

Klimaendringer og klimapolitikk

Knut H. Alfsen, Hans H. Kolshus og Asbjørn Torvanger

August 2000

CICERO

Center for International
Climate and Environmental Research
P.O. Box 1129 Blindern
N-0318 Oslo, Norway
Phone: +47 22 85 87 50
Fax: +47 22 85 87 51
E-mail: admin@cicero.uio.no
Web: www.cicero.uio.no

CICERO Senter for klimaforskning

P.B. 1129 Blindern
0318 Oslo
Telefon: 22 85 87 50
Faks: 22 85 87 51
E-post: admin@cicero.uio.no
Nett: www.cicero.uio.no

Sammendrag

Klimaproblemet er en stor politisk og vitenskapelig utfordring av flere grunner:

1. Det er stor usikkerhet knyttet til flere sider av klimaproblemet, så som framtidige utslipp av klimagasser, klimasystemets respons på disse utslippene, og virkninger av klimaendringer.
2. Det er likevel sannsynlig at menneskeskapte utslipp av klimagasser, avskogning, o.l. vil føre til merkbare klimaendringer i tiden som kommer. Dette vil kunne merkes som økt hyppighet av ekstreme vær-situasjoner. Dette ser ut til å være en større trussel enn en gradvis økning i temperaturer og nedbør.
3. Siden klimasystemet er stort og reagerer forholdsvis tregt på endringer i f.eks. klimagassutslipp, kan klimaproblemet bare løses ved langsiktige tiltak.
4. Klimaendringene kan ha en irreversibel karakter.

I en slik situasjon med stor usikkerhet og potensielt store, langsiktige og irreversible konsekvenser av dagens handlinger, er en fornuftig kortsiktig strategi å sikre *maksimal fleksibilitet* framover. Dette kan gjøres ved å 'sette ned farten' (dvs. redusere utslippene), og ved å unngå irreversible handlinger så langt råd. På lang sikt er utfordringen å utvikle et økonomisk forsvarlig alternativ til dagens fossil baserte energisystem som tillater karboneffektive teknologier å konkurrere prismessig med kull og ukonvensjonell olje og gass.

Norge er i en spesiell situasjon i klimasammenheng siden vi er storeeksportør av fossile brensler samtidig som vi liker å framstå som ansvarsbevisste i miljøsammenheng. Denne kombinasjonen tilsier at Norge kan komme til å pådra seg store kostnader og det er derfor viktig for Norge å kunne innfri miljømålsettinger, som for eksempel Kyotoprotokollen, til lavest mulig kostnad. Kostnadene kan reduseres ved å:

1. minimere tiltakskostnader i Norge,
2. arbeide for at den internasjonale kvoteprisen blir så lav som mulig, og
3. redusere bortfallet av petroleumsinntekter så mye som mulig.

I denne rapporten beskriver vi kort jordas klimahistorie, drivkrefter bak klimaendringer og hvordan framtidsutsiktene ser ut. Videre gis det en gjennomgang av hva vi gjør for å begrense klimagassutslippene på den internasjonale såvel som den regionale arena i form av avtaler og utvikling av egnede virkemidler i klimapolitikken. Til slutt i rapporten prøver vi å peke på hvilke hovedutfordringer vi står overfor på kort og lang sikt, og hvilke prioriteringer vi bør gjøre i klimapolitikken.

Nøkkelord: Klimaendring, forhandlinger, Kyotoprotokollen, klimapolitikk, scenarier, Norge

Innhold

1	HVA ER KLIMA OG KLIMAPROBLEMET?	1
1.1	Definisjon av klima	1
1.2	Hva er 'klimaproblemet'?	2
1.3	Om drivhuseffekten	4
1.3.1	<i>Noe mer detaljert om drivhuseffekten</i>	5
1.4	Klimaproblemet som ett forsikringsproblem	7
2	KLIMA I TIDLIGERE TIDER	11
2.1	Noen metoder og 'arkiv' for bestemmelse av tidligere tiders klima	11
2.1.1	<i>Historiske kilder</i>	11
2.1.2	<i>Treringer</i>	11
2.1.3	<i>Forekomst og utbredelse av isbreer</i>	11
2.1.4	<i>Pollenforekomster, flora og fauna</i>	11
2.1.5	<i>Isotop termometre</i>	11
2.2	Klima siden jordens skapelse	12
2.3	Siste istidsperiode	13
2.4	Siden siste istid	14
2.5	Siste 1000 år	14
2.6	Siste 150 år	15
3	SER VI MENNESKESKAPTE KLIMAENDRINGER NÅ?	17
4	FRAMOVER: NYE SCENARIER FRA IPCC	19
4.1	Fire scenarie-familier	19
4.1.1	<i>A1 – en "rik" verden</i>	19
4.1.2	<i>A2 – en "delt" verden</i>	19
4.1.3	<i>B1 – en "bærekraftig" verden</i>	20
4.1.4	<i>B2 – en "teknologisk skjev" verden</i>	20
4.2	Utslipp	20
4.3	Klimaendringer	21
5	KLIMAPOLITIKK: PROSESSER OG FORSLAG	25
5.1	Hva gjør vi med klimaproblemet internasjonalt?	25
5.1.1	<i>IPCC</i>	25
5.1.2	<i>UNFCCC (Klimakonvensjonen)</i>	27
5.1.3	<i>Berlin-mandatet</i>	28
5.1.4	<i>Kyotoprotokollen</i>	28
5.1.5	<i>Betydningen av COP6</i>	30
5.2	Hva gjør vi med klimaproblemet: Forslag om kvotesystemer nasjonalt og regionalt	30
5.2.1	<i>Norge</i>	30
5.2.2	<i>Sverige</i>	31
5.2.3	<i>Kvoter i EU</i>	32
5.2.4	<i>Danmark</i>	33
5.2.5	<i>UK</i>	34
5.3	Politikk-scenarier til 2012 (første Kyoto-periode)	34
5.3.1	<i>Kyoto-protokollen ratifiseres av USA og andre land slik at den trer i kraft</i>	34
5.3.2	<i>Kyoto-protokollen ratifiseres ikke av USA, men av EU/Russland/Ukraina slik at den trer i kraft; USA følger i noen grad opp</i>	35
5.3.3	<i>Nasjonal klimapolitikk uten Kyoto-protokollen</i>	35
5.4	Politikk-scenarier etter 2012	35

5.4.1	<i>Hva skal til for å stabilisere klimagasskonsentrasjonene på lang sikt?</i>	36
5.4.2	<i>Mulige klimamål for industrilandene i Kyoto-perioder etter 2012</i>	37
5.4.3	<i>Framtidig byrdefordeling og forpliktelser for utviklingslandene</i>	38
6	HVA BØR VI GJØRE I DAG?	41
6.1	Allmenn teknologiutvikling	41
6.2	Oljeteknologi og maritim teknologi fra kontinentalsokkelen	41
6.3	Gassutvinning og gasskraft i Norge.....	42
6.4	CO ₂ deponering	42
6.5	Varmepumper.....	43
6.6	Nye fornybare energikilder.....	44
7	SAMMENDRAG OG KONKLUSJON	47
7.1	Norge som olje- og gassnasjon	47
7.2	Oppsummering	48
	REFERANSER	49
	APPENDIKS	51

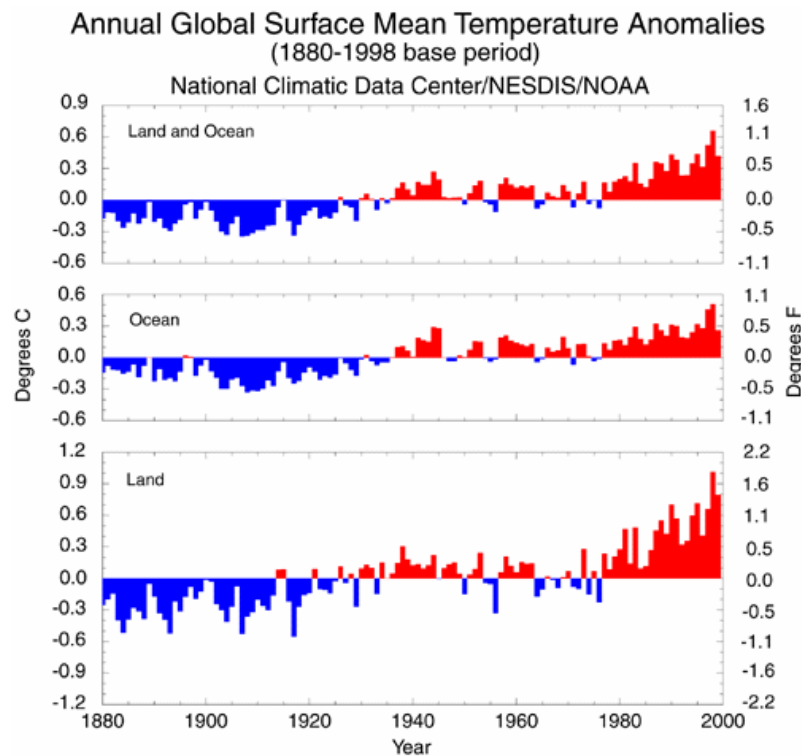
1 Hva er klima og klimaproblemet?

1.1 Definisjon av klima

Klima er det midlere, eller gjennomsnittlige, været. Noen ganger snakker man om lokalklima, andre ganger er det snakk om klima i større regioner eller endog hele kloden. Da må man i tillegg til å midle været over tid også midle over den geografiske utbredelsen.

I meteorologien definerer man gjerne 'normalen' av en målt størrelse som gjennomsnittet over en tretti års periode, f.eks. 1961-1990. Avvik fra denne normalen betegnes som 'anomalier' og kan, om de vedvarer lenge nok, tolkes som endringer i klima.

Hvilke størrelser er så av størst betydning når en skal karakterisere klimaet? Her er den mulige listen over størrelser eller parametre lang, og ulike fagfolk vil ikke alltid være enige om hvilke størrelser som bør være med. Alle er likevel enige om at temperatur og nedbør er blant de viktigste. Andre kandidater er luftfuktighet, vindstyrke og -retning, trykkforhold og skydekke og solinnstråling. I global sammenheng er det likevel temperaturen som blir brukt som en indikator på langtidsutviklingen i klimaet, se Figur 1.1. På samme måte som det er andre forhold i tillegg til temperatur som er med på å definere et klima, er det også slik at variabiliteten i disse parameterene vil være viktige karakteristiske trekk ved klimaet. Dette er fordi skader som følge av 'dårlig vær' oftest vil være knyttet til ekstremisituasjoner som svært sterk vind eller svært mye eller lite nedbør over lengre tid. Vi vil derfor normalt være opptatt av mulige endringer i ekstremværet vi kan oppleve.



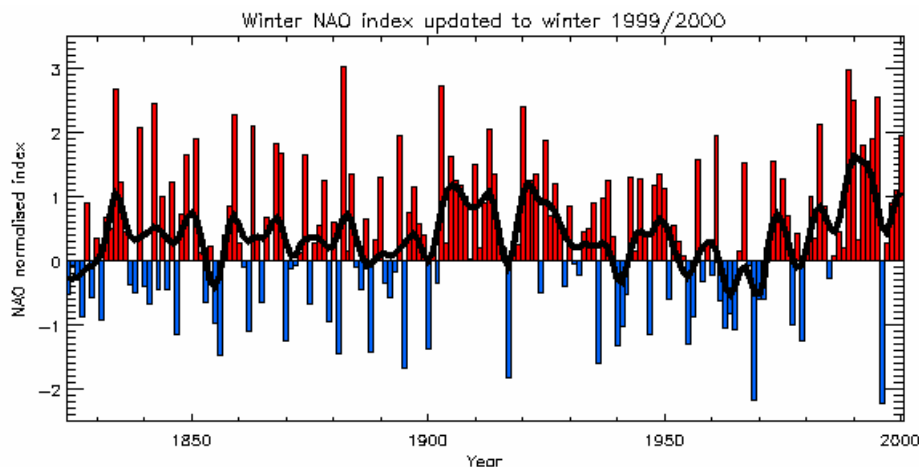
Figur 1.1. Avvik i global middeltemperatur over land og hav fra 1880 til 1999 målt relativt til gjennomsnittstemperatur over perioden 1880-1998.

Kilde: <http://www.ncdc.noaa.gov/ol/climate/research/1999/ann>

1.2 Hva er 'klimaproblemet'?

Jordens middeltemperatur er i dag om lag 15 °C. Dette er ca. 33 °C varmere enn jorden ville ha vært om den var uten atmosfære. Atmosfæren inneholder komponenter, gjerne kalt drivhusgasser, som slipper kortbølget stråling fra sola inn, men i noen grad hindrer langbølget varmestråling fra jordoverflaten å slippe ut (se avsnitt 1.3 om drivhuseffekten). Denne naturlige drivhuseffekten er en forutsetning for at jorden i det hele tatt er beboelig. Blant drivhusgassene er vanddamp viktigst, men også andre komponenter som karbondioksid (CO₂), metan (CH₄) og lystgass (N₂O) har gjennom jordens levetid bidratt til den naturlige drivhuseffekten. I dag blir denne effekten forsterket ved at menneskelig aktivitet har økt forekomsten av en lang rekke drivhusgasser i atmosfæren langt utover hva som kan sies å ha vært et naturlig variasjonsområde de siste hundre tusener av år.

Den årlige middeltemperaturen varierer selvsagt mye mellom de ulike klimasonene fra tropene og til polområdene. Klimaet er også karakterisert ved ulike nedbørsmønstre og vind- og trykksystemer som beveger seg langs mer eller mindre veldefinerte baner. Endelig finner man i naturen periodiske oscillasjoner med ulik lengde. Utover sesongmessige fenomener er kanskje El Niño/La Niña svingningene i Stillehavet de mest kjente. Men også i våre nærområder har vi periodiske svingninger mellom ulike værtyper med periodisitet på rundt 10 år. Denne svingningen kalles the North Atlantic Oscillation (NAO) og indikeres med trykkforskjellen mellom lavtrykksområdet ved Island og høytrykksområdet ved Azorene, se Figur 1.2. Perioder med lav eller høy NAO-indeks er eksempler på ulike strømningsregimer, og endringer i hyppighet og styrke av slike er også et aspekt ved klimaendringer.



Figur 1.2 indeks for den nord-atlantiske oscillasjonen. Kilder: Jones P D, Jonsson T and Wheeler D (1997) Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland. *Int. J. Climatol.* 17, 1433-1450. Lastet ned fra http://www.cru.uea.ac.uk/~timo/projpages/nao_update.htm.

Det er mange faktorer som er med på å bestemme klimaet på jorden. Delvis er det snakk om ytre drivkrefter som sollys som følge av endringer på sola og endringer i jordbanen, og delvis er det snakk om en indre dynamikk i et samspill mellom ulike delsystemer som atmosfære, hav, biosfære, snø og is. Disse faktorene og del-systemene er i mange tilfeller i seg selv svært komplekse, og er koplet sammen på måter som enten kan forsterke eller svekke endringer i ytre drivkrefter. I studiet av jordens klima står vi med andre ord overfor del-systemer eller komponenter som ofte er koplet sammen på en ikke-lineær måte. Slike ikke-lineære systemer er

kjent for å kunne oppvise overraskende oppførsel i den forstand at selv en liten forstyrrelse et sted kan medføre store endringer i andre deler av systemet. I klimasammenheng betyr dette at selv om vi skulle få svært god kunnskap om de enkelte drivkreftene og del-komponentene som påvirker klimautviklingen, vil sammensetningen og sammenkoplingen av del-komponentene likevel kunne gjøre det svært vanskelig å forutsi klimautviklingen. Dette er et grunnleggende forhold som gjør klimavitenskapen meget utfordrende og bidrar til at grunnleggende *usikkerhet* er en integrert del av klimaproblemet.

Til tross for de mange og komplekse koplingene som finnes mellom de ulike komponentene kan det være nyttig å liste opp de viktigste drivkreftene bak klimaendringer på jorden. En liste kan se slik ut:

- Variasjon i solutstrålingen (solkonstanten)
- Kontinentenes form og plassering på jorden
- Variasjoner i jordens bane rundt solen
- Variasjon i jordens albedo (refleksjonsevne) som følge av endringer i snø- og isdekke, skydekke, endringer i vegetasjon, osv.
- Endringer i sammensetningen av jordens atmosfære som følge av
- vulkansk aktivitet
- kjemiske prosesser knyttet til nedbør og forvitring av stein
- fotosyntese og forråtnelse av biologisk materiale
- utslipp av drivhusgasser og partikler og partikkeldannende gasser

Disse drivkreftene opererer på mange forskjellige tidsskalaer, fra et geologisk perspektiv på millioner av år og ned til det helt kortsiktige som menneskeskapte utslipp av partikler. De fleste drivkreftene er naturlige, det er bare utslipp av drivhusgasser og albedo som i noen grad blir påvirket av menneskelig aktivitet. (Se avsnitt 1.3 om drivhuseffekten).

Naturlige variasjoner i drivkreftene har ført til store klimavariasjoner i tidligere tider. Disse variasjonene har for det meste skjedd langsomt over lange tidsspenn, men vi ser også spor etter langt raskere og dramatiske klimaendringer. Ved utgangen av siste istid, for ca. 12.000 år siden, ble for eksempel den gradvise oppvarmingen avbrutt av raske og store temperaturfall i våre områder (10-15 °C over noen ti-år). Slike store og raske skiftninger ser vi også spor etter fra siste mellomistid. Det er altså ikke bare under istider at klimaet kan være ustabil. Det er derfor tegn som tyder på at klimasystemet har terskelverdier som er slik at når drivkreftene overstiger disse blir klimaresponen stor og rask. I våre områder er det særlig raske endringer i den Nord-atlantiske havstrømmen ("Golfstrømmen") som gir raske klimavariasjoner.

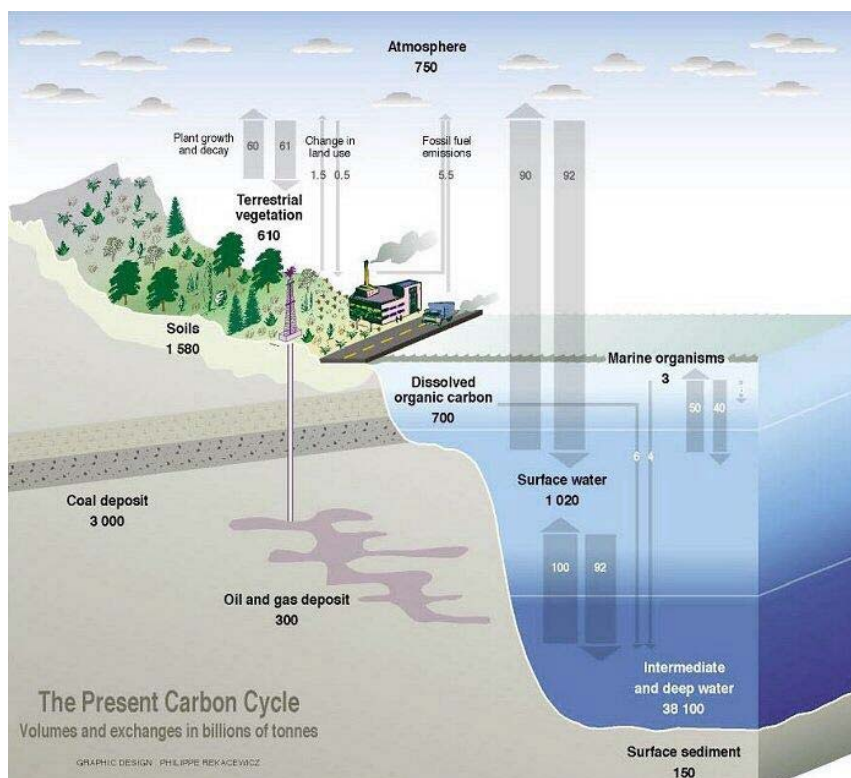
Klimaproblemet i dag er dels knyttet til faren for en rask global oppvarming på grunn av utslipp av drivhusgasser fra menneskelige aktiviteter. Imidlertid er det også en side av problemet at det relativt stabile klimaet vi har hatt på jorden siden siste istid kan bli forstyrret av den menneskeskapte drivhuseffekten på en måte som gjør klimasystemet mer ustabil med raske overganger mellom ulike klimaregimer. Det finnes indikasjoner på at klimaet har vært mer stabilt enn vanlig nettopp under den tidsepoken der menneskelig sivilisasjon har oppstått og fått rotfeste (rundt regnet de siste 7.000 år). Økt klimavariabilitet vil kunne vanskeliggjøre basale menneskelige aktiviteter som jordbruk, og trusselen om økt variabilitet er en viktig side ved klimaproblemet.

