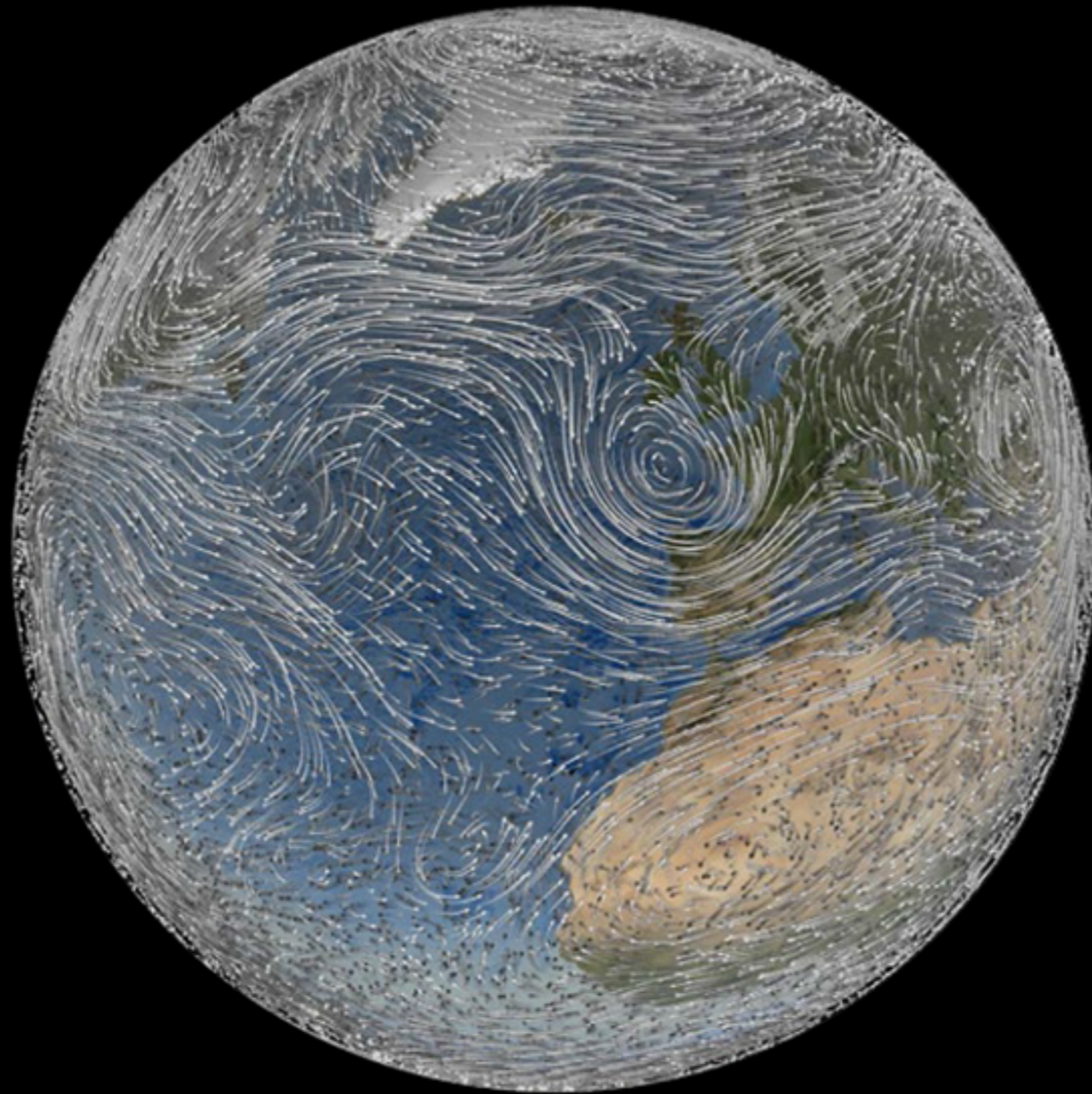


# 2°C

STATUS FRA KLIMAVITENSKAPEN

2013



## VEIEN TIL KLIMAKUNNSKAP

UTGITT MED STØTTE FRA:







ANSVARLIG REDAKTØR:  
**ANDERS BJARTNES**

REDAKTØR | PROSJEKTLEDER:  
**ANDERS WAAGE NILSEN** | DREIS

**POST@TOGRADER.NO | TOGRADER.NO**

DENNE UTGAVEN AV 2°C ER UTGITT MED STØTTE FRA:

**MILJØVERNDEPARTEMENTET**  
**SPAREBANKEN VEST**  
**BKK**  
**ENERGI NORGE**  
**UMOE**  
**MILJØDIREKTORATET**  
**GC RIEBER FONDENE**  
**HORDALAND FYLKESKOMMUNE**

VI VIL OGSÅ TAKKE FØLGENDE DISTRIBUSJONSPARTNERE:

**DNV**  
**UNIVERSITETET I BERGEN**  
**FYLKESMANNEN I HORDALAND**  
**CMR**  
**BERGEN KOMMUNE**  
**KAVLIFONDET**  
**STORBERGEN BOLIGBYGGELAG**  
**UTDANNINGSFORBUNDET**  
**DEN NORSKE KIRKE**

ANSVARLIG UTGIVER:  
**NORSK KLIMASTIFTELSE**

I SAMARBEID MED:  
**BJERKNESSENTERET FOR KLIMAFORSKNING**

DESIGN | **HALTENBANKEL** | **RANNVEIG LOHNE** |  
**AMERICO FERREIRA**

TRYKK | **SCANNER GRAFISK**

TYPESNITT | **FREIGHT** | **SENTINEL** | **METRIC**

PAPIR | **MUNKEN POLAR ROUGH**

OPPLAG | **10 000**

FORSIDEFOTO | **VINDSTRØMMER PÅ JORDEN VISUALISERT AV**  
**KLIMAFORSKERE VED NASA.**



**ISSN 1893-7829**

**KILDEHENVISNING** | I denne trykte utgaven av 2°C vil alle nødvendige kildereferanser være oppgitt i kortversjon. For fylligere referanser med aktive linker, se tograder.no. Her finnes også animasjoner og andre utfyllende figurer. Der ikke annet er oppgitt er teksten ført i pennen av Anders Waage Nilsen.

**UTGITT AV:**



OM NORSK KLIMASTIFTELSE

Norsk Klimastiftelse ble opprettet i 2010. Stiftelsen arbeider for kutt i klimagassutslippene gjennom overgang til fornybar energi og andre lavutslipp-løsninger. 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.

**I SAMARBEID MED:**



OM BJERKNESSENTERET

Bjerknessenteret (BCCR), det største naturvitenskapelige klimasenteret i Norden, er et samarbeid mellom Havforskningsinstituttet, Nansensenteret, Uni Research og Universitetet i Bergen. Foruten forskning på klimaforståelse, klimamodellering og scenarier for fremtidig klimautvikling driver senteret utadrettet virksomhet knyttet til forskningsformidling og kunnskapsformidling til politikere, næringsliv og allmennheten.

## REDAKSJONSUTVALG



**ANDERS WAAGE NILSEN**  
Prosjektleder  
DREIS AS



**EYSTEIN JANSEN**  
Professor i geologi/fortidsklima,  
Direktør Bjerknessenteret  
UNIVERSITETET I BERGEN



**LARS HENRIK SMEDSRUD**  
Førsteamanuensis,  
polar oseanografi  
UNIVERSITETET I BERGEN



**HELGE DRANGE**  
Professor, klimamodellering  
UNIVERSITETET I BERGEN



**SVETLANA SOROKINA**  
Forsker, klimavariabilitet  
NANSENSENTERET



**ELLEN VISTE**  
Postdoktor, Geofysiskinstitutt  
UNIVERSITETET I BERGEN



**TORE FUREVIK**  
Professor, fysisk oseanografi  
Direktør for Senter  
for klimadynamikk  
UNIVERSITETET I BERGEN



**LARS-HENRIK**  
**PAARUPMICHELSEN**  
Nestleder  
NORSK KLIMASTIFTELSE



**JILL JOHANNESSEN**  
Kommuniasjonsleder  
BJERKNESSENTERET



# FORORD

BERGEN, NOVEMBER 2013

## ANDERS BJARTNES

DAGLIG LEDER

NORSK KLIMASTIFTELSE

## EYSTEIN JANSEN

DIREKTØR

BJERKNESSENTERET FOR KLIMAFORSKNING

ÅPNINGSSETNINGEN I DETTE FORORDET ER DEN SAMME I ÅR SOM I FJOR: **KLIMATRUSSELEN ER DEN STØRSTE UTFORDRINGEN VÅR GENERASJON STÅR OVERFOR.**

Rapporten fra FNs klimapanel som ble fremlagt i september understreker alvoret. Den viser også hvordan vitenskapens innsikt øker år for år.

Klimapanelet konkluderer nå med at menneskelig aktivitet påvirker temperaturutviklingen på alle kontinenter, med unntak av Antarktis. En lang rekke klimafaktorer påvirkes; nedbør, havstigning, havforsuring, saltinnholdet i havet, smelting av breer, tilbaketrekking av sjøisen i Arktis, snødekke på nordlig halvkule, hetebølger, ozonlagsendringer.

Fordi utfordringen er så formidabel, og fordi tiden vi har til rådighet er så knapp, bærer vår generasjon også et stort ansvar. Dette er et budskap som er fortalt mange ganger, men som må gjentas igjen og igjen. Vi har plikt til å handle. Vi har et ansvar overfor kommende generasjoner som vi ikke kan løpe fra. Og vi må holde oss informert.

2°C er et samarbeid mellom Norsk Klimastiftelse og Bjerknessenteret.

Norsk Klimastiftelse er utgiver, mens Bjerknessenteret er leverandør av det faglige innholdet og dermed en garantist for at stoffet vi presenterer i magasinet holder høy faglig standard. Vårt felles mål er å formidle

vitenskapens resultater og budskap på en lettfattelig måte, men med den nødvendige faglige soliditet og styrke.

Vårt mål er at 2°C skal bli et referansedokument som når bredt ut til opinionsledere i det norske samfunnet, politikere, næringslivsledere, tillitsvalgte i fagbevegelsen, akademikere og studenter, aktivister i miljøbevegelsen, journalister og andre informasjonsformidlere. Vi kom et godt stykke i fjor. Takket være gode samarbeidspartnere og støttespillere oppnådde vi bred distribusjon. I tillegg til at den ordinære utgaven ble distribuert i et opplag på 10 000 eksemplarer, gikk en egen skoleutgave ut til mange av landets skoleelever. I år håper vi å komme enda litt lengre.

Klimatrusselen er en utfordring av fundamental karakter. Den fordrer samarbeid mellom mange ulike aktører, basert på et felles kunnskapsgrunnlag.

*Vårt håp er at 2°C gir leserne nyttig informasjon – som igjen kan danne basis for handling.*

**PÅ RIKTIG SPOR:** Klimasmarte løsninger vinner fotfeste i hele verden, men kompenserer ennå ikke for veksten i fossile brensler. Nå haster det mer enn noen gang. Bilder: Shutterstock







**HØYTEKNOLOGI:** Amerikanske forskere utplasserer en forskningsbøye i forbindelse med ICESCAPE - et forskningsprosjekt som kartla hvordan økende temperaturer påvirker økosystemer og kjemien i nordområdene. Foto: NASA/ Kathryn Hansen

**TEMA**

## 16 | KARTLEGGER JORDSYSTEMET

KLIMAVITENSKAPENS STORE PROSJEKT ER Å KARTLEGGE PROSESSENE SOM STYRER JORDSYSTEMET. **MØT NOEN AV FORSKERNE, OG LÆR HVORDAN DE JOBBER!**



*“Verdenshistorien har mange eksempler på at det er unge mennesker – tenåringer, tjuåringer – som kommer opp med radikalt nye ideer og løsninger.”*

ROGER STRAND OG KJETIL ROMMETVEIT, PÅ SIDE 24

#### TEMA

## 36 | MATPRODUKSJON OG KLIMA

En varmere planet kan få store konsekvenser for matsikkerheten. Både landbruk og fiskeri rammes. Konsekvensene blir størst for dem som er sultne fra før.

#### TEMA

## 28 | NATURENS FEEDBACK

Forskerne kaller dem "tipping points": Når klimaet vipper over i en ny tilstand der det ikke er noen vei tilbake. De utgjør klimavitenskapens store X-faktorer.

#### TEMA

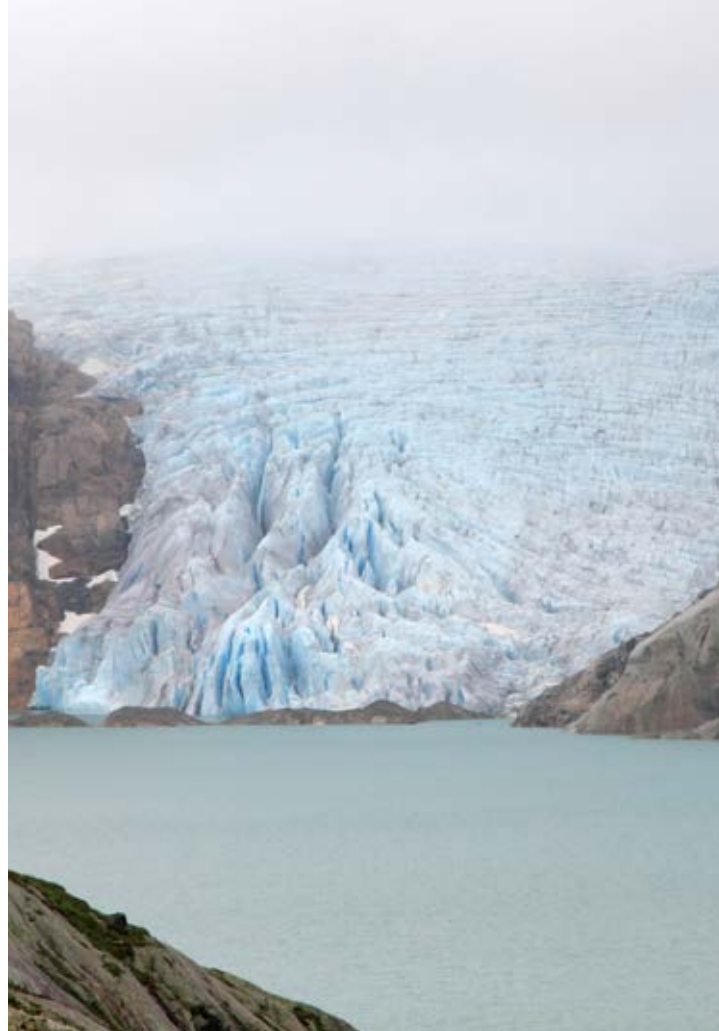
## 30 | ET VARMERE NORGE

Hvilke konsekvenser vil klimaendringene få for Norge? Vi oppsummerer ny forskning på endringer som allerede er registrert, og hva forskerne tror om utviklingen fremover.

#### TEMA

## 12 | KLIMAKRISEN PÅ FEM MINUTTER

Lei av lange utredninger? Her er de 15 viktigste punktene fra FNs klimarapport!



**VIL NORSKE BREER SMELTE?** Vi vet stadig mer om sannsynlige effekter av klimaendringene her i Norge. Les mer i saken om klimaendringer i Norge. Foto: Wil Wright

#### NYHETER

- 6 | HAVET DRIVER UTVIKLINGEN
- 7 | TOGRADERSMÅLET I FARE?
- 8 | KINA I ENDRING
- 9 | STRÅLENDE SOLMARKED

#### LØSNINGER

- 15 | - KUNNSKAP GIR ANSVAR
- 37 | KLIMASMART LANDBRUK
- 26 | - VI TRENGER DYP KREATIVITET

#### NORGE

- 33 | PH-VERDIEN I HAVET SYNKER
- 34 | TILBAKEGANG FOR BREER
- 42 | MAKRELL - PÅ SVALBARD?

#### VITENSKAP

- 20 | NY TEKNOLOGI, NYE MULIGHETER
- 22 | HVA ER EN KLIMAMODELL?
- 24 | SCENARIOER: FYSIKK - IKKE POLITIKK



**VARIASJONER:** Mange naturprosesser er preget av sykluser over lange tidsperioder. Nå har forskerne funnet ut at havstrømmer spiller en viktig rolle for klimasystemet i nord. Foto: Shutterstock

# HAVET HAR HOVEDROLLEN

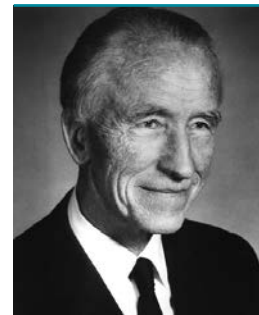
**HAVET SPILLER EN SENTRAL ROLLE FOR KLIMAETS SVINGNINGER.**  
NY FORSKNING BØRSTER STØVET AV GAMMEL NORSK TEORI.

Forsker Jacob Bjerknes var den første som lanserte ideen om at Nord-Atlanteren kan styre klimavariasjoner på den nordlige halvkule. I en artikkel fra 1964 forstod han at langvarige perioder med oppvarming og kjøling i Nord-Atlanteren ikke kan forklares med endringer i luftstrømmene og atmosfærens temperatur. Han antydte da at det kunne være motsatt: At havet er drivkraftene bak slike variasjoner.

En ny studie publisert i Nature, verdens ledende vitenskapelige tidsskrift, gir nå ny aktualitet til Bjerknesteorien. Studien viser at havet kan styre temperaturen i atmosfæren

i opp til flere tiår. Temperaturene i Nord-Atlanteren varierer med en periode på mellom 60 og 80 år. De var uvanlig høye mellom 1930 og 1950, på lignende vis som de er nå.

– Dette er et viktig skritt mot gode prognoser for fremtidige klimaforandringer i Norge og hele Nord-Atlanterhavsområdet, og følger opp det banebrytende arbeidet til Bjerknes og andre forskere fra Bergen, sier medforfatter og professor Noel Keenlyside ved Bjerknessenteret og Geofysisk Institutt ved UiB.



**FREMSYNT SMARTING:** Jacob Bjerknes (1897-1975) var sønn av meteorologen Vilhelm Bjerknes, og bidro i likhet med sin far til viktige bidrag i forståelsen av hvordan lavtrykk dannes og utvikler seg. Han emigrerte til USA i 1940.

## ...OG HAVSTRØMMER PÅVIRKER SJØISEN

**VANN FRA SØR:** Etter smelterekorden i 2012 var isutbredelsen i Arktis noe høyere i 2013. Med 5100 kvadratkilometer is registrert den 13. september i år var isutbredelsen likevel den sjette laveste som er registrert. Mengden is var 23 prosent under normalnivået ifølge amerikanske National Snow and Ice Center. En aktuell rapport publisert i Reviews of Geophysics, viser at reduksjonen av sjøisdekket i Barentshavet de siste årene har vært preget av stor transport av varmt vann fra Atlanterhavet.

– Det spesielle med Barentshavet er at det er havstrømmene som styrer variasjoner i isdekket og ikke temperatursvingninger i luften, sier en av forskerne bak rapporten, førsteamanuensis Lars H. Smedsrud ved Geofysisk Institutt ved UiB. Nye modellberegninger viser at det i 2050 ikke vil være sjøis i Barentshavet om sommeren, og at overflatetemperaturen vil være ca. 4°C i områdene som før var dekket med is.



**MER ENN I FJOR:** Stillbilde av isen i Arktis 12. september 2013, dagen før isen nådde sitt minimum. Bildet er basert på data hentet fra GCOM-W1-satellitten, et av flere klimaovervåkningsinstrumenter som går i bane rundt jorden. Foto: NASA Goddard's Scientific Visualization Studio/Cindy Starr





# NÅR PASSERER VI TO GRADER?

HVOR MYE KULL, OLJE OG GASS KAN VI BRENNE INNENFOR RAMMENE TOGRADERSMÅLET SETTER? **KARBONBUDSJETTET GIR SVAR.**

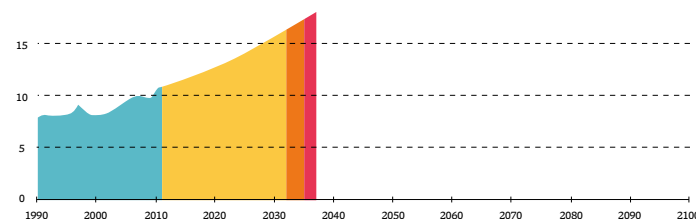
Å snakke om karbonbudsjetter er en tilnæringsmåte som de siste årene har fått stadig større gjennomslag. Et karbonbudsjett viser hvor mye CO<sub>2</sub> som kan slippes ut innen en viss periode. Konseptet kan anvendes på hele kloden, på sektorer i økonomien, eller på enkeltland - slik for eksempel britene gjør med sin klimalov.

Debatten om den fossile energiens fremtidige verdi tar utgangspunkt i at det simpelthen finnes for store reserver av kull, olje og gass til at de kan brennes i en verden som håndterer klimautfordringen. Derfor kan fossile energiresurser bli verdiløse hvis klimapolitikken skrur til.

