og målet om å begrense oppvarmingen til 1.5 grader vil med stor sannsynlighet passeres innen få tiår med dagens utslippsbilde.

3 Oppvarmingen er ujevnt geografisk fordelt med størst endring i Arktis og over land. Følgelig er risikoen og mulige samfunnsmessige skadevirkninger av klimaendringene i realiteten betydelig større enn om en beregner virkninger utfra en lokal endring på to grader.

4 Risikoen for miljø og samfunnssikkerhet ved en temperaturstigning på to grader er betydelig, med betydelig lavere skadelige virkninger ved en global oppvarming på 1.5 grader enn en på to grader, og ytterligere langt større risiko ved økning utover dette. Tiltak som skal minimere risiko for fremtidige generasjoner må derfor ha som utgangspunkt at endringene må bli minst mulig og skje mest mulig gradvis.

5 Den siste forskningen påpeker viktigheten av rask handling i forhold til utslippsreduksjoner, og at konsekvensen av å ikke redusere utslippene og iverksette nullutslippssamfunnet i løpet av de neste tiårene vil gi svært alvorlige konsekvenser for mange generasjoner i meget lang tid fremover, særlig knyttet til havstigning.

6 Klimaendringene vil gi økt samfunnsrisiko også i Norge, særlig knyttet til økt og mer intens nedbør. Det er allerede påvist flere negative konsekvenser av klimaendringene i vårt og andre land, inkludert betydelige negative økonomiske konsekvenser. Disse forventes å øke i fremtiden, mest med høye utslipp, minst dersom utslippene forholder seg til 1.5 eller togradersmålet.

7 I Barentshavet er det en markert tilbakegang i isutbredelse både sommer og vinter. Med dagens kunnskap kan man ikke utelukke at det enkelte år blir en vinterisutbredelse i Barentshavet på linje med den som har vært tidligere, men det sannsynlige er at slike år blir sjeldnere. Dagens varsler kan forutsi iskanten ett år i forveien. Det er betydelige og anerkjente kunnskapshull når det gjelder klima og økosystem i den nordlige, delvis isdekte delen av området.

8 Dersom togradersmålet skal nås, bør det samlede globale utslipp av CO_2 innen 2030 være nede på mellom 5 og 6 GtC, dvs. ca 50% lavere utslipp enn i dag, og deretter falle til 70-80% reduksjon midt i århundret. Usikkerheten omkring klimasystemets følsomhet for klimagassutslipp kan ikke brukes som argument for mindre ambisiøse utslippsreduksjoner.

9 En må regne at utslipp som skjer nå blir værende i atmosfæren i mange hundre år og vil påvirke klimaet minst 1000 år frem i tid. En eventuell innfasing av teknologi for negative utslipp som fremtidige generasjoner ser seg nødsaget til å implementere for å reparere og forebygge skadevirkninger, vil utsette disse generasjonene for omfattende økonomiske og andre kostnader for å minimere effekten av utslipp fra den generasjonen som lever nå.

10 Både to grader og 1.5 gradersmålene er bare mulige med umiddelbare og sterke reduksjoner i utslippene av klimagasser. De betyr også at mesteparten av påviste reserver av fossile brensler ikke kan forbrennes. Begge målene må bety en umiddelbar nedgang i utslipp og en visjon om globale nullutslipp like etter midten av århundret. Det tilgjengelige karbonbudsjettet som følger av Parisavtalen vil bety at det er lite rom for å bringe nye kilder av fossile brensler til markedet utover i århundret.

11 Alle aktuelle byrdefordelings-beregninger innebærer at Norge har et forholdsvis stort ansvar for å kutte utslipp, og alle beregninger med byrdefordelingsprinsipper i bunn innebærer mål som er betydelig høyere enn for eksempel målet om 40 % kutt innen 2030 som ligger inne i Norges INDC (Intended National Determined Contribution) til Parisavtalen.

BAKGRUNN

Utgangspunktet for dette klimafaglige notatet er Parisavtalen, togradersmålet og en vurdering av klimascenarier, karbonbudsjett og utslippsreduksjoner som er i tråd med et slikt mål. Norske forpliktelser innenfor et slikt mål blir vurdert, sammen med klimaendringenes direkte virkninger i Norge og globalt, i tillegg til klimafaglige usikkerheter knyttet til økt aktivitet i Arktis.

Norge har gjennom Parisavtalen sluttet seg til målet om to grader eller lavere temperaturstigning (ned mot 1.5 grader), og har gjennom de innmeldte forpliktelsene (INDC) som i tråd med EUs forpliktelser tilsier en reduksjon av klimagass utslipp på 40% i 2030 forhold til 1990 nivå, påtatt seg store forpliktelser om å bidra til å stabilisere jordens klima.

FNs klimaforhandlinger skjer på bakgrunn av klimakonvensjonen (UNFCCC) og har som mål å unngå ”farlige klimaendringer”. Togradersmålet ble lansert i en konsultasjon mellom forskere og politikere under Tony Blairs periode som statsminister i Storbritannia, der forskerne ble bedt om å antyde et nivå for global oppvarming som ikke dramatisk øker sjansene for kollaps av isdekkene på Grønland og i Vest-Antarktis med påfølgende langsiktig havstingning eller sjansene for overskridelse av ”vippepunkter” i klimasystemet som gir betydelig økt risiko for skadeeffekter på jordens økosystemer gjennom irreversible og vesentlige endringer. Målet er definert som global gjennomsnittsemperatur over pre-industriell temperatur, dvs global temperatur ved midten av 1800-tallet. Togradersmålet er ikke definert som det ønskede maksimumsnivået for global oppvarming av forskerne eller IPCC, men er tatt inn i UNFCCC-prosessen som et politisk definert mål.Togradersmålet ble tatt inn i avtalen etter COP15 i København i 2009, og har fått tilslutning fra de aller fleste land som er tilsluttet UNFCCC. Senere møter i UNFCCC har beholdt dette målet, som nå er nedfelt i Parisavtalen fra 2015.

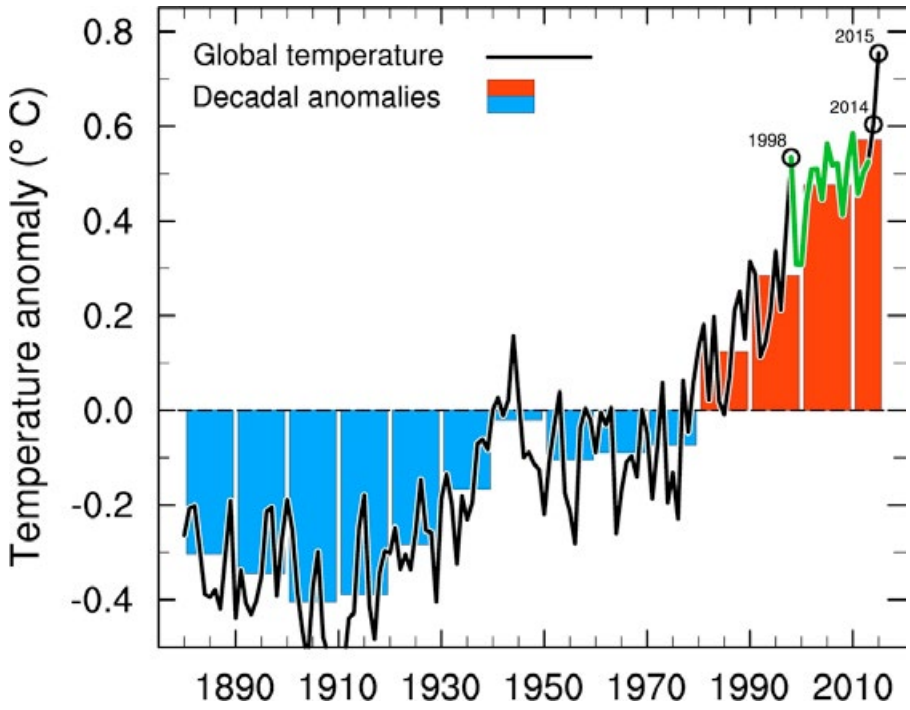
Om en slik grense er tilstrekkelig for å unngå farlige klimaendringer, er omstridt. Mange, både forskere og representanter fra særlig sårbare nasjoner (f.eks. de lavtliggende øystatene), har påpekt at to grader bl.a. gir en betydelig risiko for flere meters havstigning over tid som vil kunne utradere hele nasjoner av lavtliggende øystater. I Parisavtalen ble togradersmålet gjentatt, men det ble i tillegg tatt inn en passus som setter det ønskede målet for temperaturendringene ned mot 1.5 grader for å imøtekomme disse bekymringene.

Kunnskapsgrunnlaget for klimaforhandlingene er IPCCs rapporter. IPCC-prosessen skjer slik at de faglige rapportene utarbeides av forskerteam etter flere høringsrunder, der både fagfolk og regjeringsrepresentanter kan komme med innspill og kritikk. I forskerteamet samles ledende eksperter fra alle verdensdeler, og disse suppleres av innhentet ekspertise der det er nødvendig for å sammenfatte spesielle fagområder. Rapportene skal gi et helhetlig bilde av kunnskapsstatus slik den foreligger i fagfellevurdert vitenskapelig litteratur. Rapportene forholder seg utelukkende til vitenskapelig litteratur, og vurderingene av sikkerhet og usikkerhet er gitt i et kalibrert språk som gjenspeiler omfanget av publisert forskning på feltet og den innbyrdes enigheten mellom forskjellige forskningsrapporter.

For hver delrapport i hovedrapporten og synteserapporten er det et felles plenum mellom de sentrale forfatterne (forskerne) og myndighetsrepresentanter fra IPCCs medlemsland, herunder Norge. I dette møtet legger forskerne frem et forslag til Sammendrag for Politikere (Summary for Policymakers (SPM). Dette blir så gjennomgått i plenum i dialog mellom forskerne og myndighetsrepresentantene, slik at en kommer frem til felles aksepterte formuleringer av hovedpunktene i rapporten. Dette skjer linje for linje, slik at alle formuleringer blir vedtatt, og til slutt vedtas både sammendraget og den underliggende tekniske rapporten. Den samme prosedyren brukes også for IPCCs tematiske spesialrapporter, for eksempel rapporten om ekstremhendelser. Således har regjeringene et felles kunnskapsgrunnlag når det forhandles om klima-avtalen. Norge representeres i disse plenumsmøtene med representanter fra miljøforvaltningen (Miljødirektoratet og Klima-og Miljødepartementet).