Det er mange forhold som påvirker klimaet på jorden. Av de forhold som mennesker rår over er likevel den menneskeskapte drivhuseffekten sannsynligvis den viktigste.

1.3 Om drivhuseffekten

Et forenklet bilde av drivhuseffekten er at spesielle gasser i atmosfæren, såkalte drivhusgasser, hindrer varmetransport fra jordens overflate og ut i verdensrommet. Dette fører til en oppvarming av jordoverflaten. De viktigste drivhusgassene er vanndamp (H₂O), karbondioksid (CO₂), ozon (O₃), metan (CH₄) og lystgass (N₂O) i tillegg til en lang rekke langlivete industrielle gasser som forekommer i svært små mengder (KFK, PFK, HFK, SF₆, osv.). Se egen boks om sammenveiningen av ulike drivhusgasser. Av disse er det vanndamp som dominerer. Dette er imidlertid ikke en gass som "slippes ut" i vanlig forstand, men som forekommer som følge av fordampning fra hav og jordoverflate. Mengden vanndamp i atmosfæren er også bestemt av atmosfærens evne til å holde på fuktighet som igjen er en funksjon av temperaturen i atmosfæren. En varm atmosfære kan holde på mer fuktighet enn en kald atmosfære. Mengden vanndamp i atmosfæren er derfor i stor grad bestemt av klimaet, samtidig som den virker tilbake på klimaets tilstand. Ozon er heller ikke en gass som slippes ut, men som dannes og brytes ned i atmosfære-kjemiske reaksjoner med andre komponenter. For den menneskeskapte drivhuseffekten er det derfor vanlig å konsentrere seg om de drivhusgassene som vi kan kontrollere utslippet av. Blant disse er CO₂ dominerende.

CO₂ i atmosfæren representerer bare ett av mange reservoarer for karbon på jorden. De andre er jordskorpen, hav, is og snø og i planter og dyr. Det foregår en kontinuerlig utveksling av karbon mellom alle disse reservoarene, og som regel er disse naturlige strømmene av karbon større enn det menneskeskapte utslippet til atmosfæren, se Figur 1.3.



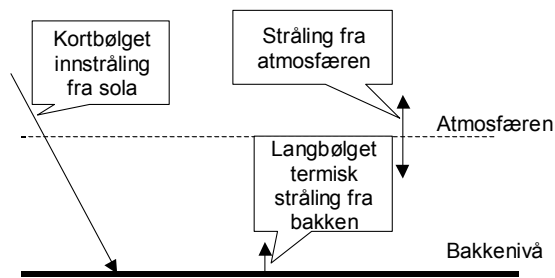
Figur 1.3. Forenklet illustrasjon av karbonsyklusen

Imidlertid er de naturlige strømmene stort sett i balanse. Det vil si at naturlige utslipp fra et reservoar motsvares av opptak i andre reservoarer. Det som kjennetegner de menneskeskapte

utslippene er at de i store trekk er enveisrettede, dvs de representerer en netto tilførsel av karbon fra de fossile reservoarene og til atmosfæren. Dermed får de, til tross av den beskjedne fluksen de representerer, en uforholdsmessig stor betydning for drivhuseffekten. Boksen på neste side viser hvordan CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren har variert over en del av jordens historie.

1.3.1 Noe mer detaljert om drivhuseffekten

Drivhuseffekten kan illustreres som i Figur 1.4. Her er innstrålingen fra sola vist. Denne gitt ved uttrykket $\frac{S_0}{4}(1 - \alpha_p)$, der S_0 er solkonstanten og α_p er jordens refleksjonsevne eller *albedo*. Den termiske strålingen fra bakken er gitt ved σT_j^4 der T_j er overflatetemperaturen og σ en faktor som oversetter den absolutte temperaturen til en strålingsintensitet. Tilsvarende er strålingen fra atmosfæren (begge veier – både nedover og oppover) gitt ved σT_a^4 , der T_a er atmosfæretemperaturen.



Figur 1.4 Forenklet illustrasjon av drivhuseffekten.

I likevekt, det vil si når temperaturen forblir konstant, må strålingen balansere både på toppen av atmosfæren, på bakkenivå og i atmosfæren. På toppen av atmosfæren må utstrålingen fra atmosfæren balansere innstrålingen:

$$\frac{S_0}{4}(1 - \alpha_p) = \sigma T_a^4 \quad (1)$$

Atmosfærebalanse gir at:

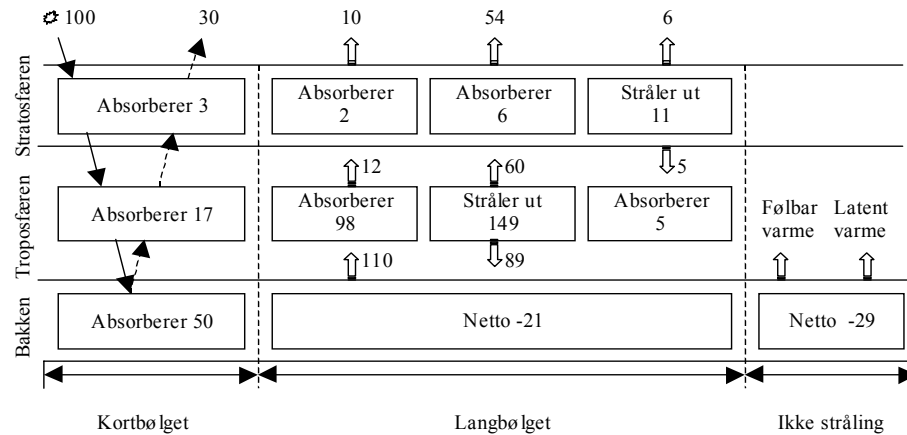
$$\sigma T_j^4 = 2\sigma T_a^4 \quad (2)$$

mens balansen på bakkenivå er konsistent gjennom at

$$\frac{S_0}{4}(1 - \alpha_p) + \sigma T_a^4 = \sigma T_j^4 \quad (3)$$

Strålingstemperaturen er anslått til 255 K^1 . Bruker vi dette finner vi fra (2) et grovt anslag på T_j lik 303 K eller om lag $30\text{ }^\circ\text{C}$. Dette er mye høyere enn den observerte temperaturen som er på ca. $15\text{ }^\circ\text{C}$, men illustrerer likevel at atmosfæren i seg selv kan virke oppvarmende på bakketemperatur.

Bilde over er sterkt forenklet. Et mer komplett bilde av strålingsbalansen er gitt i Figur 1.5.



Figur 1.5 Stråling og annen energiflyt mellom bakkenivå og noen ulike nivåer i atmosfæren. 100 enheter = 342 Wm^{-2} . Kilde: Hartmann (1994)

Et slående trekk ved figur 1.5 er at strålingsutvekslingen mellom bakke og atmosfære faktisk er større enn den innfallende stråling på toppen av atmosfæren. Dette gir en antydning av viktigheten av drivhuseffekten for jordens klima.

Ellers ser vi at jordens albedo (refleksjonsevne) på 30% gjør at bare 70% av den innfallende solstrålingen absorberes i ulike lag av atmosfæren og av bakken. Absorpsjonen i stratosfæren (3%) skyldes hovedsakelig ozon (O_3) og molekylært oksygen. Absorpsjonen i troposfæren (17%) skyldes hovedsakelig vanndamp (13%) og skyer (3%), mens CO_2 , O_3 og oksygen står for de resterende 1%.

Hoveddelen av den langbølgete utstrålingen fra bakken fanges opp i troposfæren. Her er det igjen vanndamp og skyer som bidrar mest (80%), mens CO_2 , CH_4 , N_2O og et betydelig andre såkalt drivhusgasser står for resten. Betydningen av drivhuseffekten illustreres godt av venstre del av den langbølgete delen av figuren; her ser vi at bare 10 av i alt 110 'enheter' av den langbølgete utstrålingen fra bakken slipper direkte ut av atmosfæren.

Høyre del av figuren viser varmetransport som ikke skjer som følge av stråling. Såkalt 'følbar' varme (sensible heat) står for 5 enheter, mens latent varme i form av transport av fuktig luft (kondensvarme) står for 24 enheter.

I alt sender troposfæren 89 enheter langbølgete stråling ned mot bakken. Dette er i stor grad med på å utjevne temperaturforskjeller mellom dag og natt på bakkenivå.

Den naturlige drivhuseffekten, dvs. oppvarming som følge av naturlige forekommende gasser i atmosfæren, sikrer som nevnt at jordens middeltemperatur er om lag $33\text{ }^\circ\text{C}$ høyere enn den ellers ville vært. Det vi betegner den menneskede drivhuseffekten skyldes utslipp av drivhusgasser fra menneskelige aktiviteter. Det er først i det 20. århundre at disse utslippene har

¹ K står for grader Kelvin. Null grader Celsius svarer til om lag 273 K .

påvirket atmosfærens sammensetning i særlig grad. Vi skal komme tilbake til konsekvensene av dette.

1.4 Klimaproblemet som et forsikringsproblem

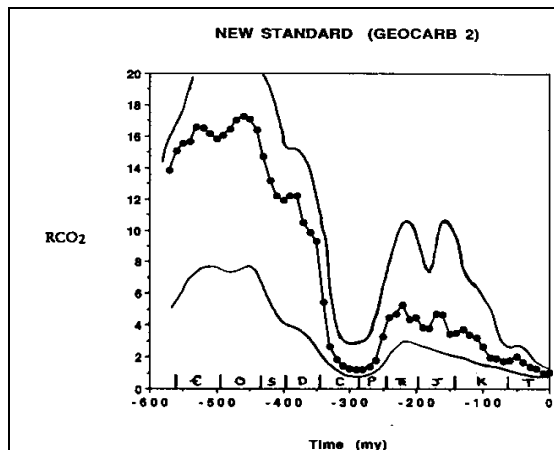
Usikkerheten om utviklingen i menneskeskapte utslipp av drivhusgasser og klimaets reaksjon på dette, samt usikkerhet om sårbarhet og skader som følge av klimaendringer, gjør klimaproblemet fundamentalt sett til et forsikringsproblem. Spørsmålet er hvor stor premie vi bør betale i dag i form av kostbare reduksjoner i klimagassutslipp og tilpasningstiltak til klimaendringer for å redusere sannsynligheten for at usikre, men sannsynligvis skadelige, klimaendringer vil finne sted. Dette er ingen lett avveining, men enkelte fornuftige forholdsregler er det likevel mulig å gi.

For det første bør man selvfølgelig gjennomføre de tiltak (i form av utslippsreduksjoner eller tilpasninger) som ikke koster noe eller hvor annen ikke-klimarelatert nytte overstiger tiltakskostnaden. Slike tilknyttede nytteeffekter av klimatiltak vil ofte være forbundet med reduksjon av lokal forurensning, men kan også ha å gjøre med forhold som trafiksikkerhet og framkommelighet for biltrafikk, sikring av statlige inntekter uten for store effektivitetstap eller rett og slett oppbyggingen av gode bomiljøer.

For det andre er det alltid fornuftig, når man står ovenfor en usikker situasjon, å unngå irreversible handlinger så langt råd er og ellers handle på en slik måte at våre fremtidige valgmuligheter blir størst mulige. En slik maksime innebærer at alle ekstreme løsninger utelukkes: Vi bør hverken iverksette svært kostbare tiltak uten nytteverdi dersom klimaproblemet skulle vise seg å være mindre alvorlig enn forventet, eller iverksette tiltak som kan medføre irreversible klimaendringer som det vil være for sent å gjøre noe med når de oppdages. En slik maksime er fornuftig også i den forstand at elementet av subjektivitet i risikovurderingene reduseres, og at vi i minst mulig grad foretar valg på vegne av fremtidige generasjoner. Vi skal senere komme noe nærmere inn på hva dette kan bety i praksis.

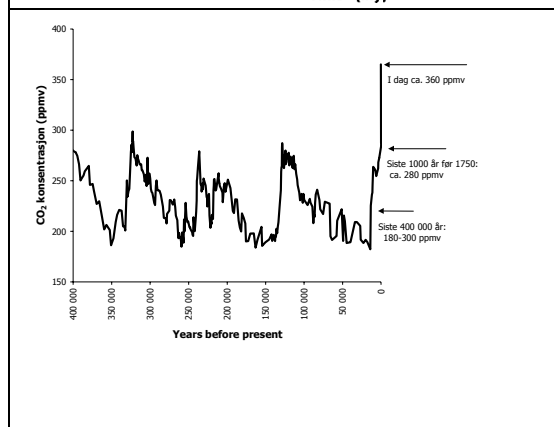
Boks: CO₂-konsentrasjonen i tidligere tider

Drivhuseffekten var viktig i starten av jordens historie. Da var atmosfæren nesten 100% CO₂, og dette endret seg ikke før fotosynteseprosessen kom i gang etter noen milliarder år. Da landjorda ble invadert av planter for ca. 412 millioner år siden, skjøt fotosynteseprosessene fart for alvor og dette bidro til å redusere CO₂-innholdet i atmosfæren ytterligere. Figur 1 viser noen modellberegninger av CO₂-innholdet i atmosfæren i tidligere tider.



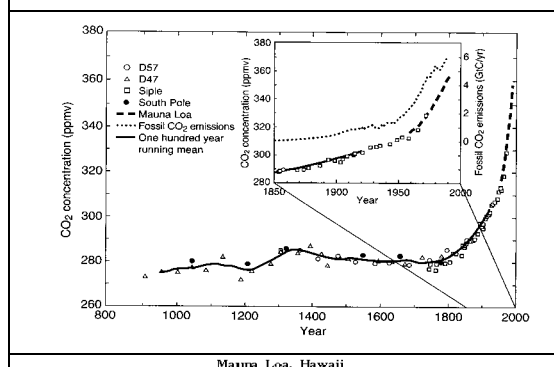
Figur 1. Historisk CO₂-konsentrasjon. Tidsskalaen viser millioner år før nåtid, mens verdiene angir konsentrasjonsnivå over dagens nivå. Kilde: Berner, 1994.

For en halv milliard år siden var nivået ca. 15 ganger høyere enn i dag. Plantenes invasjon av landjorda økte fotosyntesen og også forvitringen av stein og bidro til å dramatisk redusere CO₂-innholdet rundt 300 millioner år siden. For de siste 400 000 år har vi mer direkte kunnskap om CO₂-innholdet i atmosfæren gjennom analyser av iskjerner. Den lengste tidsserien er fra forskningsstasjonen Vostok i Antarktis, se figur 2.

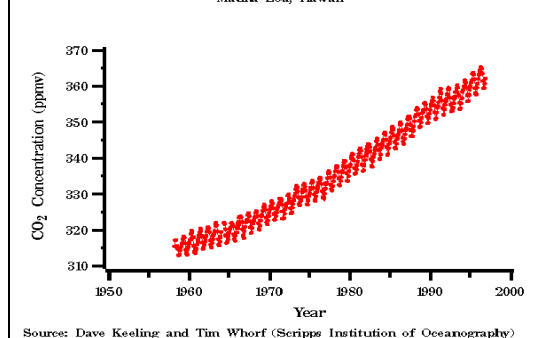


Figur 2. CO₂-konsentrasjonen som målt i iskjerner fra Vostok de siste 400 000 år. Dagens nivå er indikert ved den horisontale linjen. Kilde: Petit et al. (1999).

Vi ser at CO₂-konsentrasjonen har variert mellom om lag 180 og litt under 300 ppmv de siste 400 000 år før den siste stigningen som skyldes den industrielle revolusjon, se figur 3. Nivået i dag (ca. 370 ppmv) er langt større enn hva som har vært det naturlige bakgrunnsnivået over de fire siste istider, og uten tiltak vil konsentrasjonen øke til over 700 ppmv mot slutten av det 21. århundre.



Figur 3. CO₂-konsentrasjon de siste 1000 årene. Målinger siden 1957, estimater fra luftbobler innefrosset i is for tidligere periode. Kilde: IPCC.



Figur 4. Direkte målinger av CO₂-konsentrasjonen på Mouna Loa, Hawaii.

Source: Dave Keeling and Tim Whorf (Scripps Institution of Oceanography)

Boks: Sammenveining av klimagasser ved Global Warming Potentials (GWP)

I henhold til Kyotoprotokollen har 38 i-land individuelle krav til å redusere utslippene av i alt seks (grupper av) klimagasser (CO₂, N₂O, CH₄, HFK, PFK, SF₆). Innenfor dette kravet stiller hvert land fritt med hensyn til hvilke gasser en velger å redusere. Summen av utslippskutt over ulike gasser skal være lik Kyoto-kravet. En slik aggregering, også kalt en "kurv av gasser", krever at en har en entydig definert skala for sammenligningen.

Et pulsutslipp av en gass vil føre til økt konsentrasjon av denne gassen i atmosfæren. Denne konsentrasjonsøkningen vil resultere i at atmosfæren i større grad fanger opp langbølget varmestråling som blir sendt ut fra bakken. Forstyrrelsen i strålingsbalansen blir kalt *strålingspådriv* (radiative forcing), og kan videre medføre forandringer i klimavariabler som temperatur, nedbør, vindforhold, etc.

For at en beslutningstaker skal være i stand til å gjøre avveininger mellom utslipp av klimagasser har IPCC (1990 og 1994) introdusert det globale oppvarmingspotensialet (GWP):

$$GWP = \frac{\int_0^H a_i * C_i(t) dt}{\int_0^H a_r * C_r(t) dt}$$

Her er a_i det strålingspådrivet en får ved å øke konsentrasjonen av drivhusgassen i med en enhet. H er tidshorizonten, og er vanligvis 20, 100 eller 500 år. $C_i(t)$ er konsentrasjonen av gass i ved tid t som følge av et pulsutslipp av gassen i . De korresponderende verdiene for referansegassen er gitt i nevneren.

GWP angir således akkumulert strålingspådriv av et utslipp av en klimagass sammenlignet med akkumulert strålingspådriv av et utslipp av lik mengde karbondioksid (CO₂) over en valgt tidsperiode. GWP-verdier for noen viktige drivhusgasser er gitt i tabellen under (WMO, 1999).

Gass	Kjemisk formel	Levetid (År)	GWP		
			20 år	100 år	500 år
Karbondioksid	CO ₂	Variabel (50–200 år)	1	1	1
Metan	CH ₄	12.2	64	24	7.5
Lystgass	N ₂ O	120	330	360	190
Svovelhexafluorid	SF ₆	3 200	15 100	22 200	32 400
Perfluormetan	CF ₄	50 000	3 900	5 700	8 900

Med tabellen som utgangspunkt kan en vekte utslipp av ulike klimagasser i "CO₂-ekvivalenter" etter hvilke innvirkning utslipp av en gass har på strålingspådrivet. Dette gjøres ved å multipliserer utslippet av den aktuelle gassen med tilhørende GWP-verdi.

Kyotoprotokollen baserer sin flergass-tilnærming ("comprehensive approach") på bruken av GWP.

2 Klima i tidligere tider

2.1 Noen metoder og 'arkiv' for bestemmelse av tidligere tiders klima

Direkte målinger av viktige klimaparametere som temperatur og nedbør er av relativt ny dato, særlig hvis man legger vekt på å beskrive det globale klimaet. Informasjon om tidligere tiders klima må derfor samles ved bruk av et stort antall indirekte metoder. Noen av disse beskrives nedenfor, før vi i neste avsnitt (2.2) kort beskriver klimautviklingen i tidligere tider.

2.1.1 Historiske kilder

Historiske målinger av temperatur og andre skriftlige beretninger der klima blir kommentert, kan gi god lokal informasjon om tidligere tiders klimaforhold. Imidlertid kan relativt hyppig omtale av ekstreme vær-situasjoner gjøre at klimabeskrivelsene blir subjektive og lite representativ. Man regner med at man har brukbare direkte observasjoner av temperatur for angivelse av den globale middeltemperatur fra ca 1850 og framover. Imidlertid har instrumenter og dekningsgrad variert mye. Det er derfor lagt ned et betydelig arbeid i å korrigere måledataene for kjente feil og skjevheter, og man har i dag rimelig tiltro til at temperaturkurver som for eksempel den som er vist i Figur 1.1. gjenspeiler faktisk utvikling.

2.1.2 Treninger

Studier av treninger gir informasjon om vekstforholdene for trær og sier dermed noe om lokalklimaet der trærne vokser. Studier av årringene i trærne gir meget presis datering og rimelige sikre indikasjoner på vekstforholdene noen tusen år tilbake i tid. Ut fra dette kan man på noe mer usikkert grunnlag trekke konklusjoner om temperatur- og nedbørsforhold.