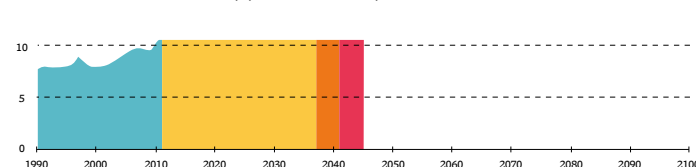
Tall fra den nyeste IPCC-rapporten viser hvor lite som er igjen før et karbonbudsjett i tråd med togradersmålet blir overskredet og når dette vil kunne skje. Grafene (til høyre) gjengir The Guardians bearbeiding av tall i FNs klimarapport. Togradersgrensen angir når det er mer enn 50% sannsynlighet for en oppvarming på mer enn to grader.

**UTSLIPP** oppgitt i gigatonn karbon.  
Kilder: IPCC/The Guardian

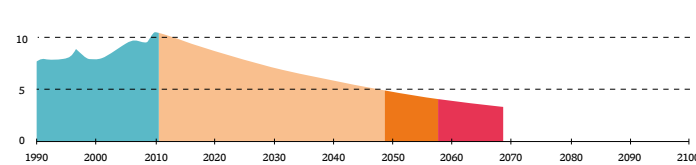
A) Med en årlig utslippøkning på 2 prosent passerer 2°C i 2035



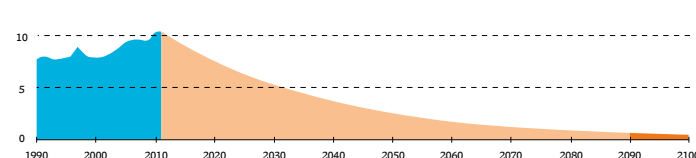
B) Med konstante utslipp som i 2011 passerer 2°C i 2041



C) Ved 2 prosent årlig reduksjon passerer 2°C i 2058



D) Ved 3,5 prosent årlig reduksjon passerer vi ikke 2°C



## 2015 - ET VENDEPUNKT?

**NY SJANSE:** Når Kyoto-protokollens virketid løper ut i 2020, er det meningen at en ny, juridisk bindende klimaavtale skal tre i kraft. Etter planen skal forhandlingene om den nye avtalen sluttføres på klimatoppmøtet i Paris i 2015.

I sin tale til årets generalforsamling i FN annonserte Ban Ki-moon at han vil holde et ekstraordinært klimatoppmøte i New York høsten 2014 – et toppmøte hvor verdens ledere fra næringsliv, finans, politikk og sivil sektor inviteres. Målet til Ki-moon er at Climate Summit 2014 skal fungere som en katalysator for de internasjonale klimaforhandlingene, og danne grunnlag for enighet om en juridisk bindende klimaavtale med virkning fra 2020.

– Ta med dristige løfter til toppmøtet. Innovér, oppjuster, samarbeid og kom med konkrete tiltak som vil føre til utslippskutt og sette oss på sporet av en ambisiøs juridisk avtale, sa Ki-moon i talen.

Historien har dessverre vist at internasjonale klimatoppmøter der mye står på spill ofte ikke innfrir forventningene. Forrige gang man håpet at verdens ledere skulle bli enige om en global klimaavtale var i 2009, men klimatoppmøtet i København mislyktes.



**BRENNENDE IS KAN BLI KLIMABOMBE:** På havbunnen finnes store mengder gass som er fanget i frosne vannmolekyler, såkalte gasshydrater. Slike hydrater finnes i store mengder over hele verden. Amerikanske geologiske eksperter estimerer at det kan finnes 30 000 trillioner kubikkmeter globalt, langt mer enn forekomsten av konvensjonell naturgass. Mye av den finnes i arktiske områder. Japan har lyktes i å utvinne gassen og har satt seg som mål å starte kommersiell produksjon innen 2018. Flere analytikere mener at utvinning i stor skala vil medføre katastrofalt tilskudd til global oppvarming. Her i Norge ligger vi langt fremme innen forskning på gasshydrater. Med "Centre for Arctic Gas Hydrate, Environment and Climate (CAGE)" vil norske forskere avdekke gassens betydning, både for havforsuring og klimaendringer.





# GRØNT FLAGG I KINA?

KINAS REISE FRA U-LAND TIL SUPERMAKT HAR VÆRT DREVET AV KULL. NÅ MELDER STORMAKTEN I ØST SEG PÅ I KLIMAKAMPEN. MEN ER DET NOK?



Kinas politiske system er organisert som femårsplaner. Etter tiår med vekst, signaliseres et grønt taktskifte i den 12. femårsplanen som ble vedtatt 1. januar 2013. Men er det nok?



I Kina henger energiomstilling tett sammen med flere utfordringer enn klima. Enorm luftforurensing og dårlig vannkvalitet skaper helse- og livskvalitetsutfordringer, med store kostnader.



Innen 2015 innføres det blant annet et tak på årlig mengde kull som kan brukes, og et tak på energiforbruk.



Samtidig har landet vedtatt å redusere energiforbruket per andel av bruttonasjonalprodukt med 16 prosent av 2010-nivået, og den generelle energieffektiviteten skal økes med 38 prosent innen 2015.



Frem mot 2020 antydes det enda mer radikale målsetninger.



Kinas ledelse anerkjenner klimaproblemet og viser økende vilje til internasjonalt samarbeid på klimafeltet.



Kina har fortsatt vekstambisjoner. De regner med et forbruk på 4,3 milliarder tonn kull i 2015, mot 2,97 milliarder i 2010, og vil fortsatt stå for et vesentlig bidrag til det globale CO<sub>2</sub>-utslippet.



Jokeren er hvor raskt de klarer å bygge ut alternative, grønne energikilder, og i hvilken grad dette vi endre både markedet og politikken knyttet til grønn energi.

**TENKER NYTT:** Kina er blitt ledende i verden på utbygging av grønn energi de siste årene. Her er et vindenergi-kraftverk i Datang.

## VIL OVERVÅKE KLIMAAVTALER

**BEDRE MÅLINGER:** Nå skal klimagassene i Europa overvåkes. Gjennom EUs program for store forskningsinfrastrukturer (ESFRI) etableres det nå en stor felles europeisk infrastruktur - Integrated Carbon Observing System (ICOS) - for å måle alle de viktige klimagassene og transporten av og mellom disse i luft, hav og på jordoverflaten. På den måten kan alle de nasjonale karbonbudsjettene overvåkes, og man kan skille mellom utslipp og opptak fra menneskelig virksomhet og de som skjer i naturen. ICOS har hovedkontor i Finland. Sverige vil være vertsland for luftmålinger, Tyskland for bakke-målinger og Frankrike for datahåndtering. Norge har ennå ikke besluttet om vi skal være en del av ICOS eller ikke.

### - FORSKNING ER IKKE NOK

**TEKNOLOGI TRENGER MARKEDER:** Hvilke forhold må ligge til rette for at noen skal være villig til å satse på, investere i og ta i bruk fornybar energi? Det er spørsmålet stipendiat Jens Hanson har sett på, når han har forsket på veien fra en teknologi i oppstartfasen til en velfungerende, konkurransedyktig teknologi.

- Noen vil si at man må investere i forskning og utvikling. Jeg vil si at det ikke er tilstrekkelig. Det trengs mer enn bare kunnskapsbygging for å lykkes med nyskaping, særlig når nye umodne alternativer skal konkurrere med veletablerte teknologier, som i energisektoren, sier Hanson til forskning.no. Tysklands satsning på, og subsidiering av, fornybar energi, er ifølge Hanson et eksempel til etterfølgelse når det gjelder vilkår for innovasjon gjennom et samspill mellom forbrukere og produsenter.

KILDE: FORSKNING.NO



**FORTSATT UTFORDRINGER:** Smogen legger seg tykt over Chongqing i Kina. Kullkraften er blitt et folkehelseproblem, og kinesiske myndigheter signaliserer langt større ambisjoner knyttet til energiomstilling enn tidligere.

Foto: Leo Fung (cc-lisensiert)

# SOLEN EKSPLODERER



**STRÅLENDE UTVIKLING:** Det norske selskapet Scatec Solar er blant dem som ekspanderer i det sterkt voksende markedet for sol. Her fra det store solenergi kraftverket Kalkbult i Sør-Afrika.  
Foto: Scatec Solar

## FOR FØRSTE GANG VIL DET I 2013 BLI BYGGET UT MER SOLENERGI ENN VINDKRAFT I VERDEN.

TOTALT VIL DET  
INSTALLERES SNAUT  
37 GW SOLENERGI OG  
35,5 GW VINDKRAFT.

Solenergi er i kraftig vekst i store deler av verden. Kina, Japan og USA er eksempler på markeder som vokser kraftig mens Europas andel av verdensmarkedet krymper. Også i et land som Sør Afrika (bildet) er solenergi i sterkt vekst.

De politiske regimene har fortsatt stor betydning for utbyggingen av vind og solenergi, men kostnadene er fallende slik at den fornybare energien i stadig økende grad er konkurransedyktig mot kull og gass, selv uten subsidier eller en pris på CO<sub>2</sub>.

Et viktig utviklingstrekk det siste året har vært den økende oppmerksomheten mot

solenergiens innvirkning på kraftmarkedene. Solceller produserer mest midt på dagen – når prisene på kraft er høyest. Derfor rammer solenergi inntjeningen hos de tradisjonelle kraftprodusentene. Dette er veldig tydelig både i Tyskland, Australia og deler av USA. Derfor snakker stadig flere eksperter om at kraftsektoren står oppe i en fundamental omstilling, der små desentrale enheter, for eksempel solceller på private takflater, tar større del av markedet – på de store aktørenes bekostning. Hittil har det særlig vært gasskraftverkene som har blitt rammet av dette.

## KLIMAENDRINGER FORSTERKER EKSTREMVÆR



**PÅ DYPT VANN:** Flommen fylkte gatene i Kolkata i India da stormen Phailin nådde land 15. oktober 2013.  
Foto: Rupa/Shutterstock

**NY STUDIE:** Syklonen Phailin ødela høsten 2013 titusenvis av hjem, og mer enn 4 millioner mål med dyrket land i India. FN-rapporten sier at det er sannsynlighet for at tropiske sykloner vil øke i intensitet og nedbørsmengde, men reduseres i hyppighet som følge av global oppvarming. En annen studie bekrefter sammenhengene mellom ekstremvær og klimaendringer. Halvparten av de ekstreme værhendelsene i 2012 kan delvis forklares med pågående global oppvarming hevdes det i en studie der 18 forskningsteam bidro. Både Superstormen Sandy og hetebølgen i USA ble forsterket som følge av menneskeskapt utslipp av CO<sub>2</sub>, ifølge studien.

KILDE: Bulletin of the American Meteorological Society.



# KLIMASTATUS 2013

TEKST: **ANDERS WAAGE NILSEN** | REDAKTØR 2°C

CO<sub>2</sub> I ATMOSFÆREN, SEPTEMBER 2013

**393,31 PPM**  
**+ 2,17** FRA SAMME MÅNED 2012

**Hoper seg opp:** Innholdet av CO<sub>2</sub> i atmosfæren måles i parts per million (ppm). Den varierer gjennom året, og passerte i mai 2013 400 ppm i arktiske områder for første gang. I dag er nivået mer enn 40 prosent høyere enn det var i 1750, og øker for hvert år. Disse tallene er hentet Mauna Loa-observatoriet på Hawaii.

ÅRLIG CO<sub>2</sub> UTSLIPP

OM MAN LEGGER SAMMEN SEMENT, FOSSILE BRENSLER OG ENDRING I VEGETASJON ENDER VI OPP MED: CA **10,4** MILLARDER TONN

MENNESKESKAPTE ENDRINGER I VEGETASJON PÅ LANDJORDA BIDRAR MED: CA **1,0** MILLARDER TONN

Hvor blir CO<sub>2</sub>-utslippet av?



CA **55%**

LAGRES I ATMOSFÆREN, OG BIDRAR TIL GLOBAL OPPVARMING (2012)



CA **25%**

CO<sub>2</sub> TAS OPP AV PLANTER PÅ LANDJORDA (2012)



CA **20%**

CO<sub>2</sub> TAS OPP AV HAVET (2012)

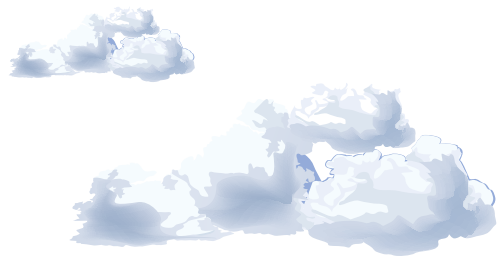


**5,1 6,1 7,3 9,4**

MILLARDER TONN MILLARDER TONN MILLARDER TONN MILLARDER TONN



**Fossil utslippsvekst:** Økningen i utslipp fra fossile brenslere og sement ble i 2012 særlig drevet opp av økende energiproduksjon og velstandsnivå i Kina, Japan, India og Midtøsten. Kinas vekst ser ut til å avta noe. Målt i utslipp per innbygger er det fortsatt USA og vestlige land som ligger på topp.



**TEMPERATUREN  
I DEN LAVE TROPSFÆREN**

CA **+0,5°C**  
SIDEN 1958

Med høyere karboninnhold i atmosfæren slipper mindre av varmestrålingen fra jordoverflaten tilbake til atmosfæren. Resultatet er at den lavere troposfæren varmes opp, mens den ytre troposfæren kjøles ned. Denne kombinasjonen av oppvarming i nedre deler av atmosfæren, og avkjøling i de ytre delene er målbar og et fingeravtrykk fra menneskeskapt oppvarming.

**SNØDEKKET I JUNI  
PÅ DEN NORDLIGE HALVKULE**

**-53%**

I PERIODEN 1967-2012

Klimaendringene medfører at snøen smelter raskere om våren. Det har vært en dramatisk tilbakegang i snødekket i sommerhalvåret på hele den nordlige halvkule. Størst reduksjon har det vært i juni måned.

**AVSMELTNING FRA  
VERDENS BREER**

**- 15,7** METER

I PERIODEN 1980-2012

Breer i hele verden har tilbakegang som følge av klimaendringene. Det har i 22 år vært sammenhengende negativ massebalanse. Oppgitt tall er i vannekvivalenter og regner ikke inn store isdekker.

**TEMPERATUREN  
OVER LAND**

**+0,89°C**

I PERIODEN 1901-2012

Temperaturøkningen over land er det vi mennesker erfarer direkte. Temperaturfordelingen over land er fordelt ulikt over kloden. Oppvarmingen er størst på den nordlige halvkule, og særlig stor i nordområdene.

**TEMPERATUREN  
I HAVOVERFLATEN**

**+ 0,25°C**

Det meste av den globale oppvarmingen fanges av havet. Store vannmasser skal varme opp, så prosessene går langsomt. Havet holder til gjengjeld lenge på varmen.

**SJØISEN I ARKTIS**

**- 3.5 til -4.1%**

PER TIÅR, I PERIODEN 1971-2012

Grunnet varmere luft- og havtemperatur, smelter isen i Arktis raskere. Når is smelter, reflekteres mindre av solstrålingen tilbake, og prosessen akselereres.

**+20%**

**ØKNING AV HYDROGEN-  
IONER SIDEN FØR  
INDUSTRIALISERINGEN**

**HAVFORSURING**

Havforsuring er den siden av karbonutslippene vi ikke snakker om. Når CO<sub>2</sub> tas opp av havet dannes det kullsyre som umiddelbart splittes i ioner. Resultatet er at pH-verdien synker. Havet - som i utgangspunktet er basisk - har fått redusert pH-verdi med 0.1 pH-enheter. Dette innebærer en økning av antall hydrogenioner på rundt 20% - en raskere forsuring enn jorden har opplevd på 55 millioner år. Man har allerede observert at skjell og koraller tar skade, da lavere pH gjør at kalk går i oppløsning. I klimaperspektiv betyr lavere pH også at havets fremtidige evne til å ta opp CO<sub>2</sub> reduseres. Dette kan medføre at mer av CO<sub>2</sub>-utslippene blir værende i atmosfæren, noe som igjen kan bidra til raskere klimaendringer i fremtiden.





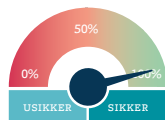
# 15 TING FORSKERNE ER ENIGE OM

FOLGEFONNA, EN KLIMAINDIKATOR: Folgefonna i Hardanger prydet omslaget til årets FN-rapport. Breer er viktige kunnskapskilder for klimaforskerne. Bilde: Shutterstock

I KLIMARAPPORTEN TIL IPCC LAGES EN OPPSUMMERING FOR BESLUTNINGSTAKERE. **HER ER KORTVERSJONEN.**

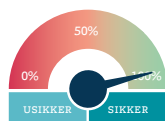
## 1. JORDEN VARMES OPP

Forskerne er ikke i tvil om at jorden er blitt varmere. I perioden etter 1950 har forandringen vært markant, og hvert av de siste tiår har vært varmere enn noen tidligere tiår siden 1850. Perioden fra 1983 til 2012 var trolig den varmeste 30-årsperioden de siste 1400 år.



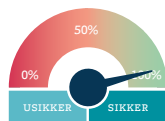
## 2. HAVET TAR OPP MESTEPARTEN AV ENERGIEN

Forskerne har fått større forståelse for havets rolle i klimasystemet. 90% av varme-energien som er tilført klimasystemet er tatt opp av havet i perioden 1971-2010. Det er regnet som helt sikkert at den øvre delen av havet (0-700 meter) er blitt varmere i samme periode, og det sannsynlighet for at oppvarmingen har skjedd siden 1870-årene.



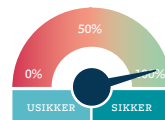
## 3. ISEN SMELTER

De siste to tiårene har Grønlandsisen og Antarktis mistet masse, og breer over hele verden har gått tilbake. Både arktisk sjøis og vårsnø på den nordlige halvkule har fått mindre utstrekning i samme periode.



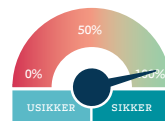
## 4. HAVET STIGER FORTERE ENN FØR

Havnivået har steget forttere siden midten av den nittende århundre enn snitthastigheten over de to siste tusenårene. I perioden 1901-2010 har havnivået steget med rundt 19 centimeter, og endringene stemmer overens med andre observasjoner (varmere hav og bresmelting).



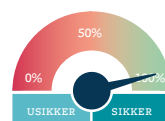
## 5. MER CO2 I ATMOSFÆRE OG HAV

Andelen av CO<sub>2</sub>, metan og nitrogenoksyd i atmosfæren har økt til nivåer langt høyere enn det vi har hatt de siste 800 000 årene. CO<sub>2</sub>-konsentrasjonen har økt med 40% siden tiden før vi begynte å brenne kull, olje og gass i stor skala. Havet har absorbert rundt 20-30 prosent av utslippene, noe som skaper havforsuring.



## 6. DRIVHUSEFFEKTEN ER BLITT STERKERE

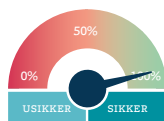
Det er større lagring av varme i jordens klimasystem. Denne økningen kan knyttes til økning av drivhusgasser i atmosfæren fra menneskelige utslipp og økt drivhuseffekt. Endringer i solinnstråling eller andre faktorer kan ikke forklare denne utviklingen.





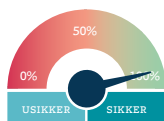
## 7. MENNESKEHETEN FORSTERKER DRIVHUSEFFEKTEN

Menneskehetens klimapåvirkning er nå godt dokumentert. Denne sammenhengen registreres gjennom utslipp, CO<sub>2</sub>-oppbygning i atmosfæren og varig temperaturøkning i atmosfæren, på landjorden, i havet og en lang rekke andre indikatorer. Flere og bedre målinger, samt økende forståelse av prosessene som styrer klimaet, har forsterket vissheten om menneskelig påvirkning.



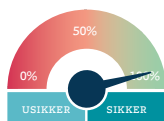
## 8. KLIMAMODELLENE ER BLITT BEDRE

Klimamodellene er blitt langt bedre siden forrige klimarapport. Modellene gjenspeiler i dag utviklingstrender over flere tiår, og flere av modellene klarer nå å gjenskape endringene i sjøis, i havtemperatur, sykliske vær fenomener og klimaendringer i fortiden bedre enn tidligere. I kombinasjon med langt bedre observasjoner og styrket kunnskap om fortidens klima, vet vi nå mer om sannsynlige konsekvenser.



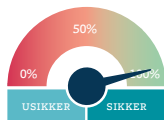
## 9. UTSLIPPENE MÅ REDUSERES FOR Å NÅ TOGRADERSMÅLET

Vi har brukt opp minst halvparten av de utslippene vi kan tillate oss om vi vil holde oss under to graders oppvarming sammenliknet med middeltemperaturen for perioden 1850-1900. Kun dersom vi reduserer utslippene kraftig og umiddelbart vil vi kunne unngå å overstige 1,5 grader temperaturøkning. Også med moderate utslippsreduksjoner vil vi trolig passere 2 grader. Det er liten sannsynlighet for at temperaturen vil øke med mer enn 4 grader i dette århundret, bortsett fra om veksten i fossilutslipp fortsetter.