Konklusjon nr. 1:

Norge, representert ved Regjeringen og øvrige statlige myndigheter, har som aktivt medlem i IPCC og som deltakere på IPCCs plenum vedtatt IPCC-rapportene som den etablerte kunnskapen som basis for politikkutforming i klimaspørsmål. Myndighetene må forutsettes å være kjent både med de konkrete klimaendringene som pågår og som kan skje som følge av klimagassutslipp, de risiki og effekter dette forventes å få for natur og samfunn, og tiltak som kan bidra til å unngå uønskede klimaendringer slik det er nedfelt i FNs Klimakonvensjon.



Figur 1. Global årlig gjennomsnitts-temperatur basert på bakkemålte observasjoner. Grønn linje viser intervallet med redusert økning i temperatur ved begynnelsen av det 21. århundret. Kilde: http://folk.uib.no/ngfhd/Climate/climate.html

KLIMASTATUS 2016

Det er uomtvistet at det pågår en global oppvarming. Ifølge IPCC kan mer enn halvparten av oppvarmingen etter 1960 med mer enn 95% sikkerhet tilskrives pådriv fra menneskelig aktivitet i form av klimagassutslipp og avskogning. Klimagassene, der CO2 er den viktigste, fanger opp infrarød stråling fra jordoverflaten mot verdensrommet, og holder dermed varme tilbake nær jordoverflaten. Økt innhold av klimagasser i atmosfæren øker denne effekten (drivhuseffekten), og kan med stor sikkerhet tilskrives utslipp fra fossile energikilder, fra industrielle prosesser og hogst og brenning av skog.

Det foreligger globale datasett over termometermålt overflatetemperatur tilbake til midten av 1800-tallet. Hvert tiår etter 1950-tallet er varmere enn det foregående, og det inneværende tiåret tegner til å bli varmere enn det foregående med 2014 og 2015 som de hittil varmeste årene som er registrert (Fig. 1). Dette understøttes av målinger med satellitt og med værballonger som måler temperaturen noe høyere i atmosfæren.

Oppå en jevnt økende temperatur skjer det kortvarige naturlige endringer som skyldes forskjellige faktorer som store vulkanutbrudd (kjøler ned), variasjoner i solens utstråling (varmer opp og kjøler ned), endringer i havets opptak og avgivelse av varme, slik som under El Niño-hendelser i Stillehavet. Dette betyr at den globale gjennomsnittstemperaturen ikke øker jevnt fra år til år, men kan i perioder synke eller ha tendens til utflatning. Dette er fordi de naturlige endringene på korte tidsskalaer kan gi temperaturendringer som overstiger effekten av den årlige økte konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren. På tidsperspektiv over ett til to tiår er effekten av klimagassene det dominerende.

Den noe lavere stigningstakten i global temperatur på begynnelsen av 2000-tallet (se grønn kurve på Fig. 1) er av nyere forskning, som har kommet etter IPCCs siste rapport, i hovedsak tilskrevet en periode med naturlige endringer av havsirkulasjonen som gav økt lagring av varme i dypere deler av havet. Denne perioden ser nå ut til å være over (jfr. Fig. 1), og den bakenforliggende temperaturtrenden er tydelig til stede ved de siste års rekordhøye temperaturer. I 2016 er global temperaturøkning i forhold til førindustrielt nivå, dvs det nivået som togradersmålet forholder seg til, på ca. 1 grad, med en endringsrate på mellom 0.1 til 0.2 grader pr. tiår de siste tiårene. Vinteren 2016 har hatt en global temperatur som ligger betydelig høyere enn noe annet år så langt man har data (tilbake til 1880). Dette vil si at vi nå er omtrent halvveis til å realisere en temperaturøkning på to grader som klimaavtalene har vedtatt ikke skal overskrides. Oppvarmingen i Arktis skjer i gjennomsnitt dobbelt så raskt som det globale gjennomsnittet på grunn av forsterkningsmekanismer som skyldes mindre sjøis- og snøutbredelse som gjør at jordoverflaten absorberer mer og reflekterer mindre av solinnstrålingen.

Forskningen som er oppsummert i IPCCs 5. hovedrapport viser også at den globale oppvarmingen vises tydelig på andre måter enn med temperaturen på jordoverflaten:

- Det globale havnivået har steget med ca. 20cm de siste ca. 100 årene, omtrent likelig fordelt som en konsekvens av varmere hav som utvider seg og tar mer plass, og tilførsel av ferskvann fra smeltende isbreer og iskapper.

- Sjøisutbredelsen i Arktis har gått kraftig tilbake, særlig om sommeren.

- Snødekket over land på nordlige halvkule er sterkt redusert, i hovedsak om våren.

- Våren starter tidligere og høsten varer lengre enn tidligere, noe som leses både av meteorologiske data og biologiske responser.

- Den varmere atmosfæren har større evne til å holde på fuktighet. Følgelig regner det mer i fuktige områder, herunder i vårt land, og det er oftere kraftig nedbør med økt forekomst av ekstreme nedbørshendelser med flom i flere områder bl.a. i Nord-Europa.

- Frekvensen av hetebølger er stigende, og det er sjeldnere kulderekorder. Hetebølger gir økende grad av tørke og problemer for matvareproduksjon.

- Saltholdighetsfordelingen i verdenshavene endrer seg, med bl.a. den følge at den sammen med temperaturendringer fører til at oksygentilførselen til vannmasser med lavt oksygennivå svekkes, og viktige fiskeriressurser står i fare utenfor kysten av Sør-Amerika og Afrika.

Alle disse effektene kan nå tilskrives menneskeskapte klimaendringer. Fortsatte utslipp vil forsterke virkningene.

I tillegg til de rent klimatiske virkningene, fører CO_2-utslipp til havforsurning ved at tilført CO_2 fra atmosfæren som løser seg i havvannet gir et syretilskudd til havet, og gjør det mindre basisk. Dette er en uomtvistet prosess der effekten nå kan måles i globale datasett. Tilgjengelig forskning viser at forsurningen vil virke inn på livet i havet og dets ressurser gjennom påvirkning på kalkdannende organismer og på yngel. Forsurningseffekten er størst i kaldt vann fordi CO_2 løses bedre i kaldt enn varmt vann, slik at arktiske havområder er spesielt sårbare.

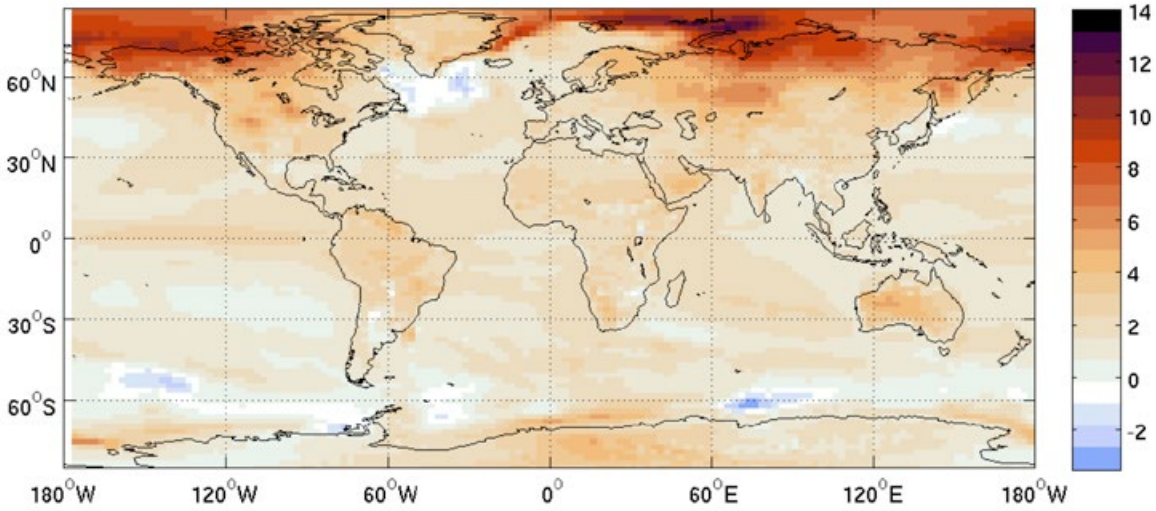
Konklusjon nr. 2:

Menneskeskapt global oppvarming er uomtvistelig, og kan observeres i en rekke elementer i klimasystemet. Effektene på natur og samfunn er i hovedsak negative. I forhold til togradersmålet er vi nå omtrent halvveis, med en global oppvarming på nesten 1 grad, og målet om å begrense oppvarmingen til 1.5 grader vil med stor sannsynlighet passeres innen få tiår med dagens utslippsbilde.

TO GRADER – GEOGRAFISK FORDELING

En to graders endring i jordens midlere overflatetemperatur i løpet av ~200 år utgjør en meget stor klimaendring. Forskjellen i global gjennomsnittstemperatur mellom dagens klima og istidens maksimale nedkjølning er på 4-5 grader, og to graders endring tilsier en endring som i størrelse kan sammenlignes med innpå halvparten av forskjellen mellom en istid og i dag. Til sammenligning tok det ~10 000 år fra istidens maksimale nedkjølning til et varmt mellomistidsklima var etablert. Endringsratene for naturlige globale endringer av denne størrelsen er følgelig ca. 20 ganger lavere enn dem vi har nå og forventer å få innenfor dette århundret. Dermed er påtrykket på samfunn og natur 20 ganger kraftigere under dagens endringer enn i de naturlige globale endringene i istidssyklene, der økosystemer hadde tusener av år på tilpassing, til å migrere i forhold til nye klimabetingelser og til å reetableres etter klimaendringene.

Om verden stabiliserer klimaet innenfor to graders oppvarming i forhold til førindustrielt nivå, vil endringene i bakketemperatur på jorden være ulikt geografisk fordelt. Både målinger av temperaturstigningen de siste drøyt 100 årene, modellsimuleringer av denne perioden og simuleringer av fremtidsklima viser at temperaturendringene i Arktis er og vil bli omtrent dobbelt så store som verdensgjennomsnittet, og temperaturen inne



Figur 2 – Fordelingen av overflatetemperatur når den globale gjennomsnittstemperaturen er to grader høyere enn i førindustriell tid. Fra simulering med NorESM (Iversen et al. 2013) etter utslippscanario RCP 6.0.

på kontinentene, særlig på nordlige halvkule, vil stige betydelig mer enn gjennomsnittet. Dette er vist i figur 2 som viser den simulerte temperaturfordelingen når den globale temperaturen er to grader høyere enn førindustrielt nivå i en simulering med den norske klimamodellen NorESM.