2.1.3 Forekomst og utbredelse av isbreer

Utbredelse og høydefordeling av isbreer gir en god indikasjon på temperatur og nedbørsforhold i tidligere tider. Indikasjoner på snø og isutbredelse er ofte mer følsomme indikatorer enn utbredelse av flora og fauna.

2.1.4 Pollenforekomster, flora og fauna

Utbredelse av planteslag med ulik temperaturfølsomhet kan følges ved å studere sammensetningen av pollenforekomster i jordsmonn og bunnsedimenter. I bunnsedimenter finner vi også spor etter dyreliv i havet, som også kan gi en indikasjon på temperaturen der. Man kan også finne spor etter fauna som kan antyde noe om temperaturforhold i tidligere tider. For eksempel er det avbildet flodhester og gressende dyr i 7000 år gamle hulemalerier i Sahara. Dette er dyrearter som ikke lever der i dag, og maleriene gir en indikasjon på tidligere tiders klima i dette området.

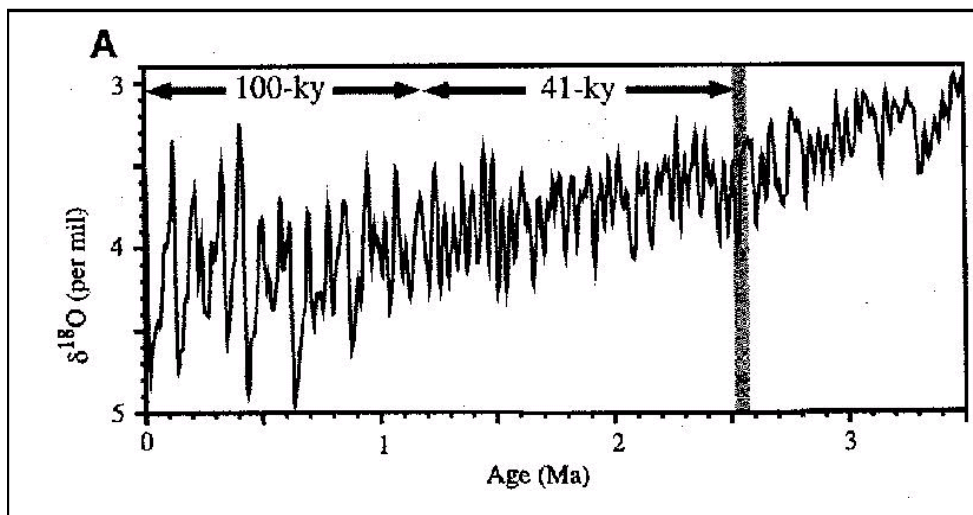
2.1.5 Isotop termometre

Atomkjernen i oksygen består vanligvis av 8 protoner (positivt ladete partikler) og 8 nøytroner (nøytrale partikler med omtrent samme vekt som protoner). Noen oksygenatomer har imidlertid 10 nøytroner i kjernen. Oksygen forekommer derfor som to ulike isotoper¹: ^{16}O og ^{18}O der tallet angir antall protoner og nøytroner i kjernen. Forholdet mellom de to isotopkonsentrasjonene er temperaturavhengig, først og fremst fordi vann som inneholder den lettere isotopen (H_2^{16}O) lettere fordampes fra hav enn vann som har den tunge oksygen isotopen (H_2^{18}O). Omvendt vil de tunge vannmolekylene kondensere lettere enn de lettere molekylene. Disse forholdene gjør

det mulig å finne en sammenheng mellom temperatur og det relative forholdet mellom isotopene. Ved lave temperaturer, når mye av nedbøren samles som snø og is og ikke renner tilbake til havet, vil havvannets innhold av ^{16}O reduseres i forhold til innholdet av ^{18}O . Det relative forholdet mellom isotopene betegnes ofte med $\delta^{18}\text{O}$. Denne størrelsen er definert ved:

$$\delta^{18}\text{O} = \left[\frac{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{prøve}} - \left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{standard}}}{\left(\frac{^{18}\text{O}}{^{16}\text{O}} \right)_{\text{standard}}} \right] \times 1000$$

Under kalde forhold vil det relative forholdet mellom isotopene i hav øke. Omvendt vil $\delta^{18}\text{O}$ i iskjerner avta når temperaturen synker. Ved studier av isotopforhold i bunnsedimenter og iskjerner kan derfor temperaturutviklingen kartlegges. Figur 2.1 viser et eksempel på oksygenisotopmålinger. Den viser forekomsten av istider over de siste par millioner år. Vi ser for det første en generell trend mot kaldere tider. Videre antyder figuren at hyppigheten og 'styrken' på istidene har endret seg fra hyppige, men relativt svake istider for ca. 2 millioner år siden til færre, men sterke istider nå.



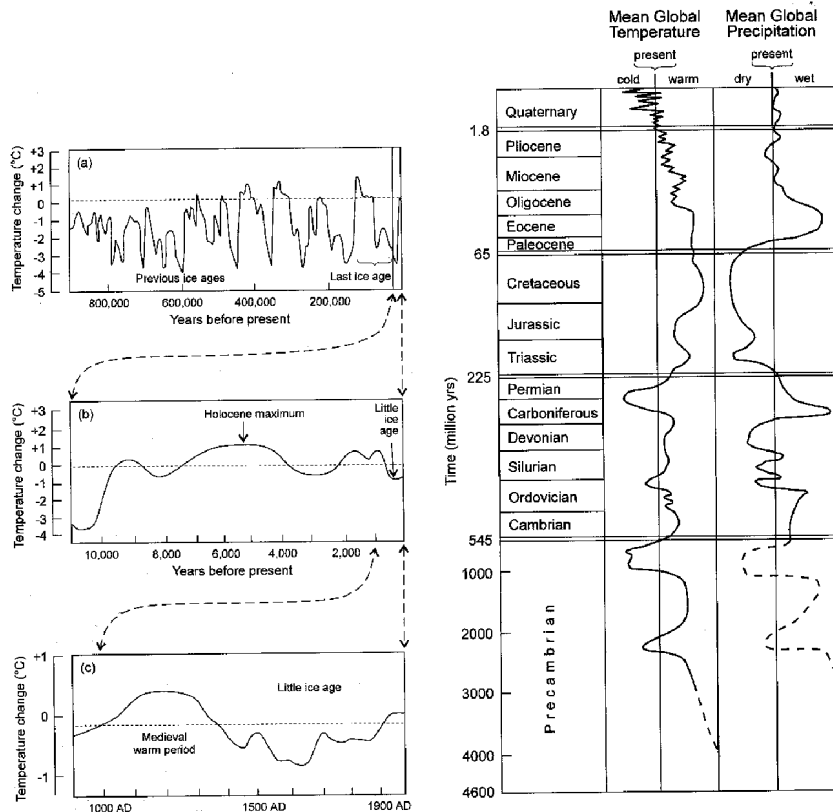
Figur 2.1 Måling av isotopforhold

En tilsvarende isotopseparering har vi for forekomsten av ^{13}C og ^{12}C isotopene. Planter tar, gjennom fotosyntese, opp noe mer $^{12}\text{CO}_2$ enn $^{13}\text{CO}_2$. I tider med stor utbredelse av vegetasjon og mye lagret organisk karbon, vil derfor atmosfæren inneholde noe mer ^{13}C enn ellers. Dette kan gi et signal i marine avleiringer av karbonater.

2.2 Klima siden jordens skapelse

I grove trekk kan vi si at jorden gjennom sin levetid på 4,6 milliarder år har gått inn og ut av minst fire såkalte istidsperioder. *Istidsperiodene* er kjennetegnet av at klimaet i disse periodene har vekslet mellom *istider* hvor store deler av kloden har vært dekket av is, og *mellomistider* som dagens klima. Den første istidsperioden man fremdeles finner spor etter fant sted for om lag 700 millioner år siden, deretter for 450 og 280 millioner år siden. Den siste startet for rundt regnet

2,5 millioner år siden og Jorden befinner seg fortsatt i denne istidsperioden. Til nå har vi i denne perioden opplevd flere titalls istider (se f.eks. Figur 2.1 og Figur 2.3); den siste sluttet for ca. 10 000 år siden. Mellom istidsperiodene har jorden hatt et varmt klima – langt varmere enn hva vi opplever i dag. Figur 2.2 illustrerer denne periodiske variasjonen i jordens klima på noen ulike tidsskalaer.



Figur 2.2 Jordens klima gjennom historien.

Den høyre del av figuren illustrerer jordens gang gjennom minst 4 istidsperioder og også at det har vært store vekslinger mellom våte og tørre perioder. Mellom istidsperiodene har jorda hatt et varmere klima enn i dag og stort sett vært isfri.

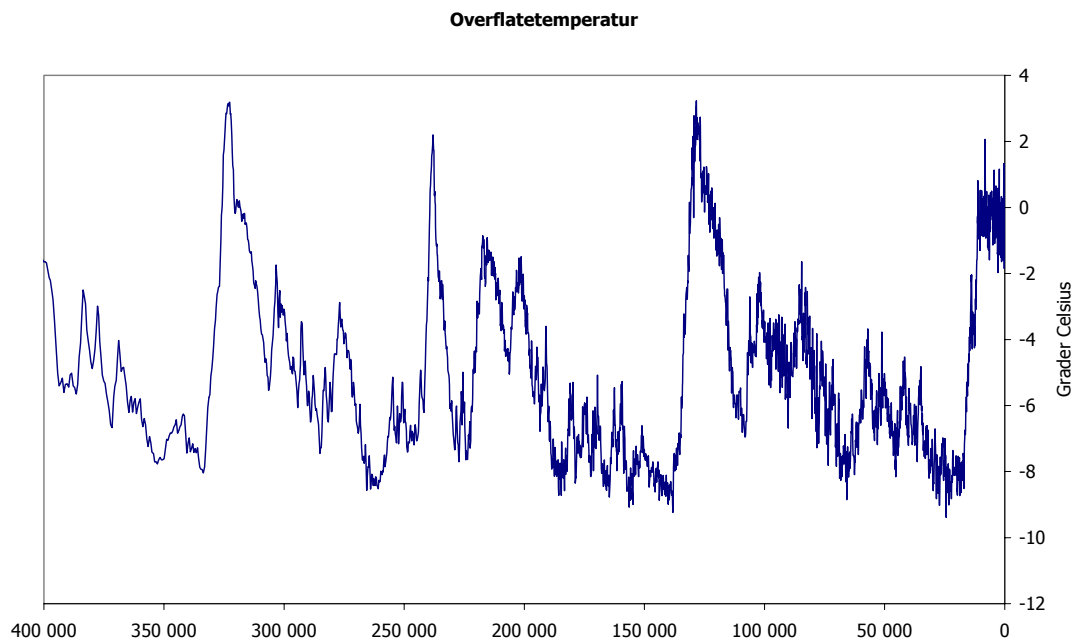
På venstre side fokuseres det på kortere perioder opp mot vår tid, og vi ser at også på kortere tidsskalaer har vi naturlige variasjoner i klima, selv om utslagene de siste 10 000 år (etter siste istid) er relativt små.

2.3 Siste istidsperiode

Mer detaljert informasjon om temperaturen i tidligere tider kan man få ved å studere den kjemiske sammensetningen av luftbobler innefrosset i iskjerner. I mange år nå har det pågått prøvetaking både i Antarktis og på Grønland. Fra Antarktis er resultatene fra forskningsstasjonen Vostok mest kjente (Petit et al., 1999). Her finner man en tidsserie over temperaturutviklingen som vist i Figur 2.3.

Figuren viser temperaturutviklingen i Antarktiske strøk over de fire siste istider, ca. 400 000 år tilbake i tiden. Hver av istidene skiller med relativt korte mellomistider. Overgangen fra en istid til en mellomistid er relativt kjapp, mens den omvendte overgangen fra en

mellomistid og til en istid skjer langt mer gradvis og ujevnt. Vi ser også av figuren at det særlig i istidene er store og raske variasjoner i temperaturen. Klimaet oppviser altså en stor naturlig variabilitet.



Figur 2.3. Temperaturvariasjoner avledet fra iskjerner ved Vostok, Antarktis, over de siste 400 000 år. Avvik fra dagens globale middeltemperatur. Kilde: Petit et al. (1999)

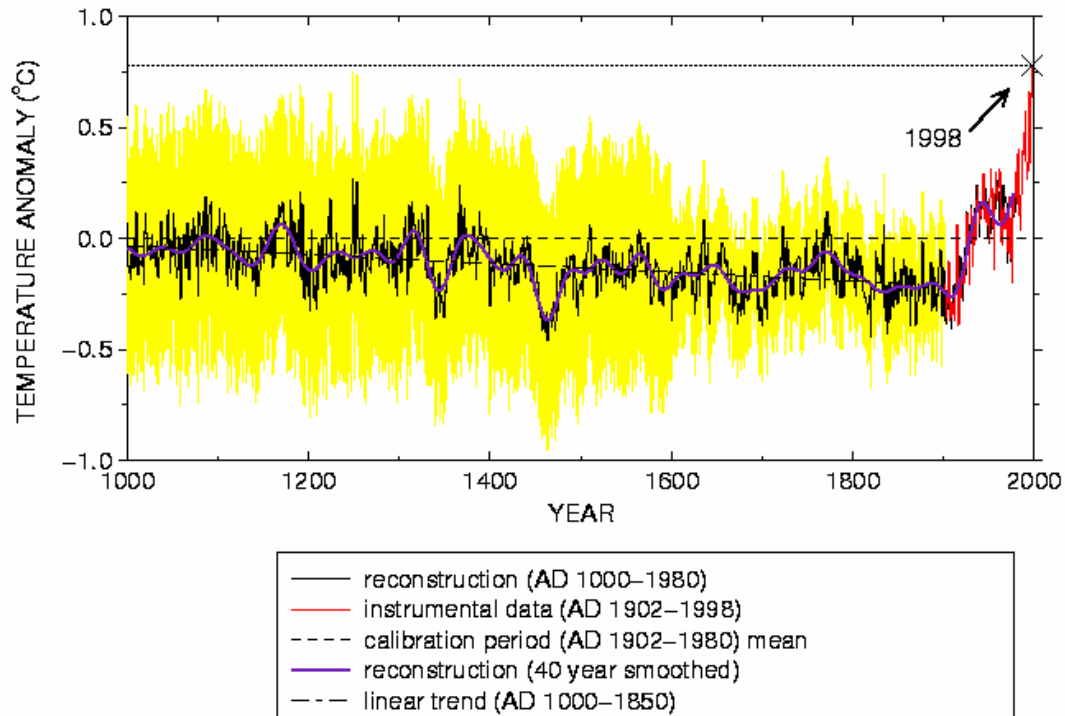
2.4 Siden siste istid

Da jorden kom ut av siste istid for ca 10.000 år siden roet klimaet seg ned, men ble på ingen måte statisk. Siden den gang har vi opplevd både varmere og kaldere perioder enn det vi har nå, og lange perioder med både tørke og og stor nedbør har manifestert seg i ulike regioner. Særlig lange tørkeperioder har vært med på å sette utvikling av jordbruk og sivilisasjon på harde prøver, og flere relativt avanserte kulturer er bukket under som følge av lange tørkeperioder.

I Skandinavia forsvant isen for om lag 8.500 år siden og ble etterfulgt av flere tusen år med varmt og fuktig klima. Deretter fulgte en kjøligere periode som startet for ca 3.000-2.500 år siden med re-etablering av alpine isbreer i våre strøk som siden har fluktuert i størrelse. Etter et generelt mildt klima i vikingtiden, startet en særlig kald periode rundt 1300-tallet og varte frem til 1800-tallet.

2.5 Siste 1000 år

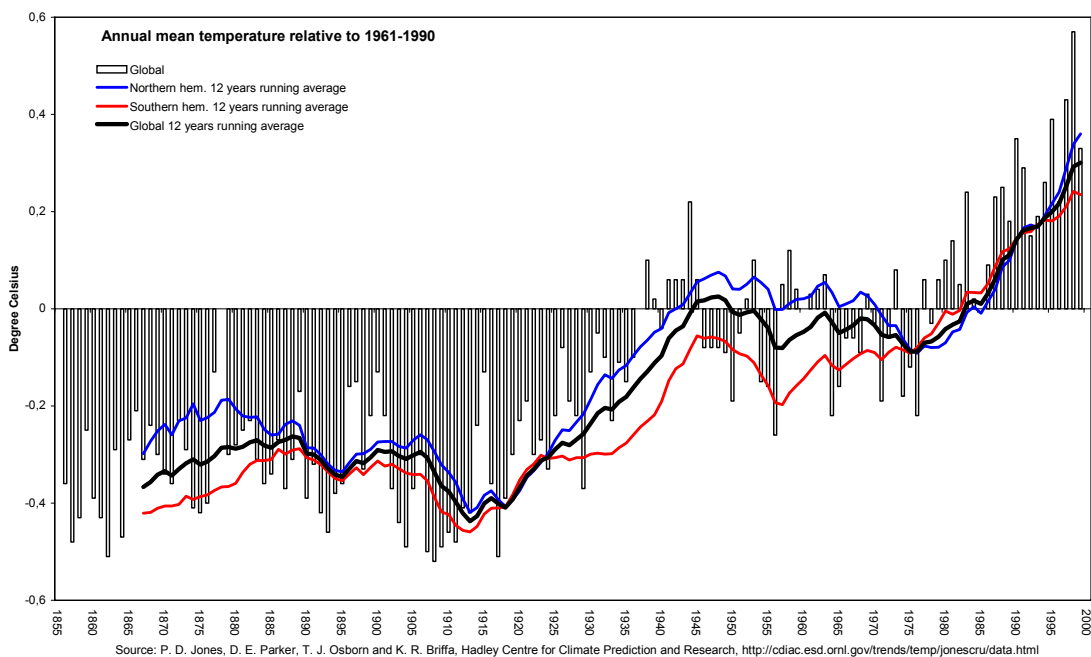
For de siste 1000 år kan man benytte andre typer indikatorer på temperaturutviklingen som treringer, artsutbredelse og værobservasjoner av ulikt slag. De siste 150 år har vi også brukbare direkte målinger av temperaturen. Figur 2.4 viser en rekonstruksjon av temperaturutviklingen de siste 1000 år (Mann et al., 1999). Vi ser en markert tendens til et kjøligere klima over mesteparten av perioden. Dette er i henhold til hva man forventer som følge av langsomme endringer i jordbanen. Den nedadgående trenden blir så brått brutt av en sterk temperaturøkning fra begynnelsen av forrige århundre. Figuren indikerer også usikkerheten i dataene, som naturlig nok er mindre jo nærmere vår tid man kommer.



Figur 2.4. Temperatur utviklingen på den nordlige halvkule de siste 1000 år. Kilde: Mann et al., 1999

2.6 Siste 150 år

Figur 2.5 viser temperaturmålinger siden midten av forrige århundre på de ulike halvkuler. Stolpene angir globale årsverdier mens de heltrukne kurvene viser 12 års løpende gjennomsnitt for sørlige og nordlige halvkule i tillegg til globale verdier.



Figur 2.5 Avvik i global middeltemperatur over nordlige og sørlige halvkule fra 1856 til 1999 målt relativt til gjennomsnittstemperatur over perioden 1961-1990.

Det absolutt varmeste året registrert til nå er 1998, men hele slutten av forrige århundre var preget av en lang rekke rekord-varme år.

3 Ser vi menneskeskapt klimaendringer nå?

At den globale middeltemperaturen har økt siden industrialiseringen startet er hevet over tvil. Om dette skyldes menneskeskapt utslipp av drivhusgasser og arealbruksendringer er imidlertid mer usikkert. IPCC konkluderte forsiktig i sin andre hovedrapport fra 1995 med at “hovedtyngden av datamaterialet (...) tyder på en merkbar menneskeskapt påvirkning på det globale klima.”² Panelet bygget på utviklingen i global temperatur og særlig på sammenlikning av modellresultater med observerte geografiske, sesongmessige og vertikale mønstre i temperaturendringene. Det ble lagt vekt på at overensstemmelsen stadig var blitt bedre etter som et menneskeskapt signal forsterket seg. Sjansen for at denne overensstemmelsen skulle være et tilfeldig resultat av naturlig variabilitet ble ansett å være svært liten. Panelet understreket imidlertid at kvantifiseringen av den menneskelige påvirkningen var vanskelig på grunn av usikkerhet knyttet til flere nøkkelfaktorer, bl.a. størrelse og mønster for naturlige variasjoner på store tidsskalaer.