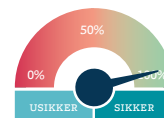
## 10. SELV TO GRADER GIR STORE KONSEKVENSER

Klimaendringene vil påvirke nedbør og fordampning, men endringene vil ikke være like over hele kloden. Forskningen viser at kontrasten vil bli større mellom våte og tørre områder, og mellom våte og tørre perioder. Det vil være store lokale forskjeller i hvordan klimaendringene rammer. Selv innenfor to grader vil noen områder rammes hardt. Områder som allerede har utfordringer med matvaresikkerhet og fattigdom er blant dem som rammes hardest.



# 12. FORTSATT UTSLIPP VIL FÅ STORE KONSEKVENSER

FORTSATT UTSLIPP AV DRIVHUSGASSER VIL MEDFØRE YTTRELLIGERE OPPVARMING. DENNE OPPVARMINGEN VIL BIDRA TIL ENDRINGER PÅ ALLE NIVÅ I KLIMASYSTEMET. Å BEGRENSE ENDRINGENE VIL KREVE OMFATTENDE OG VARIGE KUTT I UTSLIPPENE AV DRIVHUSGASSER.



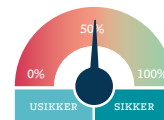
### FAKLING PÅ MELKØYA, HAMMERFEST.

Den norske petroleumsindustrien representerer en stor utslippskilde i norsk økonomi, men også store verdier. Klimaforskerne mener at menneskeheten nå har sluppet ut minst halvparten av CO<sub>2</sub>-mengden vi kan tillate oss å slippe ut i atmosfæren om vi vil holde oss under 2 graders global oppvarming.

Foto: Joakim Aleksander Mathisen (CC-lisensiert)

## 11. BREER OG SNØDEKKET VIL REDUSERES

Mengden is i verdens isbreer vil bli redusert. Samlet reduksjon i 2100 vil kunne bli mellom 15-55 prosent innenfor den utviklingsbanen der vi reduserer utslippene kraftig, og 35-85 prosent om vi fortsatt øker utslippene. Vår snødekket vil også bli redusert på den nordlige halvkule.

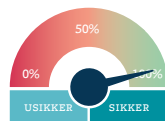






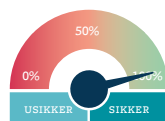
## 13. HAVET VIL STIGE

Selv dersom vi klarer å redusere utslippene kraftig vil havnivåstigningen bli på 0,26-0,54 meter i perioden 2081-2100. Dersom vi fortsetter å øke utslippene vil stigningen bli fra 0,45-0,81 meter i samme periode og opptil 0,98 meter i 2100. Havnivået vil fortsette å stige i flere århundrer, selv om vi skulle lykkes med å begrense global oppvarming i tråd med togradersmålet. Hvor raskt havet stiger er i stor grad bestemt av framtidens utslipp av klimagasser.



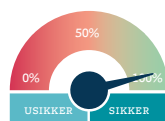
## 14. NATURENS EVNE TIL Å TA OPP CO2 SVEKKES GRADVIS

Havet og vegetasjon og jordsmonnet på landjorda tar opp CO<sub>2</sub> fra atmosfæren og bidrar dermed til å dempe den globale oppvarmingen. Men forskerne tror nå at naturens evne til å ta opp CO<sub>2</sub> svekkes gradvis når jordens klima blir varmere, og dermed at en gradvis større andel av framtidens CO<sub>2</sub>-utslipp blir værende lenger i atmosfæren. Dette kan bety at drivhuseffekten forsterkes, og at det blir vanskeligere å stabilisere klimaet under 2 grader.



## 15. UTSLIPPENE VIL FÅ KONSEKVENSER I MANGE GENERASJONER

De fleste fremtidsbilder slutter i 2100, men klima-effektene vil fortsette i mange hundre år, selv om vi fjerner utslippene helt. Dette skyldes dels at en femtedel av CO<sub>2</sub>-utslippene blir værende lenge i atmosfæren, dels at havet lagrer varmen lenge. Dette gjør klimautfordringen til en helt spesiell utfordring, som kan få konsekvenser i mange generasjoner fremover.



## HVA ER IPCC?

- IPCC er en forkortelse for "The Intergovernmental Panel on Climate Change", og kalles i Norge ofte for FNs klimapanel.
- Det ble opprettet i 1988 av miljøprogrammet til FN (UNEP) og verdens meteorologi-organisasjon (WMO).
- Målet var å gi verden et klart vitenskapelig bilde av kunnskapen om klimaforandringene og konsekvensene for samfunnet.
- For øyeblikket har IPCC 195 medlemmer. Panelet møtes i plenum cirka en gang i året, med representanter for myndigheter og forskningsinstitusjoner fra medlemsland i hele verden.
- I plenumsmøtet legges strukturen for arbeidet til IPCC, og de ulike rapportene blir godkjent. Arbeidet med delrapportene foregår i tre arbeidsgrupper.



**RAPPORTEN** om det naturvitenskapelige grunnlaget for klimaendringene ble lansert i september 2013. I løpet av 2014 kommer to nye rapporter, før en endelig synteserapport sammenfatter dem. Bildet på årets rapport var fra Folgefonna, Norges tredje største isbre.

## MER KUNNSKAP I VENTE

RAPPORTEN OM KLIMASYSTEMET ER DEN FØRSTE AV TRE DELRAPPORTER FRA FNS KLIMAPANEL

### 1. Status og fremtidsutsikter for klimasystemet

Arbeidsgruppe 1 vurderer kunnskapen om klimasystemet og klimaforandringene. De vurderer endringer i atmosfærisk kjemi, endringer i ulike klimaindikatorer, oppsummerer hva vi vet om fortidens klima og vurderer fremtidsutsiktene ved ulike utslippsbaner.

*Deres rapport om det vitenskapelige grunnlaget i klimavitenskapen ble lansert i september 2013.*

### 2. Konsekvenser, sårbarhet og tilpasning

Arbeidsgruppe 2 vurderer sårbarheten for samfunnet og økosystemer i lys av klimaendringene. De ser på positive og negative endringer som følge av global oppvarming og muligheten for å tilpasse seg. Arbeidsgruppen vurderer både sektorer som vannressurser, økosystemer, matvaresikkerhet, industri, og ser på klimaendringene i ulike regioner.

*Deres rapport om konsekvenser, tilpasning og sårbarhet vil bli fremlagt i Yokohama, Japan i mars 2014.*

### 3. Klimaløsninger

Arbeidsgruppe 3 vurderer muligheten for å redusere klimaforandringene gjennom å redusere utslipp av drivhusgasser og redusere mengden som allerede er sluppet ut i atmosfæren. Arbeidsgruppen vurderer kostnader og nytte ved ulike strategier, og ser også på hvilke politiske grep som kan bidra til å løse utfordringen.

*Deres rapport om klimaløsninger vil bli fremlagt i Berlin, Tyskland, 7-11 april 2014.*



# KUNNSKAPEN OG ANSVARET

**ETTERLYSER HANDLING:** Forskningsdirektør Eystein Jansen ved Bjernessenteret for klimaforskning håper FN-rapporten løfter generasjonsperspektivet på den politiske dagsorden.

– VI VET NOK OM PROBLEMET. **DET VI MANGLER NÅ ER LEDERSKAP**, SIER EYSTEIN JANSEN. HAN ER EN AV HOVEDFORFATTERNE BAK FNS KLIMARAPPORT.

Da FNs klimapanel la frem sin første delrapport i høst, var professor Eystein Jansen, direktør ved Bjernessenteret, en av dem som pustet lettet ut. Utallige arbeidstimer har gått med for å sammenfatte forskningen til et felles kunnskapsgrunnlag.

– Det er et spennende, givende og strevsomt arbeid. Det finnes trolig ingen lignende prosesser i vitenskapen. Arbeidet med FN-rapporten danner modell for hvordan verdenssamfunnet kan jobbe for å innhente kunnskap om et komplisert tema.

– **Hva er den viktigste nye kunnskapen fra rapporten, slik du ser det?**

– Det viktigste er vel at vi nå ser menneskelige fotavtrykk i alle deler av klimasystemet. Temperaturutviklingen, nedbørsendringen, havforsuringen, issmeltingen - alt peker i samme retning, og bekrefter den kunnskapen vi har om klimasystemet og drivhusgasser.

– **Mange snakker om “klimaspørsmålet”. Er menneskeskapt oppvarming fortsatt et spørsmål, eller har vi nå et svar?**

– Det er et ubestridelig faktum at jorden varmes opp, det er grunnleggende fysikk at det finnes en drivhuseffekt. Det er i tillegg svært høy enighet om at menneskehetens utslipp av drivhusgasser forsterker drivhuseffekten. Det vi måler og observerer er i tråd med det teorien tilsier.

– **Likevel er det mye snakk om usikkerhet?**

– Usikkerheten er knyttet til hvor stor effekten blir. Drivhuseffekten virker sammen med både forsterkende og dempende mekanismer. Hvor stor vekt man legger på disse ulike mekanismene påvirker hvor mye oppvarming man ender opp med. I tillegg ligger det i klimavitenskapens natur at naturlige variasjoner påvirker utviklingen, både fra år til år og fra tiår til tiår.

– **Hvorfor får ikke kunnskapen om klimaproblemet større politisk gjennomslagskraft?**

– Jeg tror ikke det har med manglende problemforståelse å gjøre. I mine øyne skyldes det mangel på mot og lederskap. Noen må gå først, men alle venter på at noen andre skal vise vei.

– **Hva håper du FN-rapporten kan bidra til?**

– Jeg har to håp. Det ene er at beslutningstakere forstår hvor lite utslipp vi har igjen om vi skal ha sjanse for å nå de politisk vedtatte målene om maksimalt to grader oppvarming. Overgangen til fornybarsamfunnet må skje raskt. Veksten i utslipp må flate ut umiddelbart.

– **Og det andre håpet?**

– Det er at generasjonsperspektivet blir tatt på alvor. Beslutningene i vår tid vil få betydning for etterkommere mange hundre år

frem i tid. Vår generasjon av beslutningstakere har et enormt ansvar. Mye av det vi gjør de neste tiårene vil ha irreversible konsekvenser. Det er lett å skru opp varmen, men umulig å skru den av.

– **Hvem rammes hardest av den globale oppvarmingen?**

– På kort sikt er det de som produserer eller kjøper mat i den fattige delen av verden. Også fattige mennesker som bor i nærheten av store elvesystemer preget av flomfare er utsatt. På sikt, mot slutten av århundret, vil klimaendringene få svært negativ virkning for befolkningen i de mange utsatte storbyene som ligger langs kystsletter, for eksempel i Asia.

– **Vi slipper billig unna, her i Norge?**

– På mange måter gjør vi det, ja.

– **Hvilket ansvar gir det oss?**

– Nordmenn har langt større klimafotavtrykk enn de aller fleste andre som bor på jorden, og tjener godt på å produsere fossile brenslere. Vi har et stort ansvar for å redusere utslippene, være med på å dekke kostnadene ved klimatilpasning og bidra til den store energiomstillingen verden nå står overfor.



**FASCINERENDE PROSESSER:** Norske forskere er verdensledende på forståelsen av havstrømmer, sjøis, og bresmelting. De bidrar med viktige kunnskapsbiter i det store globale puslespillet.

Foto: Øyvind Paasche, Universitetet i Bergen

# VEIEN TIL KLIMAKUNNSKAP

KLIMAVITENSKAP ER IKKE ETT FAG, MEN ET STORT GLOBALT TVERRFAGLIG FORSKNINGSSAMARBEID. TROLIG DET STØRSTE NOENSINNE.

Jorden har gjennom milliarder av år vært gjennom mange faser av oppvarming og nedkjøling. Isdekket har vokst og trukket seg tilbake. Havnivået har steget og sunket. Havstrømmer har endret retning. Biologien på land og i hav har endret seg i takt med disse svingningene. For å forstå disse prosessene, og hvordan de henger sammen, må det bygges en bro mellom ulike typer kunnskap. Klimavitenskapens store prosjekt er å bygge denne broen.

## Forstår mer enn noensinne

Spørsmålene er mange. Hvor mye av oppvarmingen lagres i dyphavene? Hvordan påvirker skydannelse utviklingen? Hvordan reagerer plantene på mer CO<sub>2</sub>? Hvor raskt smelter en isbre? Både kjemiske, fysiske og biologiske mekanismer spiller en rolle i det komplekse klimasystemet. Takket være studier av jordsystemet forstår forskerne nå mer enn noensinne. De har etablert målepunkter over hele kloden for å kartlegge temperaturen i luft, hav og over land. De har nøyaktig overvåking av isutbredelse og bresmelting. De vet stadig mer om vindsystemer, havstrømmer, hvordan skyer dannes og hvor mye nedbør som faller.

Vi har av naturlige årsaker ingen målbare data om fremtiden. Gjennom systematisk arbeid kan vi likevel lære mer om årsakene til, og konsekvensene av, klimaendringer. En viktig brikke er kunnskapen

om hvordan jordens klima har endret seg gjennom historien. I dag har vi gode data om utviklingen, mange millioner år bakover i tid. Takket være denne kunnskapen, er forskerne i stand til å spole fremover. Mot fremtiden. Klimavitenskapens viktigste oppdagelse, er sammenhengen mellom drivhusgasser i atmosfæren og klodens oppvarming. Drivhuseffekten, som har vært kjent i 200 år, er ikke alene om å påvirke temperaturen på kloden, men en vesentlig bidragsyter.

## Klimamodellene er ikke perfekte

Vi vet i dag at utslipp av drivhusgasser påvirker klimaet, og at det menneskeskapte utslippet av CO<sub>2</sub> har vært den viktigste årsaken til endringer i klimaet i mange tiår. Takket være atmosfæremålinger vet vi at utviklingen har akselerert, og takket være klimaforskernes simuleringer vet vi at konsekvensene i fremtiden kan bli alvorlige. Målingene av et klima i endring er nå entydige, men klimamodellene som simulerer fremtiden er ikke perfekte. Derfor lager man, uavhengig av hverandre, ulike modeller. De fremtidsutsiktene som legges til grunn i FNs klimarapporter er ikke de mest ekstreme, men et snitt av det forskningen forteller oss. Bildet som avtegner seg blir stadig klarere. Menneskeheten er i ferd med å forårsake en rask og dramatisk klimaendring jorden ikke har opplevd på minst 3 millioner år. Endringen skjer så raskt at det er svært usikkert hvordan vegetasjon, marint liv og sivilisasjonen vil håndtere den.



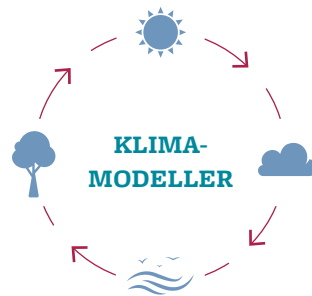
## STADIG BEDRE KUNNSKAPSGRUNNLAG

### Klima- prosesser

Forskerne forstår stadig mer av de ulike prosessene som påvirker klodens klima, og samspillet mellom dem.

### Fortidens klima

Studier av klimaets utvikling langt tilbake i tid øker forståelsen for drivkrefter, naturlige svingninger og konsekvenser av oppvarming.



### Måling og observasjon

Ved å samle inn data fra en lang rekke ulike klimaindikatorer kan utviklingen kartlegges stadig mer presist og nyansert.

### Samfunns utvikling

Ved å studere sosiale, teknologiske og økonomiske forhold, kan man lage bedre prognoser for utslipp av klimagasser.

### Alternative utslippsbaner

FORSKNING

SAMFUNN

### Klimascenarier og sannsynlige effekter for jordsystemet

Beslutningstakere kan bidra til å endre samfunnsutviklingen!

### Klimatilpasning

Forskningen viser hvordan pågående og fremtidige klimaendringer kan prege for eksempel matproduksjon, havstigning, tørke og ekstremvær. Det gir beslutningstakere et bedre faktagrunnlag for tiltak som gjør samfunnet mer robust og tilpasningsdyktig. Mange forskere bidrar også til å utvikle og analysere effektene av uke tilpasningstiltak.

### Klimaløsninger

Forskningen på klimasystemet viser hvilke konsekvenser ulike konsentrasjoner av drivhusgasser i atmosfæren kan få. Det gir et bedre faktagrunnlag for beslutningstakerne, som kan bestemme hvilke tiltak som bør iverksettes for å redusere utslippene. Mange forskere bidrar i denne prosessen med utvikling og analyser av mulige økonomiske, politiske og teknologiske løsninger.

**Bla om,  
og les mer om klimavitenskapene!**



# SPOLER TILBAKE



## VASSER I HISTORIEN:

Forskere fra Bjerknessenteret på forskningsekspedisjon for å ta sedimentprøver på Sør-Georgia i Sørishavet.

Foto: Bjørn Kvisvik

VI HAR INGEN NEDTEGNET KUNNSKAP OM KLIMAET I ELDRE TID. LIKEVEL VET FORSKERNE MYE OM **HVORDAN KLIMAET HAR ENDRET SEG GJENNOM HISTORIEN.**

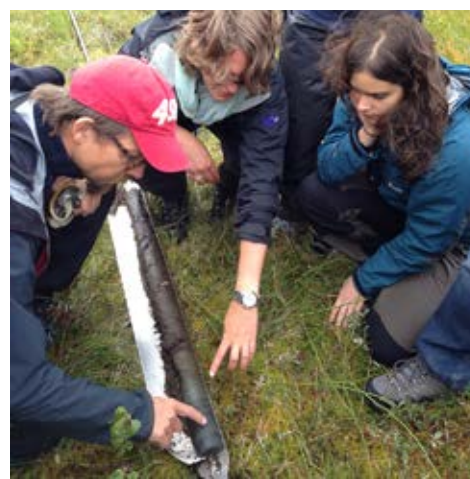
Forskning på fortidens klima viser store variasjoner lenge før mennesket eksisterte eller var i stand til å påvirke klimaet i betydelig grad. Dette er naturlige klimavariasjoner, som er et resultat av naturlige prosesser og drivkrefter. Det kaldeste klimaet her i Norge hadde vi under istidene; det varmeste under de såkalte mellom-istidene. Den siste naturlige varmeperioden for om lag 6000 – 8000 år siden i steinalderen

## Finner svar i naturen

Men hvordan kan forskerne vite så mye om fortidens klima? I noen områder finnes det selvsagt religiøse og historiske nedtegnelser som går langt tilbake, og beskriver for eksempel flommer, tørke, kalde vintre eller ekstreme værhendelser. Men dette er ikke systematisk nedtegnet på samme måte som i dag. Om man skal tusener eller millioner år tilbake, må forskerne finne andre indikatorer som sier noe om klimaet. Da må man ut i naturen, til isbreer, innsjøer eller på havets bunn. Mange forskere tilbringer tid på feltstasjoner langt unna sivilisasjonen, og gjør deretter tidkrevende analyser av sedimentprøver og borekjerner.

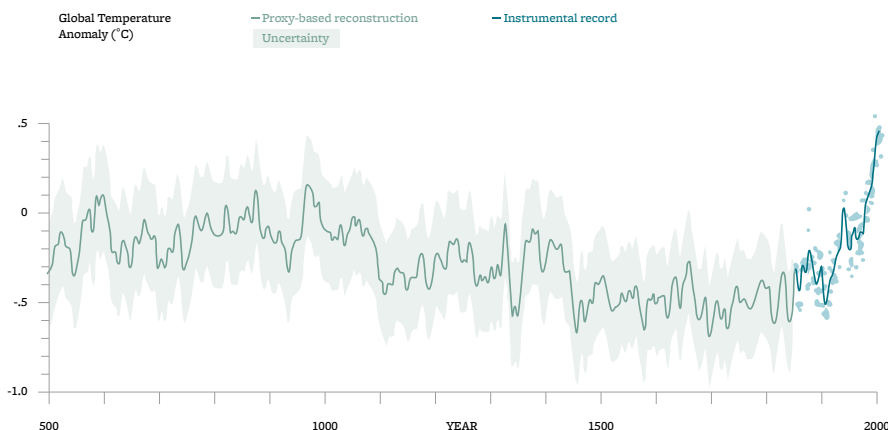
## Biter av kunnskap

Den kunnskapen som produseres er som små puslespillbrikker i et stort puslespill. Ved å krysse ulike resultater mot hverandre får forskerne stadig mer presis kunnskap om hvordan klimasystemet har endret seg tilbake i tid, og hvilke effekter det har hatt med tanke på værhendelser, vegetasjon og livet i havet. Denne kunnskapen kommer til nytte når man prøver å forutsi konsekvensene av de menneskeskapte klimaendringene.



**KLIMAFORSKERE VED BJERKNESSENTERET** studerer en jordprøve, som gir nyttig informasjon om klimaet i tidligere perioder.

Foto: Kerim Hestnes Nisancioglu. UiB



**FORHISTORISKE DATA AV TEMPERATURSVINGNINGER**, basert på såkalt proxy-rekonstruksjon, sammenlignet med observasjonsdata fra moderne tid. Kilde: Nasa Earth Observatory



# HISTORIER FRA FORTIDEN

## SLIK STUDERER FORSKERNE FORTIDENS KLIMA.

### Breavsetninger

Breer legger igjen tydelige spor i landskapet. For hver fremrykning legges det igjen morenemasser, skurer på berg. Ved langvarige istider graver breene ut daler og fjellsider.