Denne modellen har litt lavere klimafølsomhet enn gjennomsnittet av modellene som er brukt i IPCCs femte hovedrapport, det vil si at den reagerer litt svakere på en gitt økning i klimapådriv fra CO2 enn gjennomsnittet av modellene. Når en vil beregne effektene av to grader og enda høyere temperaturstigning og hvilke eventuelle økologiske, sosiale og økonomiske kostnader et slikt scenario vil få, må en for landområdene der folk bor, ta hensyn til at temperaturstigningen i de fleste områder vil overskride to grader, og for Arktis regne med minst dobbelt så store endringer og sannsynligvis mer enn dette i mange arktiske

		1.5 °C	2 °C	
Heat wave (warm spell) duration [month]				
Global		1.1 [1;1.3]	1.5 [1.4;1.8]	Tropical regions up to 2 months at 1.5 °C or up to 3 months at 2 °C
Reduction in annual water availability [%]				
Mediterranean		9 [5;16]	17 [8;28]	Other dry subtropical regions like Central America and South Africa also at risk
Increase in heavy precipitation intensity [%]				
Global		5 [4;6]	7 [5;7]	Global increase in intensity due to warming; high latitudes (>45 °N) and monsoon regions affected most.
South Asia		7 [4;8]	10 [7;14]	
Global sea-level rise				
in 2100 [cm]		40 [30;55]	50 [35;65]	1.5 °C end-of-century rate about 30 % lower than for 2 °C reducing long-term SLR commitment.
2081–2100 rate [mm/yr]		4 [3;5.5]	5.5 [4;8]	
Fraction of global coral reefs at risk of annual bleaching [Constant case, %]				
2050		90 [50;99]	98 [86;100]	Only limiting warming to 1.5 °C may leave window open for some ecosystem adaptation.
2100		70 [14;98]	99 [85;100]	
Changes in local crop yields over global and tropical present day agricultural areas including the effects of CO_2-fertilization [%]				
Wheat	Global	2 [-6;17]	0 [-8;21]	Projected yield reductions are largest for tropical regions, while high-latitude regions may see an increase. Projections not including highly uncertain positive effects of CO_2-fertilization project reductions for all crop types of about 10 % globally already at 1.5 °C and further reductions at 2 °C.
	Tropics	-9 [-25;12]	-16 [-42;14]	
Maize	Global	-1 [-26;8]	-6 [-38;2]	
	Tropics	-3 [-16;2]	-6 [-19;2]	
Soy	Global	7 [-3;28]	1 [-12;34]	
	Tropics	6 [-3;23]	7 [-5;27]	
Rice	Global	7 [-17;24]	7 [-14;27]	
	Tropics	6 [0;20]	6 [0;24]	

Figur 3 – Forskjellen i virkninger mellom 1.5 graders global oppvarming og 2.0 graders global oppvarming vist for sentrale indikatorer. Fra Schleussner et al. 2016. (CC Attribution 3.0 License)

områder der sjøisen trekker seg tilbake. Følgelig er risikoen og de mulige økologiske og samfunnsmessige skadevirkningene av klimaendringene betydelig større i realiteten enn om en beregner virkninger kun utfra en lokal endring på to grader.

I en nylig utgitt artikkel (Schleussner et al. 2016), er det også påvist at det er betydelig større potensielle skadevirkninger fra klimaendringer ved to graders oppvarming enn ved 1.5 grader.

Dette gjelder flere viktige forhold, så som forekomsten av hetebølger og ekstremnedbør, vanntilgjengelighet, havstigning, korallbleking og koralldød og i produksjonen av sentrale matvarer for verdens matvaresikkerhet (Fig. 3).

Disse skadevirkningene vil bli betydelig større ved en ytterligere økning av temperaturen utover to grader, noe som er det mest sannsynlige utfallet, selv om man skulle klare å begrense utslippene.

Som vist nedenfor gir utfallet av Parisavtelen i seg selv, uten en betydelig opptrapping av ambisjonene de neste årene, en svært lav sannsynlighet for at temperaturøkningen kan holdes under to grader.

Konklusjon nr. 3:

Oppvarmingen er ujevnt geografisk fordelt med størst endring i Arktis og over land. Følgelig er risikoen og mulige samfunnsmessige skadevirkninger av klimaendringene i realiteten betydelig større enn om en beregner virkninger utfra en lokal endring på to grader.

LANGTIDS-RISIKO OG HAVSTIGNING

Da målet om å begrense den globale oppvarmingen til to grader ble framforhandlet under FNs klimakonvensjon (UNFCCC), var det fordi dette ble ansett som en terskel når det gjelder farlige klimaendringer. Det betyr imidlertid ikke at to grader oppvarming er uproblematisk og uten vesentlige skadevirkninger, noe som er vist i Fig. 3.

Også ved to grader kan vi forvente irreversible endringer (definert som endringer som vil vedvare i flere hundre år) og uventede og brå klimaendringer, men det vil være vesentlig større mulighet for slike om temperaturen stiger videre fra to grader.

Trolig vil selv et to grader varmere globalt klima føre til delvis nedsmelting av isdekket på Grønland og en betydelig reduksjon av det vest-antarktiske isdekket.

Dette betyr at selv to grader varmere klima vil være en meget betydelig klimaendring med effekter som krever tilpasning i stor skala over lang tid.

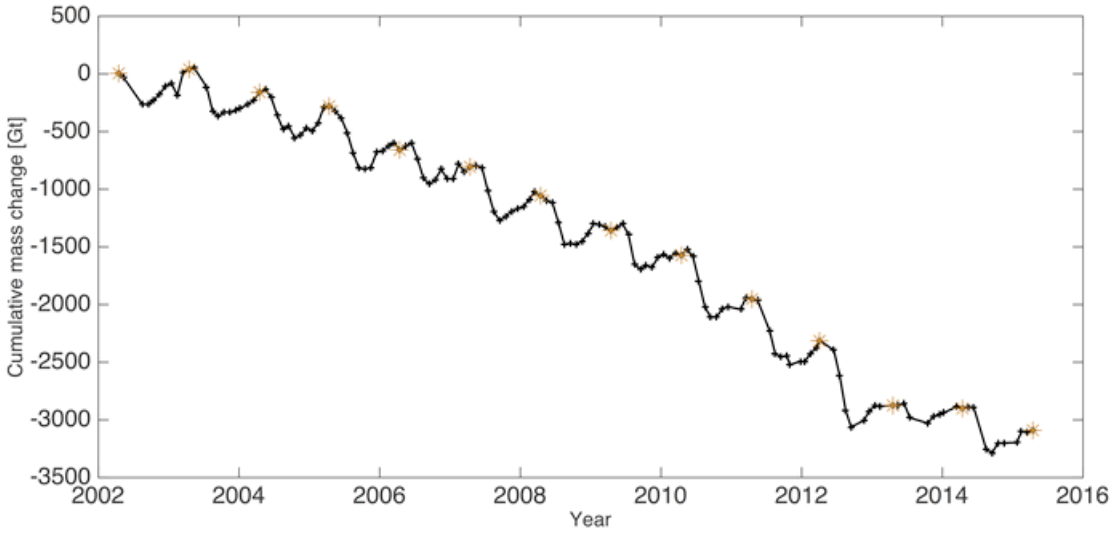
Togradersmålet er definert utfra temperatur, mens mange av de viktigste effektene gjelder andre parametre, slik som nedbør, tørke, flom, ekstremnedbør, hetebølger, havstigning, havforsurning, og selv 1.5 eller to graders oppvarming vil ledsages av en rekke negative virkninger som er dårligere klarlagt.

Konklusjon nr. 4:

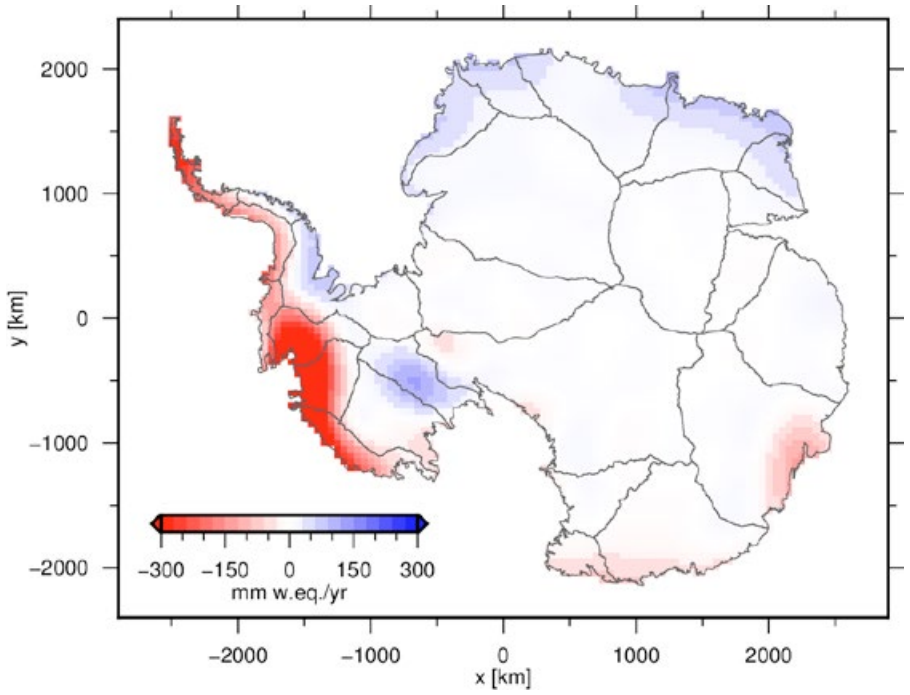
Risikoen for miljø og samfunnssikkerhet ved en temperaturstigning på to grader er betydelig, med betydelig lavere skadelige virkninger ved en global oppvarming på 1.5 grader enn en på to grader, og ytterligere langt større risiko ved økning utover dette. Tiltak som skal minimere risiko for fremtidige generasjoner må derfor ha som utgangspunkt at endringene må bli minst mulig og skje mest mulig gradvis.