IPCC legger vekt på at påvisning av en eventuell menneskeskapt endring i jordens klima vil være en *evolusjonær* og ikke en *revolusjonær* prosess. En avklaring vil derfor finnes gjennom en gradvis oppbygning av kunnskap snarere enn i resultatene fra én enkelt studie. Hvis de store utslippene av klimagasser fortsetter, og klimasystemets følsomhet for disse gassene er som dagens kunnskap tyder på, vil det bli stadig klarere om naturlige variasjoner kan utelukkes som hovedårsaken til de observerte endringer.

I sitt videre arbeid fram mot den tredje hovedrapporten (Third Assessment Report - TAR), som kommer i 2001, er indisiene for at vi nå ser menneskeskapt klimaendringer forsterket, og det er ventet at IPCC vil konkludere med at vi nå ser rimelig sikre tegn på menneskeskapt klimaendringer. Figur 3.1 viser temperaturendringene observert siden midten av forrige århundre forbundet med en linje fra laveste til nest laveste osv. måling. Det går fram av figuren av temperaturøkningen på slutten av forrige århundre er raskere og har en annen karakter enn temperaturvariasjonene tidligere.

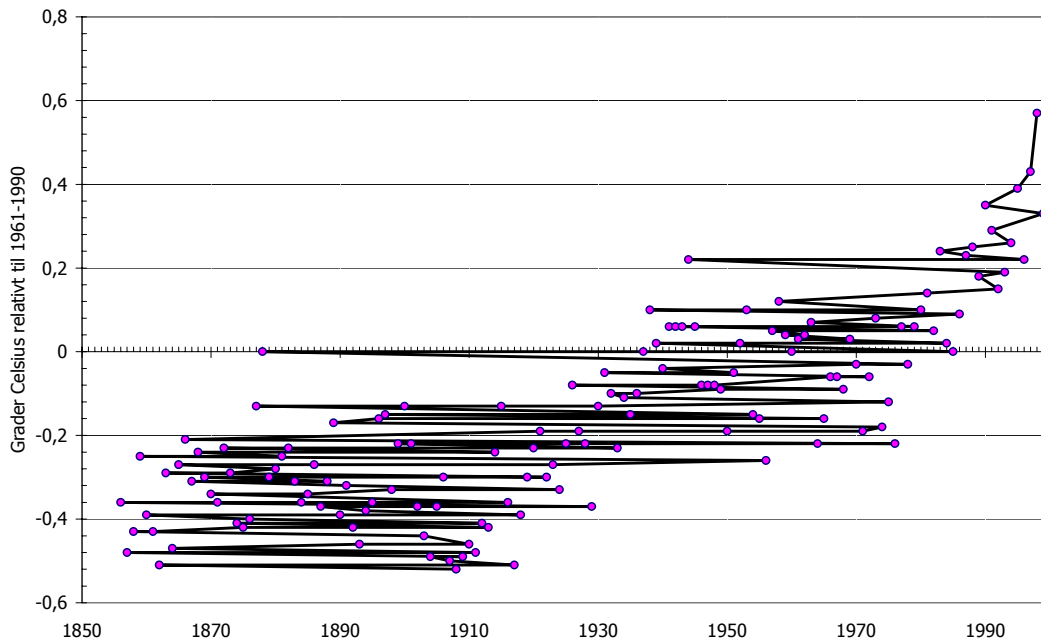
Temperaturmålinger viser at jordens midlere overflatetemperatur har økt med om lag 0,6 grader i dette århundre. Temperaturøkningen har imidlertid ikke vært jevn, hverken i tid eller rom. På global basis har økningen kommet hovedsakelig i to perioder, fra ca. 1910 til 1940, og fra om lag 1970 og fram til i dag. Det er grunn til å tro at økt konsentrasjon av drivhusgasser og små svovelpartikler har spilt en rolle for den observerte temperaturøkningen, men også naturlige variasjoner i solinnstråling og vulkanutslipp vil opplagt ha påvirket temperaturutviklingen.

Variasjonen i temperaturutviklingen over tid, kombinert med variasjoner i de ulike drivkreftene gjør det mulig statistisk å bestemme hvilke drivkrefter som best forklarer hele den observerte temperaturutviklingen. Tett og kolleger ved Hadley Centre for Climate Prediction and Research og Rutherford Appleton laboratoriet ved universitetet i Oxford har publisert en studie av nettopp dette problemet.

De har ved hjelp av en koplet atmosfære-havmodell først beregnet hvilket temperaturmønster i tid og rom en vil forvente av hver av følgende drivkrefter: Endringer i konsentrasjon av drivhusgasser, endringer i konsentrasjonen av partikler og endringer i solinnstråling. Deretter har de, basert på rene statistiske metoder og altså uavhengig av klimamodellen, tilpasset en lineær kombinasjon av disse temperaturresponsene til det observerte

² “... the balance of evidence suggests that there is a discernible human influence on global climate.”

temperaturmønsteret på best mulig måte. Hvilke kombinasjoner som gir best tilpasning vil så si noe om hvilke drivkrefter som har vært viktige i de ulike periodene.



Figur 3.1 Avvik i global middeltemperatur fra 1856 til 1999 målt relativt til gjennomsnittstemperatur over perioden 1961-1990. Data fra <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/climon/data/themi/g17.htm>

I korte trekk finner de at tidlig i forrige århundre, nærmere bestemt fram til 1956, kan endringer i solinnstrålingen ha bidratt til temperaturutviklingen, selv om også en kombinasjon av naturlige og menneskeskapte faktorer kan forklare utviklingen. For perioden 1946-96 derimot finner de at de naturlige drivkreftene ikke alene kan forklare temperaturutviklingen. Tvert i mot er det nå de menneskeskapte drivkreftene som dominerer. Utslippene av drivhusgasser har virket oppvarmende, men er motvirket av svovelutslipp i perioden fram til ca. 1970. Etter midten av 1970-tallet er det hovedsakelig drivhusgassene som har drevet temperaturøkningen. Oppvarmingen har selvsagt blitt dempet pga svovelutslipp også etter 1970, men den store økningen i disse utslippene var før 1970.

Denne og andre studier gjør at vi nå er rimelig sikre på at vi ser menneskeskapte klimaendringer.

4 Framover: Nye scenarier fra IPCC

Scenarier er "bilder" av framtiden eller alternative framtid. Et sett med scenarier kan derfor bistå i å forstå mulige framtidige utviklinger av komplekse og sammensatte system. Man kan se på scenarier som et verktøy som integrerer kvalitative framtidsutsikter og kvantitative formuleringer basert på modellering. Bruken av scenarier for utslipp av klimagasser er viktig både for vitenskapelige vurderinger og for beslutningstakere og er basert på et sett med forutsetninger eller teorier om viktige forhold eller drivkrefter. Utviklingen av disse drivkreftene er usikker, spesielt når man opererer med en tidsskala fram til år 2100. Men man må gjøre noen forutsetninger for å få konstruert "bilder" av framtiden. Enkelte faktorer vil kunne dra i samme retning mens andre igjen kan virke mot hverandre.

4.1 Fire scenarie-familier

Den tredje arbeidsgruppen i FNs klimapanel fikk i 1996 oppgaven med å utvikle en spesialrapport om utslippsscenarioer (Special Report on Emission Scenarios, SRES). Utviklingen av de nye scenariene bestod av en gjennomgang av eksisterende globale og regionale scenarier, en analyse av kjennetegn og forhold av betydning for utslippene, en formulering av framtidsutsikter ("storylines"), og en åpen modelleringsprosess med innspill og respons fra ulike modelleringsgrupper. Forfatterne bestemte seg for fire framtidsutsikter for å unngå at ett scenarie skulle oppfattes som sentralt eller mest sannsynlig. Framtidsutsiktene, med de enkle benevnelsene A1, A2, B1 og B2, representerer utfallet av ulike økonomiske, sosiale og miljømessige utviklingsbaner. Effekter av Kyotoprotokollen er det ikke tatt hensyn til. Seks modeller ble brukt til å kvantifisere framtidsutsiktene, og alle varianter av en framtidsutsikt ble samlet i en "familie". De modellkjøringene som best representerte de ulike scenarie-familiene ble kalt *markørscenarier*, og det er i alt seks slike markørscenarier, Det er en hver fra henholdsvis A2, B1 og B2, mens det er tre fra A1. De tre sistnevnte markørscenariene representerer ulike alternative utviklinger innen energiteknologi, men hvor andre drivkrefter blir holdt konstant.

4.1.1 A1 – en "rik" verden

Dette scenariet beskriver en rik verden med veldig rask økonomisk vekst, lav befolkningsvekst og rask introduksjon av ny og mer effektiv teknologi. Verdens befolkning øker til 9 milliarder i år 2050, men går ned til ca. 7 milliarder i år 2100. Den globale økonomien vokser med en gjennomsnittlig årlig vekst på ca. 3 prosent til år 2100, mens inntekt per innbygger når US\$ 19.000 innen år 2050. De tre alternative utviklingene innenfor teknologisk endring i energisystemet er i) A1FI som baseres på intensiv bruk av fossile brensler, ii) A1T som baseres på andre energikilder enn fossile brensler, og iii) A1B som representerer en balansert utnyttelse av alle energikilder.

4.1.2 A2 - en "delt" verden

A2 scenariet forespeiler en delt verden hvor underliggende faktorer er en styrking av regionale kulturelle identiteter, høy befolkningsvekst, og mindre bekymring for rask økonomisk vekst. Mennesker, idéer og kapital er mindre mobile, og spredning av teknologi vil derfor foregå saktere enn i A1-scenariet. Befolkningsveksten vil være høy (15 milliarder i år 2100), og inntekten per innbygger vil være lav (noe over US\$ 7.000 i år 2050). Regioner med god tilgang på energi og mineralressurser vil utvikle relativt ressursintensive økonomier, mens andre regioner prioriterer å redusere importavhengigheten gjennom teknologisk innovasjon og ressurseffektivisering.

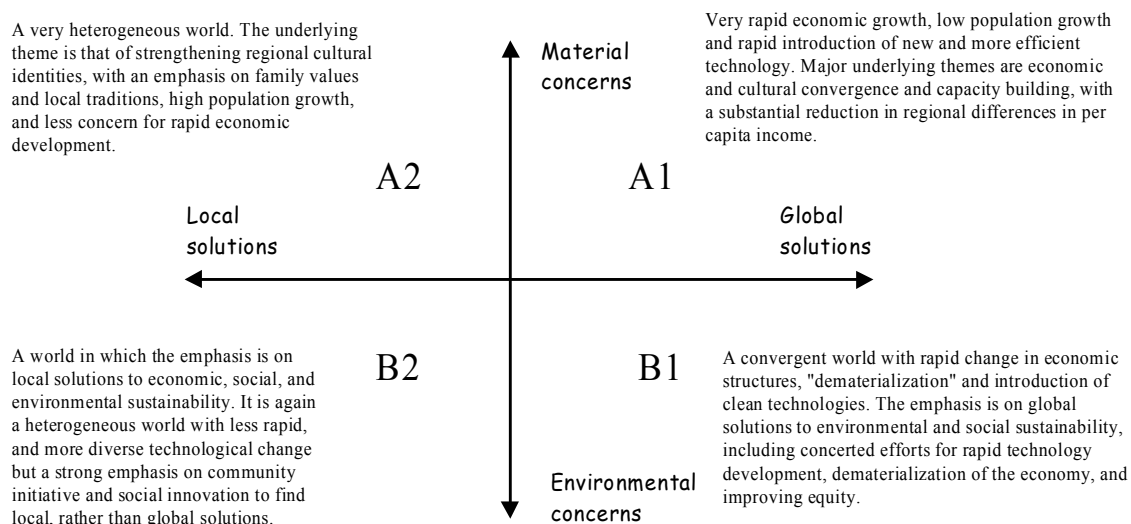
Energi behovet vil primært bli dekket av fossile ressurser og kjernekraft, men fornybare ressurser vil i år 2100 stå for mer enn 20% av primær energitilgang.

4.1.3 B1 - en "bærekraftig" verden

Scenariet B1 beskriver en mer bærekraftig verden med raske endringer i økonomiske strukturer, og introduksjon av rene teknologier. Det blir lagt vekt på globale løsninger til miljømessig og sosial bærekraftighet, med innsats på rask teknologiutvikling, mindre materialistisk økonomi og utjevning av ulikheter. Verdens befolkning når ni milliarder i år 2050, men reduseres til ca. 7 milliarder i år 2100. Inntekt per innbygger vil i år 2050 være om lag US\$ 15.500. Det vil være utstrakt bruk av konvensjonell og ukonvensjonell gass i overgangen til renere teknologi, men det vil først og fremst være bekymringer for miljøet som driver utviklingen av teknologier utover tilgangen på fossile ressurser.

4.1.4 B2 – en "teknologisk skjev" verden

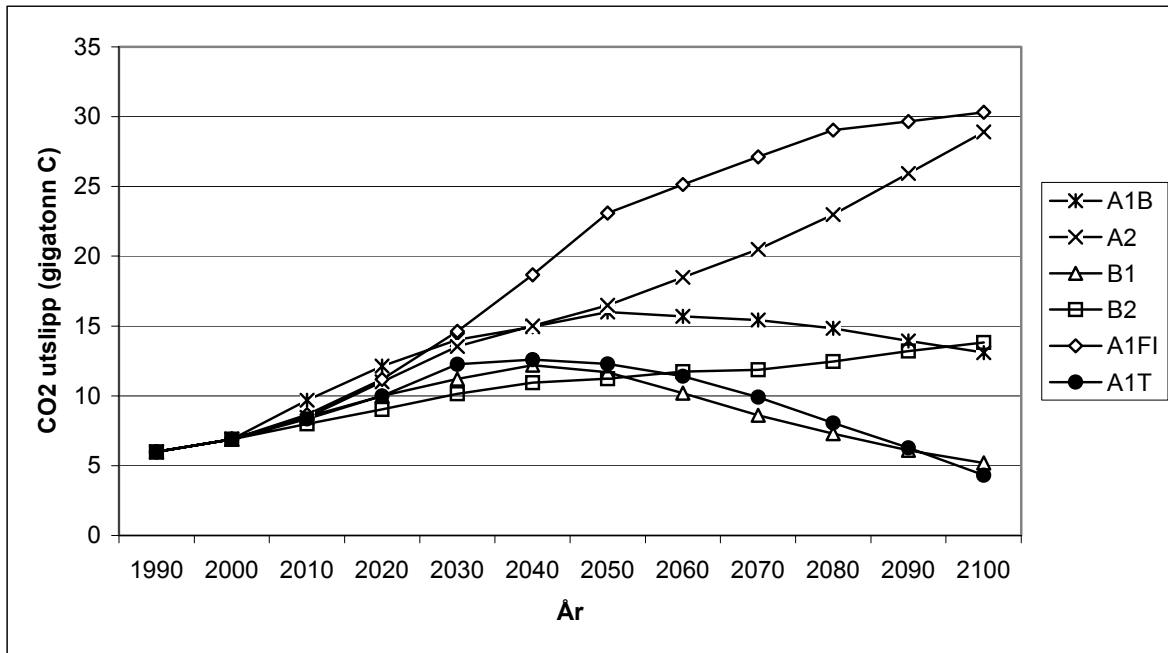
Den teknologisk skjeve verdenen i B2 scenariet legger stor vekt på lokale løsninger for økonomisk, sosial og miljømessig bærekraft. Det er igjen en heterogen verden med ikke fullt så rask, og mer ulik teknologisk endring. Verdens befolkning når ca. 10 milliarder i år 2100, mens inntekt per innbygger vokser med en middels rate og når nesten US\$ 12.000 i år 2050. De teknologiske grensene blir i mindre grad utfordret (sammenlignet med A1 og B1), og den teknologiske endringsraten er bare middels høy. Innovasjoner er også regionalt mer heterogene, og mekanismene for internasjonal spredning av teknologi forblir svakere enn i andre scenarier. Tilgangen på fossile ressurser er slik at olje og gass reservene bare øker gradvis, mens tilgangen på kull forblir rikelig. Figur 4.1 illustrerer de fire scenarie-familiene skjematisk.



Figur 4.1 En skjematisk presentasjon av de nye IPCC-scenariene.

4.2 Utslipp

På grunn av ulike antagelser og hendelser representerer scenariene vidt forskjellige framtidsviklinger. Det er derfor ikke uventet at utslippene av klimagasser vil variere. Karbondioksid (CO₂) betyr mest for økningen i drivhuseffekten og den største kilden til utslipp er forbrenning av olje, kull og gass.



Figur 4.2 Beregnede globale utslipp av CO₂ fra 1990 til 2100 fra forbrenning av fossile brensler.
Kilde: <http://sres.ciesin.org/>

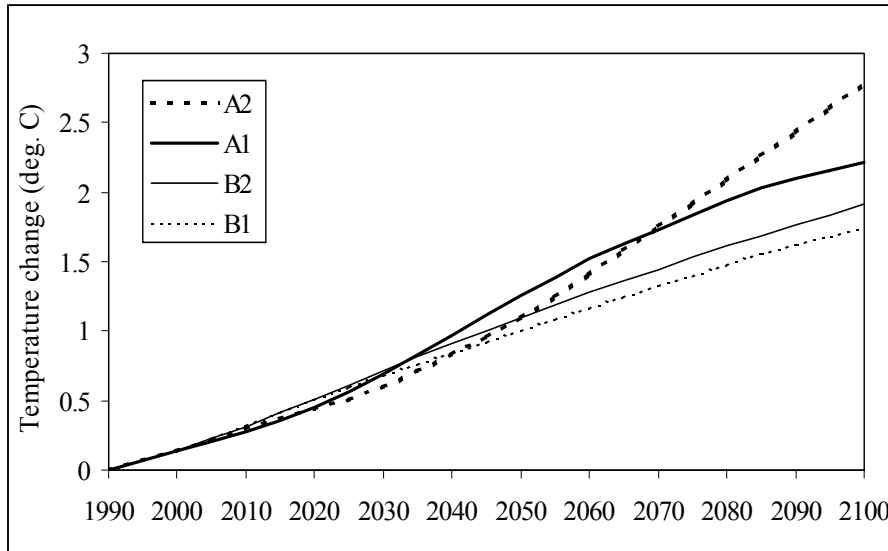
Framtidige utslipp av denne gassen er derfor spesielt interessante, og Figur 4.2 viser at utslippene av CO₂ vil kunne variere fra 4 til 30 milliarder tonn karbon i år 2100. Utslipp av metan (CH₄) bidrar også til økningen i drivhuseffekten og de viktigste kildene til utslipp er fra landbruk, avfallsbehandling og fra utvinning av fossile brensler. Scenariene viser at utslippene av CH₄ i år 2100 vil kunne spenne fra 270 til 890 millioner tonn CH₄, noe som betyr alt fra en stabilisering til tredobling sammenlignet med nivået i 1990. Det tredje viktigste bidraget fra drivhusgasser til økningen i drivhuseffekten er utslipp av lystgass (N₂O) som stammer fra landbruk, avfallsbehandling og industrielle prosesser. Utslipet av N₂O varierer i følge scenariene fra 5 til 16 millioner tonn N₂O (målt som N) i år 2100 mens utslippet i 1990 var drøye 6 millioner tonn. Mens karbondioksid, metan og lystgass bidrar til å øke drivhuseffekten, så virker svoveldioksid (SO₂) avkjølende. Utslipp av denne gassen kan derfor redusere den globale oppvarmingen, og følgelig er utslippene i årene framover interessante. Utslippene av SO₂ vil kunne variere fra 20 til 60 millioner tonn SO₂ (målt som S) i år 2100 som betyr at utslippene i år 2100 ligger under utslippsnivået i 1990.

4.3 Klimaendringer

En enkel klimamodell utviklet ved CICERO kan brukes for å beregne noen mulige framtidige klimaendringer. Modellen beregner konsentrasjonen i atmosfæren og strålingspådrivet for 35 komponenter som følge av utslipp av 29 ulike klimagasser. Endring i global middeltemperatur og havnivå er basert på arbeid publisert av professor Schlesinger (1992).