### Iskjerner

Iskjerner fra polarområder og breer er rene historieboken for klimaforskere. Slike prøver inneholder lag på lag med snø, som senere er omdannet til is. Hvert lag av snø inneholder flere indikatorer på klimaet i eldre tider. Eksempler er isotoper, andelen av smeltet is, mengden snø per år, ulike salter eller syrer - og mengden av pollen eller mengden CO<sub>2</sub> eller andre gasser i atmosfæren. De beste seriene strekker seg mange tusen år tilbake i tid.

For forskerne er selvsagt ulempen med isprøver at de er vanskelig tilgjengelig

- eksempelvis i Antarktis. Fordelen med at de befinner seg langt fra sivilisasjonen er at de ikke er påvirket av lokal forurensning.

### Sedimenter i havet

På havbunnen kan forskerne finne mikro-fossiler av planteplankton og kalkskalldyr. Slike dyr faller til bunnen når de dør. Hvor mange slike dyr havet rommer endres gjennom historien, som en følge av havtemperatur og andre forhold.

### Sedimenter i innsjøer

I innsjøer og på havbunnen legges sedimenter lag på lag hvert år. Ved å borre ut sedimentprøver kan forskerne studere både sommertemperatur, snøfall om vinteren og mengden nedbør. Såkalte isotop-analyser kan gi innsikt i temperaturforhold, mens kjemiske analyser kan vise mengden organisk materiale og mengden salt. Man kan også finne vulkansk aske i slike sedimenter, og knytte sedimentprøvene til kjente klimahendelser i fortiden.

### Pollen

Pollen tåler ekstreme kjemiske og fysiske belastninger uten å brytes ned. De kan overleve flere millioner år enten de skjuler seg i myr, innsjøer, jordmasser eller presset inn i ulike bergarter. Mengden pollen sier noe om fortidens vegetasjon, som igjen gjør det mulig å studere klimaet i et område tilbake i tid.

### Koraller

Korallrev vokser år for år, og forskerne klarer å lese mye informasjon om tilstanden i havet og atmosfæren av de store korallrevene i tropiske og subtropiske strøk.

### Årringer i trær

Trær er sensitive, og den årlige veksten kan henge sammen med både nedbørsmengde og temperatur. Å måle årringene er en av de første metodene forskerne benyttet da de begynte å interessere seg for klimahistorikk.



## FORSKEREN

# ÅPENHET GIR BEDRE FORSKNING

## BEDRE OG ÅPNERE DATA GIR VIKTIGE BIDRAG TIL ABDIRAHMAN OMARS FORSKNING.

Hva skjer med havets kjemi, når CO<sub>2</sub>-metningen i atmosfæren øker? Dette er blant spørsmålene Abdirahman Omar søker svar på i sin forskning. Han kom til Norge som asylsøker fra Somalia i 1988, og tok universitetsutdanning med spesialisering innenfor optikk og laserfysikk. I dag leder han en forskningsgruppe innen biogeokjemi ved Uni Research og bidrar han med viktig forskning i et nøkkeltema for klimavitenskapene. Gode observasjonsdata er svært viktig.

- Grunnlaget for min forskning får jeg fra forskningsskip på tokt, bøyer i overflaten, rigger i vannsøyla og på havbunnen og lasteskip som er utstyrt med ulike måleinstrumenter.

### - Har du noen eksempler på hvilken type oppdagelser slike data bidrar til?

- Et av de viktigste resultatene jeg selv har bidratt til er hvordan CO<sub>2</sub> i overflatevannet har endret seg, blant annet i Nord-Atlanterhavet. Vi kunne påvise at opptaket av CO<sub>2</sub> har økt de siste tiårene. Det funnet har bidratt til en viktig diskusjon om endringene i havets evne til å ta opp CO<sub>2</sub>, en diskusjon som pågår fortsatt.

### - Hvordan måler man egentlig CO<sub>2</sub>-nivået i havet?

- Det finnes flere måter. En av dem er å pumpe vann gjennom en lukket beholder med ren luft. Forholdet mellom CO<sub>2</sub>-nivåene i vann og luft jevnes ut fort. Da kan vi bruke et spektrometer og infrarødt lys for å måle CO<sub>2</sub>-andelen i luften. Karbonmengden i denne luftprøven kan fortelle oss hvor mye CO<sub>2</sub> som er i vannet.

### - Har datagrunnlaget blitt bedre de siste årene?

- På mitt felt er svaret definitivt: Ja.

### - Hva skyldes det?

- Delvis flere og bedre observasjoner og ny teknologi, delvis mere åpenhet mellom ulike forskningsmiljøer. I dag deles slike observasjoner i felles, globale databaser. Det gjør at vi får et langt bedre kunnskapsgrunnlag, og at forskere fra hele verden kan jobbe med felles utgangspunkt.

### - Har andre fagfelt noe å lære av klimavitenskapen på dette området?

- Definitivt. Åpenheten gir oss større datasett og bidrar til at flere hjerner kan bidra til å gi svar på ubesvarte spørsmål. Hver enkelt forskers produktivitet øker. Resultatet er rett og slett bedre vitenskap.



**ABDIRAHMAN OMAR**  
forsker på  
CO<sub>2</sub>-OPPTAK I HAVET





**HAVSIRKULASJON:** Klimavitenskapen har utviklet seg til å bli studiet av de prosessene som preger den tynne hinnen av liv ytterst på jordkloden. Det er viktig grunnforskning om spillet mellom biologi, kjemi, fysikk på landjorda, i havet og i atmosfæren. Her er en visualisering av havsirkulasjon laget av forskere ved NASA.

# OBSERVERER JORDENS UTVIKLING

VI HAR ALDRI HATT BEDRE OVERSIKT OVER HVORDAN KLIMAET UTVIKLER SEG PÅ JORDEN. **STADIG BEDRE TEKNOLOGI GIR FORSKERNE NYE MULIGHETER.**

Det er alltid stor naturlig variasjon i værforhold på kloden. Derfor trenger klimaforskere gode observasjoner over lang tid for å oppdage de lange trendene i utviklingen. De lengste månedlige nedtegnelsene av temperatur vi kjenner til, er en engelsk dataserie som startet allerede i 1659. Etterhvert som vitenskapen utviklet seg har forskerne fått flere og flere målinger. Når det gjelder temperatur kan man ved å kombinere ulike målinger få et estimat av global middeltemperatur fra rundt 1880.

## Mer enn temperatur

Begrepet “global oppvarming” gjør at det er lett å tenke på temperatur som den viktigste klimaindikatoren. Fortsatt er det gode gamle termometeret og regnmåleren viktige instrumenter i klimavitenskapen. Men varmen på jorden fordeler seg ujevnt på jordoverflaten, og antar mange ulike energiformer. Dessuten tas det aller meste av varmen opp av havet. For å få et presist bilde av hvordan klimaet utvikler seg har forskerne gjennom flere tiår etablert stadig nye teknologiløsninger som måler tilstanden i atmosfære, hav, elveløp og på isbreer over hele verden.

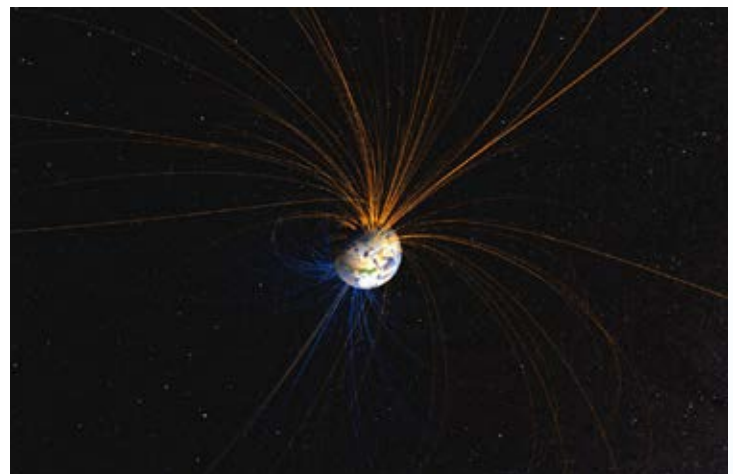
Resultatet av alle disse målepunktene er at det blir lettere for forskerne å se hvordan ulike prosesser utvikler seg, og sammenhengen mellom dem.

## Oppdager sammenhenger

Forskerne kan for eksempel se hvordan utflatingen av temperatur på landjorden det siste tiåret kan forklares med at havet har tatt opp mer av energien, blant annet på grunn av havstrømmer. De kan også

konstatere at de rekordlave målingene av sjøis i Arktis i 2012 ikke bare skyldes global oppvarming, men ble forsterket av spesielle vind- og strømforhold.

De mange målingene av klimaindikatorer er ofte organisert som spleiselag mellom mange ulike land. Dataene som produseres er ofteste åpent tilgjengelig. Hver eneste lille observasjon bidrar til at bildet av et klima i endring blir stadig skarpere, og kunnskapen mer nyansert.



**FASCINERENDE PLANET:** Studier av solinnstrålingen og jordens magnetfelt gir viktige kunnskapsbidrag til klimaforskningen. Satellitter er blitt et viktig verktøy for klimaforskerne.



## SATELITTER

TAR KLIMAVITENSKAPEN  
TIL NYE HØYDER

Takket være satellitter har klimavitenskapene fått langt bedre innsikt i jordens ulike klimaprosesser. Men hva er det egentlig satellittene måler? Svaret er: Nesten alt. I dag finnes en lang rekke satellitter som overvåker klimaet. De benytter seg av ulike teknologier som gir forskerne nye innsikter om klimatilstanden og sammenhengene mellom hav, land, atmosfæren og biosfæren.

### SOLENERGI

Satelitter måler energien fra solen fordelt på ulike frekvenser.

### ATMOSFÆREN

Luftkvalitet, kjemisk sammensetning og forekomsten av små sotpartikler i atmosfæren. Vi har også kontinuerlig overvåking av ozonlaget, og temperaturmålinger i ulike deler av atmosfæren.

### SKYER

Satelitter overvåker skydekket på jorden, og bruker teknologi som kan avsløre hvor mye fuktighet som finnes i skyene.

### OVERFLATEBILDER

Satelitter tar bilder av landjorden, havoverflaten og isdekket på jorden.

### ISTYKKELSE

Noen satellitter kan beregne massestørrelsen og tykkelsen på jordens isbreer.

### HAVNIVÅ

Gjennom mikrobølgeteknologi overvåker satellitter vannstanden på de ulike verdenshavene.

### VINDHASTIGHET

Satelitter klarer også å overvåke vindmønstre og vindhastighet på jordoverflaten.

### TILFRYSING/TINING

Egne satellitter overvåker når landjorda fryser til og tiner.

## BÅTER

### LASTESKIP SAMLER KLIMADATA

En lang rekke cruise og lasteskip er utstyrt med klimasensorer. Dermed får forskerne nyttig informasjon fra alle verdens havområder.

3. Sonden blir i overflaten i 12 timer. Satellitsenderen aktiveres og data overføres, før sonden dykker ned igjen i dypet.

## FLYTENDE ROBOTER

KARTLEGGER DYBHAVET

Argo er et globalt nettverk av 3000 roboter som driver med havstrømmene. De er programmert til å dykke ned i havdypet, måle temperatur og saltinnhold på ulike havdyp, og laste opp informasjonen via satellitt når de kommer opp i overflaten igjen. Fordi satellittene driver med havstrømmene, får forskerne også en viktig innsikt i havstrømmer. Dataene fra Argo-sondene gir viktig informasjon til både klimaforskere, meteorologer, oseanografer og marinbiologer. I tillegg til Argo-sondene har også en lang rekke skip og båter utstyr ombord som registrerer data som brukes i forskningen.

## FORSKNINGSSTASJONER

### SJEKKER BREER OVER HELE VERDEN

Massebalansen i breer over hele verden sjekkes jevnlig, blant annet ved å se på lagdelingen og årlig tilvekst.

### MÅLER VANNSTANDEN I ELVER

Ved å måle vannføringen i elver kan forskerne få innsikt i både nedbør og snøsmelting gjennom året.

### VIND

Over hele kloden måles vindhastigheten, både over land og til havs.

### NEDBØR

Det drives kontinuerlig overvåking over nedbør i form av snø og regn på alle kontinenter.

### TEMPERATUR

Det finnes over 11 000 værstasjoner over hele verden som blant annet måler atmosfærisk trykk, og temperatur i luft og på hav.

### SELER HJELPER FORSKERNE

Blant de mer kreative måtene å skaffe seg data om temperaturen, er å feste sensorer på elefantsele i Antarktis. Disse selene svømmer på store havdyp, og beveger seg i områder det er umulig for forskningsfartøy å nå om vinteren. Dermed får forskerne tilgang til viktige data det ellers ville vært umulig å fremskaffe.

### SLIK FUNGERER ARGO:

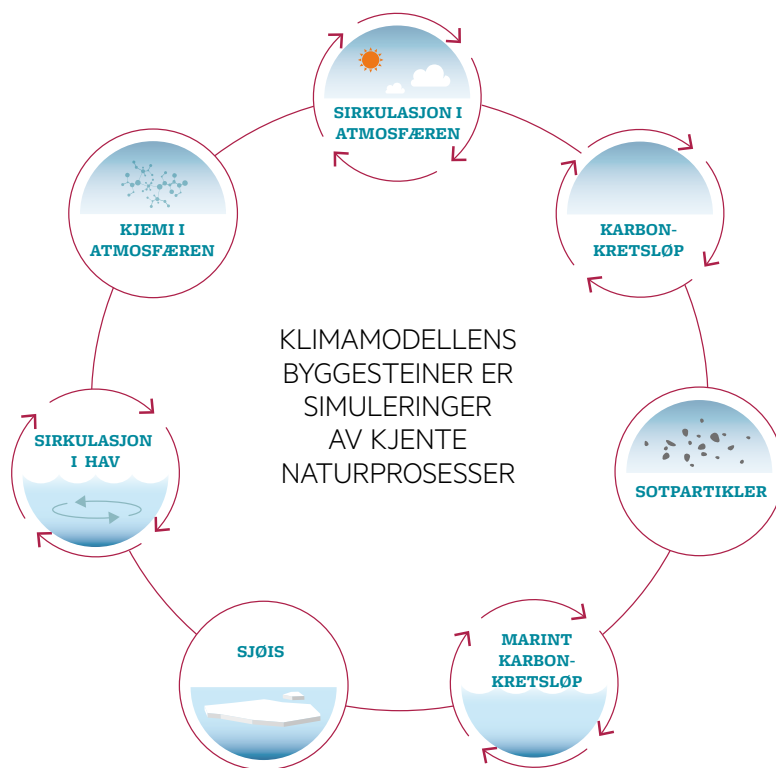
1. Sonden settes ut fra forskningsfartøy.

2. Den synker ned til rundt 2000 meter under havoverflaten, hvor den blir i 9 dager før den stiger opp igjen.



# JAKTER PÅ SUPERMODELLEN

KLIMAMODELLER ER AVANSERTE MATTESTYKKER SOM BYGGER PÅ VELKJENTE NATURFENOMENER OG NATURLOVER. DE BLIR STADIG MER NØYAKTIGE.



**BYGGET NEDENFRA:** Klimamodelle kobler sammen kunnskap om ulike prosesser i klimasystemet i et stort mattestykke. The Norwegian Earth System Model (NorESM) er en slik modell, utviklet av norske forskere. Den er bygget opp av en modell for sirkulasjon i havet, en for sirkulasjon i atmosfæren, en annen for kjemien i atmosfæren, en for sjøis, en for sotpartikler, en karbonkretsløpsmodell og en modell for det marine karbonkretsløpet.

Den enkleste klimamodellen kan de som er gode i hode-regning klare uten engang å bruke penn og blyant: Hvor mye solenergi treffer jorden? Hvor stor andel av den reflekteres tilbake i universet? Der har du jordens opptak av energi, i et meget forenklet mattestykke. Så forenklet, at resultatet blir feil.

## **Et levende mattestykke**

Problemet er velkjent: Virkeligheten er komplisert. Drivhuseffekten for eksempel, bidrar til å holde på mye av energien i atmosfæren. Vulkanutslipp og kullforbrenning slipper ut små sotpartikler som reduserer innstrålingen. Havet fanger opp mye av varmen, og fordeler den på kloden via havstrømmer. Jordens fascinerende karbonsyklus skaper en sirkulasjon mellom atmosfæren, havet og landjorda.

For å lage en modell som tar høyde for alt vi i dag vet om klimaet, må du kombinere mange ulike fysiske lover - og få med deg data fra hele jordkloden. Du må lage et avansert stykke matematikk, som er mye mer komplisert

enn det du klarer å regne ut for hånd. Dette mattestykket skal heller ikke bare regne ut ett svar, men mate de nye svarene tilbake inn i regnestykket kontinuerlig, slik at man får et bilde av hvordan verden utvikler seg - over tid. Et levende mattestykke.

## **Mange modeller koblet sammen**

Dagens klimamodeller kalles generelle sirkulasjonsmodeller - eller jordsystemmodeller. De er bygget opp av stadig mer detaljert kunnskap om de ulike prosessene i klimasystemet.

I praksis er det snakk om en lang rekke fysiske beregninger som er satt sammen i et gigantisk regnestykke. Disse modellene har utviklet seg svært mye de siste årene, dels fordi regnekraften i datamaskiner er i enorm utvikling, dels fordi vi får stadig bedre observasjoner og kunnskaper om fortidens klima.

Likevel er en modell fortsatt bare en modell. Vi vet ikke hvordan fremtiden kommer til å bli. Hvordan kan man

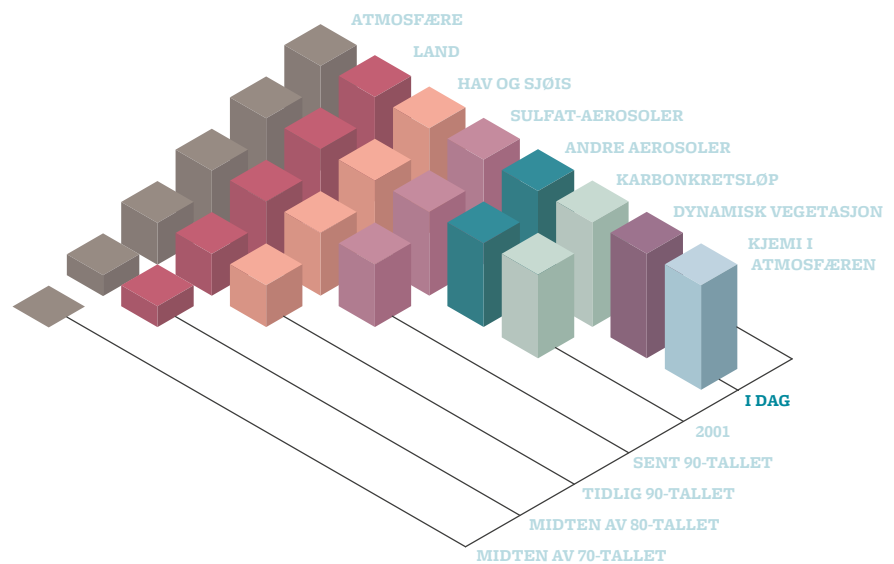


da teste at en klimamodell faktisk fungerer? Svaret er enkelt: Be modellene forutsi fortiden. De kan for eksempel starte modellen i år 1813 og kjøre den frem til vår tid. Så kan man sjekke om resultatet modellene produserte stemmer overens med det vi vet om klimaendringene i vår nære forhistorie.

Ingen av modellene er helt perfekte, men de blir stadig mer presise. Et fascinerende eksempel er at modellene - helt av seg selv - skaper det værphenomenet som kalles El Niño. Dette til tross for at forskerne ikke er helt sikre på hvordan dette fenomenet oppstår, og dermed ikke kan programmere det inn i modellene. Simuleringen gjenskaper fenomener vi fortsatt ikke ennå helt forstår, basert på grunnleggende (men kompliserte) fysiske lover!

#### Det er fortsatt svakheter ved klimamodellene.

Vindforhold i enkelte regioner kan være vanskelig å beregne. Jo mer lokal kunnskap du vil ha, jo flere beregninger må gjøres. Dermed blir datakraft et problem. Det er også en utfordring å få med seg det som kalles tilbakekoblinger (se egen sak), altså fenomener der naturen oppfører seg på uforutsigbare måter som forsterker eller demper klimaendringene.



**MODELLER I UTVIKLING:** Siden 1970-tallet har klimamodellene utviklet seg dramatisk. Fra rene atmosfæreberegninger på 70-tallet ser man i dag blant annet på samspillet mellom atmosfære, land, havsirkulasjon, karbonsyklus og vegetasjon. At modellene er blitt bedre er også et uttrykk for en langt dypere forståelse av ulike klimaprosesser.



## FORSKEREN

# VIRTUELL VIRKELIGHET

NÅR ISELIN MEDHAUG KJEDER SEG,  
SKRUR HUN AV SOLEN.



**ISELIN MEDHAUG**  
forsker på  
KLIMADYNAMIKK

Iselin Medhaug skulle egentlig bli meteorolog, og studerte forholdet mellom sol og hudkreft. Men hun endte til slutt opp med å studere havets påvirkning på klimasystemet.

– I doktorgraden min studerte jeg Nord-Atlanteren, og så på årsakene til variasjonene i havsirkulasjonen. Da jeg startet var jeg sikker på at det ville være lett å få to streker under svaret. Men jeg kom vel egentlig opp med flere spørsmål enn svar.