Fordi klimasystemet inneholder elementer som sakte tilpasser seg et nytt klima, vil det være slik at selv om verden stabiliserer temperaturøkningen, vil temperaturendringen ha effekt på havstrømmene og havnivå i mange hundre år deretter, bl.a. ved at de store isdekkene på Grønland og Antarktis langsomt vil søke å innstille seg i likevekt med den nye temperaturen og respondere på den økte temperaturen i mange hundre år før en ny likevekt har inntrådt. Når likevekt inntrer, vil de ha mistet betydelige mengder is. At dette gir langsiktig havstigning er et uomtvistet faktum som støttes av en omfattende litteratur om fortidsklima og simuleringer med modeller for fremtidig utvikling. IPCCs 5.hovedrapport oppsummerer denne forskningen, og det er siste året kommet flere nye arbeider som ytterligere understreker alvoret i denne situasjonen og peker på det faktum at det er utslipp de neste tiårene som setter rammene for hva slags langsiktig utvikling vi vil få. Uten vedvarende kutt i utslipp og en rask overgang til nullutslipp, vil det være svært vanskelig å stanse endringene i isdekkene. Således er de neste tiårene helt vesentlige for det som vil skje mange hundre år frem i tid. Et langsiktig perspektiv om redusert fremtidsrisiko legger sterke føringer på hvilke handlinger som må finne sted nå.

En verden der global eller regional temperatur overstiger to grader må analyseres, ikke bare for inneværende århundre, men i et mer langsiktig perspektiv slik at de reelle generasjonsperspektivene kommer frem.



Figur 4. Kumulativ endring i total ismasse på Grønland i perioden 2002 til 2015 (i mrd tonn) målt med NASA sin GRACE tyngdefelt-satelitt (Tedesco et al. 2016). Hvert punkt er en individuell månded. Oransje symboler angir april måned for hvert år.



Figur 5. Den romlige fordelingen av endringer i ismasse i Antarktis for perioden 2002 (august) til 2016 (januar), målt med NASA sin GRACE tyngdefeltsatelitt uttrykt som mm vann-ekvivalent pr. år (eller kg/m2/år). Rød farge viser områder med massetap, mens blå viser økning av ismasse (Groh & Horwath, 2016).

Man må trolig 3-3.5 millioner år tilbake i tid for å finne global temperatur som var mer enn to grader høyere enn førindustriell temperatur. På denne tiden var CO2-innholdet i atmosfæren 400-450ppm (parts per million), dvs noe høyere enn dagens nivå, som er på 400ppm. Havet stod 10-30m høyere enn nå på denne tiden (Masson-Delmotte et al. 2013). Forrige gang temperaturen i Arktis var omtrent den vi kan få ved to grader oppvarming, i den forrige mellomistiden for 120.000 år siden, var havnivået 5-10m høyere enn i dag, og det grønlandske isdekket var ca 30% mindre (Masson-Delmotte et al. 2013). Årsaken til den økte regionale temperaturen i nordområdene i den forrige mellomistiden var naturlige forandringer i jordbanen rundt solen som gav sterkere solinnstråling om sommeren den gang i forhold til nå.

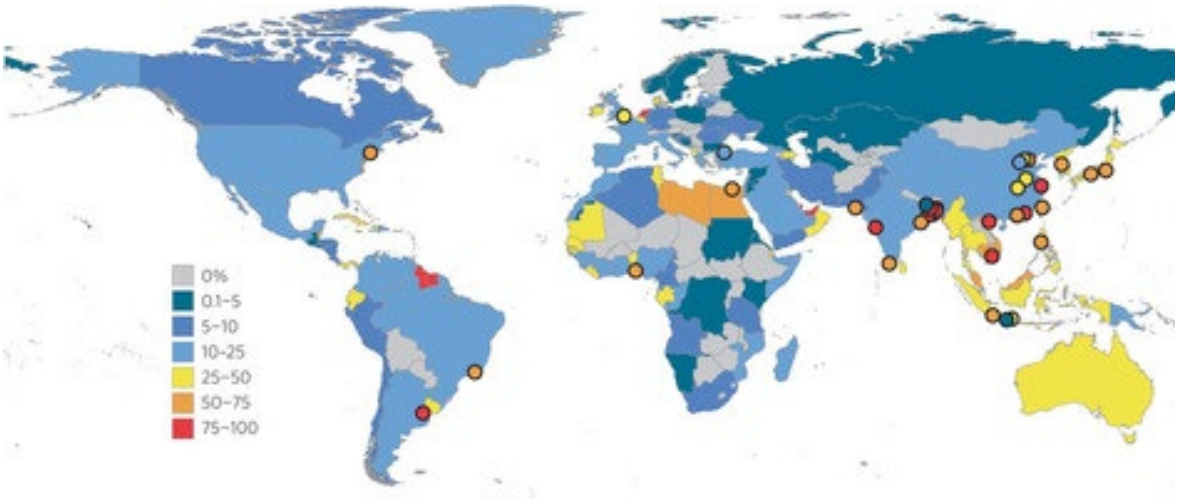
Under varmeperioden for 3.5 millioner år siden var atmosfærens CO2-konsentrasjon omtrent den vi har i dag eller vil oppleve fram til 2050 (Masson-Delmotte et al. 2013). Med en tilsvarende varme på to-tre grader over førindustrielt nivå, og en slik konsentrasjon av klimagasser, vil det ta lang tid til en ny likevekt oppnås for de store iskappen. En slik endring vil føre til mange hundre år uten et stabilt havnivå, noe som krever store og kontinuerlige tilpasningskostnader for mange kommende generasjoner. To-tre grader varmere global temperatur er også noe vår art ikke har opplevd siden moderne mennesker kom til for 200.000 år siden. På samme vis gir en slik økning en klimaramme som økosystemene og økosystemtjenestene vi er avhengige av ikke har opplevd. En slik oppvarming ligger godt utenfor det intervallet den globale temperaturen har operert innenfor etter at menneskelige sivilisasjoner oppstod etter siste istid.

Tendensen med massetap på Grønland og i Antarktis er trolig alt igangsatt ved den oppvarmingen vi har erfart hittil. Det foreligger nå satellittbaserte observasjoner som viser en tydelig tendens til massetap både fra innlandsisen på Grønland og i Antarktis (Fig. 5 og 6).

Med andre ord innebærer en global oppvarming som gir noen få grader med oppvarming av polområdene og havene rundt en langsiktig havstigning som ikke stopper før det er oppnådd likevekt, og gir et problem med stigende havnivå mange hundre år frem i tid. Grunnlaget for hvor stort dette problemet vil komme til å bli, blir lagt i de neste tiårene. Omfanget av problemene vil avhenge av om man raskt får kontroll med utslippene og deretter umiddelbart får sterkt nedadgående utslipp, slik at klimaet blir stabilisert godt under to graders temperaturøkning. Den langsiktige virkningen av at man ikke får kontroll med utslipp og med klimautviklingen er nylig vist av Clark et al. (2016). En rekke av verdens megabyer og lavtliggende områder med store befolkningskonsentrasjoner vil i en slik situasjon på sikt bli satt under vann (Fig. 7). Forfatterne av dette arbeidet innbefatter lederne av IPCCs Arbeidsgruppe 1 fra både den 4. og 5. hovedrapporten, samt en rekke av verdens ledende eksperter på isdekker og havnivå. Dette er altså meget autoritativt forskerhold.

Forfatterne har gjort en analyse av den effekten våre utslipp vil ha på stabiliteten og utviklingen av de store isdekkene, kvantifisert i forhold til det gjenstående karbonbudsjettet (se nedenfor). De skriver: “This long-term perspective illustrates that policy decisions made in the next few years to decades will have profound impacts on global climate, ecosystems and human societies—not just for this century, but for the next ten millennia and beyond”.

Med andre ord legger de ansvaret for beslutninger som fattes nå for de virkninger menneskeheten vil streve med, ikke bare i et flergenerasjonsperspektiv, men i et perspektiv som er lengre enn den samlede tiden vår sivilisasjon har eksistert. Forfatterne understreker videre: “The success of the COP21 Paris meeting, and of every future



Figur 6. Befolkede områders påvirkning av langsiktig havstigning fra kumulative utslipp av 1280 mrd tonn C. Symboler viser megabyer (mer enn 10 mill innbygger) som blir rammet. Områdene er vist med befolkningsvekting slik at fargen både for landene og for megabyene (symboler) viser hvor stor andel av landet som blir rammet vektet med områdets befolkning. En 10% verdi indikerer at 10% av befolkningen i dag bor innenfor det området som blir rammet. Fra Clark et al. 2016. (Med tillatelse til gjenbruk av Nature Publishing Group)

COP, must be evaluated not only by levels of national commitments, but also by looking at how the various commitments will lead to the proliferation of non-fossil energy systems, and ultimately to the point when zero-carbon energy systems become the obvious choice for everyone".

Her understrekes sterkt viktigheten av å konkret innfase nullutslippsteknologi i energisektoren om skal man unngå å skape dette langsiktige problemet. I et enda nyere arbeid påpekes det en økende fare for rask havstigning også i inneværende århundre, fra destabilisering av innlandsisen i Antarktis (DeConto og Pollard, 2016). Havstigningen er her beregnet å bli høyere i vårt århundre enn det som var publisert i siste rapport fra FNs klimapanel i 2013.

I dette arbeidet er det gjort en forbedring av eksisterende modellverktøy for å studere innlandsisen, og denne forbedrede fysiske beskrivelsen av prosessene i innlandsisen øker sannsynligheten for raskere respons til endret klima om ikke det skjer en rask utslippsreduksjon. Responsen vil kunne gi en dobbelt så rask havstigning som ellers antatt, forutsatt at klimagassutslippene ikke raskt synker.

Konklusjon nr. 5:

Den siste forskningen påpeker viktigheten av rask handling i forhold til utslippsreduksjoner, og at konsekvensen av å ikke redusere utslippene og iverksette nullutslippssamfunnet i løpet av de neste tiårene vil gi svært alvorlige konsekvenser for mange generasjoner i meget lang tid fremover, særlig knyttet til havstigning.