Modellberegninger viser at den globale gjennomsnittstemperaturen kan øke med mellom 1,7°C og 2,8°C innen år 2100 i forhold til nivået i 1990, se Figur 4.3. De fire SRES scenariene følger en tilnærmet lik temperaturendring fram til år 2020, men på lengre sikt vil reduserte utslipp av svoveldioksid resultere i lavere avkjølingseffekt. Hvor raskt temperaturen endrer seg kan være vel så viktig som nivået på temperaturendringen med hensyn til klimaskader. Hvis temperaturendringen skjer så raskt at naturen eller samfunnet ikke har mulighet til å tilpasse seg

kan kostnadene forbundet med global oppvarming bli høye. En annen klimaendring som vil ha stor betydning først og fremst for sårbare kystsamfunn er stigning i havnivået. Tregheter i systemet gjør at markante endringer uteblir dette hundreåret. Modellberegninger viser allikevel at havnivået vil stige med mellom 33 cm og 45 cm i perioden 1990 til 2100.



Figur 4.3 Endring i global middeltemperatur målt i °C i forhold til nivået i 1990. Kilde: Godal et al., 2000.

Andre klimaendringer er mer regionale og kan vanskelig modelleres med globale klimamodeller. Dette gjelder blant annet nedbørsendringer og frekvensen og intensiteten av stormer. Analyse av nedbørsreier for de siste 100 år viser at det globalt har vært en økning i nedbør over store områder. Økningen har vært størst (ca. 10 prosent) over den nordlige halvkule mellom 55 og 85°N. Nedbørsøkningen som er registrert i Norge passer godt inn i dette mønsteret, men foreløpige analyser viser at en stor del av dette skyldes variasjoner i den storstilte atmosfæriske sirkulasjonen over Nord-Europa. Dette betyr ikke nødvendigvis at endringene ikke har sammenheng med økningen i global middeltemperatur ettersom denne kan påvirke både sirkulasjonsmønster og egenskaper til luftmassen (Førland & Hanssen-Bauer, 1999). En annen klimaendring som er viktig for våre områder er hva som vil skje med lavtrykksaktivitet, og spesielt hva som vil skje med stormer. Fra klimakjøringer fra Hadleysenteret konkluderer man med at når konsentrasjonen av drivhusgasser økes, så vil det bli færre stormer over den nordlige halvkule men med økt intensitet på lavtrykkene. Klimakjøringene gir flere stormer over Vest-Europa, men færre stormer over Nord-Europa. Temperatur- og nedbørsendringer kan bli som angitt i Tabell 4.1 (RegClim, 1999).

Tabell 4.1. Gjennomsnittlig temperatur- og nedbørsendring fra perioden (1980-2000) til (2030-2050)

		Temperaturøkning (°C)	Nedbørsøkning (mm/døgn)	Nedbørsøkning (prosent)
Nord-Norge	hele året	1,6	0,3	7,8
	vår	1,4	0,2	5,0
	sommer	1,2	0,1	1,5
	høst	1,7	0,8	18,2
	vinter	2,0	0,2	5,2
Vestlandet	hele året	1,0	0,8	13,5
	vår	0,9	0,1	1,2
	sommer	0,7	1,0	18,2
	høst	1,1	1,5	23,5
	vinter	1,2	0,6	9,3
Østlandet	hele året	1,1	0,2	4,3
	vår	1,0	-0,1	-4,1
	sommer	0,6	0,1	1,7
	høst	1,3	0,3	6,9
	vinter	1,3	0,4	13,1

5 Klimapolitikk: Prosesser og forslag

5.1 Hva gjør vi med klimaproblemet internasjonalt?

Gjennom 1980-årene var det en økende bekymring i naturvitenskapelige kretser for at endringer i atmosfærens kjemiske sammensetning ville komme til å gi endringer i jordens klima. Det ble arrangert en serie med internasjonale møter og konferanser om problemet. FNs miljøprogram (UNEP) og Den meteorologiske verdensorganisasjonen (WMO) reagerte med å stifte en arbeidsgruppe som skulle starte arbeidet med å lage forslag til en internasjonal avtale. I disse årene ble det gjort raske faglige framskritt, ikke minst takket være IPCC (FNs Klimapanel), som også var blitt etablert på initiativ fra UNEP og WMO.

Som respons på den nedsatte arbeidsgruppens forslag opprettet FNs generalforsamling i 1990 en forhandlingskomité (Intergovernmental Negotiating Committee for the Framework Convention on Climate Change, INC/FCCC). INC fikk som mandat å utarbeide forslag til en konvensjon eller et annet forpliktende internasjonalt avtaleverk som kunne være et første skritt for å løse klimaproblemet. Resultatet ble et forslag til konvensjon, United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). UNFCCC ble vedtatt på et toppmøte i Rio de Janeiro i 1992. Denne konvensjonen blir gjerne omtalt som Klimakonvensjonen på norsk.

Etter det første partsmøtet til Klimakonvensjonen i 1995 ble nye forhandlinger om mer forpliktende mål for utslippsreduksjoner for industrilandene innledet. Disse forhandlingene endte med at en protokoll til Klimakonvensjonen, 'Kyotoprotokollen', ble vedtatt på det tredje partsmøtet i Kyoto i Japan i 1997. Kyotoprotokollen slår fast at industrilandene samlet skal redusere sine klimagassutslipp med 5,2% i målperioden 2008-12 sammenlignet med 1990. For at protokollen skal tre i kraft må tilstrekkelig mange og store land signere og ratifisere den. Per juni 2000 er ikke dette kravet til ikrafttredelse oppfylt.

I de neste avsnittene følger en nærmere beskrivelse av IPCC, Klimakonvensjonen, og Kyotoprotokollen, før vi i avsnitt 5.2 beskriver ulike nasjonale initiativ for å oppfylle Kyotoprotokollens målsettinger. Kapitlet avsluttes med noen skisser til mulige politikk-scenarier fram mot 2010 og videre etter Kyotoprotokollens første forpliktelsesperiode.

5.1.1 IPCC

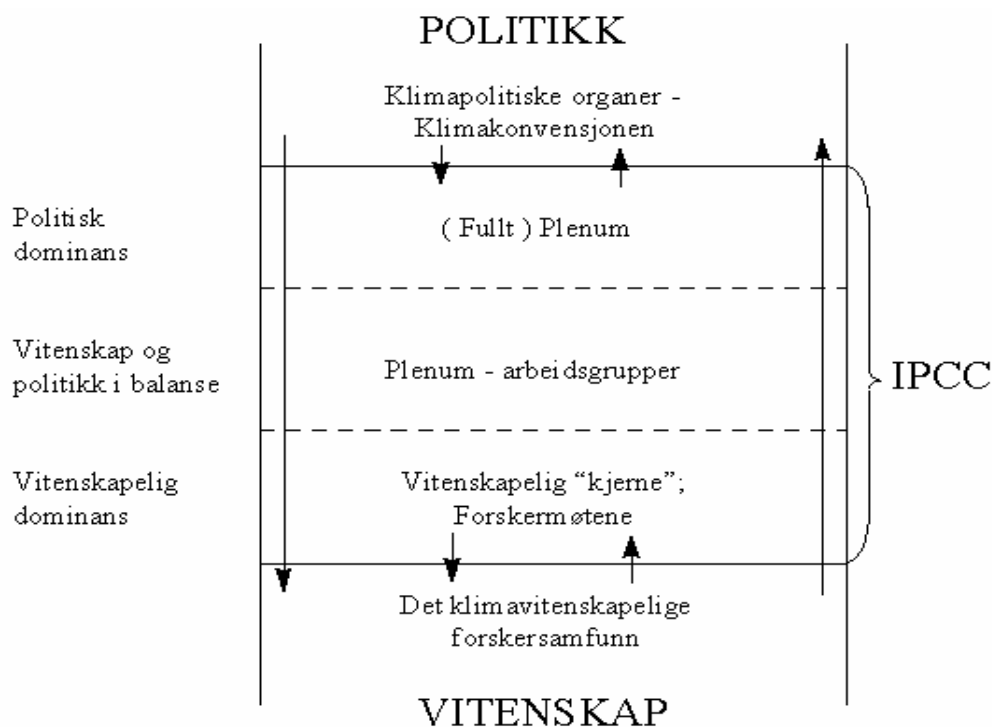
FNs klimapanel (Intergovernmental Panel of Climate Change, IPCC) er et vitenskapelig organ som jevnlig gir faglige vurderinger og sammenfatninger av den nyeste kunnskapen som foreligger om klimasystemet. IPCC gjør sine vurderinger på bakgrunn av publisert litteratur og fokuserer spesielt på mulige menneskeskapte klimaforstyrrelser. Dets arbeide utgjør det viktigste vitenskapelige grunnlaget for politiske beslutninger i Klimakonvensjonen (se 5.1.2 for nærmere beskrivelse av Klimakonvensjonen).

IPCC er inndelt i tre arbeidsgrupper som fokuserer på hvert sitt fagområde. De rent naturvitenskapelige vurderingene rundt klimaproblemet og dets årsaker blir foretatt i arbeidsgruppe I. Arbeidsgruppe II vurderer virkningene av klimaendringer og utarbeider mulige strategier for tilpasninger til slike endringer, mens tiltak mot klimaforstyrrelser og virkninger av dette på sosiale og økonomiske forhold blir vurdert i arbeidsgruppe III. IPCC utgir om lag hvert 5. år en hovedrapport med bidrag fra alle de tre arbeidsgruppene. Den første hovedrapporten (First Assessment Report – FAR) kom i 1990, mens den andre (Second Assessment Report – SAR) var ferdig i 1995. Tredje hovedrapport (Third Assessment Report – TAR) er ventet ferdig i

2001. I tillegg til hovedrapportene utgir IPCC fagrappporter av ulike slag som belyser spesielle forhold av betydning for klimaproblemet. Et eksempel er scenarierapporten referert i kapittel 4.

En viktig forutsetning for å finne fram til en effektiv klimapolitikk er at det er en god dialog mellom forskere og beslutningstakere. De vitenskapelige organers integritet må ivaretas samtidig som de innehar en tilstrekkelig forståelse av det politiske problemkompleks til at de kan formidle relevant kunnskap. Utfordringen er å beholde den vitenskapelige integriteten i en situasjon med sterk kobling til en politisk prosess. IPCC opererer derfor i en balanse mellom vitenskap og politikk. Mandatet er vitenskapelig, men IPCC er organisert innenfor en politisk institusjonell ramme, nemlig FN. Klimapanelet er et mellomstatlig organ der beslutninger fattes i henhold til FNs prosedyrer og regler. Alle FN-medlemmer kan derfor delta i IPCCs og arbeidsgruppens plenumssesjoner.

Arbeidet i IPCC er, som vist i Figur 5.1, organisert i tre beslutningsnivåer. Nederst finnes den vitenskapelige ”kjerne” med forskere som utarbeider de vitenskapelige rapportene.



Figur 5.1. Beslutningsnivåer i FNs klimapanel. Kilde: Torvanger et al., 1997.

Myndighetsrepresentanter har lav deltakelse og liten innflytelse på dette nivået. Arbeidsgruppens plenum som skal godkjenne de vitenskapelige rapportene og utarbeide et sammendrag av hovedpunktene er neste nivå i prosessen. Innslaget av politikk er mer synlig og myndighetsrepresentanter utgjør en stor del av deltakermassen. Myndighetene har en viss innflytelse på innholdet i sammendragene, men innenfor rammen av hva forskerne oppfatter som vitenskapelig forsvarlig. IPCCs øverste nivå er fullt plenum hvor vedtakene fra arbeidsgruppens plenum skal godkjennes. Fullt plenum har ikke anledning til å gjenåpne diskusjonen som er blitt avklart i en arbeidsgruppe, men godkjenner en synteserapport bygget på alt underliggende materiale.

IPCCs arbeide omfatter således både vitenskap og politikk, og det viktigste bidraget er omdanningen av ”rene” vitenskapelige utsagn til mer eller mindre forhandlede premisser for beslutninger i klimapolitikken. IPCC synes å ha bevart sin vitenskapelige integritet i en vanskelig gråsoner mellom vitenskap og politikk, men prisen er at det er en svært tid- og ressurskrevende prosess.

5.1.2 UNFCCC (Klimakonvensjonen)

På toppmøtet i Rio de Janeiro i juni 1992 ble forslaget til konvensjon fra Intergovernmental Negotiating Committee for the Framework Convention on Climate Change signert av 155 stater. Konvensjonen fikk navnet United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). I mars 1994 trådte Konvensjonen i kraft. Per desember 1999 hadde 181 land ratifisert Klimakonvensjonen, deriblant Norge.

Klimakonvensjonen er ambisiøs på den måten at den definerer mål for konsentrasjonen av drivhusgasser i atmosfæren. Artikkel 2 sier at Konvensjonen har som målsetting å stabilisere konsentrasjonen av drivhusgasser i atmosfæren på et nivå ... “that could prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system. Such a level should be achieved within a time-frame sufficient to allow ecosystems to adapt naturally to climate change, to ensure that food production is not threatened and to enable economic development to proceed in a sustainable manner.” På den annen side er det uklart hvor høye konsentrasjoner av drivhusgasser man dermed kan tillate. Og Klimakonvensjonen gir heller ingen anvisning på hvordan man skal nå målet. Noe av det viktigste med etableringen av Konvensjonen var kanskje derfor at man fikk en anerkjennelse av klimaproblemet som sådan. Klimakonvensjonen er en rammekonvensjon som ikke pålegger landene juridisk bindende forpliktelser til å redusere sine utslipp av klimagasser. Den inneholder en intensjonserklæring om å stabilisere utslippene på 1990-nivå innen år 2000. Landene skal rapportere om utslipp av klimagasser og tiltak som iverksettes for å redusere utslippene. Sentrale punkter i Klimakonvensjonen er:

1. Klimakonvensjonen gir anerkjennelse til det såkalte “føre var-prinsippet” (“precautionary principle”).³
2. I hovedsak skiller Klimakonvensjonen mellom tre grupper av land: De industrialiserte landene, inkludert de landene som er i overgangsfasen til å bli markedsøkonomier (tidligere kommunistland), er listet opp i Annex I. Annex II lister imidlertid bare opp de industrilandene som var medlem av OECD da Klimakonvensjonen ble etablert i 1992.⁴ Den tredje gruppen av land som nevnes i Konvensjonen er utviklingslandene. Annex II landene har flest forpliktelser. Annex I gruppen av land har noen færre forpliktelser enn Annex II gruppen. Utviklingslandene har færrest forpliktelser.

³ Hva det vil si å være “føre var” er vanskelig å definere, og dermed er det problematisk å snakke om et *prinsipp*. Klimakonvensjonen sier at landene skal iverksette tiltak nå for å begrense skadevirkninger av en global oppvarming i framtiden selv om det er vitenskapelig usikkerhet knyttet til problemets alvorlighetsgrad. I Konvensjonen, artikkel 3, heter det: “Where there are threats of serious or irreversible damage, lack of full scientific certainty should not be used as a reason for postponing such (mitigation) measures....” Føre var prinsippet kan tolkes som noe i retning av at slike tiltak skal iverksettes før det er full vitenskapelig enighet om at man står overfor et miljøproblem. I virkeligheten sier altså føre var prinsippet at man skal investere selv om det er uklart hvor stor avkastningen av investeringene blir. Det er imidlertid tilfelle med praktisk talt alle investeringer av langsiktig karakter. I enhver investeringsbeslutning må man veie avkastningens størrelse opp mot hvor usikker den er.

⁴ Siden er Polen, Ungarn, Mexico, Tsjekia og Sør-Korea blitt OECD-medlemmer.

3. Klimakonvensjonen legger et hovedansvar på de rike landene (Annex I landene). Det påpekes at disse har et spesielt ansvar for å gå foran ettersom de står ansvarlig for størsteparten av de akkumulerte historiske utslippene av drivhusgasser.
4. Konvensjonen etablerte viktige institusjoner i det videre arbeidet. Partsmøtet, hvor alle parter deltar, er Konvensjonens øverste organ. Første partsmøte fant sted i Berlin i mars 1995. Nye partsmøter vil bli avviklet årlig framover. Sekretariatet vil utføre nødvendig koordinering og sikre informasjonsflyten. Partsmøtet blir støttet av to underkomiteer, SBI (Subsidiary Body on Implementation) og SBSTA (Subsidiary Body on Scientific and Technological Advice).

Klimakonvensjonen innebærer ingen forpliktelser som er av en slik art at de vil redusere de globale utslippene av drivhusgasser vesentlig. Tvertimot har det hele tiden vært klart at Klimakonvensjonen, slik den ble vedtatt på Rio-møtet, i første rekke er ment å legge grunnlaget for arbeidet med et internasjonalt avtaleverk som kan sikre reduserte klimagassutslipp. Viktige elementer i dette grunnlaget er at landene, ved å ratifisere Konvensjonen, anerkjenner problemet og at de inngår som deltagere på partsmøtene.

5.1.3 Berlin-mandatet

Det første partsmøtet til Klimakonvensjonen ble arrangert våren 1995 i Berlin. På møtet ble partenes gjennomføring av Klimakonvensjonen oppsummert så langt og noen viktige vedtak fattet.

Forpliktelsene til å redusere utslippene av klimagasser i Klimakonvensjonen ble kjent utilstrekkelige for å nå dens mål. For å styrke forpliktelsene til Annex I landene ble det såkalte 'Berlin-mandatet' vedtatt. I følge Berlin-mandatet skulle forhandlinger igangsettes for å vedta en protokoll eller annet juridisk instrument med sikte på å styrke forpliktelsene for Annex I landene for perioden etter år 2000. Forhandlingene skulle skje i 'The Ad Hoc Group on the Berlin Mandate' (AGBM), og skulle avsluttes før det tredje partsmøtet til Klimakonvensjonen i desember 1997. Det skulle settes kvantifiserte og tidsfestede mål for utslippsreduksjoner, samt at det skulle bestemmes nødvendige tiltak og virkemidler. Både i Klimakonvensjonen og Berlin-mandatet fastslås det at man skulle ta hensyn til partenes ulike utgangspunkt, ulike økonomiske strukturer og ressursbaser.

Et annet viktig vedtak gjaldt opprettingen av en pilotfase for felles gjennomføring av klimatiltak (FG) ('Joint Implementation') fram til år 2000. FG er et samarbeide mellom to eller flere parter til Klimakonvensjonen for å oppfylle sine nasjonale forpliktelser til reduksjon i sine utslipp av klimagasser. Det ble ingen kreditering av utslippsreduksjoner gjennom FG-prosjekter i pilotfasen. For å skille aktivitetene i pilotfasen fra en fullt utviklet FG-mekanisme ble de kalt 'Activities Implemented Jointly' (AIJ).

5.1.4 Kyotoprotokollen

Etter en rekke møter i 'The Ad Hoc Group on the Berlin Mandate' (AGBM) ble Kyotoprotokollen vedtatt på det tredje partsmøtet til Klimakonvensjonen i Kyoto, Japan, 11. desember 1997. Den endelige teksten ble et resultat av intense forhandlinger der "de fire store" USA, EU, Japan og G77/Kina (utviklingslandene) hadde mest å si. For at Kyotoprotokollen skal tre i kraft må minst 55 land som representerer minst 55% av karbondioksid-utslippene i industrilandene (Annex I) i 1990 signere og ratifisere den. USA alene står for 36% av utslippene. Per 13. januar 2000 hadde 84 land signert og 22 land ratifisert protokollen. De som har ratifisert protokollen er små øystater, en del Latin-Amerikanske land, Mongolia, og noen tidligere Sovjet-republikker. Dermed er det fremdeles langt fram før protokollen kan tre i kraft.

Det viktigste innholdet i Kyotoprotokollen er:

1. Industrilandene skal redusere sine samlede utslipp av klimagasser med 5,2% i perioden 2008-12 sammenlignet med basisåret 1990. Forpliktelsen til disse landene er definert i et Annex B til Kyotoprotokollen. U-landene fikk ingen forpliktelser til å redusere sine utslipp i denne omgang.
2. Reduksjonsmålene er differensiert mellom land og varierer mellom +10% for Island og -8% for EU, de fleste omstillingsøkonomiene (bl.a. med unntak av Russland og Ukraina som har 0%), New Zealand og Sveits.⁵ USA har -7% og Norge +1%.
3. Tre mekanismer for samarbeid om utslippsreduksjoner over landegrensene innføres: internasjonal kvotehandling ('Emissions Trading' (ET)), felles gjennomføring ('Joint Implementation' (JI)), og den grønne utviklingsmekanismen ('Clean Development Mechanism' (CDM)).⁶ Mekanismene kalles ofte for 'Kyotomekanismene'. Den viktigste motivasjonen for dem er å øke kostnadseffektiviteten gjennom å redusere landenes kostnader knyttet til måloppfylting. ET og JI kan bare skje mellom land med reduksjonsmål, mens CDM kan finne sted mellom land med og uten reduksjonsmål. I tillegg nevner Kyotoprotokollen at en gruppe land kan delta med et reduksjonsmål gjennom en 'boble', jamfør EUs interne differensiering.
4. Protokollen omfatter 6 gasser, hvorav 2 er grupper av gasser: karbondioksid (CO₂), metan (CH₄), lystgass (N₂O), hydrofluorkarboner (HFK), perfluorkarboner (PFK), og svovelheksafluorid (SF₆). Den relative vekten av de ulike gassene er definert gjennom bruk av Global Warming Potentials med 100 års tidshorison (GWP₁₀₀), se egen boks i kapittel 1.
5. Det er en åpning for å ta med binding av karbondioksid i skog og jord.