#### – Spørsmål er vel det forskning handler om?

– Ja. Og et av de spørsmålene jeg er opp tatt av nå, er hvorfor ulike klimamodeller noen ganger gir ulike resultater. Jeg ser på forskjeller i hvordan de er bygget opp?

#### – Hva er forskjellene mellom dem?

– Et eksempel er hvordan man antar at støvpartikler fra vulkanutbrudd sprer seg

i atmosfæren. Noen modeller sprer alle partiklene likt over hele kloden. Andre modeller lar mesteparten av partiklene bli igjen i et lokalt område. Det kan ha mye å si for hvordan vulkanutbrudd påvirker global temperatur.

#### – Hva er fasiten da?

– Klimamodellene er ikke noen fasit. De bygger på fysiske lover, men vil alltid være preget av forenklinger. De viser ikke akkurat hva som skal skje i 2023, men gir et klart bilde av langsiktige utviklings-trekk. Men observasjoner fra den virkelige verden gjør dem stadig bedre.

#### – Hvordan bruker du klimamodellene i din forskning?

– Akkurat nå plasserer jeg ut virtuelle flottører i havstrømmene i klimamodellen, og ser hvor de flyter. Det gir oss et bedre

bilde av hvordan varmen beveger seg fra tropiske områder og nordover.

#### – Flottører som flyter rundt i en virtuell virkelighet. Nesten som et slags dataspill?

– Ja, som klimaforsker kan jeg gjøre det jeg vil, for å finne svar på interessante spørsmål. Hvis jeg kjeder meg kan jeg for eksempel skru av solen og se hva som skjer.

#### – Gøy!

– Ja. Klimaforskning viser at matte og fysikk faktisk være mye mer interessant enn det man kanskje kan få inntrykk av på skolebenken.



# TILBAKE TIL FREMTIDEN

FOR Å GJØRE JOBBEN MED Å SE PÅ KONSEKVENSENE AV MENNESKESKAPT GLOBAL OPPVARMING LITT ENKLERE **HAR FORSKERNE SKAPT FIRE ULIKE FRAMTIDER.**

Scenarioene forskerne nå har samlet seg om, beskriver ulike veier, eller baner, for utviklingen når det gjelder utslipp av drivhusgasser og arealbruk på jorden. Det er ikke spådommer, men noen alternativer for hvordan menneskeheten kan tenkes å påvirke konsentrasjonen av CO<sub>2</sub> i atmosfæren fremover. Ved at alle forskerne bruker de samme utviklingsbanene, blir det lettere å måle forskning opp mot hverandre- og forskjellige klimamodeller kan sammenliknes.

## Fysikk - ikke politikk

Scenarioene har, i likhet med klimamodellene, utviklet seg mye de siste årene. Tidligere tok man utgangspunkt i utslippsnivået. Nå tar man heller utgangspunkt i hvor mye drivhusgasser som samler seg opp i atmosfæren, i kombinasjon med luftforurensning og endringer i arealbruk.

De nye scenarioene gir også informasjon om hvor utslipp og arealendringene skjer på kloden. Forskerne har brutt jordkloden inn i et rutenett der hver rute er rundt 60 kvadratkilometer. Dette er relevant fordi effekten av utslippene påvirkes av hvor de finner sted.

Det finnes ikke noen "offisiell" fortelling bak hvert scenario. Det finnes mange ulike veier, både til de dårlige klimascenarioene og til de gode. Dermed må ikke scenarioene forstås som "politiske løsninger", de er rene, matematisk målbare CO<sub>2</sub>-konsentrasjoner. Derav navnet Representative Concentration Pathways - "representative baner til konsentrasjon" (av drivhusgasser i atmosfæren).

## Varmeovner i atmosfæren

Hvert scenario har fått et nummer. Dette nummeret er et uttrykk for det forskerne kaller "strålingspådrivet" i atmosfæren. Dette pådrivet er et uttrykk for hvor mye ekstra varme atmosfæren tilfører, og oppgis i ekstra watt per kvadratmeter. I scenarioet RCP 8,5 kan du tenke deg at det plasseres en 850 watts varmeovn for hver hundre kvadratmeter i atmosfæren. I det beste klimascenarioet, som er RCP2,6, er varmen skrudd ned til 260 watt.

Fordelen ved at klimascenarioene er rene fysiske uttrykk for global oppvarming, gjør at man nå har et måltall å knytte politiske og teknologiske endringer til. Hvilken utviklingsbane ender vi på hvis vi bytter ut en viss andel av oljen med bioenergi? Hvor mye mindre fossil energi må vi bruke per menneske på jorda, hvis befolkningsveksten blir sterkere enn antatt?

Neste skritt for forskerne er å beskrive noen mer konkrete veier til de ulike scenarioene for strålingspådriv. I forkant av neste FN-rapport, som kommer i mars 2014 vil det derfor trolig fremkomme mer konkrete scenarioer (sosioøkonomiske utviklingsbaner) som gir innsyn i hvilke teknologier og satsninger som vil være mest effektive for å redusere klimaproblemet.



## FORSKEREN

# REGN MED MARI

PÅ DATAMASKINEN TIL MARI ER  
DET SKIKKELIG UVÆR.

Hva skjer med ekstremnedbøren på Vestlandet dersom havet i fremtiden blir to grader varmere? Dette er et av spørsmålene Mari Sandvik jobber med i sin doktorgradsavhandling. Gjennom å skru opp havtemperaturer i værsimulatoren kan hun se hvor mye mer regn som faller, og hvordan regnet fordeler seg.

– Jeg bruker en regional værmodell, den samme modellen som mange meteorologer bruker til å lage værmeldinger med. Forskjellen er at jeg øker temperaturen i havet med to grader.

### – Hva skjer da?

– Jeg ser at nedbøren øker, men funnene så langt viser ikke like stor økning som i en del andre klimamodeller. Dessuten ser jeg at nedbøren fordeler seg annerledes i regionen enn den gjør i det klimaet vi har i dag.

### – Hvordan endrer den seg?

– Den største økningen skjer i fjellområ-

der lengre inne i landet, og ikke ute ved kysten.

### – Hvordan forklarer du det?

– Blant annet ved at varmere luft har en evne til å holde på mer fuktigheten. Derfor må luften presses høyere opp av fjellene før den avkjøles nok til at det dannes skyer og regn. Men det er store usikkerheter her. Det er ikke sikkert at modellen gjengir alle prosesser helt riktig.

### – Er det frustrerende for en forsker å ikke kunne sette to streker under svaret?

– Ikke egentlig. Men det er veldig frustrerende med alle som ikke skjønner at forskningen ikke handler om fasitsvar. Vi kan ikke forutsi nøyaktig hvordan været blir om hundre år, men vi kan øke kunnskapen om mulige konsekvenser. Det gir oss en mulighet til å endre oss, og forberede oss på det som kan komme.

### – Hvorfor akkurat ekstremnedbør?

– Jeg liker ekstreme fenomener. Og ekstremnedbør er det bra å vite noe om, siden det kan forårsake både skred og ødeleggende flommer. Det hadde vært fint om forskningen min kunne bidra til at vi blir flinkere til å forebygge slike hendelser.

### – Du får ikke lyst til å flytte til et tørrere sted?

– Nei. Jeg er glad for å bo et sted der det regner. Den største utfordringen ved klimaendringene er tørke. Vi i Norge er heldige som har så mye vann.


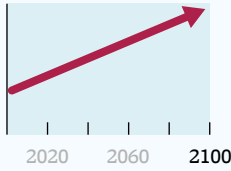
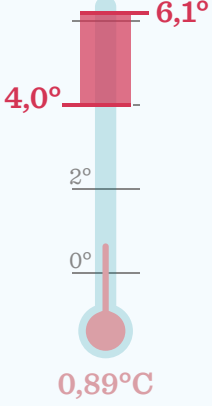

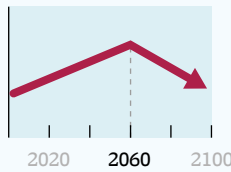
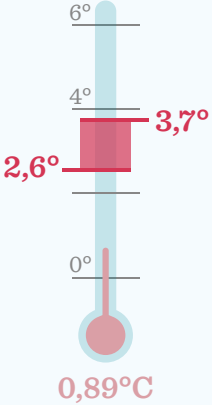

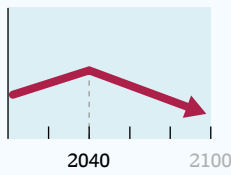
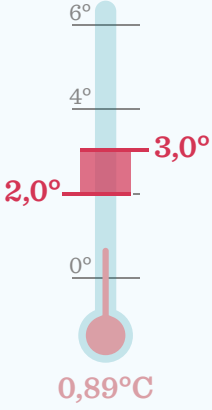

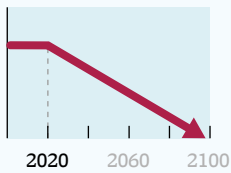
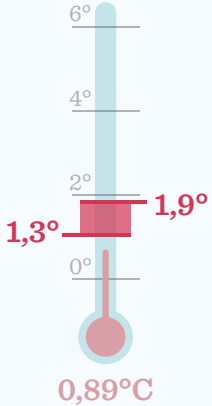


**MARI SANDVIK**  
forsker på  
EKSTREMNEBØR



# HVA ER ET KLIMASCENARIO?

DET ENKLE SVARET: ET KART SOM VISER VEIEN TIL FIRE ULIKE PLANETER.

	Scenario	CO <sub>2</sub> -utslipp	Temperatur	Mulige konsekvenser
	<b>HØYE UTSLIPP (RCP 8.5)</b>  Dette scenarioet karakteriseres av at veksten følger samme bane som i dag, med stadig økning i klimagassutslipp som fører til høye klimagasskonsentrasjoner over tid. Det bygger på at vi har tre ganger dagens CO <sub>2</sub> -utslipp innen 2100, og en rask økning i metanutslipp. Befolkningen på 12 milliarder mennesker i 2100, gjør at skogen fortrenses av dyrket mark. Vi er fortsatt svært avhengige av fossile brenslers.	Kontinuerlig vekst i CO <sub>2</sub> -utslipp.  		Stor usikkerhet  Katastrofale konsekvenser for sivilisasjonen som vi kjenner den
	<b>MODERAT UTSLIPPSREDUKSJON (RCP 6)</b>  I dette scenarioet er vi fortsatt i stor grad avhengig av fossile brenslers. CO <sub>2</sub> -utslippene når toppen i 2060, 75 prosent over dagens nivå, for så å gå ned til 25 prosent over dagens nivå. Samfunnet krever svært mye energi. Det er større arealer som er blitt dyrket mark, men mange gressletter har fått skog. Metanutslippene er stabile.	CO <sub>2</sub> -utslippene når toppen i 2060.  		Deler av kloden blir ubeboelig  Korallrev dør  Store økosystemet endres  Storbyer rammes av havstigning
	<b>HØY UTSLIPPSREDUKSJON (RCP 4.5)</b>  I dette scenarioet har vi skapt et mer energieffektivt samfunn. Vi har gjennomført flere store skogplantingsprogrammer, og økte avlinger og endret kosthold har redusert arealet som går til dyrket mark og gressletter. De fleste land har en ambisiøs klimapolitikk, metanutslippene er stabile.	CO <sub>2</sub> -utslippene øker noe, men når toppen i 2040.  		Alvorlig vannmangel i store områder  Mange arter trues av utryddelse  Fare for skogdød
	<b>LAVE UTSLIPP (RCP 2,6)</b>  Dette er et scenario som baserer seg på at utslippene av klimagasser blir redusert over tid, og at CO <sub>2</sub> -konsentrasjonen i atmosfæren når toppen i 2020. Det baserer seg på en forventning om fallende oljeforbruk, lavere energintensitet og en verdensbefolkning på ni milliarder mennesker i 2100. Det er mer dyrket mark grunnet produksjon av bioenergi, men metanutslippet er redusert med 40 prosent. Ved århundreskiftet er det mulig vi må fange CO <sub>2</sub> fra atmosfæren for å klare togradersmålet.	Stabile utslipp, med reduksjon fra 2020.  		Vannmangel  Mer ekstremvær  Flere hetebølger  Mere flom  Enkelte arter vil dø ut





# HVA HAR VERDEN LÆRT AV KLIMAVITENSKAPENE?

Hvis man ikke tenker seg om, kan man svare enkelt og greit på spørsmålet i tittelen. Verden har lært at det globale klimasystemet er i endring. Det blir varmere, våtere og villere vær over store deler av jordkloden. Og det er menneskene selv som er skyld i disse endringene gjennom utslipp av karbondioksid og andre klimagasser. Hvordan det skal gå, er uklart, men det er fare for store og farlige klimaendringer hvis vi ikke reduserer klimautslippene kraftig. Eller kanskje er det allerede for seint. Det har vært nesten umulig å redusere utslippene til nå, og det virker ikke sannsynlig at det blir lettere de neste åra, heller. Men vi må stå på og gjøre alt vi kan for å redusere utslippene. Nå er det slik at vi (artikkelforfatterne) nettopp har til jobb å tenke oss om. Vi arbeider ved Senter for vitenskapsteori og forsker på forholdet mellom vitenskap, teknologi og samfunn. Vi skal derfor stille spørsmålet en gang til og svare litt langsommere:

## Fakta og verdier

Hva har verden lært av klimavitenskapene? Vel, hva menes med “verden”? Hvis “verden” er jordkloden, så har den neppe lært noe. Ikke trenger den det, heller. Jordkloden har vært ute i hardt vær før. Litt klimaendringer fra eller til spiller ikke så stor rolle for den. Hvis “verden” betyr “alle mennesker”, så er svaret nokså blandet. Mange mennesker har aldri hørt om klimavitenskapene. Dessuten, noen av dem som faktisk har hørt om dem, har lært ganske lite. Når man svarer uten å tenke seg om – slik vi gjorde i første avsnitt – svarer man snarere på spørsmålet “Hva mener du at du har lært av klimavitenskapene, som også alle andre burde ha lært?”

Det viktigste ordet i forrige setning er “burde”. Det synliggjør hvordan kunnskapsspørsmålet er knyttet til spørsmålet om hva som bør gjøres. Klimapolitikken har blitt viktig fordi den kan støtte seg på klimaforskning. Klimaforskningen, på sin side, har kunnet bli viktig fordi den har fått politisk støtte. I moderne samfunn er det sett på som viktig å skille tydelig mellom kunnskap og handling, fakta og verdier, og “er” og “bør”. Samtidig henger alt dette sammen. Å spørre “hva har du lært av klimavitenskapene?” er å innlede til en samtale om handling, politikk, moral, kanskje skyldfølelse over å kjøre bil, dra på flyreiser, spise mye kjøtt, bo i et stort hus og rett og slett leve i den rike del av verden.

## Hvorfor klarer vi ikke å løse klimaproblemet?

Filosofen Francis Bacon sa at kunnskap og makt er samme sak. Noen ganger gir kunnskap svaret på hva vi skal gjøre nærmest av seg selv. Kan man kjemi og fysikk, forstår man at man skal legge lokk på en brennende fettgryte og slettes ikke prøve å slukke med vann. Å legge lokk på fettgryta er konkret og greit. Klimaproblemet er verre. Å “kutte utslippene” er abstrakt: Klimautslipp er ikke en aktivitet i seg selv, men uheldige bivirkninger av aktiviteter som er nyttige, ønskelige og av og til livsviktige. Vi kan ikke slutte å produsere mat og hus eller ha transportsystemer. Klimavitenskapen sier at vi må

få til en dramatisk forandring av hele samfunnet, men den sier ikke hvordan og hva vi skal kutte.

Klimabudskapet blir derfor negativt: Nei til flyreiser, biler, kjøtt og mye annet. Både folk flest og politikere kan akseptere store ofre hvis det truer en stor fare. Også Norge har uten særlig diskusjon ofret mye personvern og personlig frihet de siste åra for å forhindre terrorisme. Men hvis folk skal godta et stort offer, bør faren være godt dokumentert. Klimaproblemet er langsiktig, abstrakt, nesten usynlig og aldri sikrere enn det vitenskap kan bli, det vil si: ikke helt sikkert. Det hefter alltid usikkerhet ved modellene. FN's Klimapanel sa da også fra starten av at her må handling basere seg på vissheten om usikker fare.

## Skyldfølelse monner ikke

Våre politiske institusjoner er ikke laget for å ta så drastiske beslutninger på bakgrunn av en usikker fare. Dermed koker det bort i kål. Politikerne vet at de ikke har mandat fra befolkningen for å gjøre drastiske kutt. Og befolkningen? De må jo begynne å lure. En bekjent av oss sa: “ Dette med klimaproblemet kan umulig stemme, fordi hvis det hadde vært så ille som det sies, så hadde jo politikere gjort noe drastisk for lengst.” For ham framstår norske politikere som hyklere, med unntak av de få som innrømmer sin klimaskepsis.

*“Det har aldri vært større behov for nye tanker, nye ideer, nye måter å bo, spise, leve og ha det gøy på enn i vår tid.”*

Kan ikke bare politikere tvinge gjennom store kutt, da? Hullet i ozonlaget hadde faktisk en grei teknisk og politisk løsning: Man forbød de skadelige KFK-gassene i spraybokser og kjøleskap og byttet dem ut med andre (og litt dyrere) stoffer. Det kan jo være at det kommer tekniske løsninger på klimaproblemet også som ikke krever endringer i livsstil, samfunnsform og politikk. Så langt ser det dårlig ut. Vi tror det er uklokt å satse alt på at ny teknologi skal redde oss. Det trengs en handlekraftig politikk, men demokratiske samfunn kan ikke i lengden kan ha politikere som gjør det motsatte av hva flertallet i befolkningen ønsker. I Norge er det allerede klaging på bensinpriser og bompenger; man kan jo tenke seg reaksjonen hvis privatbilisme og flyturisme blir forbudt. Noen hevder at da får man heller ofre demokratiet for den gode sak. Det vil vi advare sterkt mot. Lærdommen fra 1900-tallets nazisme og sovjetkommunisme er at slikt pleier å gå ekstremt dårlig. Økofascisme er en dårlig idé.

I stedet har norske myndigheter prøvd å oppdra befolkningen (særlig barna) til å få dårlig miljøsamvittighet og bli flink til å brette



melkekartonger. Problemet med dette er at det ikke monner. Selv i Norge, hvor store deler av befolkningen er spesialister på å ha dårlig samvittighet for alt mulig, er ikke skyldfølelse nok til å kutte ut bil, fly og alt det andre. Det går bare ikke.

### Vi trenger en dypere kreativitet

Klimaproblemet er ikke unikt. Klimavitenskapen er én av flere vitenskaper som forteller at jorda er et lukket system med begrensede ressurser. Rapporten "Limits to Growth" sa alt for 40 år siden at uendelig vekst er umulig. Biologisk mangfold, villmark, ferskvann, regnskoger, økosystemene i verdenshavene – lista er lang over systemer som vil kollapse dersom menneskeheten ikke finner en måte å begrense seg på. Og alle disse vitenskapene gir oss i grunnen bare et abstrakt "Stopp!" når vi spør hva vi skal gjøre.

Så klart trengs det mer miljøvennlig teknologi. Men det trengs også andre oppfinnelser: Nye livsstiler, nye måter å bo på, nye måter å ha det gøy på og leve godt på som ikke forbruker så mye ressurser. Kanskje ordner dette seg helt av seg selv, ved at energi- og produksjonssystemene bryter helt sammen, slik at forbrukersamfunnet også kollapse. I det lange løp gjør det vel det hvis vi ikke klarer å finne på noe nytt – "innovere" – oss ut av krisen. Men et slikt kollaps blir ikke en god ting for de menneskene som skal gjennomleve det og kanskje dø av det.

"Innovasjon" er ikke noe dumt begrep. Men vi synes det brukes snevert, om forskning og utvikling som skal finne opp nye produkter til forbrukerne. Vi har foreslått uttrykket "dyp innovasjon". Det trengs dypere endringer i hvordan vi lever livene våre, og dette krever mye dypere kreativitet enn det forskning og industri kan klare alene. Det trengs hele mennesker og ikke bare produsenter og forbrukere. Verdenshistorien har mange eksempler på at det er unge mennesker – tenåringer, tjuetåringer – som kommer opp med radikalt nye ideer og løsninger. Her ligger det gigantiske paradokset i vårt samfunn. På den ene siden opplever mange ungdommer at det ikke er bruk for dem: Velferdssamfunnet er ferdig utbygd, vitenskapen er ganske ferdigforsket, det fins ikke hvite flekker lenger på kartene. Men dette er løgn: Samfunnet er ikke bærekraftig, det er fullt mulig at det går utfor stupet.

Det har aldri vært større behov for nye tanker, nye ideer, nye måter å bo, spise, leve og ha det gøy på enn i vår tid. Den store samfunnsutfordringen, slik vi ser det, er å skape plass og vekstmuligheter til dyp nytenkning og dyp innovasjon.