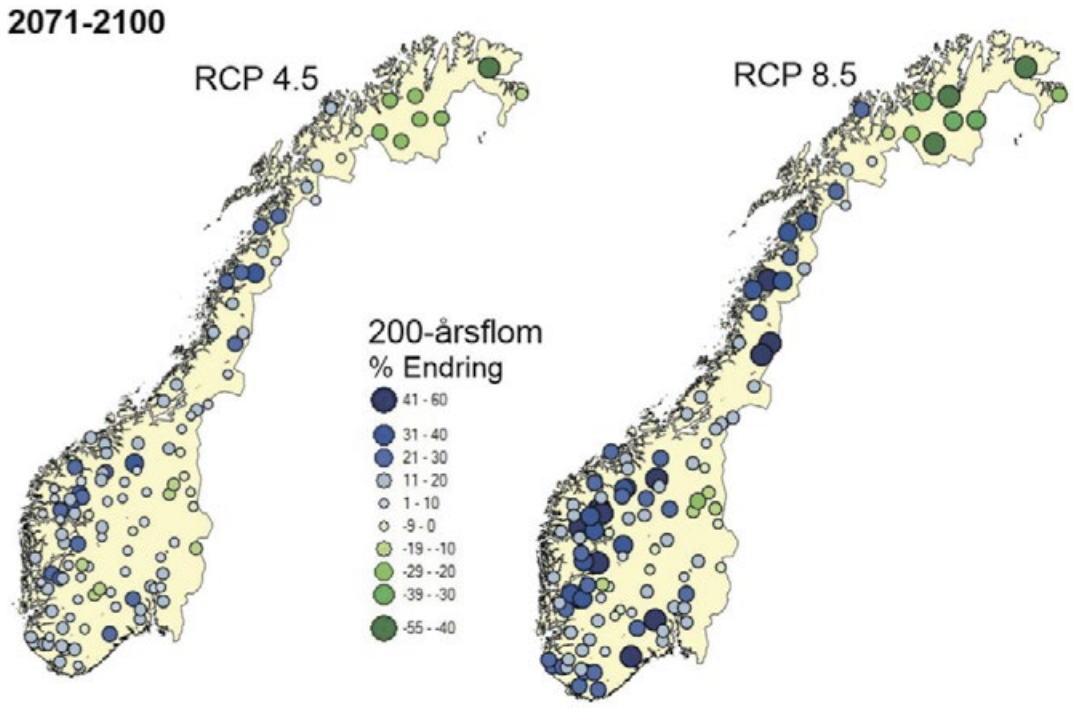
NASJONALE KLIMA-EFFEKTER

Klimaendringene er allerede merkbare i vårt land. På oppdrag fra Miljødirektoratet utarbeidet Norsk Klimaservicesenter (MET, NVE og Uni Research (Bjerknessenteret)) i 2015 en rapport om de sannsynlige klimaendringene i Norge i løpet av inneværende århundre (Hansen-Bauer et al. 2015). Rapporten viser at det allerede pågår vesentlige klimaendringer som kan knyttes til menneskeskapte klimagassutslipp. Årsmiddeltemperaturen har økt med ca. 1°C fra 1900 til 2014, og enda mer i Finnmark. I dette tidsrommet har det vært perioder med både stigende og synkende temperatur, men de siste 40 år har økningen vært svært markant.

Årsnedbøren har økt over hele Norge siden år 1900, og for landet som helhet er økningen på ca. 18 %. Økningen er størst om våren og minst om sommeren.

Den er størst på Vestlandet og deler av Nord-Norge, særlig i høst- og vintersesongen. Også for kraftig nedbør i løpet av kort tid (ekstremnedbør) har det de senere år vært en økning både i intensitet og hyppighet, med en økning i hyppighet på 40% over det siste 100-året, selv om det også her er store forskjeller fra år til år.

Beregningene for fremtiden baserer seg på nedskalering av klimasimuleringer gjort



Figur 7. Endring i flomhyppighet i forskjellige vassdag mot slutten av dette århundret. Fra: Hansen-Bauer et al. 2015.

for FNs klimapanels siste rapport, der de mer grovmaskede globale modellene blir nedskalert med en mer høyoppløselig modell som tar bedre høyde for effektene av topografi og lokale forhold. Effektene på mange sentrale parametre for samfunnsplanlegging er så beregnet utfra dette materialet.

Dette er den autoritative kilden for klimaeffektene i Norge som nå brukes av nasjonale og lokale forvaltningsorgan.

Rapporten viser flere negative effekter av forventet klimaendring, der utslagene i negativ retning er avhengig av størrelsen på de globale klimagassutslippene, slik at lavere utslipp reduserer risiko.

De viktigste forventede endringene i løpet av dette århundret er:

- Det forventes økning på ca. 4,5°C i årstemperatur (spenn: 3,3 til 6,4°C – avhengig av fremtidige klimagassutslipp).
- En økning på ca. 18 % i årsnedbør (spenn: 7 til 23 %).
- Styrtregnepisodene blir kraftigere og vil forekomme hyppigere.
- Regnflommene blir større og kommer oftere.
- Snøsmelteflommene blir færre og mindre Det blir økende fare for storflom over det meste av landet (Figur 6) .
- I lavtliggende områder vil snøen bli nesten borte i mange år, mens det i høyfjellet kan bli større snømengder i enkelte områder.

- Det blir færre isbreer, og de som er igjen blir mye mindre.

- Havnivået øker med mellom 15 og 55 cm, avhengig av lokalitet, ved fortsatt utslippsvekst som i dag.

En videre økning av flomfaren, som allerede har tiltatt er forventet (Fig. 8).

I tillegg kommer økt havforsurning, med til nå uavklarte negative effekter på de marine økosystemene, særlig i Arktis.

Konklusjon nr. 6:

Klimaendringene vil gi økt samfunnsrisiko også i Norge, særlig knyttet til økt og mer intens nedbør. Det er allerede påvist flere negative konsekvenser av klimaendringene i vårt og andre land, inkludert betydelige negative økonomiske konsekvenser. Disse forventes å øke i fremtiden, mest med høye utslipp, minst dersom utslippene forholder seg til 1.5 eller togradersmålet.

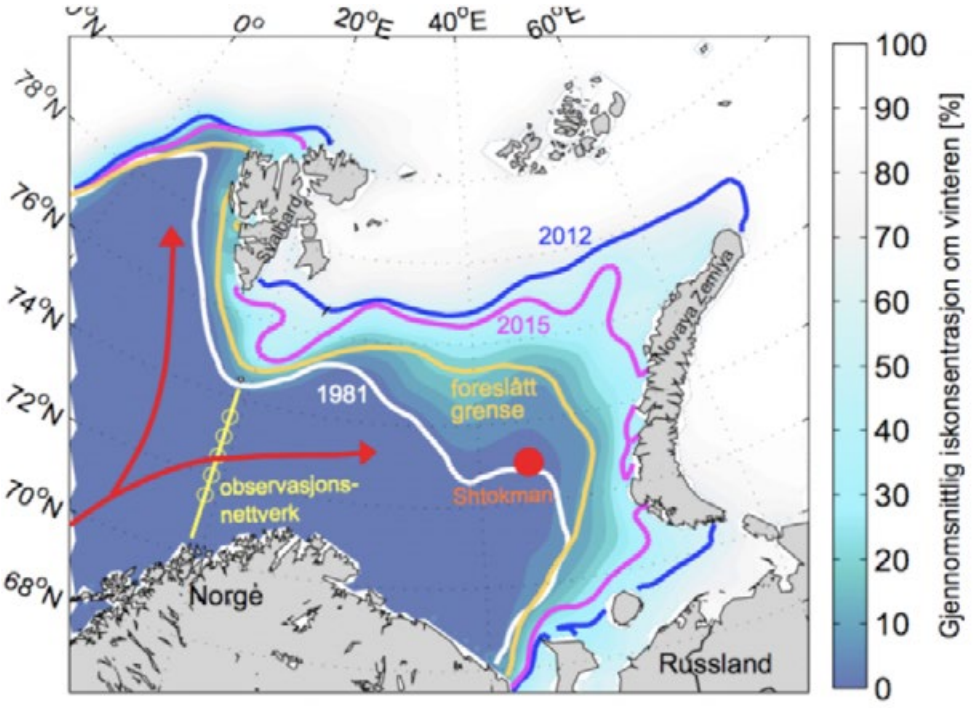
ARKTIS OG BARENTSHAVET

Den globale oppvarmingen har ført til redusert isdekke i Arktis, særlig om sommeren. Samtidig er volumet av sjøis omtrent halvert siden 1979, og havisen er nå vesentlig tynnere, mer flyttbar og sårbar enn tidligere. Det er i faglitteraturen påvist at en hovedårsak til denne utviklingen er utslippene av klimagasser fra menneskelig aktivitet, noe også IPCC konkluderer med. I de fleste områder i Arktis skjer tilbakegangen i utbredelse i hovedsak om sommeren, mens det i Svalbard-Barentshavområdet også har skjedd en betydelig tilbakegang om vinteren slik at Svalbard i stadig mindre grad er innkapslet med sjøis om vinteren, og landtemperaturen i øygruppen har vist en dramatisk økning. Dette har også ført til at den observerte iskanten i det nordlige Barentshavet har trukket seg tilbake, og områder som tidligere var isdekt om vinteren i mindre grad har vært det det siste 10-året.

Det har vært gjort mange studier av årsakene til den sterke tilbakegangen av sjøis i Barentshavsområdet. Årsakene er sammensatt og skyldes både endringer i værmønstre og atmosfæretemperatur, men nyere forskning konkluderer med at en hovedårsak er tilstrømming av varmere vann fra sør gjennom forlengelsen av Golfstrømmen inn i De nordiske hav (Årthun et al. 2012, Onarheim et al. 2014, 2015)

Denne varmetransporten drives av både menneskeskapte endringer i havtemperaturen og naturlige svingninger i havstrømmene. Således er det vanskelig å si med sikkerhet hvordan iskanten vil utvikle seg i et tiårsperspektiv. Det som er ganske sikkert er at fortsatt global oppvarming vil drive den nordover, men neppe i et jevnt mønster. Årsvariasjonene vises også tydelig i Fig. 9, med mer is i 2015 enn i 2012.

Det er gjort betydelige fremskritt i å kunne predikere iskanten fra ett år til det neste (Onarheim et al. 2015). Dette skyldes at man kan følge varmetransporten opp langs norskekysten og kjenner forplantningstiden for varmeanomalier i vannmassene. Utover ettårsperspektivet er det så langt ikke mulig å gi presise varsler, men dette er et aktivt forskningsområde der det kan forventes



Figur 8. Variasjoner i isutbredelsen og iskanten i Barentshavet i relasjon til den nylig foreslåtte isgrenselinjen (gul linje).

gjennombrudd i de neste årene. Med dagens kunnskap kan man ikke utelukke at det enkelte år er vinterisutbredelse i Barentshavet på linje med den som har vært tidligere, men det sannsynlige er at slike år blir sjeldnere. De isdekte områdene er lite kartlagt i forhold til klimaeffekter og økosystemdynamikk bl.a, fordi de er delvis utilgjengelige og krever isgående forskningsfartøy for detaljerte studier.