Den forventede effekten av Kyotoprotokollen på global oppvarming fra drivhuseffekten er liten, bare et par tiendedels grad mindre oppvarming ved slutten av dette hundreåret. Effekten av utslippskutt i nye Kyoto-perioder etter 2012 vil være avgjørende for den langsiktige effekten, og disse vil avhenge av ambisjonsnivået og utviklingslandenes deltagelse. Den viktigste effekten av Kyotoprotokollen i denne omgang blir derfor politisk, nemlig at landene enes om at menneskeskapt global oppvarming er et problem man må ta alvorlig, og at man har staket opp en kurs for å håndtere dette problemet.

USAs ratifikasjon ser ut til å bli et hinder i den videre klimaprosessen. Senatet har gjort et enstemmig vedtak om at viktige utviklingsland må delta på en meningsfylt måte før USA vil ratifisere Kyotoprotokollen, noe G77/Kina protesterer mot. USA, blant annet med støtte av Norge, insisterer også på at handelen gjennom Kyotomekanismene skal være mest mulig fri, mens EU har foreslått et tak på bruken av dem. EUs forslag innebærer at et land kun kan kjøpe kvoter som svarer til inntil halvparten av den utslippsreduksjonen de må foreta, resten må skje gjennom innenlandske tiltak. Et tilsvarende tak finnes for salg av kvoter. EU begrunner forslaget gjennom å vise til protokollens krav om at Kyotomekanismene skal supplere innenlandske tiltak, gjennom å vise til at utvikling av grønne teknologier krever tilstrekkelig med innenlandske tiltak, og gjennom å vise til at forslaget begrenser bruken av 'hot air' fra Russland og Ukraina. 'Hot air' er kvoter som ikke er basert på spesielle tiltak, men følger av at disse landene får lov til å

⁵ EU har vedtatt en intern byrdefordeling som ligger mellom -28% for Luxemburg og +27% for Portugal.

⁶ Disse mekanismene opprettes i henholdsvis artiklene 17, 6 og 12 i Kyotoprotokollen.

stabilisere utslippene på 1990-nivået samtidig som de har hatt omstillingsproblemer i økonomien som medfører at utslippene i 2008-2012 sannsynligvis vil ligge under 1990-utslippene.

5.1.5 Betydningen av COP6

På bakgrunn av at Kyotoprotokollen mangler utfyllende regler og bestemmelser på flere områder vedtok det fjerde partsmøtet til Klimakonvensjonen i Buenos Aires, Argentina, en omfattende arbeidsplan som skal avsluttes på COP6 i Haag, Nederland, i november 2000. Denne planen kalles 'Buenos Aires plan of action (BAPA)'. Det mangler regler blant annet for Kyotomekanismene, binding av karbondioksid i jord og skog, og nærmere spesifisering av kompensasjonsordninger for utviklingsland som er mest sårbare for klimaendringer, samt for utviklingsland som blir spesielt rammet av gjennomføringen av Kyotoprotokollen i industrilandene (blant annet Saudi-Arabia og andre oljeeksportører). Arbeidsplanen inneholder mange og krevende punkter, der partene til dels har vist at de står langt fra hverandre, så det er ikke gitt at man kommer i mål med alle punktene til november. I tillegg lager de store motsetningene mellom USA og G77/Kina i synet på utviklingslandenes deltagelse problemer for framdriften. Sammenlagt betyr disse forholdene at det er lite som kan garanteres når det gjelder utfallet av COP6, og at det er mange skjær i sjøen før Kyotoprotokollen kan tre i kraft. Første hinder er å få en forhandlingstekst på bordet. Møteaktiviteten utover året vil vise om dette er mulig i rimelig tid før COP6 i november 2000.

5.2 Hva gjør vi med klimaproblemet: Forslag om kvotesystemer nasjonalt og regionalt

5.2.1 Norge

Den 23. oktober 1998 ble det ved kongelig resolusjon oppnevnt et "kvoteutvalg" som skulle utrede et nasjonalt kvotesystem for klimagasser med utgangspunkt i Kyotoprotokollen. Hovedpunktene i utvalgets mandat var at kvotesystemet skulle omfatte de industrielle virksomheter som ikke er ilagt CO₂-avgift i dag, og vurdere hvordan andre sektorer kunne inkluderes. Videre skulle systemet omfatte alle klimagasser som omfattes av Kyotoprotokollen, og tildelingskriterier for utslippkvoter skulle være sentralt. Kvoteutvalget la fram sin innstilling 17. desember 1999.

Det ble anbefalt, forutsatt at Kyotoprotokollen trer i kraft, at det innføres et bredt nasjonalt system med kvoteplikt fra 2008. Det ble påpekt at det er fullt mulig å benytte seg av både kvoter og avgifter for ulike utslippkilder, men at et kvotesystem lett vil kunne innpasses i et internasjonalt kvotemarked. Det ble anbefalt at alle utslipp som er egnet til å reguleres med kvoteplikt bør inngå i systemet. Med den sammensetningen av utslipp som man hadde i Norge i 1997 vil et slikt system kunne omfatte nesten 90 prosent av Norges klimagassutslipp. Kvotebør, med unntak av eventuelle gratiskvoter, være fritt omsettelige og ikke knyttet til et bestemt år. Kvotebør kan derfor brukes når som helst etter at kvoteplikten er inntrådt.

Kvoteutvalget anbefaler at dersom det ikke legges noen begrensninger på avtalelandenes mulighet til å benytte seg av de fleksible mekanismene, bør alle innenlandske aktører kunne benytte seg av disse direkte. Videre anbefaler utvalget at norske myndigheter ikke setter strengere tak for Norges bruk av de fleksible mekanismene enn det som fastsettes i de internasjonale forhandlingene.

Utvalget var enige om alle de praktiske sidene ved utforming av kvotesystemet med unntak av spørsmålet om gratis tildeling av kvoter til konkurranseutsatt industri. På spørsmålet om hvorvidt det bør tildeles gratiskvoter og hvilken tildelingsform som eventuelt skal benyttes er

utvalget derfor delt. Et flertall på 6 medlemmer anbefaler at alle betaler full markedspris i tråd med prinsippet om at forurenser skal betale. Ingen del av industrien bør få tildelt gratiskvoter ettersom fordelene en kan oppnå ikke står i forhold til de kostnader dette vil medføre for resten av økonomien. Et mindretall på 2 medlemmer anbefaler at gratiskvoter inngår som en del av systemets praktiske implementering for de som i dag er fritatt for CO₂ avgifter. Et annet mindretall på 3 medlemmer anså ikke tildeling av gratiskvoter som en del av deres mandat.

Dersom det tildeles gratiskvoter bør den enkelte bedrift få tildelt kvoter proporsjonalt med bedriftens utslipp i en bestemt historisk basisperiode eller et valgfritt bestemt år. Når det gjelder ny virksomhet som ikke hadde utslipp i løpet av basisperioden så skal ikke gratiskvoter tildeles. Kvoteutvalget anbefaler derfor at gasskraftverk ikke får tildelt gratiskvoter. Utvalget er delt når det gjelder hvilken tildelingsform for gratiskvoter som bør benyttes. Det påpekes at det går et viktig skille mellom kvoter tildelt uten betingelser og kvoter tildelt med betingelser. Det er derfor enighet om at dersom noen kvoter skal tildeles gratis, så skal noen av disse tildeles som ikke-omsettbare. Dette vil medføre at kvoten bare kan benyttes i den virksomheten som har fått tildelt kvoter. Et flertall på 6 legger vekt på at man kan dempe eller utsette innskrenkninger og nedleggelse ved å tildele gratiskvoter. Ikke-omsettelige gratiskvoter vil kunne redusere motivet til gjennomføre omlegginger til mindre klimagass-intensiv produksjon. Utvalgets mindretall på 5 medlemmer mener at en rendyrket variant av ikke-omsettbare kvoter vil gi for svake incentiver til utslippstiltak. Det blir derfor anbefalt at en andel av kvotene skal være kvoter uten betingelser. Tiltak i egen bedrift vil derfor kunne frigjøre kvoter for salg.

Utvalget anbefaler at staten selger de kvotene som skal selges direkte på markedet når det eksisterer et velfungerende marked. Så lenge et slikt marked ikke er til stede, anbefales det at kvotene auksjoneres ut.

5.2.2 Sverige

I Sverige kom utredningsarbeidet senere i gang enn i Norge (sommeren 1999) og har hatt en litt annen struktur. Det ble nedsatt et politisk sammensatt utvalg under ledelse av tidligere miljøvernminister Olof Johansson som skulle se på mulige målsettinger i klimapolitikken, mens et ekspertutvalg ble opprettet for å hjelpe utreder og tolldirektør Kjell Jansson med en ekspertutredning om bruk av de såkalte fleksible mekanismene eller Kyotomekanismene i svensk klimapolitikk (se *Cicerone* nr. 5/99). Utredningen om de fleksible mekanismene ble overlevert 18. april i år.

Arbeidet i ekspertutvalget ble klart to-delt. I en første fase utarbeidet man et forslag om en nasjonalt kvotehandelsystem ganske likt det norske forslaget. Den største forskjellen var at man så for seg en tidlig innføring av systemet (dvs. før 2008) og at man åpnet for kvotehandel med andre land og bruk av felles gjennomføring i forkant av første Kyotoperiode. Arbeidet ble dokumentert i en foreløpig rapport som kom ut høsten 1999 (SOU 1999).

Annen fase av arbeidet i det svenske ekspertutvalget tok til da EUs kommisjon i mars i år ga ut sitt *Green paper on greenhouse gas emissions trading within the European Union*. Dokumentet er ment som et diskusjongrunnlag og har således ikke karakter av formelle forslag til utformingen av et internt kvotehandelsystem i EU. Vi kommer tilbake til innholdet i dokumentet i et senere avsnitt, men nevner her de viktigste hovedtrekkene i diskusjonsnotatet:

- Det skal bare omfatte CO₂-utslipp og bare fra store punktkilder.
- Systemet skal implementeres fra 2005.
- Det åpnes ikke for bruk av felles gjennomføring og den grønne utviklingsmekanismen for første forpliktelsesperiode (2008-2012).

En rekke spørsmål er presentert i dokumentet og EU-kommisjonen inviterer til synspunkter på disse. Vi skal komme tilbake til enkelte av dem nedenfor.

Utrederen Kjell Jansson valgte etter fremleggelsen av EUs diskusjonsnotat å legge sitt endelige forslag til et svensk kvotehandelssystem nær opp til elementene skissert i dette, men foreslår også noen utvidelser av systemet skissert av EU. Således foreslår han at:

- Kvotehandelssystemet også skal omfatte CO₂ fra bruk av fossile brensler i transport, husholdninger og skjermet industri. Industri som i dag ikke betaler full CO₂-skatt i Sverige foreslås unntatt fra systemet før første forpliktelsesperiode.
- Kvote auksjonerer ut og erstatter dagens CO₂-avgift.
- Urettmessige utslipp skal straffes hardt.
- Det åpnes for bruk av de prosjektbaserte mekanismene (felles gjennomføring og den grønne utviklingsmekanismen).
- Sluk (som hovedsakelig er binding av CO₂ i skog) holdes utenom i første omgang.
- Det åpnes for at EØS-landene (deriblant Norge) kan delta i EUs kvotehandelssystem.

I et tilleggsgodkjenning ble også utrederen bedt å svare på de ti spørsmål EU stiller i sitt Green paper. Nedenfor går vi kort gjennom de viktigste elementene i EUs diskusjonsgrunnlag og de svarene den svenske utrederen gir på spørsmålene i diskusjonsnotatet.

5.2.3 Kvoter i EU

5.2.3.1 Kvotesystemets omfang

EU foreslår i sitt diskusjonsnotat et handelssystem som bare dekker CO₂-utslipp (både forbrennings- og prosessutslipp) fra store punktkilder. Dette er definert som kilder som dekkes av 'The Large Combustion Plant direktivet (LCP)' og 'Integrated Pollution Prevention Control (IPPC)' direktivet. Størrelsesordenen på sektorbidragene til disse utslippene framgår av Tabell 5.1.

Tabell 5.1. Industrisektorer som tenkes inngå i et kvotehandelssystem for EU. Andel av samlede CO₂-utslipp i prosent.

Sektorer	Andel av EUs CO ₂ -utslipp i 1997	Andel av Sveriges CO ₂ -utslipp i 1998	Andel av Norges CO ₂ -utslipp i 1997
El- og varmeproduksjon	29,9	9,5-13,0	1
Jern- og stålindustri	5,4	8	7 (inkl. ferrolegering)
Raffinerier	3,6	3	5
Kjemisk industri	2,5	0,8	7 (kjemiske råvarer)
Glass-, keramikk og byggematerialer	2,7	2,8	5 (Mineralsk produksjon inkl. bergverk)
Treforedling	1	4,5	1
I alt	45,1	28,6-32,1	26

Merknad til tabellen: Sektorinndelingen og utslippstallene i tabellen er usikre og må bare tas som en indikasjon på hvilke utslipp som kan tenkes å inngå i et kvotehandelssystem som diskutert av EU. Ikke alle kilder og aktiviteter innen hver av sektorene er tenkt dekket av kvotehandelssystemet. Dette er det ikke tatt hensyn til ved utarbeidelsen av tallene for Norge. De norske andelene er derfor for høye.

Motivet for å velge ut et fåtall store punktkilder er å få til et så enkelt system som mulig fra starten av. Dette er etter kommisjonens synspunkt nødvendig da de ulike medlemsland er kommet ulikt langt med sin nasjonale klimapolitikk. Dette er også bakgrunnen for at

kommissjonen drøfter ulike måter å gjøre oppstarten mer fleksibel på, ved enten å la deltakelsen i handelssystemet være frivillig (opt in), eller å åpne for at enkeltland eller –sektorer i medlemsland kan få melde seg ut av handelssystemet for en kortere eller lengre periode (opt out). Det er imidlertid et hovedanliggende for EU å sikre like konkurransevilkår på tvers av landegrensene, og i den grad landene velger ulike løsninger for sin nasjonale klimapolitikk er det opp til EU å sikre bruken av andre virkemidler i et omfang som ikke gir skjeve konkurransevilkår.

Den svenske utrederen anfører at han foretrekker et system der alle land som deltar gjør dette med de samme sektorer. Det bør altså, etter svensk oppfatning, ikke være anledning for enkeltland til å fritta enkeltsektorer fra kvoteplikt. Derimot innser han at det kan være urealistisk å få med alle 15 EU-land i et kvotehandelssystem før 2005.

5.2.3.2 Tildeling av utslippsrettigheter

Når det gjelder tildeling av kvoter til enkeltsektorer og –bedrifter, tar ikke kommissjonen stilling, men reiser spørsmålet om formen for tildeling (gratistildeling eller auksjonering) bør reguleres på EU-nivå eller om det skal være opp til medlemslandene å bestemme dette innenfor gjeldene regelverk i unionen. Kjell Jansson anfører i tilknytning til dette at forhandlinger om tildelinger til medlemsland og sektorer og bedrifter i disse kan bli en meget komplisert prosess. Han foreslår derfor at hvert land selv bestemmer hvor mange utslippsrettigheter (kvoter) det vil dele ut i årene for første forpliktelsesperiode (2008-2012), men at kvoter som ikke benyttes skal kunne veksles inn mot kvoter som gjelder i den første forpliktelsesperioden der landenes forpliktelser er nedfelt i Kyotoprotokollen. Dette vil sikre at hvert land ikke vil dele ut for mange kvoter før 2008.

Videre anser Jansson at man må sikre ens tildelingsform blant alle land som deltar i kvotehandelssystemet, og han anfører argumenter for at dette bør skje ved auksjon i hvert land. I Sverige kan imidlertid dette medføre at staten blir erstatningsansvarlig for de bedrifter som tidligere har fått driftstillatelse fra staten.

En sentral premiss i EUs diskusjon av et internt kvotehandelssystem er at konkurranseforholdet mellom land og sektorer ikke skal forrykkes. Skal dette sikres med et så begrenset kvotehandelssystem som skissert i EUs diskusjonsnotat, må andre virkemidler som konsesjonsbehandling og tekniske standarder, avgifter, avtaler eller annet anvendes for de kilder, sektorer og land som ikke inngår i et eventuelt kvotehandelssystem. EU reiser derfor naturlig nok spørsmål om hvordan dette skal gjøres; ved sentral kontroll av politikktiltak på hvert område eller ved utvikling av et egnet regelverk. Den svenske reaksjonen på dette er å foreslå et så bredt kvotesystem som mulig.

5.2.4 Danmark

Danmark er på mange vis det landet som har kommet lengst i utformingen og implementeringen av et nasjonalt kvotesystem gjennom innføringen av lov om CO₂-kvoter for el-produksjon. (Se <http://147.29.40.90/GETDOC/ACCN/A19990037630-regl> for lovteksten). Loven, som setter et tak på CO₂-utslipp fra kraftsektoren i Danmark, ble vedtatt i 1999 og endelig godkjent av EU våren 2000. Kvotene tildeles gratis på bakgrunn av historiske utslipp, og det åpnes for adgang til handel med CO₂-kvoter med andre land, samt revisjon av kvotetildelingen under særskilte forutsetninger. Endelig fastsettes det en avgift på kr. 40 per tonn CO₂ for utslipp som overstiger kvotetaket. Alt i alt er dette derfor et meget snevert og ”mildt” kvotesystem, hvis fremste særtrekk er at det er på plass.

5.2.5 UK

I Storbritannia har prosessen rundt en eventuell innføring av et kvotesystem forløpt annerledes enn i de nordiske landene. Bakgrunnen var et forslag om innføring av en klimaskatt fra 1. april 2001. Som et mottrekk mot dette satte den britiske industriforeningen ned en gruppe (ETG – Emission Trading Group) med representanter for industri og styresmakter som kom fram et forslag til et kvotehandelsystem som et alternativ til skatteforslaget (se Emission Trading Group (1999): Outline Proposal for a UK Emissions Trading Scheme, The Emission Trading group Secretariat, London). Systemet er foreslått som et virkemiddel for å sikre at industriens bidrag til det innenlandske britiske reduksjonsmålet blir kostnadseffektivt og at britisk industri ikke skal miste konkurransemessige fortrinn internasjonalt.

ETG mener at Storbritannia gjennom å supplere med et kvotehandelsystem vil kunne nå sine reduksjonsforpliktelser mer kostnadseffektivt og med større sikkerhet. Et slikt system vil også ha potensiale til å engasjere en større krets av deltakere enn de som allerede er engasjert i avtalen forhandlet frem under den Britiske Klima Skatten og IPPC Direktivet. Videre har det potensiale til å være et incitament til å øke industriens investeringer i prosjekter i andre sektorer (hushold/transport). Det vil også gi britiske myndigheter og industri erfaring i karbon-handel, hvilket igjen kan øke britisk innflytelse i internasjonale forhandlinger.

Gjennom rapporten har deltakerne blitt enige om et detaljert rammeverk for kvotehandel. ETG setter opp retningsgivende prinsipper for hvordan det skal fungere, der miljømessige og økonomiske begrunnelser står sentralt. Det pekes også på at det skal være enkelt, rettferdig, transparent, troverdig og inkluderende. Det foreslås hvordan kvoter skal allokere til ulike kategorier av deltakere og det skisseres hvordan et autoritativt organ skal inneha det fulle og hele ansvaret for handelen. Det settes også opp et forslag til retningslinjer for overvåkning, verifisering og overholdelse. ETG har blitt enige om å samarbeide med myndighetene for å utarbeide de gjenværende detaljer, med det mål at systemet skal være operativt innen 1. april 2001.

5.3 Politikk-scenarier til 2012 (første Kyoto-periode)

Som tidligere nevnt er det ingen garanti for at Kyotoprotokollen vil tre i kraft på bakgrunn av de formelle kravene om at tilstrekkelig mange og store industriland må ratifisere den, og spesielt konflikten mellom USA og utviklingslandene om deres deltagelse. En konsekvens er at flere framtidsbilder eller scenarier er mulige. I dette avsnittet drøfter vi kort tre mulige scenarier Norge kan stå overfor.