**Til ungdomsgenerasjonen vil vi si: Ikke stol på at noen gir dere denne plassen. Kanskje dere rett og slett bare skal ta den.**

KILDER: Senter for vitenskapsteori, Universitetet i Bergen, <http://www.uib.no/svt>, <http://www.technolife.no>, <http://www.epinet.no>. Denne kommentarartikkelen er en forkortet utgave av en lengre rapport: Kjetil Rommetveit, Roger Strand, Ragnar Fjelland & Silvio Funtowicz (2013): *What can history teach us about the prospects of a European Research Area, Report procured by the European Commission-Joint Research Centre. Luxembourg: Publications Office of the European Union*, se <http://www.uib.no/svt/43144/bio-geos-important-lessons-be-learned-research-policy>.





# NÅR KLIMA-SYSTEMET TIPPER OVER

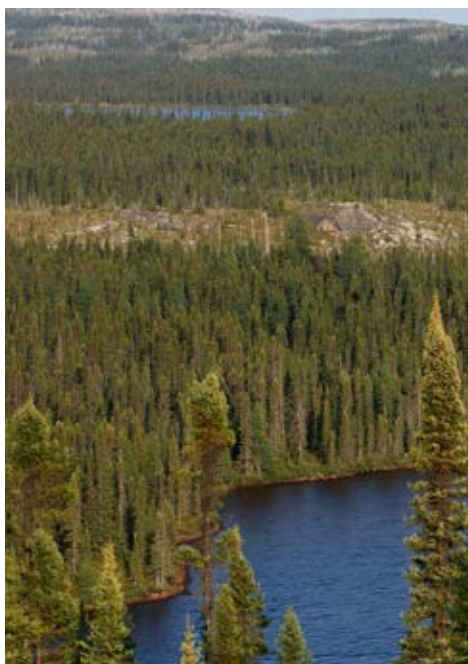
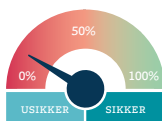
**STUDIER AV FORTIDENS KLIMA HAR VIST AT DET FINNES FLERE SÅKALTE “VIPPEPUNKTER” – DER KLIMATILSTANDEN FORANDRER SEG BRÅTT UTEN Å VENDE TILBAKE TIL UTGANGSPUNKTET.**

Slike hendelser kan få dramatisk betydning for klimaet, men er preget av stor usikkerhet. De fleste klimaforskere forutsetter at klimaendringene vil skje gradvis. Men klimahistorien har vist at klimasystemet i noen tilfeller “vipper over”, at endringer skjer raskt og irreversibelt. Det er flere slike tilstander som i verste fall kan igangsettes i løpet av dette århundret. Felles for dem er at det er vanskelig å si når, og om, slike endringer vil skje. Dette skyldes at det er stor usikkerhet rundt slike hendelser, at man ikke kjenner til hvordan utslippene vil bli i fremtiden, og fordi naturlige variasjoner i klimaet fortsatt vil prege temperaturutviklingen fra tiår til tiår. Likevel er dette endringer mange forskere advarer mot, og som kan få dramatiske konsekvenser for fremtidige generasjoner om de skulle inntreffe. De utgjør en del av risikobildet som politikerne må vurdere i forhold til viktigheten av utslippsreduksjoner.

KILDE: BJERKNESSENTERET OG US GLOBAL CHANGE RESEARCH PROGRAM (USGCRP)

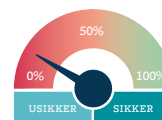
## USIKKERHET OM BARSKOGDØD

Den boreale barskogen strekker seg i et bredt belte over det nordlige Eurasia og Nord-Amerika. Den norske barskogen er en del av dette beltet. Området preges av moderate nedbørmengder (400-1000 mm i året), og lav fordampning. Om vinteren er bakken normalt snødekt, og det er tele i jorda. Endringer i nedbør og ekstremtemperaturer kan ifølge enkelte studier medføre omfattende skogdød i deler av dette området. Trolig må jordtemperaturen øke med rundt 3 grader for at dette scenarioet skal inntreffe. Selv ved global oppvarming vil disse områdene være preget av streng kulde om vinteren og er ikke egnet for tempererte tresorter. Dermed kan disse skogområdene bli omdannet til steppeland. Forskerne har lite kunnskap om hva som skjer med barskog ved klimaendringer. Forskningen er derfor preget av stor usikkerhet.



## KARBONMETNING

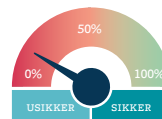
- NÅR NATUREN BLIR EN UTSLIPPSKILDE Under halvparten av det karbonet vi mennesker slipper ut, blir værende i atmosfæren. Resten tas opp av havet, vegetasjonen og jordsmonnet på landjorden. Hvis denne kapasiteten til å ta opp CO<sub>2</sub> på land og i hav reduseres, vil det øke konsentrasjonen i atmosfæren. Hvis vi fremskriver utviklingen vi har hatt de siste 10-årene i hundre år, vil mengden karbon i atmosfæren øke med hele 50%. Økende temperatur reduserer havets evne til å ta opp CO<sub>2</sub>, og kan også føre til skogdød. I verste fall kan man få prosesser der både havet og landjorda slippe CO<sub>2</sub> tilbake i atmosfæren.



## SIRKULASJONSENDRINGER

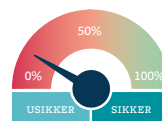
### I ATLANTERHAVET

Med økende tilførsel av varmt vann og ferskvann kan Golfstrømmen - eller det forskere kaller den Atlantiske Termohaline sirkulasjonen - stoppe opp eller endres. Slike endringer i havstrømmer har hatt stor innvirkning på de raske klimaendringene som har funnet sted etter tidligere istider. Alle klimamodeller viser at dette kan skje, men bare med tilstrekkelig mye ferskvann i området. Derfor regnes det som svært lite sannsynlig at det vil skje i vårt århundre, selv om forskerne allerede har registrert at saltinnholdet i vannet er lavere enn tidligere.



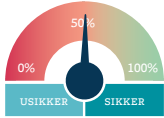
## EL NIÑO-FREKVENSEN ØKER

Gradvis økende global oppvarming er antatt å påvirke de store svingningene mellom ulike tilstander som preger klimasystemet. En slik tilstand er El Niño. Dette fenomenet henger samme med både havtemperatur og de generelle temperaturforholdene ved Ekvator. Om temperaturen generelt stiger vil trolig hyppigheten av tilstanden øke. Enkelte forskere hevder El Niño var normaltstanden i Pliocene for 3 milliarder år siden - da temperaturen var 2,5-3 grader varmere enn i dag. Flere klimamodeller antyder at dette fenomenet kan inntreffe innenfor noen av klimascenarioene, men det er svært vanskelig å forutsi dette presist.



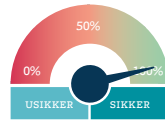
### GRØNLANDSISEN

Det er stor usikkerhet rundt hva som forårsaker de ofte hurtige smelteprosessene som har preget avslutningene på jordens istider. Det gjør også at det er stor usikkerhet rundt Grønlandsisens skjebne. Hvis man fjerner Grønlandsisen fra enkelte klimamodeller, vil smeltingen av snø om sommeren være så stor at den ikke bygger seg opp igjen. Det er de siste årene registrert en økende smelting av brearmene til Grønlandsisen, og en merkbar nedgang i volumet av ismassene. I siste mellomistid var Grønland mer enn 3,5 grader varmere enn i dag. Da var også havnivået på kloden 5-10 meter høyere enn i dag. Grønlandsisen var medvirkende til dette, men forskerne er uenige i hvor raskt disse endringene kan skje.



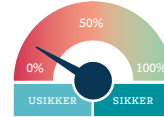
### ARKTISK ALBEDO

Når sjøisen smelter blir overflaten mørkere, noe som gjør at mindre av solens energi reflekteres tilbake til verdensrommet. Dermed varmes vannet opp, som bidrar til ytterligere smelting. Dette kalles albedo-effekten. Denne ekstra varmen blir en nytt bidrag til oppvarming av planeten. Denne effekten ser man allerede på den nordlige halvkule, men det er mindre sannsynlig at man vil se denne effekten i Antarktis, hvor de kaldeste områdene er dekket av tykk breis.



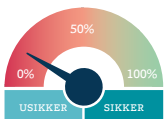
### TINING GIR METANUTSLIPP

Metan er en kraftig drivhusgass. I sedimenter på havbunnen ligger denne gassen frosset inne i sedimentene i såkalte hydrater. Metan ligger også frosset inne av permafrost på land. Den totale mengden metangass på havbunnen kan utgjøre like mye drivhuseffekt som alle verdens drivhusgasser. I havet ligger slike hydrater svært dypt, og er lite sårbare for klimaendringer, men i Arktis finnes de på langt grunnere vann og er derfor sårbare for høyere havtemperaturer. Utenfor Norge er temperaturen akkurat lav nok til at hydraterne fryser til. Ved økende oppvarming frykter forskerne at metan kan slippe ut både fra bunnsedimenter og fra tundraen i Arktis. Dermed vil oppvarmingen forsterkes.



### SKOGDØD I AMAZONAS

Enkelte forskningsprosjekter viser at økning i global temperatur på 3-4 grader og en hyppigere forekomst av El Niño vil medføre at regnskogen i Amazonas vil få langt mindre nedbør enn i dag. Det innebærer skogdød, endring i vegetasjon og økt hyppighet av skogbranner. Andre studier viser at endringene vil bli mindre dramatisk. Avskogingen, som skjer uavhengig av klimaendringene, kan i seg selv utgjøre en trussel mot regnskogen, da svært mye av regnet i regionen faktisk er resirkulert fordampning fra samme område. Dermed kan spillet mellom avskoging, globale værsystemer og lokal nedbørsintensitet avgjøre skjebnen til dette enorme skogområdet.



### ISSMELTING I ANTARKTIS

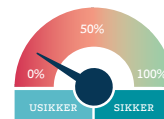
Mye av innlandsisen i Vest-Antarktis ligger på en såle av fjell som er lavere enn havoverflaten. Hvis havet varmes opp og isen trekker seg tilbake kan man risikere at varmere vannmasser smelter isen nedfra. Forskerne vet at isen i Vest-Antarktis har trukket seg kraftig tilbake flere ganger, og var sannsynligvis helt borte i varmeperioden for 3,5 mill år siden (Pliocen tid) da CO<sub>2</sub>-nivået var bare litt høyere enn dagens. Da stod havet 10-20m høyere enn i dag.



### SAHARA

#### - MER REGN ELLER MER TØRKE?

Det er stor usikkerhet knyttet til Sahara-ørkenen og den årlige monsunen i Vest-Afrika. Historiske data viser at ørkenen har fått regn og dermed vegetasjon i enkelte varme perioder tidligere i jordens historie. Noen klimamodeller sier at den Vest-Afrikanske monsunsyklusen vil forsvinne, men de spår ulike utfall av denne endringer: Resultatene spriker mellom mer regn, som betyr mer vegetasjon, eller mer tørke og flere døgn med ekstremvarme, som betyr ørkenspredning. Om man legger de mest optimistiske resultatene til grunn, kan dette altså være et vippepunkt med positive lokale effekter.





# ET NORGE I ENDRING

TEKST: JILL JOHANNESSEN | BJERKNESSENTERET

MED SIN PLASSERING MELLOM  
DET ARKTISKE NORD OG  
ET VARMERE KLIMA I SØR,  
ER NORGE PREGET AV STORE  
NATURLIG KLIMASVINGNINGER.  
LIKEVEL BEGYNNER KLIMA-  
ENDRINGENE Å AVTEGNE  
ET TYDELIG MØNSTER.

**DE NORSKE FJORDENE** er skapt av isens fremrykninger under de siste istidene. I vår tid er signaturen til dette landskapet preget av sjøvann, skog-grenser, landbruksareal, høyfjell, evigsnø og isbreer. Klimaforandringer vil sette spor, men hvilke? Foto: Harvey Barrison (cc-lisensiert)





Globalt har hvert eneste tiår de siste tre tiår vært varmere enn det foregående, med 2001-2010 som det varmeste tiåret. De siste 30 år er sannsynligvis de varmeste på 1400 år. Det kan ha vært perioder tidligere som har vært like varme som nå i våre områder, men de har vært langt mer lokale og ikke så sammenhengende i tid og over store områder som dagens oppvarming, derav benevnelsen global oppvarming. Bak disse globale gjennomsnittsverdiene skjuler det seg viktige forskjeller, avhengig av hvor i verden man retter søkelyset.

I Norge varierer klimaet mye fra år til år og fra tiår til tiår, blant annet fordi det enkelte år ligger høytrykk over Nordvest-Europa, som skaper kalde vintre hos oss. Likevel viser både termometeret, regnmåleren, ismålinger og breobservasjoner at klimaendringene allerede preger Norge. Usikkerheten rundt fremtiden er fortsatt tilstede, og slingringsmonnet er stort. Men med økende kunnskap, flere målepunkter og bedre klimamodeller er forskerne nå i stand til å gi et skarpere bilde av hvordan klimafremtiden her i landet ser ut i lys av ulike utslippsbaner.

Generelt er det grunn til å si at Norge er blant de heldigste når kostnadene skal deles ut i form av klimaeffekter. Det finnes svært mange land i verden som rammes på langt mer dramatiske måter. Likevel kan endringene også her hjemme bli dramatiske. Med økende ekstremnedbør, endringer i økosystemene i havet, flere tørkehendelser og økende havnivå kan klimavirkeligheten få store konsekvenser også for det norske samfunnet.



## NEDBØRSINTENSITET

**Observasjoner:** Siden starten på forrige århundre og frem til i dag har observert årlig nedbør økt med rundt 19 prosent i Norge. Økningen i prosent fordeler seg relativt likt over hele landet. Det vil si at de som allerede har mye nedbør, for eksempel Vestlandet, vil få enda mere nedbør målt i millimeter. Forandringene ses i alle årstider, men de er noe mindre om sommeren. Økningen skyldes både flere dager med nedbør og mer intens nedbør. Antall ekstreme nedbørshendelser har økt mellom 25-35 prosent de siste 100 årene.

**Antatt utvikling:** Fremskrivninger presentert i Klima i Norge 2100 viser at det forventes 5 til 30 prosent økning av gjennomsnittlig årsnedbør mot slutten av århundret. Det er ventet at den største nedbørsøkningen vil komme høst, vinter og vår, mens mindre endringer er beregnet for sommermånedene. Om sommeren kan sør- og østlandet få noe redusert nedbør, som kan føre til tidvis tørke. På tross av dette kan det forventes økning av kortvarige store nedbørsmengder. De verste klimascenarioene tyder på en økning av ekstreme nedbørshendelser på mellom 30 og 70 prosent mot slutten av århundret, sammenliknet med dagens klima. Om vinteren kan nedbøren øke med så mye som 40-50 prosent i deler av Sør-Norge om klimagassutslippene fortsetter på dagens nivå.



## TEMPERATURUTVIKLING

**Observasjon:** Fastlands-Norge er blitt rundt 0,8 grader varmere siden 1901, omtrent i tråd med det globale snittet. Nordområdene varmes raskere opp enn verden for øvrig, med dobbelt så rask temperaturøkning i Arktis. Dette skyldes i hovedsak at det blir mindre snø- og isdekte områder i sommerhalvåret.

**Antatt utvikling:** Med to graders oppvarming i verden, vil Norge oppleve at endringene sprer seg svært ulikt. Innenfor et globalt togradersscenario tyder modellene på at Finnmark kan få opp mot 4 grader varmere temperatur om vinteren, mens Vestlandet får temperaturer på rundt 1,5 grader høyere temperatur enn i perioden 1971-2000. Om sommeren kan temperaturen bli mellom 2 og 3 grader varmere de fleste steder, men også her blir det trolig høyest økning i nord.

**Konsekvenser:** Temperaturøkningen vil trolig redusere isdekket og snøutbredelsen, og forlenge vekstsesongen. I tillegg kan varmeøkningen ha innvirkning på vannføring og utbredelse av planter og dyr.

### FAKTA: MEST ØKNING LENGST NORD

Forskning tyder på at vintertemperaturen kan bli 4 grader varmere i Finnmark ved et globalt togradersscenario.

**Konsekvenser:** I områder hvor årets største flom i dag er en regnflom, vil flommene bli større. Langs det meste av kysten vil flomstørrelsen kunne øke fra 20 til 60 prosent mot slutten av århundret. Dette kan føre til økt fare for jord- og snøskred og overvann i byområder med begrenset kapasitet på avløpssystemet. Snøsmelteflommene om våren vil komme stadig tidligere på året. Mindre av nedbøren vil komme som snø, derfor blir snøsmelteflommene mindre mot slutten av århundret, spesielt i de store elvene i de indre delene av Østlandet og Finnmark.

### FAKTA: MER EKSTREMNEDBØR!

Basert på målinger fra de meteorologiske stasjonene i Norge ser vi en økning i antall ekstreme nedbørshendelser på mellom 25-35 prosent siste 100 år. Forandringen har vært spesielt kraftige de siste 30 årene og økningen sees over hele landet med de største utslagene på Vestlandet.





### HAVSTIGNING

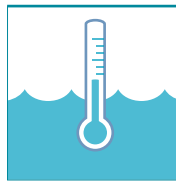
**Observasjoner:** Den globale havnivåstigningen har økt, og sannsynligvis akselerert, de siste 200 år, men det er store regionale forskjeller. Fra 1993 til 2010 steg det globale havnivået med vel 3 mm per år (3 cm per tiår). Norge er et spesielt tilfelle, fordi landet fortsatt løfter seg som følge av isen som tynget ned Skandinavia og Finland under siste istid. Fra 1960 til 2010 har vannstanden falt med nær 2 mm i året i indre Oslofjord, den har falt med 0,5-1 mm i året i Midt- og Nord-Norge, mens den har steget med omtrent 1 mm i året langs Vestlands- og Finnmarkskysten. Det er derfor store regionale forskjeller i havstigningen.

**Antatt utvikling:** Gjennomsnittlig global havstigning utover i vårt århundre vil i stor grad avhenge av fremtidige klimagassutslipp. Det er også usikkerhet knyttet til hvor mye og raskt isen på Grønland og i Antarktis vil forsvinne som følge av økt temperatur. I Norge bidrar landhevingen til å redusere opplevelsen av havnivåstigning. Om vi lykkes med raske utslippskutt vil vi oppleve en havnivåstigning mellom -15 cm og + 25 centimeter. Dersom utslippene fortsetter vil havet kunne stige med +40 til +85 cm, men forskerne kan ikke utelukke at verdiene kan bli både høyere og lavere.

**Konsekvenser:** Havnivåstigningen kan ramme bygninger, kaianlegg og infrastruktur som ligger nær havet.

#### FAKTA: LAGRER VARME I MANGE ÅRHUNDRE

Havet fanger mesteparten av varmen. Oppvarmingen av havet går sakte, men lagres lenge. Det betyr at dagens klimaendringer kan få konsekvenser mange hundre år inn i fremtiden.



### HAVTEMPERATUR

**Observasjoner:** Verdens hav har blitt varmere. Oppvarmingen går raskest nær overflaten, som i gjennomsnitt har steget med 0,4 grader fra 1971 til 2010. I omtrent samme tidsrom har temperaturen i Atlanterhavsvannet i Norskehavet økt med omlag 1 grad. Dersom vi går tilbake til midten av 1950-tallet, som var starten av systematiske målinger av havet, var temperaturen i Norskehavet ikke betydelig lavere enn i dag. Det er med andre ord store lokale variasjoner, avhengig av tidsperiode.

**Antatt utvikling:** Overflatetemperaturen i verdenshavene er antatt å øke mellom 0,5 til 2,5 grader, avhengig av utviklingsbane, mot slutten av vårt århundre. På grunn av treghet i blanding av varme fra overflaten og ned i dyphavet, vil oppvarmingen av verdenshavene fortsette i århundrer selv om utslippene reduseres.

**Konsekvenser:** Oppvarmingen av havene vil også få konsekvenser i Norge. Blant annet forventes fiskebestander å flytte nordover og sammensetningen av tarearter langs norskekysten kan endres.

#### FAKTA: LANDHEVING ER POSITIVT FOR NORGE

På grunn av pågående landheving vil effekten av havstigning bli mindre i Norge enn andre steder. Likevel risikerer vi over en halv meter økning i dette århundret.



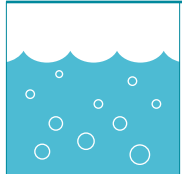
**VIKTIG YNGLEPÅSS:** Norge har verdens største kjente forekomster av kaldtvannskorallrev. Vi har så vidt begynt å utforske kaldtvannskorallrevenes biologiske mangfold og rolle i de marine økosystemene. Korallrevene utgjør komplekse fysiske strukturer som gir levested til et rikt mangfold av marine arter og antas å være viktige som yngle- og oppvekstområder for en rekke arter inklusive fisk. Korallrev kan være sårbare både for havforsuring og temperaturendringer.

Foto: Wikimedia Commons



**UTRYGT FARVANN:** Fiskerisektoren kan oppleve store endringer som følge av varmere havtemperaturer og havforsuring. Les mer om hvordan temperatur og havforsuring påvirker norske farvann på side 42.