Således er kunnskapsgrunnlaget for forvaltning av disse områdene betydelig svakere enn det som gjelder for de åpne, isfrie områdene sør i Barentshavet.

Som en følge av dette manglende kunnskapsgrunnlaget er det planlagt en storstilt norsk forskningsinnsats, "Arven etter Nansen (AeN)", som i et flerårig forskningsprogram skal undersøke det nordlige Barentshavet, bl.a. med bruk av det nye isgående forskningsfartøyet Kronprins Haakon som settes i drift i 2017. Initiativet til dette kom fra fra Det Norske Videnskaps-Akademi, og samler landets ledende ekspertise fra UiB, UiO, UiT, NTNU, MET, Havforskningsinstituttet, SINTEF og Norsk Polarinstitutt.

Forskningsplanen er evaluert av amerikanske eksperter og det jobbes nå mot nasjonal finansiering i tillegg til betydelig egeninnsats fra de deltakende institusjonene. Programmet er planlagt over 6 år med oppstart i 2017.

I begrunnelsen for programmet blir det understreket:

"Knowledge about these northern regions and how their systems are changing remains inadequate, and challenges the sustainable ecosystem management tools established for the Barents Sea". "Similarly, it is poorly understood how ecological effects of

pollutants, e.g. from petroleum activities, respond to additional change in climate".

Konklusjon nr. 7:

I Barentshavet er det en markert tilbakegang i isutbredelse både sommer og vinter. Med dagens kunnskap kan man ikke utelukke at det enkelte år blir en vinterisutbredelse i Barentshavet på linje med den som har vært tidligere, men det sannsynlige er at slike år blir sjeldnere. Dagens varsler kan forutsi iskanten ett år i forveien. Det er betydelige og anerkjente kunnskapshull når det gjelder klima og økosystem i den nordlige, delvis isdekte delen av området.

KARBON BUDSJETTET

Den siste rapporten fra FNs klimapanel (IPCC AR5) baserer seg på de koordinerte internasjonale klimamodelleksperimentene organisert som CMIP5 (Co-ordinated Modeling Intercomparison Project; http://cmip-pcmdi.llnl.gov/cmip5/). Simuleringene av klima i fortid, nåtid og fremtid ble designet slik at alle modellsystemene utførte de samme simuleringene og med de samme forutsetninger når det gjelder klimapådriv. Således er forskjellene i simulert klima mellom modellene et resultat av forskjeller i selve modellene, og spredningen i temperaturfremskrivningene for hvert av de sentrale utslippsscenarioene skyldes bl.a. ulik klimafølsomhet i modellene. I tillegg er det en spredning i temperaturfremskrivningene mellom de forskjellige utslippsscenarioene, særlig fra midten av århundret som følge av forskjellene i klimapådrivet som har sitt utspring i at fremtidsklimaet er simulert med høye, lave og midlere fremtidige klimagassutslipp.

Hvilke av modellene som er best og dermed hvilke av modellresultatene som er mest sannsynlige, er vanskelig å avgjøre. Følgelig oppgir IPCC middelverdier med usikkerhetsintervall. For globalt midlede verdier har gjennomsnittet av modellsimuleringene (vanligvis 30-40 simuleringer for hvert scenario) vist seg å treffe best med observerte endringer frem til nå.

Atmosfærens konsentrasjon av CO_2 er nå ca. 400 ppm. IPCCs femte hovedrapport konkluderer, basert på CMIP5-modellene, med at stabilisering på en konsentrasjon på mellom 430 og 480 ppm gir en sannsynlighet for å nå togradersmålet på 66-100%.

For å unngå å overskride togradersmålet må globale CO_2-utslipp i 2050 være mellom 72 og 41% lavere enn de var i 2010, ifølge IPCC. Skulle CO_2-konsentrasjonen gå betydelig over 500ppm, sier IPCC at man da må sette i verk betydelige tiltak som reabsorberer CO_2 fra atmosfæren, såkalte negative utslipp, f.eks. ved bioenergi kombinert med CCS (Carbon Capture and Storage) (Alexander et al. 2013, IPCC WG1 AR5 Summary for Policymakers). Slik teknologi finnes ikke pr. i dag.

For IPCCs 5.hovedrapport ble det utført en lang rekke simuleringer av mulige fremtidige klimaendringer basert på et utvalg av fremtidige utslippscenarioer. Fire hovedklasser ble benyttet som skal gi representative mulige fremtidige endringer utfra forskjellige mulige utviklingstrekk i økonomi og demografi.

Disse representative utslippsscenarioene (RCP) ble brukt som drivere i modell-simuleringer med avanserte jordsystem-modeller som beregner de klimatiske konsekvensene av utslippene i dette århundret, og for noen simuleringer frem til år 2300.

IPCC oppsummerte, basert på modellsimuleringene, at det finnes en sammenheng mellom kumulative klimagassutslipp og temperatur. Basert på dette forholdet ble det beregnet hvor store kumulative utslipp som vil gi to graders oppvarming, med usikkerhetsintervall som reflekterer de forskjellige modellenes klimafølsomhet. Gjennomsnittet av modellene tilsier ifølge IPCC at vi har sluppet ut 575 GtC og har ca 275 GtC igjen å slippe ut for å ha en 67% sjanse for å stabilisere klimaet innenfor to grader. Dette innebærer at ca 80% av de fossile reservene (olje, gass, kull - til sammen ca 2,795 Gt) må forbli ubrukt såfremt det ikke gjennomføres storstilt karbonfangst og -lagring (CCS) som håndterer utslippene. CO2-konsentrasjonen som gjør at vi passerer to grader oppvarming er av IPCC estimert til mellom 430 og 480 ppm (IPCC 2014). Dagens nivå er i overkant av 400 ppm, og har de siste årene steget med ca 2ppm per år (http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/).

Hvis vi greier å raskt stoppe alle andre klimadrivende utslipp enn CO2, så som avskogning, metan fra landbruk og andre oppvarmende utslipp, kan vi innenfor karbonbudsjettet i beste fall øke uttaket av fossile brensler noe, gitt nåværende generasjon av klimamodeller og deres klimafølsomhet.

En videre satsning på bruk og utvinning av fossile energiressurser vil imidlertid raskt komme i konflikt omkring hva som vil være en rettferdig fordeling av det resterende karbonbudsjettet. Med togradersmålet som utgangspunkt har verden ifølge IPCC AR5 et gjenværende budsjett på 275 milliarder tonn karbon, tilsvarende omtrent 1000 milliarder tonn CO2. Det finnes i prinsippet uendelig mange utslippsbaner, og fordelinger mellom land, som er i samsvar med et gitt karbonbudsjett. Når man tar hensyn til hva som er teknisk, økonomisk og politisk gjennomførbart er det imidlertid langt færre utslippsbaner som er i tråd med karbonbudsjettet for togradersmålet, og enda færre om målet er 1.5 grader. Like fullt finnes det flere tolkninger av hvor store utslippene kan være i 2030 og påfølgende år dersom vi skal kunne nå togradersmålet, blant annet på grunn av ulike forventninger til framtidig teknologi som potensielt kan gi negative utslipp senere i dette århundret.

Konklusjon nr. 8:

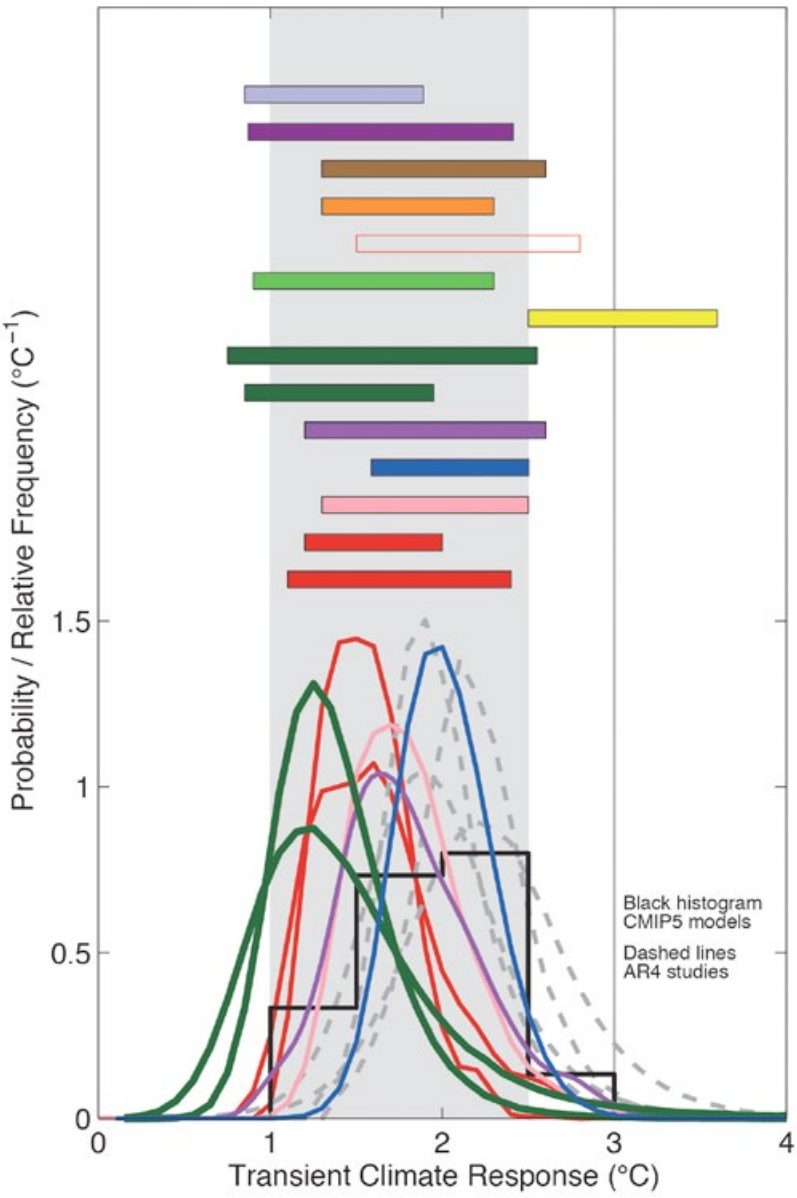
Dersom togradersmålet skal nås, bør det samlede globale utslipp av CO2 innen 2030 være nede på mellom 5 og 6 GtC, dvs. ca 50% lavere utslipp enn i dag, og deretter falle til 70-80% reduksjon midt i århundret. Usikkerheten omkring klimasystemets følsomhet for klimagassutslipp kan ikke brukes som argument for mindre ambisiøse utslippsreduksjoner.