5.3.1 Kyoto-protokollen ratifiseres av USA og andre land slik at den trer i kraft

Det mest optimistiske scenariet for Kyotoprotokollen er at forhandlingene fram til COP6 i november 2000 løser de viktigste gjenstående spørsmålene om regelverk for Kyotomekanismene, og at partene viser tilstrekkelig fleksibilitet i sine posisjoner og forhandlingsvilje til at både USA og utviklingslandene vil ratifisere Kyotoprotokollen. Skal USA fire på kravet om deltagelse av utviklingslandene må man i alle fall forvente at de får igjennom sitt krav om ubegrenset bruk av mekanismene, og at EUs forslag om tak på bruken av mekanismene derfor må falle. På grunn av den store avstanden i posisjoner mellom viktige parter i forhandlingene kan det synes som om sannsynligheten for dette scenariet er moderat.

5.3.2 Kyoto-protokollen ratifiseres ikke av USA, men av EU/Russland/Ukraina slik at den trer i kraft; USA følger i noen grad opp

Historien bak det andre scenariet er at det ikke ble mulig å finne et kompromiss mellom USA og utviklingslandene. Utviklingslandene har fremdeles ingen formelle reduksjonsmål og deres vilje til frivillige utslippskutt er begrenset. Dermed ratifiserer USA ikke Kyotoprotokollen, i alle fall ikke i de nærmeste årene. Likevel kan protokollen tre i kraft dersom de fleste andre industriland enn USA ratifiserer. På bakgrunn av at USA står for 36% av industrilandenes CO₂-utslipp og kravet til ikrafttredelse er at land som står for minst 55% av utslippene ratifiserer, kan protokollen likevel tre i kraft dersom USA og industriland som står for inntil 9% av industrilandenes utslipp ikke ratifiserer protokollen. Mer avgjørende er den politiske effekten av at verdens største økonomi og siste supermakt, og som har de desidert største per capita utslippene av store land, ikke vil bli med i Kyotoprotokollen. Risikoen er at flere andre land ikke vil delta dersom USA framstår som en gratispassasjer. Avgjørende blir også EUs valg i en slik situasjon. Vil EU likevel ratifisere og arbeide for en ambisiøs klimapolitikk, eller vil de være redd for å tape konkurransevne og arbeidsplasser til USA? Et annet viktig spørsmål, der svaret kan være avgjørende for EUs valg, er om USA selv uten å ratifisere Kyotoprotokollen i stor grad vil gjennomføre den i praksis.

5.3.3 Nasjonal klimapolitikk uten Kyoto-protokollen

I det tredje scenariet trer Kyoto-protokollen ikke i kraft fordi den ikke ratifiseres av USA og tilstrekkelig mange andre land til at den kan tre i kraft. Den politiske effekten av USAs vegring er dermed stor nok til å velte protokollen. I en slik situasjon er det en mer åpen situasjon med hensyn på hva for eksempel EU vil gjøre. Et sannsynlig utfall er at EU og de fleste andre industriland venter at en klimapolitikk uansett vil måtte presse seg fram før eller siden på grunn av tiltagende tegn på at en menneskeskapt klimaendring med store samfunnsmessige konsekvenser er i gang. Disse landene vil derfor fortsette med en klimapolitikk, om enn med noe lavere ambisjoner enn i Kyotoprotokollen, og de vil forvente at det senere kommer en "ny" Kyotoprotokoll med mer ambisiøse klimamål. Også i dette scenariet kan USA og andre land som ikke har ratifisert likevel velge å delvis gjennomføre protokollen i praksis. Norge kan for eksempel bli med på et skandinavisk kvotesystem eller bli med i et kvotesystem innen EU-området. For Norge vil et slikt scenario være vanskelig på grunn av økt usikkerhet om framtidige rammebetingelser for økonomien og industrien. Vår forventning er at Norge vil velge samme vei som våre viktigste handelspartnere innen EU, og legge oss opp mot EUs klimapolitikk. Vår avstand til USA kan derfor øke.

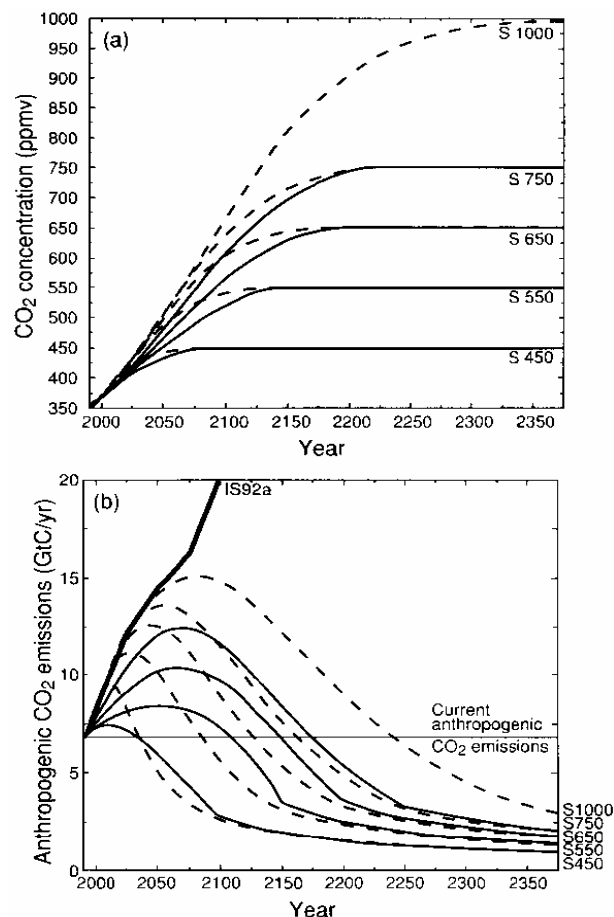
5.4 Politikk-scenarier etter 2012

I dette avsnittet drøfter vi mulige utviklingsbaner etter at Kyotoprotokollens målperiode 2008-12 er utløpt. Vi forutsetter at en global klimapolitikk eksisterer – jamfør drøftingen av politikk-scenarier fram til 2012. For klimautviklingen blir de viktigste spørsmålene hvilke klimamål som fastsettes for nye Kyoto-perioder, og i hvilken grad utviklingslandene påtar seg bindende klimamål etter 2012. Det første spørsmålet vi søker svar på er imidlertid hvilke utslippsbaner som er nødvendige for å stabilisere CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren på noen mulige nivåer de neste 200 år.

5.4.1 Hva skal til for å stabilisere klimagasskonsentrasjonene på lang sikt?

Kyotoprotokollen er et viktig politisk skritt, men et lite faktisk skritt for å bremse en framtidig klimaendring. Avtalen er langtfra tilstrekkelig for å stabilisere eller redusere konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren blant annet fordi u-landene ikke har noen forpliktelser til å redusere sine utslipp i denne omgang. Annex I landenes samlede mål om en 5,2% reduksjon av utslipp relativt til deres 1990 utslipp er ikke nok til å hindre at de globale utslippene vil øke mellom 1990 og 2010. Framtidige klimaforhandlinger må derfor inneholde mer ambisiøse mål og deltakelse av u-land.

Konsentrasjonen av klimagasser stabiliseres først en stund etter at selve utslippene har blitt stabilisert/reduisert, og for å nå målsetningen om å unngå farlige klimaendringer må derfor utslippene av drivhusgasser reduseres over lang tid. FNs klimapanel slo i 1990 fast at verdens utslipp av CO₂ må reduseres med 60-80% av dagens utslippsnivå i løpet av noen tiår for å kunne stabilisere den framtidige konsentrasjonen på et nivå rundt det doble av førindustrielt nivå (d.v.s. 550 ppmv).



Figur 5.2. Ulike utslippsbaner som gir stabilisering av CO₂-konsentrasjonen på ulike nivåer. Kilde: Houghton, J.T. (ed.) 1996.

Figur 5.2b viser ulike utslippsbaner for CO₂ utslipp for å oppnå stabiliseringsnivåene gitt i Figur 5.2a. Figur (b) viser også dagens utslippsnivå (horisontal linje) og IPCCs beste estimat for hvordan utslippsforløpet vil bli i mangel av aktive tiltak for utslippsreduksjoner (IS92a). De stiplede kurvene viser et forløp hvor en utsetter tiltakene for utslippsreduksjoner, dvs. at

utslippene tillates å følge IS92a-scenariet ("business as usual") til minst år 2010. Det er klart at de globale utslippene må reduseres, men spørsmålet om hvilket nivå man skal stabilisere klimagasskonsentrasjonene på er vanskelig. Klimakonvensjonens artikkel 3.3 reflekterer føre-var prinsippet og uttrykker at mangel på full vitenskapelig sikkerhet ikke skal brukes som begrunnelse for å utsette tiltak når det er fare for alvorlige eller irreversible skader. Utslippene fra 1860 og til i dag vil sannsynligvis medføre store konsekvenser, og dette tilsier at man bør ha som målsetning å minimere ytterligere økninger i klimagasskonsentrasjonene.

5.4.2 Mulige klimamål for industrilandene i Kyoto-perioder etter 2012

Det er mange forhold som vil avgjøre hvilke klimamål et Anneks B land (industriland) vil gå inn for etter 2012:

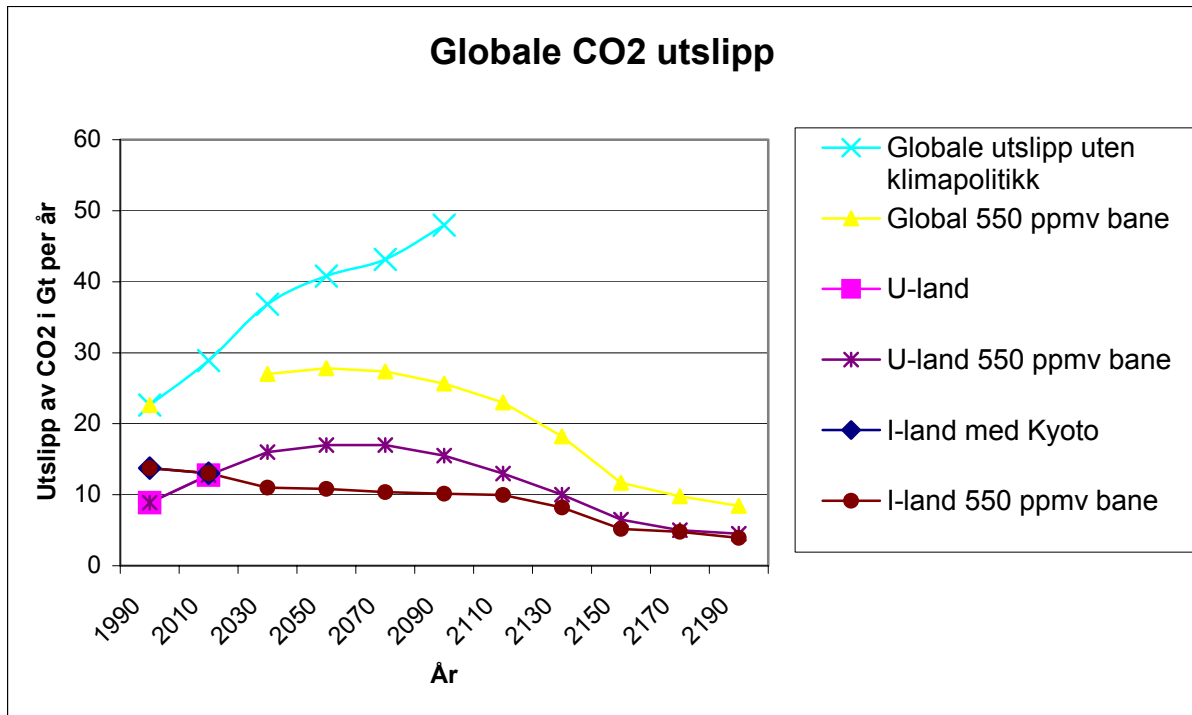
1. Påviste og sannsynlige skader knyttet til menneskeskapt klimaendring.
2. Kostnader knyttet til utslippskutt og forventninger om teknologisk utvikling og framtidige kostnader ved utslippskutt.
3. I hvilken grad utviklingslandene tar på seg utslippskutt-forpliktelse.
4. Hvor langt er de mest skeptiske landene villige til å gå, og hvor langt er de mest ambisiøse landene villige til å gå i forhold til etternølerne.
5. Vektlegging på tilpassing til klimaendring og kostnader knyttet til slike tiltak.
6. I hvilken grad skogtiltak og arealbruksendringer blir godkjent som klimatiltak, og
7. Hvor effektive Kyotomekanismene viser seg å være.

Disse forholdene vil også avgjøre hvilke reduksjonsmål for klimagasser framover som er mulige å oppnå for industrilandene samlet.

Et annet utgangspunkt er å se på hvor mye karbondioksid som kan slippes ut til atmosfæren dersom alle karbonreservene brennes opp. Appendix 1 viser at de beste reserveanslagene i dag tilsier at det er mulig å inntil fordoble den førindustrielle konsentrasjonen av karbondioksid i atmosfæren. Dette betyr rundt 500-550 ppmv i år 2100. Reservene av kull er betydelig større enn reservene av olje og gass og kan vare i flere hundre år. Fordi anslagene for karbonreservene stadig revideres oppover er det store sjanser for at det er mulig å nå en betydelig høyere konsentrasjon enn 550 ppmv i atmosfæren. I tillegg kommer bidragene fra nedhogging av skog og arealbruksendringer, samt bidragene fra de andre klimagassene.

I videreføringen av Kyotoregimet etter 2012 mener vi at et mål om å begrense konsentrasjonen av karbondioksid i atmosfæren til 550 ppmv er realistisk. Fram til år 2200 betyr et slikt tak at de globale utslippene må reduseres med vel 60% i forhold til 1990, se den mulige globale 550 ppmv banen i Figur 5.3. Figuren viser også en referansebane uten Kyotoprotokollen eller annen klimapolitikk.⁷ I dette eksemplet tar vi ikke med andre klimagasser enn karbondioksid. Utslippene av de andre klimagassene må reduseres i noenlunde samme omfang som karbondioksid. De siste beregningene fra IPCC tyder på at en konsentrasjon på 550 ppmv kan føre til en global oppvarming på omlag 2,5 °C i 2100.

⁷ Se avsnitt 4.1.



Figur 5.3. Mulige utslippsbaner for karbondioksid for industriland og utviklingsland som begrenser atmosfærens konsentrasjon til 550 ppmv fram til år 2200.

5.4.3 Framtidig byrdefordeling og forpliktelser for utviklingslandene

Klimaendringer er et globalt problem som må løses globalt. Vel så viktig som å bestemme framtidige utslippsbudsjett for klimagasser er å bestemme hvordan disse budsjettene skal fordeles.

Som tidligere notert bestemmes landenes interesser og ønsker om klimapolitikk av faktorer som forventede kostnader ved å redusere utslippene av klimagasser, forventede kostnader for landet knyttet til framtidige klimaendringer, holdningene og posisjonene til andre land, og politiske forhold og kultur/livsstil i landet. Forventede kostnader av tiltak avhenger blant annet av samlet målsetting for utslippsreduksjon i Annex I-gruppen av land, byrdefordelingen, og graden av kostnadseffektivitet.

Både i forhold til folketall og inntektsnivå varierer utslippene av karbondioksid betydelig mellom industrilandene, og forskjellene blir enda større når utviklingslandene taes med. Blant OECD-landene har USA, Australia og Canada spesielt store utslipp i forhold til bruttonasjonalprodukt og folketall. Disse forskjellene kan forklares gjennom variasjoner i økonomisk struktur og bruken av ulike energivarer. Landene i omstilling til markedsøkonomi har relativt store utslipp fordi energieffektiviteten er lav. OECD-landenes posisjon i markedene for fossile brenslere er også viktig for deres interesser i klimaforhandlingene.

Byrdefordelingen presentert i Annex B i Kyotoprotokollen er ikke basert på noen spesiell fordelingsnøkkel, men på en vurdering av utslippsnivå, kostnader ved reduksjon i utslipp og velstandsnivå. En langsiktig klimaavtale vil måtte følge en mer systematisk byrdefordeling, og må inkludere utviklingsland. Sistnevnte punkt er spesielt viktig for at USA skal ratifisere

Kyotoprotokollen og framtidige protokoller. For å få oppslutning om en langsiktig klimaavtale må den også anses som rettferdig.

Oppfatningen av hva som er en rettferdig byrdefordeling er ulik ettersom faktorer som blant annet ansvar, velferd og mulighet bør inngå i formingen av byrdefordelingen. Man kan grovt sett dele synspunktene i to grupperinger. Utviklingslandene organisert under G77/Kina gruppen er tilhengere av at man skal tildele utslippskvoter etter per capita prinsippet. Dette betyr at hver innbygger har krav på like store utslipp. Land som Kina og India vil med en slik tildeling få så store utslippskvoter at det overskrider deres beregnede utslipp uten klimatiltak. Dette gjør at de kan, forutsatt at det finnes et internasjonalt kvotemarked, selge det overskytende til land som vil møte høye kostnader ved å innfri kravene kun ved hjelp av hjemlige reduksjoner. De industrialiserte landene, derimot, er tilhengere av tildeling basert på historiske utslipp. Et land som USA stod for eksempel for vel 24% av de globale CO₂ utslippene i 1990 og vil på grunnlag av dette kreve en byrdefordeling som gir landet en andel av utslippskvotene som reflekterer dette. USA ville under en per capita fordeling kun få tildelt i underkant av 5% av utslippskvotene hvis befolkningstallene for 1996 blir lagt til grunn.

Ståstedene er så langt fra hverandre at et kompromiss mellom disse kan være nødvendig for at man i det hele tatt skal bli enige om en byrdefordeling. Et alternativ er derfor en byrdefordeling brukt i et studie (Bartsch og Müller, 2000) som CICERO har bidratt til hvor det er antatt at utslippskvotene blir bestemt av en veiing av den fordelingen som følger av per capita utslipp og den som følger av historiske utslipp. Veiingen lar hvert menneske ha en stemme som teller likt, derfor vil den endelige fordelingen være nærmest per capita fordelingen.

Holder vi oss til målsettingen om å holde konsentrasjonen i atmosfæren av karbondioksid under 550 ppmv blir et viktig spørsmål fordelingen av de nødvendige utslippskuttene mellom utviklingslandene og industrilandene. Eksemplet i Figur 5.3 bygger på at utviklingslandene får lov til å øke og nesten doble sine utslipp fram til omlag 2060, for deretter å redusere utslippene mot omlag halvparten av 1990-nivået i år 2190. Industrilandene fortsetter med reduksjonsbanen fra Kyoto (-5,2% i perioden 2008-12 i forhold til 1990) og når i 2030 – 20% i forhold til 1990, -25% i 2070 og deretter i store trekk en gradvis utflating fram til rundt – 70% av 1990-nivået i 2190.

6 Hva bør vi gjøre i dag?

Det er vanskelig å tenke seg at en langsiktig målsetting som skissert i forrige avsnitt kan nås uten en dyptgripende teknologisk endring, særlig i energi- og transportsektorene. Kortsiktige tiltak for å redusere klimagassutslipp vil ikke i seg selv med dagens teknologi kunne levere de utslippsreduksjoner som er nødvendige til kostnader som er akseptable. Tiltak i dag er derfor først og fremst viktige som et ledd i en mer langsiktig løsningsstrategi hvor teknologiutvikling står som det sentrale element. Det er derfor helt vesentlig at dagens tiltak gir sterke incentiver til slik teknologiutvikling. Dette innebærer blant annet at klimagassutslipp bør gjøres dyrere, enten gjennom bruk av avgifter eller ved innføring av kvoteplikt. Videre er det viktig at nødvendig teknologisk kompetanse utvikles. Dette tilsier økt satsing på naturvitenskapelig utdanning. Gitt langsiktigheten av klimaproblemet, bør man her tenke gjennom en helhetlig strategi for hele utdanningssystemet, fra grunnskolen og opp.

For å sikre bredest mulig aksept for den langsiktige målsettingen og for nødvendig virkemiddelbruk i dag, som i beste fall ikke kommer til å levere løsninger før langt inn i fremtiden, er det vesentlig at samfunnet er godt informert om alle sider ved klimaproblemet natur. Informasjonsvirksomhet er derfor også et av virkemidlene som det bør satses på tidlig.