Foto: Shutterstock



## HAVFORSURING

**Observasjoner:** CO<sub>2</sub> er en gass som løses i vann. Havet absorberer årlig omlag en fjerdedel av menneskehetens CO<sub>2</sub>-utslipp. Det har tatt opp cirka 28 prosent av menneskeskapt CO<sub>2</sub> siden 1750. Dette har ført til at havets pH-verdi faller (havet blir mindre basisk dvs. relativt sett surere) og at mengden karbonat har avtatt. Overflatevann i Norskehavet, Framstredet, Barentshavet og Nordsjøen har hatt kraftigst nedgang i pH i løpet av de siste 30 år, med mellom 0,07 til 0,11 pH-enheter. Denne reduksjonen tilsvarer det man har sett globalt siden starten av den industrielle revolusjon. Forsuringstrenden sees i hele vannsøylen, men den er sterkest nær havoverflaten.

**Antatt utvikling:** Havforsuringen vil øke utover i dette århundre i takt med økende CO<sub>2</sub>-utslipp til luft. På høye breddegrader, som i våre farvann, er vannet særlig sårbart for forsuring. Kaldt vann og egenskaper til karbonkjemien i havet fører til at våre havområder absorberer mer CO<sub>2</sub> og har en lavere evne til å motvirke havforsuring enn mer sørlige farvann, for eksempel i tropene. Dermed forventes det en sterkere forsuring i våre farvann enn globalt gjennomsnitt.

**Konsekvenser:** Forskningen på effektene av havforsuring på livet i havet er fortsatt på et tidlig stadium, men forsøk peker i retning av at veksten til organismer som danner kalkskall hemmes. Dette kan ramme de norske forekomstene av kaldtvannskorallrev, og etter hvert kan den marine næringskjeden bli påvirket.

### FAKTA USIKKERHET OM KONSEKVENSENE

Forskerne frykter at økosystemer kan bli hardt rammet av havforsuring, men det trengs mer forskning på dette området for å konkludere sikkert.





## SNØDEKKE OG ISBREER

**Observasjoner:** Breer er følsomme for klimaendringer og gir noen av de klareste signalene på oppvarmingen. Det er sterke bevis for at verdens breer

og iskapper mister volum. Innlandsbreene i Norge, for eksempel i Jotunheimen, har minket nesten kontinuerlig siden årlige målinger startet på midten av 1900-tallet. Kystnære breer på Vestlandet som Ålfotbreen, Jostedalbreen og Folgefonna, økte i volum på slutten av 1980-tallet og første halvdel av 1990-tallet, som følge av mye vinternedbør. For samme tidsperiode opplevde breene i innlandet og på Svalbard en netto volumreduksjon grunnet høy sommertemperatur. På 2000-tallet har så godt som alle norske breer hatt en betydelig tilbakegang.

**Antatt utvikling:** Snødekket på land på den nordlige halvkule vil fortsette å avta utover i vårt århundre og mange breer forventes å smelte helt bort mot slutten av århundret som følge av global oppvarming. I Norge vil sannsynligvis flesteparten av breene fortsette

**TREKKER SEG TILBAKE:** MED 300 000 besøkende i året er Brikisdalen en av landets store turistattraksjoner. Den har trukket seg kraftig tilbake de siste årene. Bildet er tatt under måling av brefronten i 2012. Bilde: Atle Nesje, Bjerknessenteret

å minke i takt med økt temperatur. Videre vil snølinjen krype oppover i terrenget og snøsesongens lengde bli redusert. Det er imidlertid en del usikkerhet knyttet til fremtidig utvikling av breene i Norge. Dette skyldes at breer ikke bare varierer som følge av sommertemperatur, men også av endringer i snøfall.

**Konsekvenser:** Den forventede bresmeltingen vil kunne få konsekvenser for blant annet vannkraftproduksjon, landbruket, turisme og naturfarer som ras og flom.

### FAKTA: BREER ER KREVENDE Å STUDERE

Breer vokser med mere nedbør som snø, og smelter ved høyere temperatur. Forholdet mellom disse faktorene gjør det krevende å få sikker viten om hvordan klimaendringene vil slå ut.

## MEN HVA BETYR DET I PRAKSIS?

### FOR TRANSPORTSEKTOREN

Økte nedbørsmengder og mer intense nedbørshendelser er ventet å gi særlige utfordringer for veg og jernbane, både i form av økt slitasje, skade på veg og banenettet og trafikkavbrudd. Men også sjø- og lufttransport vil være utsatt ved mer ekstremvær, havnivåstigning, stormflo og generelt større klimapåkjenninger.

### FOR BYSAMFUNN

Klimaendringene kan stille krav til dimensjonering av avløpsnett, bedre skredsikring, flomvern og mer bevisst ivaretakelse av gode grøntstrukturer blir ekstra viktig i lys av klimaendringene. Det er også et stort potensiale for reduserte CO<sub>2</sub>-utslipp gjennom smart byplanlegging.

### FOR HUSEIERE

Virkningene av klimaendringene i Norge vil få stor betydning for hvilke krav som må stilles til bygninger. Dette gjelder både hvordan bygningen er plassert og hvordan de er utformet på grunn av økt skred- og flomfare, mer ekstremnedbør og stigende havnivå.

### FOR ENERGISEKTOREN

Klimaendringene innebærer at risikoen for skader og strømbrydd øker, blant annet på grunn av ekstreme værhendelser. Mer nedbør kan øke potensiale for vannkraftproduksjon i enkelte områder, men andre steder kan bresmelting og kortere vinter trolig redusere produksjonen.



## SJØISEN

**Observasjoner:** Sjøisen i Arktis minker både i areal og tykkelse. Siden satelittmålingene startet i 1979 har havisutbredelsen blitt redusert med 40 prosent i september. Sjøisen er i gjennomsnitt 1,5 m tykk, mens den i andre halvdel av forrige århundre var omlag 3 m tykk. Dette innebærer at sjøisdekket i Arktis om sommeren er under halvparten av det den var for 30 år siden. Tapet av sjøis hører sammen med en kraftig oppvarming av overflatetemperaturen i nordområdene, varme tilført fra havet under, og hvor mye is som eksporteres ut av Arktis mellom Svalbard og Grønland.

**Antatt utvikling:** Havisen og snødekket i Arktis vil fortsette å avta i vårt århundre. Ved den laveste utslippsbanen som IPCC operer med (RCP2.6), tilsvarende en global temperaturøkning på noe under to grader mot slutten av århundret, ligger det an til vel 40 prosent reduksjon av sommerisutbredelsen. Tar vi utgangspunkt i den høyeste utviklingsbanen, som tilsvarer en temperaturøkning på noe over fire grader i år 2100, kan en forvente at sjøisen så å si er borte fra Arktis i september måned.

**Konsekvenser:** Med redusert isdekke øker varmeopptaket i nord, noe som forsterker klimaeffekten. Nordvestpassasjen vil trolig være åpen for transport i den varme årstiden.

### FAKTA: STORE NATURLIGE SVINGNINGER

Isdekket er ikke bare avhengig av temperatur, men også av vind og strømforhold. Derfor er det naturlig at isdekket vil variere også i fremtiden.

**PÅVIRKER SNØFORHOLDENE:** Det er en merkbart kortere vintersesong på hele den nordlige halvkule. Både snølinjen i vinterhalvåret, nedbørsmengden og vårmeltningen kan få innvirkning på skiforholdene om temperaturen fortsetter å stige i Norge. Foto: Heikki Rauhala/Flickr (CC-lisensiert)



### FOR REISELIVET

Særlig næringer som er knyttet direkte til naturgrunnlaget, eksempelvis skidestinasjoner, vil trolig måtte tilpasse seg et varmere klima. Omstillinger vil også være nødvendig når klimaendringene eventuelt fører til endrede krav til lokalisering og utbygging.

### FOR FISKERISEKTOREN

Det er stor usikkerhet knyttet til konsekvensene av havforsuring og global oppvarming, men det er sannsynlig at fiskerisektoren vil få et endret næringsgrunnlag som følge av klimaendringene (se egen sak).

### FOR FORSIKRINGSBRANSJEN

Mer ekstremvær med mer intense nedbørsepisoder kan gi vannskader, råteskader og skader knyttet til flom. Både bygninger, annen infrastruktur og landbruksarealer er utsatt. Økende risiko vil trolig medføre økende kostnader for forbrukerne.

### FOR ØKOSYSTEMENE

Det er usikkerhet knyttet til hvordan økosystemer i Norge vil tilpasse seg hurtige klimaendringer. Mange arter, herunder nyttevekster og jaktvilt, vil kunne oppleve dramatiske endringer i livsbetingelser.





# MATPARADOKSET

KLIMAENDRINGENE VIL RAMME VERDENS MATVARESikkerhet HARDT. FOR AT IKKE OGSÅ KLIMALØSNINGER SKAL GJØRE VONDT VERRE, MÅ VI HA TRE TANKER I HODET PÅ EN GANG. MINST.



ANDERS WAAGE NILSEN

REDAKTØR 2°C

I en verden med anslagsvis ni milliarder mennesker i 2050, må matproduksjonen øke med 70-100 prosent hvis vi vil nå målsetningen om å unngå underernæring og sult. Utviklingen har vært positiv gjennom flere tiår. Stadig færre - både målt i andel og i faktisk antall mennesker - lider av sult i verden. De siste årene har vi likevel fått kraftige påminnelser om hvor store konsekvenser et klima i endring kan få for matvareproduksjonen. Det er fortsatt usikkerhet knyttet til forskningen på ulike nytteveksters evne til tilpasning. Man kan heller ikke vite helt nøyaktig hvordan klimaendringene vil slå ut i mange områder. Men summen av forskningen på dette temaet begynner å avtegne et dystert bilde. Klimakampen er for mange av verdens fattigste allerede en kamp på liv og død.

## Små endringer gir store prisutslag

FN slår nå fast at klimaendringer er en av de aller største truslene mot verdens matvaresikkerhet. Endringene kan spores allerede. Flere tørkehendelser og mer ekstremvarme preger allerede deler av det afrikanske kontinentet. Verdensbanken la nylig frem tall som tilsa at opp til 40 prosent av dagens landbruksarealer i enkelte afrikanske regioner kan bli uegnet for maisdyrking og husdyrbeiting i løpet av de neste 20 år. Det sørlige og sørøstlige Asia er utsatt for ekstremnedbør og endringer i monsunsyklusen.

Forskeren Tim Wheeler går i en artikkel i Science gjennom status for aktuell forskning på mat og klima. Konklusjonen er entydig: Produktiviteten synker som følge av klimaendringene. Generell varmeøkning gjør avlingene av landbruksprodukter som mais og hvete lavere mange steder i verden. Større variasjoner fra sesong til sesong gjør i tillegg avlingene mindre forutsigbar. Disse endringene har, særlig i perioden etter 2007, skapt problemer, både i lokal, regional og global skala.

Resultatet er økende variasjoner i produksjon, og dermed også mindre stabile matvarepriser. De siste seks årene har selv små endringer i tilbud eller etterspørsel gitt store prisutslag i det globale matvaremarkedet.

For verdens mange fattige familier, som bruker store deler av inntekten på mat, kan høye priser bety underernæring, eller i verste fall sult.



**DYR TØRKE:** Amerikanske bønder opplevde i 2012 den verste tørken siden 1930-tallet. Forsikringsutbetalingen for tapte avlinger var på over 11 milliarder dollar, ifølge Bloomberg. Bilde: Shutterstock



# DET KLIMASMARTE LANDBRUKET

BÅDE GLOBAL OPPVARMING OG GAPET MELLOM MATPRODUKSJON OG -ETTERSØRSEL ER STORE UTFORDRINGER FOR VERDENSSAMFUNNET.

Både Verdensbanken og FN har det siste året fokusert på at landbrukssektoren er en betydelig utslippskilde, men også en sektor som rammes både direkte og hardt av de endringer dette utslippet medfører. Dermed trenger vi en ny tilnærming som er både tilpassingsdyktig, produktiv og medfører lavere klimafotavtrykk.

## UTFORDRING NUMMER 1: BEDRE TILPASNINGSDYKTIGHET

Det trengs lokale tilpasninger til klimaendringene. Noen steder handler dette om å tåle ekstremnedbør, men mange steder handler det om mer effektiv håndtering av vannressurser.

## UTFORDRING NUMMER 2: HØYERE PRODUKTIVITET

Den store produktiviteten man har oppnådd gjennom industrialisering og kunstgjødsel må opprettholdes, men gjennom nye teknikker som hindrer at jordsmonn forringes og som spiller på lag med biologiske prosesser.

## UTFORDRING NUMMER 3: LAVERE KARBONINTENSITET

Matproduksjon inkludert transport av mat/kunsgjødsel står for opp mot en tredjedel av alle fossilutslipp. Både markedsmønstre og produksjonsteknikker må rett og slett bli smartere og mer energieffektive.

## MULIGHETER STRATEGIER

### BEDRE JORDFORVALTNING

Tilgangen til nitrogen og andre næringsstoffer er helt nødvendig for å øke produktiviteten. Ved å bli flinkere til å utnytte naturgjødsel og organisk avfall, kan man fjerne deler av CO<sub>2</sub>-utslippet knyttet til produksjon og transport av kunstgjødsel.

### ØKOSYSTEM-FORVALTNING

Levende økosystemer er helt nødvendig for landbruket. Nebrytning av avfall, regulering av lokalt mikroklima og pollinering er eksempler på noen av "tjenestene" naturen står for. Å sikre og styrke slike tjenester krever nye og helhetlige perspektiver på produksjonsprosesser og naturforvaltning.

### SMARTERE BRUK AV VANN

Teknologier for å samle og bevare vannressurser, og gode irrigasjonssystemer er grunnleggende for å øke produktiviteten og motstandsdyktigheten mot lengre og mer intense tørkeperioder.

### VARIERTE GENRESSURSER

Det er genetikken som preger arters evne til å overleve sykdommer, oversvømmelser og tørke. Genetikken preger bestemmer også hvor rask vekstraten er, og hvor lang vekstsesongen arten har i ulike klimasoner. Å sikre genetisk variasjon, og utvikle arter tilpasset lokale forhold er derfor viktig.

### MER EFFEKTIV INNHØSTING OG FOREDLING

Effektiv innhøsting og rask videreføring kan redusere svunnet i verdikjeden. Det bidrar også til økende kvalitet, kvantitet og næringsinnholdet i maten.

### SYKDOMSBEKJEMPELSE

Forskning viser at klimaendringene fører til flere uønskede fremmede arter og epidemier av plantesykdommer. Dette kan i stor grad påvirke matsikkerheten, og det er derfor nødvendig å finne nye strategier som gjør landbruket mer motstandsdyktig.

### SMIDIGERE DISTRIBUTUSJON

Når verdikjedene blir lengre og mer komplekse, krever det at man øker effektiviteten i fasene etter innhøsting: Foredling, pakking, lagring og transport. Ferske varer står lengre i butikkhyllene, holder høyere kvalitet. Nye prosesseringsteknikker gjør at mer mat kan lagres over tid, noe som igjen øker matsikkerheten.





**UTSATTE RISMARKER:** Vin Te-kanalen sørger for vann til de enorme rismarkene i An Giang, Vietnam. Mye av verdens risdyrkingen i verden skjer i elvedeltaer og lavtliggende kystområder i Asia. Det gjør særlig ekstremnedbør og havstigning til en klimautfordring. Foto: Shutterstock

### Klimakuren kan ha bieffekter

Verdenssamfunnet står altså med en trippel utfordring. Man må mette verdens befolkning. Man må kompensere for klimaendringene som allerede setter spor. Og man må løse årsaken til problemet. I en flokete virkelighet er faren stor for å forsterke det ene problemet i forsøkene på å løse det andre. Et eksempel på slike utilsiktede konsekvenser fikk vi i 2008, da EU innførte kvoteordninger og USA innførte subsidier på bioenergi. I sum påvirket dette tilgangen til - og prisen på - viktige matvarer i verden. Samme år inntrådte uvanlige værforhold som gikk ut over produksjonen av vekster som hvete, ris og mais. Denne kombinasjonen av endringer i rammebetingelser kombinert med dårlige avlinger skapte høye matvarepriser og matmangel i deler av verden. Dette ble igjen medvirkende til sosial uro mange steder i verden, blant annet i Midtøsten.

En klimaløsning forsterket i dette tilfellet de negative effektene av klimaproblemet.

Liknende dilemma står vi overfor også i andre regioner - eksempelvis Nord-Afrika. De importerer mye av maten til sin befolkning, fordi de mangler god dyrkingsmark og fornybare vannressurser. Denne importen finansieres ved salg av fossile brenslers.

– Enkelt sagt eksporterer disse regionene hydrokarboner, mens de importerer karbohydrater, skriver FAO, FNs organisasjon for ernæring og landbruk, i en fersk rapport om matvaresikkerhet. Det som gjør slike økonomier særlig sårbare er at de er eksponert mot utviklingen i to ulike råvaremarkeder. Hvis oljeprisen synker og matprisen øker, forverrer det situasjonen dramatisk. Nettopp synkende oljeetter-spørsel kan fort bli konsekvensen av en vellykket klimaomstilling.

### Katastrofale kombinasjoner

Sammenhengene er mange, og komplekse. Lavere produktivitet som følge av klimaendringer kan bety at det investeres mindre i jordbruket i store deler av verden. Særlig småbønder er sårbare for prissvingninger, og har mindre kapital til å investere i de nye produksjonsteknikkene som er helt nødvendige for å øke avlingene og redusere landbrukets betydelige CO<sub>2</sub>-fotavtrykk.

Det globaliserte matmarkedet gjør også at effektene av oppstår helt andre steder på kloden enn der avlingen slår feil. Da Russland på grunn av katastrofale avlinger innførte forbud mot eksport av hvete i 2010, bidro det til økende brødpriiser og store protester i flere afrikanske land.

Generelle økonomiske forhold, politiske virkemidler og måten matmarkedet er organisert på, påvirker i dag matvaresikkerheten både i lokal, regional og global skala.

– Dette komplekse systemet av ulike risikofaktorer kan anta ulike former, og potensielt kollidere i katastrofale kombinasjoner, skriver forskeren Tim Wheeler. Nettopp disse kollisjonene av faktorer må verdens beslutningstakere være særlig årvåken overfor.

Klimaløsninger handler ikke om å rive ned, men om å bygge opp. Målet for verdens ledere må være nye og mer helhetlige løsninger som fikser flere problemene på en gang. Vet vi at det haster: En omfattende omstilling er nødvendig i løpet av det neste tiåret. Samtidig må vi huske hva klimaproblemet er: Et stort problem ingen forutså. Verdens fattiges tilgang til mat, må ikke bli en ny blind flekk på veien mot det globale lavutslippssamfunnet. Vi må bevege oss raskt, men samtidig varsomt, mot en smartere verden.



# DOMINOEFFEKTER I MATMARKEDET

## BEFOLKNINGSVEKST, MARKEDSREGULERINGER OG ETTERSPOERSEL

SPILLER SAMMEN MED KLIMAENDRINGENE OG PÅVIRKER PRISDANNELSEN  
I DET GLOBALE MATMARKEDET

### Tilgang til vann

Tilgang til vann er avgjørende for produktiv matproduksjon. Mange steder synker grunnvannstanden alarmerende, som følge av overforbruk og mangel på naturlig nedbør.

### Bruk av matressurser

Politiske virkemidler påvirker bruken av matråstoffer. Minst 35% av amerikansk maisproduksjon går eksempelvis til produksjon av biodrivstoff. Det er også av stor betydning hvor mye av maten som brukes til dyrefor.

### Tilgang til dyrkbart areal

Tilgangen til dyrkbart areal er en viktig faktor for matproduksjonen i verden. Både tørke, flom og havstigning kan ødelegge områder for matproduksjon i verden, men varmen kan også øke produktivitene i enkelte områder. Omdanning av skogområder til landbruksproduksjon øker også CO<sub>2</sub>-nivåene i atmosfæren.



### Etterspørsel

Endringer i markedene påvirker hvilke matprodukter som etterspørres. En større middelklassebefolkning i India og Kina bidrar eksempelvis til større etterspørsel etter kjøttvarer, som har langt større klimafotavtrykk.

### Sykdom og skadedyr

Sykdommer og skadedyr kan ta knekken på store avlinger. Enkelte anslag tilsier at over 30 prosent av globale avlinger går tapt i snitt årlig. Forskning viser at klimaendringene øker antallet av sykdommer og parasitter, særlig i det som i dag er kalde områder.

### Ekstreme værhendelser

Ekstremvær, i form av tørke og flommer, kan ødelegge avlingene i store områder. Flere millioner mål gikk for eksempel tapt under syklonen som rammet India høsten 2013.

### Handelsreguleringer

I en verden med økende gap mellom etterspørsel og produksjon er det fare for handelsreguleringer som rammer tilgangen til råvarer på verdensmarkedet. Et eksempel: Da hveteavlingen ble rammet av tørke og brann, i Russland i 2010/2011 reduserte det mengden hvete på verdensmarkedet med 15 millioner tonn, med prisstigning som resultat.



# MATPRODUKSJON I EN VARMERE VERDEN

## KLIMAENDRINGENE RAMMER ULIKT.

HER ER HVA FORSKNINGEN SIER OM FREMTIDSUTSIKTENE I ULIKE DELER AV VERDEN.