KLIMA-FØLSOMHET

Den umiddelbare temperaturutviklingen som følger av økning i klimapådriv (utslipp), kalles transient klimarespons (TCR). På grunn av de tregere elementene i klimasystemet som hav

og landis, vil temperaturen fortsette å stige inntil den er i likevekt med pådrivet. Denne justeringen vil ta flere hundre år, og temperaturendringen som da kommer frem, kalles likevektsfølsomhet(ECS).

Vanligvis oppgis dette som global temperaturendring ca. 100 år etter at atmosfærens CO2 innhold er blitt fordoblet fra førindustrielt nivå. Det har vært et kronisk forskningsproblem å bestemme både TCR (transient klimarespons) og ECS (likevektsfølsomhet). Selv i den siste rapporten fra IPCC er det ikke gitt noen mer presise beregninger enn før, fordi det er mye sprik i litteraturen, noe som gir et stort usikkerhetsintervall for disse beregningene. Det kan heller ikke gis noen foretrukne verdier.



Figur 9. Forskjellige anslag for TCR oppsummert i IPCC AR5. Fra Stocker et al. 2013

Det er flere metoder i bruk der man enten ser på dette ved å studere klimaendringene i fortiden, eller ved å observere de instrumentelle observasjonsdata frem til nå, gjerne i kombinasjon med enkle klimamodeller, eller ved å bruke de store globale klimamodellene.

For ECS er middelverdien i klima-modellene like over tre grader, med et usikkerhetsintervall mellom 1,5 og 4,5 grader. Den norske klimamodellen NorESM ligger litt lavere enn gjennomsnittet og beregner ECS til ca. 2,9 grader og TCR til 1,4 grader (Iversen et al. 2013).

Beregninger basert på rekonstruksjon av fortidsklima (paleoklima) har en middelverdi som er ganske nært klimamodellenes

gjennomsnitt. Gjennomsnittet av beregninger basert på målte temperaturdata eller kombinasjon av observasjoner og modeller har de siste årene hatt en tendens til å trekke estimatene av ECS noe nedover. Disse beregningene er påvirket av den svakere temperaturstigningen i perioden 1999-2014. Den har skjedd samtidig med sterk økning i utslippene, slik at mange forskere i tiden etter fremleggelsen av den første delrapporten i IPCCs femte hovedrapport (AR5) har ment at ECS ligger mellom to og tre grader. Samtidig er disse resultatene kritisert fordi den reduserte temperaturendringen kan være en midlertidig hendelse, og rekordhøye temperaturer i 2015 og til nå i 2016 vil kunne gi andre og høyere svar. Det er også strid om hva som er den beste metodikken, og flere artikler konkluderer også med at den reelle ECS ligger nært modellmiddelverdien på ca tre grader.

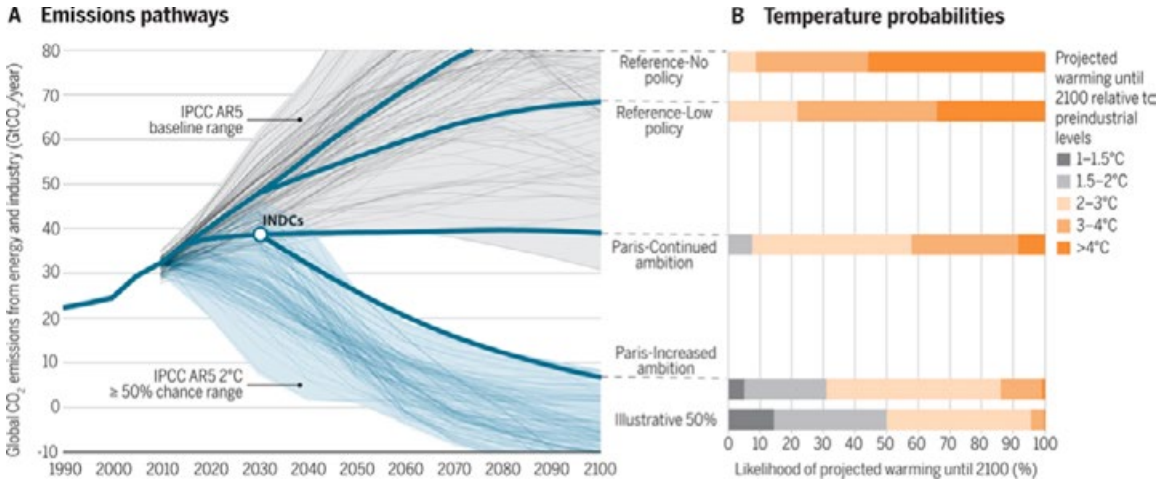
I forhold til togradersmålet er det imidlertid TCR som er den mest interessante størrelsen fordi målet er noe man skal oppnå innenfor dette århundret. IPCCs femte hovedrapport konkluderer med at den trolig ligger mellom 1 og 2,6 grader. Dette er den temperaturøkningen modellene beregner at vi får innenfor noen tiår etter at CO2-innholdet er fordoblet sammenliknet med førindustrielt nivå (dvs 560 ppm). Så godt som alle nyere estimat i litteraturen som har kommet etter at rapportens grunnlagspublikasjoner var publisert, ligger innenfor denne rammen, også de som er gjort av forskere som kan regnes som å være ”klimaskeptikere”. Det er også en betydelig faglig uenighet om hva som er den beste metodikken for å beregne TCR.

Middelverdien for TCR i klimamodellene er 1,8 grader. Et lavt anslag i den seneste litteraturen er på 1,3 grader. En lav klimafølsomhet skaper noe bedre tid til å nå de utslippsreduksjoner som skal til for å nå temperaturmålet. Forskningen etter IPCC AR5 i 2013 har ikke bidratt til noen nærmere avklaring på hva som er den rette verdien. Usikkerheten, sammen med føre-var prinsippet, vil innebære at en bør ta utgangspunkt i den midlere følsomheten, og være klar over at det her er usikkerhet i begge retninger og at dette er undergitt pågående forskning. En føre-var betraktning eller risikobasert vurdering gjør det derfor vanskelig å ta utgangspunkt i den lavere følsomheten.

Det er viktig å være klar over at jordens karbonbudsjett er tregt. Det naturlige opptaket av CO2 som på lang sikt nøytraliserer utslippenes klimavirkning skjer gjennom opptak i havet og kjemiske reaksjoner (forvitring) av bergarter på land. Dette kretsløpet tar lang tid, og ca. 20% av utslippene av CO2 forblir i atmosfæren om ca 1000 år. Mulige metoder for å øke opptaket slik at det skjer raskere, og kan skape negative utslipp der opptaket overstiger utslippene er skissert i IPCC AR5, men slik teknologi er ikke utprøvd utover småskala laboratorieforsøk, og de økonomiske, miljømessige sidene ved slik teknologi er ukjent.

Konklusjon nr. 9:

En må regne at utslipp som skjer nå blir værende i atmosfæren i mange hundre år og vil påvirke klimaet minst 1000 år frem i tid. En eventuell innfasing av teknologi for negative utslipp som fremtidige generasjoner ser seg nødsaget til å implementere for å reparere og forebygge skadevirkninger, vil utsette disse generasjonene for omfattende økonomiske og andre kostnader for å minimere effekten av utslipp fra den generasjonen som lever nå.



Figur 10. Fremtidige utslippsbaner for CO2 og B. korresponderende sannsynlighet for å nå forkjellige temperaturmål ved år 2100. Fra Fawcett et al. 2015. (Med tillatelse til gjenbruk av American Association for the Advancement of Science)

SANNSYNLIGHET FOR Å NÅ TOGRADERS-MÅLET

Forskning etter IPCCs 5. hovedrapport har ytterligere vurdert betingelser og sannsynligheter for å kunne stabilisere klimaet på to grader eller 1.5 grader, selv om det så langt er lite forskning på forutsetningene for et 1.5 gradersmål. Av den grunn bad også partene i Parisavtalen IPCC om å gjennomføre vurderinger av forutsetninger for og virkningene av 1.5 graders global oppvarming. Det er ventet at en slik vurdering vil bli gjort i form av en spesialrapport som blir ferdigstilt i løpet av 2018.

Parisavtalen refererer seg til innrapporterte nasjonale forpliktelser til 2030. Dersom disse blir overholdt, og man regner med at disse blir videreført på samme nivå etter 2030, viser beregninger at det er under 10% sjanse for å nå togradersmålet (Fawcett et al. 2015). Et økt ambisjonsnivå som etter 2030 reduserer utslippene med mer enn 80%, etter 2030 gir bare maksimum 30% sjanse for å stabilisere klimaet under to grader. Først med betydelige negative utslipp øker sjansene til å holde oppvarmingen under to grader til ca. 50% (Fawcett et al. 2015, Rogelj et al. 2016). Oppsummert kan det sies at Parisavtalen og de forpliktelsene Norge har tatt på seg krever meget raske reduksjoner av utslipp fra nå av og frem til 2030, og vedvarende og økende utslippskutt i resten av dette århundret.

Nyere forskning har forsøkt å beregne sannsynligheten for å nå to grader- eller 1.5 gradersmålet. Fawcett et al (2015) tar utgangspunkti IPCCs scenarioer og de nasjonale frivillige utslippskutt som landene forpliktet seg til i Paris-avtalen. Avtalen setter mål for 2030, og har en klausul om å øke ambisjonsnivået frem til da med 5-årlige intervall. Dersom alle

landene gjennomfører sine mål (INDC) fra Parisavtalen, og viderefører disse tiltakene i hele resten av inneværende århundre, vil beregnet temperatur i år 2100 ligge på 2.7 grader med et usikkerhetsspenn fra 2.2 til 3.4 grader (Rogelj et al. 2016). Dagens ambisjonsnivå videreført utover i århundret gir ifølge Fawcett et al.(2015) under 10% sjanse til å nå togradersmålet (Fig. 10). Kun utslippsbaner som gir null globale utslipp i 2050-2060 og negative utslipp mot slutten av århundret ser ut til å gi en 50% sjanse til å nå togradersmålet. Stabilisering ved 1.5 grader ser med dagens kunnskap ut til bare å kunne la seg realisere ved massive negative utslipp og en svært rask nedgang i utslippene fra nå av.