Hvordan klimaendringene slår ut på vegetasjon er et viktig og sammensatt forsknings-tema. Det er to grunner som gjør at ulike plantearters respons på økende CO<sub>2</sub>-innhold i luften, høyere temperatur og - noen steder - økt fordampning er viktig for forskerne:

- Hvor mye av utslippene som fanges av naturen påvirker hvor mye av drivhusgassene som forblir i atmosfæren.
- Planters produktivitet har stor betydning for matvaresikkerheten i en fremtid preget av oppvarming.

Det er fortsatt usikkerhet på dette feltet. Økende CO<sub>2</sub> kan være positivt for fotosyntesen for mange arter, og enkelte arter tåler samtidig tørke bedre når CO<sub>2</sub>-innholdet øker. Samtidig viser eksperimenter at denne effekten kan reverseres av økende varme. I marginale områder kan effekten bli sterkt reduserte avlinger.

Kilder: Denne fremstillingen bygger på en lang rekke forskningskilder. Klikkbare lenker vil publiseres på nettstedet tograder.no

En fersk gjennomgang av forskning på planteproduktivitet i Afrika og Sør-Asia viser at det trolig vil bli nedgang i produktivitet både for mais, hvete, durra og hirse. Dette er blant de viktigste kornsortene i verden. Andre arter som ris, sukkerroer og cassava viser i denne studien ikke tilsvarende sensitivitet for temperaturendringer, men særlig ris er til gjengjeld utsatt for ekstreme værhendelser. I andre områder, som nord i Europa, kan konsekvensen bli større produktivitet - men også større fare for plantesykdommer og ekstremvær.

Bildet er komplekst, og preget av usikkerhet, men systematisk forskning gjør oss i bedre stand til å forstå prosessene. Enkelte steder har kunnskapen allerede medført at man bytter til mer produktive plantesort, som øker avlingene i et varmere klima.

### Sør-Europa

I Sør-Europa og Middelhavetsområdene vil man oppleve både store temperaturøkninger og redusert nedbørsintensitet, noe som vil kunne påvirke matsikkerheten. De alvorligste endringene vil trolig inntreffe mot midten av århundret. Enkelte arter, som oliven, vil muligens ikke være mulig å dyrke enkelte steder. Det trengs betydelig forbedring av irrigasjonssystemer.

### USA

Den amerikanske befolkningen vil trolig vokse med opp mot 120 millioner mennesker mot 2050. Amerikanske forskere forventer mer ekstremvarme og tørke, og flere tilfeller av ekstremnedbør. Dette betyr tilbakegang i viktig landbruksregioner i landet. Forskerne har for eksempel estimert at delstaten California vil kunne oppleve 10-30 prosent reduksjon i produksjonen av solsikke, hvete, tomater, ris, bomull og mais.

- Økningen i tilfeller av ekstremvær kommer i økende grad til å få negative konsekvenser for landbruket, fordi vi allerede har passert kritiske grenseverdier, skriver amerikanske myndigheter selv.

### Sør-Amerika

Sør-Amerika kan få betydelige utfordringer med klimaendringer, da mange viktige landbruksvarer i regionen er følsomme for temperaturendringer. Selv en moderat økning på 1-2 grader kan redusere avlingene for blant annet mais, soya og kaffe. Enkelte studier konkluderer med at soyaproduksjonen, som står for mye av verdens dyrefor, kan reduseres med 25 prosent de neste 20 årene. Potet og quinoa er blant artene som tåler temperaturendringene godt.

## HAVOMRÅDER I ENDRING

**1. TORSKEN SLITER I VARME ÅR**  
**Beringhavet:** Både Alaskasei og Stillehavstorsk har redusert produktivitet i år med mye varme. Dette er en av konklusjonene i en spesialutgave av tidsskriftet Deep Sea Research. Temaet er hvordan kalde og varme perioder påvirker økosystemene utenfor kysten nord i Nord-Amerika. Endringene i økosystemet kan få konsekvenser for amerikanske fiskere.

**2. KRILL I KRISE**  
**Weddelhavet:** Krill i Sørishavet, særlig området rundt Sør-Georgia, kan oppleve dramatisk nedgang ved økende havtemperaturer. Det vil ramme både fiskeindustrien og økosystemene hardt. Rundt 1 grad økende vanntemperatur er allerede registrert. Krill trenger dypt vann med lav surhetsgrad, og spesielle temperaturforhold for at eggene skal klekkes, og sjøis for å at larvene skal få næring.

**3. TUNFISK PÅ FLYTTEFOT**  
**Stillehavet:** I de østlige delene av det tropiske Stillehavet, forventes økte fangster av økonomisk viktige tunfiskarter, mens vestlige deler vil oppleve reduserte fangster. I øystatene her er fisk en ekstremt viktig matkilde, og endringene kan påvirke matsikkerheten i enkelte områder. I de syv øystatene som er undersøkt står tunfisk for mellom 3 og 40 prosent av de nasjonale inntektene.



**Nord-Europa**

Skandinavia, deler av Nord-Europa kommer heldig ut av klimakrisen når det gjelder matproduksjon. Økningen i CO2 styrker veksthastigheten, og temperaturøkning bidrar til å øke produktiviteten og forlenge sesongen. Det kan også bli mulig å dyrke nye arter. De positive effektene av klimaendringene gjelder et visst punkt. De verste klimascenarioene tilsier at det også kan bli produktivetsreduksjoner mot slutten av dette århundret. Økende nedbørsintensitet vil i enkelte områder gjøre forholdene vanskeligere for landbruket.

**Russland**

Russland måtte i 2011 forby eksport av hvete og rug etter en omfattende hetebølge. Klimaendringer vil kunne ha både positive og negative resultater for Russland. De vil kunne utvide landbruksvirksomheten i store områder mot nord, men produktiviteten vil synke på grunn av mindre fruktbar jord. Lenger sør vil klimaet kunne bli langt tørrere, som vil ha motsatt virkning. Det vil her kunne bli knappere med vannressurser.

**Asia forørrvig**

Forskning utført for US Aid viser at Vietnam, Kambodsja, Thailand og Laos kan oppleve mellom 4-6 grader varmere klima innen 2050. Regionen i nedre del av Mekong-elven kan oppleve økt ekstremnedbør, som går ut over risproduksjonen. Her bor rundt 100 millioner mennesker, og forskerne frykter mer feilernæring i årene fremover.

**Kina**

Ekstremvær, ekstreme værhendelser og sykdomsutbrudd har de siste årene påvirket landbruksproduksjonen i Kina. Tørken i 2011 økte matvareprisene i hele verden. Likevel er Kina regnet som relativt tilpasningsdyktig til klimaendringer, ikke minst som følge av synkende folketall. Endringer i kinesiske spisevaner gjør at beiteland og dyreproduksjon er en knapphetsfaktor. Hvete blir trolig vanskeligere å dyrke i nordlige områder på grunn av økende temperatur.

**Afrika**

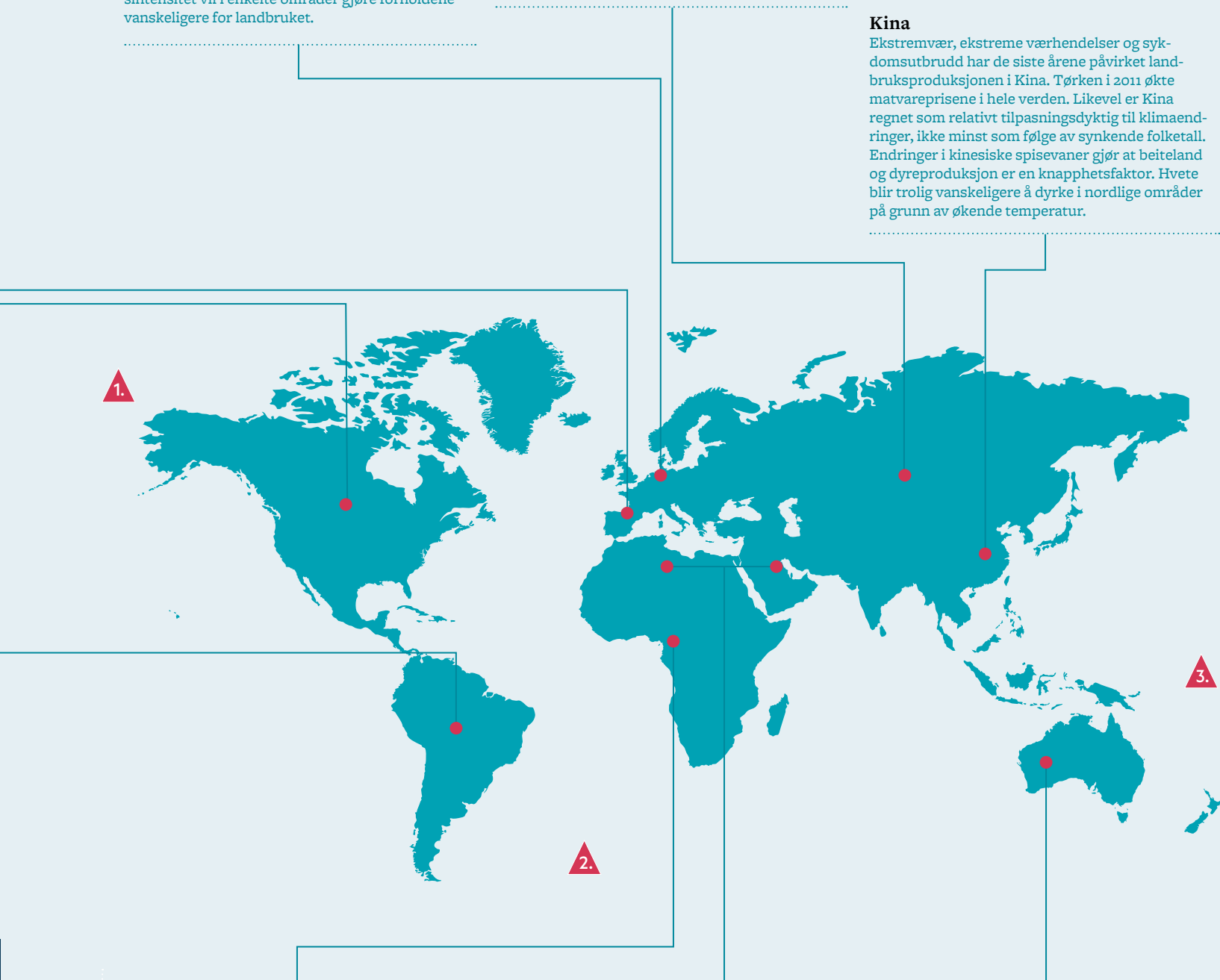
Rundt 18 millioner mennesker i Sahel-regionen er allerede i dag i risikozonen når det gjelder sult og feilernæring. Det gjør Afrika til et kontinent som er dårlig rustet til å møte endringer i produktivitet og sykdomsutbrudd. I en gjennomgang av hvordan ulike avlinger vil påvirkes av klimaendringene, fremkommer det at produktiviteten i gjennomsnitt vil synke med rundt 8% frem mot 2050. Endringene rammer særlig hveteavlinger, mais og sorghum. Enkelte andre arter er mer robuste. Matproduksjonen i denne regionen er preget av mange småbønder, og både småsamfunn og storbyer er sårbare. Vestafrika vil kunne oppleve mer regn, og bedre avlinger - men ikke nok til å dekke økende etterspørsel fra en sterkt voksende befolkning.

**NordAfrika og Midtøsten**

Midtøsten og Nord-Afrika rammes hardt av klimaendringene, og hvis temperaturøkningen blir tilstrekkelig høy kan nedgangen i produktiviteten bli over 30 prosent for ris og mais, og 20 prosent for hvete. Dette er en region med stor matimport i utgangspunktet.

**Australia**

Australia har etter 1960 opplevd en dramatisk økning i varmerekorder, og i vestlige deler har nedbørsmengden blitt redusert med 15% siden midten av søttallet. Landbruksproduksjonen vil kunne påvirkes av økt hyppighet av ekstremvær. Viktige landbruksområder i sør vil kunne oppleve mer tørke.





# “DØDELIG TRIO” TRUER HAVET



KOMBINASJONEN AV VARMERE VANN, SYNKENDE OKSYGENNIVÅER OG FORSURING **UTGJØR EN STOR TRUSSEL MOT LIVET I HAVET**, VISER NY FORSKNING.

Hvert år høstes 80 million tonn fisk fra verdens hav, en svært viktig matkilde i mange regioner. I fattige land er mange mennesker avhengig av fisk som proteinkilde. Over hele verden øker befolkning langs kysten, noe som gjør at etterspørselen etter marine mat-sorter kan øke med mer enn 50 prosent frem mot 2050. Vil man kunne dekke inn denne etterspørselen i en varmere verden?

## En alarmklokke

Om man ser kun på havtemperaturen isolert viser studier at produktiviteten i enkelte havområder vil øke, mens den vil svekkes andre steder. Men forskerne er i økende grad bekymret for kombinasjonen av stressfaktorer. Særlig bekymringsfullt er samspillet av det enkelte forskere har begynt å kalle “den dødelige trioen”: Varmere havtemperaturer, reduserte oksygenivåer og havforsuring. Dette kommer i tillegg til at mange fiskebestander allerede er overbeskattet.

– Hvis FN-rapporten om klimaendringer er en vekkerklokke, er tilstanden i marine økosystemer en øredøvende alarm, sa den sør-afrikanske politikeren Trevor Manuel da rapporten State of the Ocean ble lansert i høst. Publikasjonen er laget av en gruppe

forskere, blant annet fra Universitetet i Oxford. Forfatterne hevder at dagens pH-verdi kan sammenliknes med den varmeste perioden i tidsepoken Paleocene-Eocene, for 55 millioner år siden. Dette var en tid da mange marine arter ble utryddet. Forskjellen, i følge forskergruppen, er at dagens endringer skjer enda fortere.

## - Rammer ulikt

Svein Sundby ved Havforsknings-instituttet er en av hovedforfatterne i den neste FN-rapporten om virkninger av klimaendringene, som lanseres til våren. Sammen med internasjonale kollegaer har han gått gjennom det meste av forskningslitteratur på området. Sundby er enig i at kombinasjonen av ulike stressfaktorer kan få stor betydning mange steder, men påpeker samtidig at de kan få svært ulike konsekvenser avhengig av hvilket havområde det er snakk om.

– I noen områder vil de ulike stressfaktorene forsterke hverandre, og produktiviteten i havet vil reduseres, slik Manuel hevder. Andre områder vil ikke rammes like hardt, sier Sundby.

Selv om det har vært oksygenvikt i enkelte fjordområder på Sørlandet, er eksempelvis

## PÅ KUNNSKAPSFANGST:

Marint forskningstokt med RV Lance, Norsk Polarinstittutt, i Liefdefjorden på nord-Svalbard.

Foto: Haakon Hop, Norsk Polarinstittutt

de store havområdene utenfor norskekysten blant de mest oksygenrike i verden. Men varmere vann gir også andre utfordringer, for eksempel nye arter som kommer inn i nye områder og endrer balansen i etablerte økosystemer.

## Makrellen er kommet - til Svalbard

Forsker Haakon Hop ved Norsk Polarinstittutt var blant dem som for fem år siden forutså at makrellen ville komme til Svalbard. I år, kjappere enn noen hadde ventet, slo spådommen til, og store mengder av en fisk vi vanligvis finner på lavere breddegrader ble fisket i Isfjorden utenfor Longyearbyen.

– Tidligere var dette et område hvor man kun fant polartorsk, som har en særlig evne til å tåle lave havtemperaturer. Med varmere vann, kommer nye arter. Først så vi lodde, deretter sild, og i år kom makrellen. Den har i stor grad overlappende diett med både polartorsk og torsk, noe som i praksis gjør den til konkurrent i næringskjeden.

– Er det grunn til bekymring?

– Når det gjelder polartorsken er det stor grunn til bekymring. Nye og konkurrerende arter forringer leveområdet. På Svalbard



# TRE TRUSLER MOT MARINE ØKOSYSTEMER

## 1. GLOBAL OPPVARMING

Kloden er inne i en periode av oppvarming. Havet tar opp 80-90 prosent av varmeenergien forårsaket av drivhuseffekten.

## 2. ØKENDE CO<sub>2</sub>-METNING

Deler av CO<sub>2</sub>-utslippet tas opp av havet, og danner karbonsyre. pH-verdien synker. Dype havområder på høye breddegrader, for eksempel utenfor Norge, er særlig utsatt, blant annet fordi kaldt vann tar opp mer CO<sub>2</sub> enn varmt vann.

Oksygennivået i havet reduseres flere steder, og i enkelte områder er det også en økende utbredelse av "dødt hav". Reproduksjonen hos ulike krepsdyr er særlig sårbare fordi eggene trenger gode oksygenforhold for å utvikle seg. Fisk og andre organismer som lett kan bevege seg, vil forlate områder med for lite oksygen hvis de kan.

Effektene av varmere hav varierer mellom områder. Forskning viser at mange fiskebestander ekspanderer til kaldere områder i takt med at havtemperaturen øker. Noen steder kan nye arter utkonkurrere etablerte arter, og økosystemet endres.

## 3. SIRKULASJONS- ENDRINGER OG OVERGJØDNING

Havet er preget av stadig sirkulasjon mellom kaldt oksygenholdig vann i overflaten og varmere vann i dypet. Med økende varme i overflaten reduseres denne effekten, og man får lag av vann med lite oksygen. Med mindre næring fra havdypet, blir det dårligere grunnlag for oksygenproduserende plankton i overflaten. Gjødning og kloakk som renner ut i havene bidrar til algeoppblomstring, som reduserer oksygennivået ved nedbrytning.

Et surere hav påvirker særlig dyr som er avhengige av kalk for å bygge skall eller skjell. Det gjelder spesielt noen planktonarter, snegler og muslinger, sjøstjerner, kråkeboller og koraller. Det er fortsatt mye forskning som gjenstår på effektene av forsuring for andre arter.

TEMPERATUREN ØKER

SUMMEN AV ENDRINGENE

kan bli alvorlige for det marine livet i mange havområder.

OKSYGENNIVÅET SYNKER

PH-VERDIEN SYNKER



er polartorsken en nøkkelart i det marine økosystemet. Endringene kan få ringvirkninger for både fiskespisende sjøfugl og marine pattedyr, sier Hop.

Klimaendringene har i andre arktiske områder vist seg å få store konsekvenser. I Hudson Bay har loddebestanden økt, mens polartorsken reduseres. For sjøfugl har det betydning fordi lodden svinger voldsomt i antall med perioder på ca. 5 år. Den representerer en langt mer ustabil matkilde.

– Endringene henger sammen med generell oppvarming av vannmasser, men også med at isen kommer senere på høsten og forsvinner tidligere om våren. Isen er nødvendig for produksjonen av is-alger, som er viktig for arktisk dyreplankton og isfauna når økosystemet våkner til liv om våren, sier

Haakon Hop. Dermed får klimaendringene konsekvenser i hele næringskjeden, fra encellede organismer til isbjørn.

### Flere faktorer spiller sammen.

Mange prosesser virker altså sammen, noe som gjør det krevende for forskerne å forutsi alle endringene som kan komme som følge av klimaendringene. Vil for eksempel gyteområdene i norske farvann flytte seg nordover og østover, inn i russisk fiskerisone? Det kan få stor betydning for en viktig norsk næring. I lengre perspektiv kan havforsuring representere den største trusselen. Forsuring rammer særlig arter som bruker kalsiumkarbonat til å bygge skall. Ulike skjellarter, krabber, koraller og enkelte planktonarter, som vingesnegl, er særlig utsatt. Slike arter finnes på

alle nivåer i næringskjeden. Nå undersøker norske forskere hvordan forsuring slår inn på andre arter. Hvis for eksempel planktonarter som raudåte og den større ishavsåta påvirkes av forsuringen, vil det kunne få stor betydning også i våre områder, fordi dette er viktig næring for fiskeyngel.

– De nordlige havområdene, og spesielt de arktiske områdene, er trolig de som vil oppleve konsekvensene av forsuring først og sterkest, siden kaldt vann tar opp mer CO<sub>2</sub> enn varmt vann. Vi vet en god del om konsekvensene for skallorganismer, men med mindre om andre arter. I Norge, har vi forsket på havforsuring i knappe ti år, og vi trenger fortsatt tung forskningsinnsats for å kunne si noe sikkert om konsekvensene, sier Svein Sundby ved Havforskningsinstituttet.





## TOGRADER.NO

Alt innholdet du har lest i dette magasinet finner du også på nett. Innsiktsfulle artikler om det komplekse klimaspørsmålet, kvalitetssikret av verdensledende klimaforskere.

**LES** | artiklene via pc, lesebrett eller mobil – og øk din egen kunnskap!

**OBSERVASJONER** | Oppdater deg på klimaets utvikling.  
**EFFEKTER** | Lær mer om konsekvenser av klimaendringene.  
**INNSIKT** | Forstå mer av prosesser og sammenhenger i klimaforskningen.  
**HANDLING** | Hva skal til for å nå togradersmålet?

**DEL** | via sosiale medier, og gi flere mulighet til å øke sin forståelse.

**LAST NED** | alle figurer og grafiske fremstillinger som er på trykk i dette magasinet. Bruk dem fritt i presentasjoner og undervisning!

# 2013



UTGITT AV:



**Norsk Klimastiftelse**  
 NORWEGIAN CLIMATE FOUNDATION

I SAMARBEID MED