Konklusjon nr. 10:

Både to grader og 1.5 gradersmålene er bare mulige med umiddelbare og sterke reduksjoner i utslippene av klimagasser. De betyr også at mesteparten av påviste reserver av fossile brensler ikke kan forbrennes. Begge målene må bety en umiddelbar nedgang i utslipp og en visjon om globale nullutslipp like etter midten av århundret. Det tilgjengelige karbonbudsjettet som følger av Parisavtalen vil bety at det er lite rom for å bringe nye kilder av fossile brensler til markedet utover i århundret.

BYRDEFORDELING – NORSK ANSVAR

I 2010 var globale utslipp 49 milliarder tonn CO2-ekvivalenter, mens de i 1970 var 27 milliarder tonn (Global Carbon Project 2015). Skal utslippene ned med ca. 70% i 2050, må årlige globale utslipp dermed være ca. 16 milliarder tonn CO2 på det tidspunktet. Avhengig av befolkningsmengden på Jorden må per capita CO2-utslipp i 2050 være mellom 1.5 og 3.1 millioner tonn, ifølge Miljødirektoratet (Miljødirektoratet 2014).

Miljødirektoratet sier også at Norge som lavutslippssamfunn i 2050 vil måtte ha utslipp som er så lave som 7-12 millioner tonn.

Norske utslipp var i 2013 på 52,8 millioner tonn CO2-ekvivalenter, som representerer en økning på 4.6 % siden 1990. For å følge klimaforliket må norske utslipp være på 45-47 millioner tonn årlig i 2020 når man holder eventuell binding i skog utenom. En videreføring av klimaforliket som det er, vil ikke gi ytterligere nedgang mellom 2020 og 2030, men Norges klimamål er nå samkjørt med EUs klimamål som har som mål en nedgang på 40% i forhold til 1990. Dette er også den forpliktelsen Norge har innmeldt i Parisavtalen.

Miljødirektoratet regner at norske utslipp i 2050 må ned med 60-80% i forhold til 1990 dersom Norge skal være på verdensgjennomsnittet i utslipp per capita innenfor en utvikling som er i samsvar med togradersmålet. Det vil si at nasjonale årlige utslipp må være mellom 10 og 20 millioner tonn årlig i 2050. Per capita utslippene i

Norge er per i dag ca. 10.4 tonn CO_2 ekvivalenter/år, som tilsvarer ca. 8 tonn CO_2 per capita, noe som er omtrent 40% over det globale gjennomsnittet som er på 5 tonn (Global Carbon Budget 2015), og betydelig høyere enn EU-gjennomsnittet (6.8 tonn).

I 2015 foretok en forskergruppe på oppdrag fra SV en gjennomgang av norske klimagassutslipp og forskning på byrdefordelingsprinsipp og hvilke utslippskutt som er rimelige for Norge i lys av de forskjellige prinsippene for byrdefordeling (Kallbekken et al. 2014). Gruppen skulle bl.a. vurdere: 1) hva som er den minste innsats som kreves av Norge dersom utslippskutt skal fordeles uten å ta hensyn til historisk ansvar eller kapasitet for å kutte utslipp, og 2) hva som er nødvendig dersom Norge ønsker å innta en pådriverrolle i forhandlingsprosessen med hensyn til prinsippene om historisk ansvar og kapasitet.

Utfra dette tilsier en rimelig byrdefordeling som et minimum at norske per capita utslipp er på globalt gjennomsnitt i 2050, noe som tilsier utslipp på 1.5-3.1 tonn pr capita, gitt en forventet befolkning på 6.6 millioner i 2050. IPCCs 5. hovedrapport viser at utslippsreduksjonene som oppnås fra nå og til 2030 har stor betydning for mulighetene til å nå togradersmålet i 2050. Med global utslippsutvikling som tilsvarer de frivillige utslippsmålene fra Parisavtalen frem til 2030, vil det sannsynligvis være behov for årlige globale utslippsreduksjoner på opp mot 6% fra 2030 til 2050. Hvis vi derimot får en utflating og etter hvert nedgang i utslippene mellom i dag og 2030, kan behovet for årlige globale reduksjoner fra 2030 til 2050 ligge på om lag 3%. Det bør være en rimelig ambisjon at Norge ligger i forkant av en slik utvikling, og at nasjonale utslipp må gå betydelig ned allerede på kort sikt.

Konklusjon nr. 11:

Alle aktuelle byrdefordelings-beregninger innebærer at Norge har et forholdsvis stort ansvar for å kutte utslipp, og alle beregninger med byrdefordelingsprinsipper i bunn innebærer mål som er betydelig høyere enn for eksempel målet om 40 % kutt innen 2030 som ligger inne i Norges INDC (Intended National Determined Contribution) til Parisavtalen.

LITTERATUR-REFERANSER

Alexander, LV et al. 2013. Summary for Policymakers, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, TF Stocker, D Qin, G-K Plattner, MMB Tignor, SK Allen, J Boschung, A Nauels, Y Xia, V Bex, PM Midgle (eds), Cambridge, UK, pp. 3-30. ISBN 978-1-107-66182-0.

Clark, P.U. et al. 2016. Consequences of twenty-first-century policy for multi-millennial climate and sea-level change. Nature Climate Change 6, DOI: 10.1038

Robert M. DeConto, R.M. og Pollard, D. 2016. Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise, Nature 531, 591–597

Fawcett et al. 2015. Can Paris pledges avert severe climate change? *Science* 26 Nov 2015: DOI: 10.1126/science.aad5761.

Groh, A., & Horwath, M. (2016). The method of tailored sensitivity kernels for GRACE mass change estimates. Geophysical Research Abstracts, 18, EGU2016-12065. Se: https://data1.geo.tu-dresden.de/ais_gmb/

Hansen-Bauer, I. et al. 2015. Klima i Norge-Kunnskapsggrunnlag for Klimatilpasning. Norsk Klimaservicesenter 2/2015. Utgitt av Miljødirektoratet.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Iversen, T., M. Bentsen, I. Bethke, J.B. Debernard, A. Kirkevåg, Ø. Seland, H. Drange, J.E. Kristjansson, I. Medhaug, M. Sand og I.A. Seierstad (2013). The Norwegian Earth System Model, NorESM1-M – Part 2: Climate response and scenario projections, *Geosci. Model Dev.* 6, 389-415.

Kallbekken, S., Gloppen, S., Jansen, E., Nøstbakken, L., Sørensen, K.H. 2014. Norges Klimaansvar 2030. Ekspertgrupperapport. https://www.sv.no/wp-content/uploads/2014/12/Norges-klimamål-2030-endelig-rapport.pdf

Onarheim, I.H. et al. 2014. Loss of sea ice during winter north of Svalbard. Tellus A, 66. 10.3402/tellusa.v66.23933.

Onarheim, I.H. et al. 2015: Skillful prediction of Barents Sea ice cover. Geophys. Res Lett., 42, 5364–5371. http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2015GL064359/full

Rogelj, J. et al. 2016. Differences between carbon budget estimates unravelled, *Nature Climate Change,* DOI: 10.1038

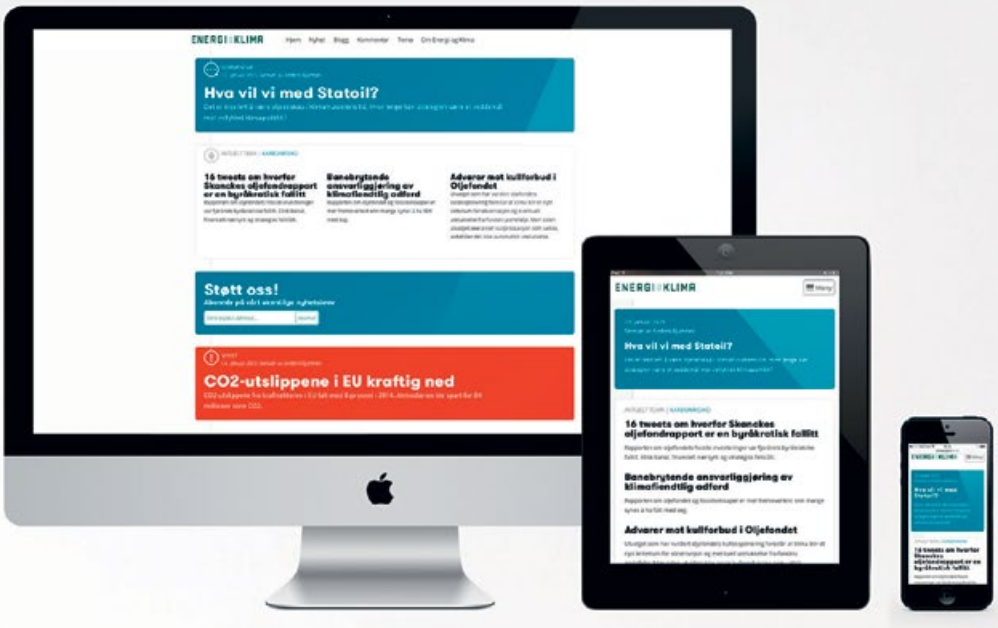
Tedesco, M. et al. 2015. Greenland Ice Sheet, NOAA Arctic Report Card 2015.

Masson-Delmotte, V., et al., 2013: Information from Paleoclimate Archives. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Schleussner, C.-F., Lissner, T. K., Fischer, E. M., Wohland, J., Perrette, M., Golly, A., Rogelj, J., Childers, K., Schewe, J., Frieler, K., Mengel, M., Hare, W., and Schaeffer, M. 2016: Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: the case of 1.5 °C and 2 °C, Earth Syst. Dynam., 7, 327-351, doi:10.5194/esd-7-327-2016.

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

Årthun, M. et al. 2012. Quantifying the Influence of Atlantic Heat on Barents Sea Ice Variability and Retreat. Journal of Climate 225:13, 4736-4743



ENERGI OG KLIMA

Nettmagasinet Energi og Klima tar opp aktuelle norske og internasjonale klima- og energispørsmål med spesiell vekt på fornybar energi og innovative løsninger. Energi og Klima er både en debattplattform og kunnskapsformidler. Magasinet oppdateres daglig. Energi og Klima redigeres etter Redaktørplakaten og Vær varsom-plakaten. Magasinet er eid av Norsk Klimastiftelse. Ansvarlig redaktør: Anders Bjartnes

Norsk Klimastiftelse

NORWEGIAN CLIMATE FOUNDATION