6.1 Allmenn teknologiutvikling

Det har i lang tid vært debattert hvilke faktorer som ligger bak økonomisk vekst, men det er økende enighet om at teknologi og nyvinninger spiller en viktig rolle. Teknologisk utvikling vil også være en av de viktigste mulighetene vi har for å redusere utslipp av klimagasser. Framtidige energisystemer vil bli formet av utvikling av teknologier for fornybare energiresurser og forbedret utnyttelse av fossile brensel. Mer ambisiøse utslippsreduksjoner vil kunne drive den teknologiske utviklingen lenger enn hvis man ikke skulle redusere utslippene av klimagasser, men den vil også avhenge av blant annet offentlig støtte til forskning og utvikling, utdanningsnivå, markeds- og regulerings-incentiver, menneskelige behov, og kultur.

Det er usikkert i hvilken retning og grad den teknologiske utviklingen vil kunne gå, noe som er reflektert i de nye scenariene fra IPCC (se kapittel 4). Der blir teknologisk utvikling ansett som en minst like viktig drivkraft bak utslipp som befolkningvekst og økonomisk utvikling. Teknologi kan bidra til at et scenario med 15 milliarder mennesker har lavere CO₂ utslipp enn i et scenario med 7 milliarder mennesker, og at en dobling av økonomisk aktivitet ikke nødvendigvis må medføre økte utslipp.

6.2 Oljeteknologi og maritim teknologi fra kontinentalsokkelen

Teknologisk utvikling er ventet i mange sektorer, men noen er ansett som mer viktige ut ifra klimaproblemet ståsted. Dette gjelder spesielt energiproduksjon og forbruk. Norge er i dette tilfellet spesielt ettersom alt elektrisitetsforbruk dekkes av vannkraft. Produksjonen av olje og gass er viktig, derimot, ettersom Norge er verdens syvende største oljeproducent og kun etter Saudi Arabia når det gjelder oljeeksport. Verdien av oljeeksporten i 1998 var på 123 milliarder norske kroner, noe som utgjør 30% av Norges eksportinntekter (OED, 1999). Den teknologiske utviklingen i denne sektoren vil derfor være viktig.

Statoil er den ledende aktør på norsk kontinentalsokkel, og dens installasjoner står for omtrent halvparten av Norges totale utslipp av CO₂ fra kontinentalsokkelen. Statoil er i tillegg en av verdens største nettselgere av råolje og er en sterk aktør i det europeiske gassmarkedet.

Utslippene av CO₂ per enhet produsert olje har i løpet av en 5-års periode blitt redusert med 20%, men p.g.a. økt aktivitet og eldre felter har de totale utslippene allikevel økt. Målet har vært å redusere disse utslippene med 30% over de neste 10 år sammenlignet med utslippene som ville funnet sted med nåværende teknologi og praksis (Statoil, 1997). Interne studier i Statoil viser nå at det ikke vil være mulig å nå bransjens ambisiøse mål om 30 prosent reduksjon av utslippene i 2007 uten helt urimelig kostnader. Statoil har derfor igangsatt et arbeid med å revidere de opprinnelige målene (Statoil, 2000a).

Nærmere 80% av CO₂ utslippene fra norske olje- og gass-plattformer stammer fra forbrenning av naturgass i gassturbiner. De resterende 20% er fra dieseldrevne motorer og turbiner, gassavbrenning ("flaring") og testing av brønner (Statoil, 2000b). Norsk kontinentalsokkel er et av de dyreste områdene å oppnå utslippsreduksjoner i. Kyotomekanismene vil derfor fremstå som interessante alternativer framfor egne utslippsreduksjoner innen næringen. Allikevel satses det på å utvikle teknologier for å redusere utslippene.

6.3 Gassutvinning og gasskraft i Norge

Norge har betydelige gassreserver på kontinentalsokkelen som vi ønsker å utvinne. Produsentprisen på gass vil bli redusert som en følge av en internasjonal klimapolitikk, selv om gass vil bli mer attraktivt enn olje og spesielt kull på grunn av lavere CO₂-utslipp ved forbrenning. Uansett vil Norge som gassnasjon ønske å maksimere verdien av gassformuen. Spørsmålet blir da om gassen bør eksporteres som råvare eller om det gir høyere fortjeneste å foredle mest mulig av den innenlands. Vi kan bygge gasskraftverk og eksportere elektrisitet, eventuelt spare import av elektrisitet, bruke gassen som råvare i kjemisk industri, eller dekke varmebehovet i husholdninger, bygninger og industri. Er vi inne i et internasjonalt klimaregime vil det bli en ekstra kvotekostnad eller avgift forbundet med bruk av gassen innenlandsk, som vi slipper ved eksport av gassen til andre land. Spørsmålet blir da hvilket alternativ som gir den høyeste netto gassprisen for Norge, der man korrigerer markedsprisen med den ekstra transportkostnaden ved for eksempel eksport av gasskraft og med kvotekostnaden. Her må man ta hensyn til at eksportprisen for gass bestemmes i langsiktige kontrakter mens strømprisen til dels bestemmes på et kortsiktig marked. Hvis vi legger til grunn at den norske stat skal ha en viss risikoaversjon vil det uansett være en fordel å spre risikoen noe ved å ha en viss portefølje på ulike anvendelser av gass når usikkerheten og prisbevegelsen varierer mellom disse anvendelsene. I et slikt perspektiv kan det være interessant å eksportere en betydelig andel av gassen som råvare fordi prisusikkerheten er mindre på gassmarkedet og fordi man slipper unna en usikker kvotepris.

6.4 CO₂ deponering

Økonomiske analyser peker på at produsentprisen på fossile energivarer som olje og gass vil bli redusert ved gjennomføringen av en klimapolitikk som reduserer etterspørselen etter karbonholdige energivarer i store deler av verden. Dermed vil Norges olje- og gassformue bli redusert. En slik klimapolitikk kan gjennomføres ved for eksempel å innføre kvoteplikt for den bensinen oljeselskapene leverer til sine bensinstasjoner, som slår ut i en høyere bensinpris for bilistene. Alternativet er å bruke avgifter som konsumentene betaler direkte. I lys av slike framtidsutsikter ville de være strategisk interessant for Norge dersom en lønnsom teknologi for utskilling av CO₂ fra forbrenningsgassene ved bruk av olje og gass kunne utvikles, for deretter å

bli samlet opp og transportert for deponering i egnede geologiske strukturer (f.eks. oljereservoar på kontinentalsokkelen eller i nedlagte gruver). Til dels berører denne teknologien selve forbrenningsprosessen for olje og gass. Det er ikke nødvendigvis lønnsomt å skille ut og samle opp all CO₂ som genereres ved en forbrenningsprosess. Det enkleste og mest lønnsomme eksemplet er å pumpe CO₂ fra dieselaggregater eller turbiner på plattformer i Nordsjøen ned i et oljereservoar, der CO₂ gir trykkstøtte som øker oljeproduksjonen. Et annet eksempel er å samle opp CO₂ fra et gasskraftverk på Vestlandet, for så å transportere gassen i rør til et oljereservoar i Nordsjøen.

Et tredje eksempel der CO₂ ikke stammer fra en forbrenningsprosess er Statoils deponeringsprosjekt på Sleipner Vest. Gassen fra dette feltet inneholder mer CO₂ enn det kjøperne på fastlands-Europa ønsker. En stor del av CO₂-innholdet i gassen må derfor fjernes. Selve prosessen skjer flere steder i verden, men den krever som regel mye plass, noe som er problematisk ute i Nordsjøen. På Sleipner ble CO₂ deponert tilbake i de geologiske formasjonene isteden for å slippes ut i lufta, og man installerte enheten på en plattform med begrenset plass og vekt. Det var enkelte startproblemer, men prosessen fungerer bra i dag. 1 million tonn CO₂ blir årlig deponert i Utsira-formasjonen, noe som tilsvarer 3% av Norges totale utslipp av denne gassen (Statoil, 2000b).

Skal man satse på CO₂-deponering i større skala kreves det betydelige investeringer i infrastruktur for oppsamling, transport og deponering av CO₂, for eksempel rørledninger fra Østlandet til Vestlandet. I dag er CO₂-deponerings teknologi bare interessant i noen få tilfeller, for eksempel dersom gassen gir trykkstøtte i et oljereservoar. Men kan denne teknologien utvikles videre og kostnaden senkes vil en klimapolitikk bety mindre for den norske olje- og gassformuen fordi brukerne av fossile energivarer vil ha mindre utgifter til kvotekjøp eller avgifter. Forutsetningen er at denne teknologien per tonn CO₂ som deponeres koster mindre enn avgifter eller kvoter for et tonn CO₂. En annen forutsetning er at deponering av CO₂ av alle partene til Kyotoprotokollen aksepteres som en fullverdig måte å oppfylle Kyoto-forpliktelsene på.

6.5 Varmepumper

Varme beveger seg naturlig fra høyere til lavere temperaturer og varmepumper kan brukes til å styre varmen den andre veien ved bruk av en relativt liten mengde energi. Denne teknologien kan derfor brukes til å overføre varme fra naturlige varmekilder i omgivelsene som luft, bakke, sjø og vann, eller menneskeskapt kilder (f.eks. kloakkvann) til en bygning eller industriell varmeanvendelse. Teknologien kan også brukes til avkjøling. Varmepumper drevet av elektrisitet for å varme bygninger kan typisk gi 100 kWh med varme ved hjelp av 20-40 kWh elektrisitet. Mange industrielle varmepumper kan oppnå enda bedre ytelse ved å gi den samme mengde varme kun ved hjelp av 3-10 kWh av elektrisitet (IEA, 1998).

Varmepumper er en viktig teknologi for å redusere utslippene av CO₂, SO₂ og NO_x fordi mindre primærenergi går med i prosessen. Den totale miljøgevinsten av varmepumper vil naturligvis avhenge av hvordan elektrisiteten blir produsert. Gitt de forbedringene i energieffektivitet og miljøytelse som denne teknologien står for, representerer den et viktig alternativ til tradisjonelle varmesystemer. Varmepumper kan møte behovet for oppvarming av rom og vann samt avkjøling i alle typer bygninger samt mange industrielle oppvarmingsbehov. Det er derfor et stort potensiale for varmepumper og i enkelte deler av verden spiller de allerede en viktig rolle i energisystemet (IEA, 1998).

Varmepumper bør kunne erstatte deler av elektrisitetsbehovet Norge har i dag. Elektrisitet er en høyverdig energiressurs som bør brukes til å drive maskiner og elektriske apparater. Varmepumper bør brukes der det er behov for oppvarming til lave eller moderate temperaturer. Rom –og vannoppvarming krever i Norge årlig ca. 50 TWh, hvorav 30 TWh dekkes av elektrisitet. Kun 2,5 TWh dekkes av varmpumper. Det var i 1998 installert ca. 22.000 varmpumpeanlegg i Norge og den årlige tilveksten har vært på stabil på ca. 15.000 anlegg. Lønnsomheten er best for anlegg i yrkesbygg og industri. Installasjonskostnadene for varmpumper varierer fra 2.000 til 8.000 NOK/kW og produksjonskostnadene ligger på 0,30 til 0,40 NOK/kWh (Dahle, 1998).⁸

6.6 Nye fornybare energikilder

Vannkraft er hittil den eneste fornybare ressursen som blir brukt i stor skala for produksjon av elektrisitet, og vil også i fremtiden være en viktig kilde for elektrisitet. Tilgangen på vannkraft er god, spesielt i regioner med høy vekst i Asia, Afrika og Latin-Amerika. I tillegg slipper vannkraft i seg selv ikke ut klimagasser.

Men også nye fornybare energikilder som vind, sol og biomasse vil kunne bidra. Vindenergi er i dag verdens raskest voksende energikilde, men står for en liten andel av verdens 3.000 GW installert elektrisk kapasitet. I begynnelsen av 1996 var det installert 5 GW med vindenergi, og nesten all veksten finner sted i Europa og Asia. De beste vindressursene finnes i hovedsak ved kontinentale kystområder, slik som kysten på Vestlandet og i Nord-Norge. Effektiviteten til enkle vindturbiner ligger mellom 25 og 35% og den øvre grensen for turbineffektivitet er 59% (ABB, 1998). Kostnadene ved vindenergi varierer med lokalisering og vindforhold (økt vindhastighet vil redusere kostnadene) og ligger mellom 0,27 og 0,50 NOK/kWh. Nye turbiner er stillere enn eldre modeller ettersom de roterer saktere. Lydforurensing er derfor ikke noe stort problem lenger, men den visuelle virkningen vindmøller har i landskapet er fortsatt et problem. IPCC har beregnet, basert på politiske målsetninger for de neste 20 til 30 år, at en vil kunne komme opp til 150 TWh i årlig vindkraftproduksjon (IPCC, 1996).

Elektrisitet fra sol utgjør mindre enn 0,02% av verdensproduksjonen, men også dette markedet er i sterk vekst. Solcellemarkedet vokser med omtrent 25% årlig og hovedproblemet er å få produksjonskostnadene ned og effektiviteten opp. Solceller (photovoltaic cells - PV) er allerede konkurransedyktig som en frittstående energikilde i områder uten infrastruktur for distribusjon av elektrisitet. Elektrisitet fra solenergi har hittil vært et nisjemarked, men det har vært store forbedringer i muligheten for desentralisert elektrisitetsproduksjon og oppknytting mot det sentrale distribusjonsnettet ved at energimåling (og avregning) kan foregå i begge retninger. Det er et stort potensiale i utviklingsland, men land som Japan og Nederland har også planer om å øke sine installerte kapasiteter betraktelig (Dahle, 1998).

Produksjon av elektrisitet fra forbrenning av biomasse kan foregå på en skala fra noen få kilowatt for en landsby eller applikasjon i landbruket til titalls megawatt for nåværende industrielle applikasjoner. Biomasse-avfall, tresressurser fra naturlige skoger og biomasse fra plantasjer er potensielle kilder for energiproduksjon. Enkelte teknologier er ennå ikke kommersialisert, som f.eks. en biomasse-versjonen av brenselceller, mens andre teknologier er snart eller allerede allment tilgjengelig. IPCC (1996) forventer at biomasse for

⁸ Redusert el-energiforbruk ved bruk av varmpumpe (1 kWh gir 3,5 kWh i energi i form av varme).

elektrisitetsproduksjon i industrialiserte land vil komme til å koste omtrent 15-16 NOK/GJ, noe som gjør at elektrisiteten kan produseres til en langt lavere kostnad enn ved hjelp av solceller. Med billigere tilgang til biomasse vil naturlig nok også produksjonskostnadene reduseres. Dette er spesielt tilfelle i utviklingsland hvor biomasse står for en vesentlig andel av husholdningers etterspørsel etter energi.

7 Sammendrag og konklusjon

Klimaproblemet er en stor utfordring på mange vis. Karakteristiske trekk er blant annet:

- Klimasystemet er stort og tregt. Dette gjør klimaproblemet til et *langsiktig problem* som bare kan løses ved langsiktige tiltak.
- Klimaproblemet er karakterisert ved *stor usikkerhet* gjennom blant annet:
 - Usikkerhet knyttet til framtidige utslipp av klimagasser, som igjen er nær knyttet til økonomisk vekst og teknologisk utvikling.
 - Usikkerhet knyttet til klimasystemets globale og ikke-lineære respons på endringer i konsentrasjoner av drivhusgasser og strålingspådriv.
 - Usikkerhet knyttet til lokal respons av klimasystemet.
 - Og endelig, lokal sårbarhet for klimaendringer.
- Klimasystemets ikke-lineære natur og store treghet gjør at klimaendringer kan ha en irreversibel karakter.
- Økt hyppighet av ekstreme værsituasjoner er en større trussel enn økning i midle størrelser som global middeltemperatur og årsnedbør.

I en situasjon med stor usikkerhet og potensielt store, langsiktige og irreversible konsekvenser av dagens handlinger, er det generelt fornuftig å anlegge en strategi som sikrer *maksimal fleksibilitet* framover. Dette kan gjøres ved å 'sette ned farten', ved å unngå irreversible handlinger så langt råd er og ved å tegne forsikring.

- Teknologisk fleksibilitet kan økes ved å bygge opp generell teknologisk kompetanse for derved å øke muligheten for utviklingen av nye, gjerne energirelaterte, teknologiske løsninger. Innenfor eksisterende teknologier bør man legge vekt på fleksibiliteten til løsningene (for eksempel vannbåren varme ved boligoppvarming framfor panelovner).
- Samfunnsmessig fleksibilitet kan økes ved å bygge opp aksept for et bredt spekter av politiske virkemidler i klimapolitikken. Generelt bør det legges til rette for at klimapolitiske virkemidler som avgifter, kvotehandel, teknologikrav o.l. vurderes opp mot klimapolitiske målsettinger, og ikke samtidig pålegges å sikre f.eks. sysselsetting og fordelingsmessige forhold. Næringspolitiske målsettinger bør søkes nådd med egne virkemidler.
- "Kapitalfleksibilitet" bør sikres ved at planer og investeringer i infrastruktur tar høyde for mulige framtidige klimaendringer (flom, rasfare, ekstreme nedbørsmengder).

7.1 Norge som olje- og gassnasjon

Norge er i en spesiell situasjon i klimasammenheng siden vi er storeksportør av fossile brensler samtidig som vi liker å framstå som ansvarsbeviste i miljøsammenheng. Denne kombinasjonen tilsier at Norge kan komme til å pådra seg store kostnader og det er derfor viktig for Norge å kunne innfri miljømålsettinger, som for eksempel Kyotoprotokollen, til lavest mulig kostnad. Kostnadene kan reduseres ved a) Minimere tiltakskostnader i Norge, b) Arbeide for at den internasjonale kvoteprisen blir så lav som mulig, og c) Redusere bortfallet av petroleumsinntekter så mye som mulig (Kolshus et al., 2000). I korte trekk bør derfor Norge satse på:

a) Redusere nasjonale tiltakskostnader:

- Ved å bidra til utviklingen av karboneffektive teknologier.

- Utvikle rammevilkår som gjør at alle karbonintensive aktiviteter betaler for skadelige utslipp av alle slag gjennom kvote- eller avgiftsordninger.
- b) Redusere den internasjonale kvoteprisen:
- Ved å støtte mest mulig fri bruk av Kyotomekanismene.
 - Arbeide for å redusere transaksjonskostnadene ved bruk av disse mekanismene.
 - Støtte tiltak som gjør den grønne utviklingsmekanismen attraktiv for alle parter.
 - Støtte forslag som gjør det attraktivt for utviklingsland å påta seg bindende forpliktelser i neste avtaleperiode (etter 2012).
- c) Redusere bortfallet av energirelaterte inntekter:
- Ved å utvikle karbonseparerings- og -lagringsteknologier.
 - Ved å søke å opprettholde prisen på norsk gass i det Europeiske gassmarkedet.

7.2 Oppsummering

Klimaproblemet er ikke noe som løses på kort sikt. Det er derfor viktig at man har et langsiktig perspektiv når klimapolitikken skal fastlegges, og at denne blir fulgt systematisk opp over tid. I et slik langsiktig perspektiv er det rimelig å tro at vi kommer til å utnytte all økonomisk tilgjengelig (konvensjonell) olje og gass. utfordringer ligger i hva vi gjør deretter. Velger vi en karbonintensiv framtid basert på kull og ukonvensjonell olje og gass, eller dreier vi i retning av avkarbonisering gjennom karbonrensing og –deponering, satsing på kjernekraft eller nye fornybare energikilder. Svaret på dette vil styres av politiske og økonomiske rammebetingelser i de ulike alternativer. I klimasammenheng er derfor utfordringen først og fremst å drive den teknologiske utviklingen i en retning som tillater karboneffektive teknologier å konkurrere prismessig med kull og ukonvensjonell olje og gass.

I et slik perspektiv blir spørsmål som for eksempel om Norge bør bygge gasskraftverk i dag lite viktige. Av langt større betydning er det at vi tidligst mulig får på plass egnete virkemidler som gir riktige signaler om ønsket retning på utviklingen. I praksis vil dette si avgifter eller kvoter for alle typer utslipp av drivhusgasser fra alle kilder til slike utslipp.

Referanser

- ABB, 1998. ABB renewable Energy Status and Prospects 1998. (<http://www.abb.no>)
- Bartsch, U., and B. Müller (2000). *Fossil fuels in a changing climate*. Oxford University Press. Oxford.
- Dahle, Ø. (ed.), 1998. Energi for fremtiden. CICERO rapport.
- Dwyer, Gary S. (2000): Unraveling the signals of global climate change, *Science* 287, 246-247.
- Førland, E.J. and I. Hanssen-Bauer, 1999. Året 1998: Rekordvarmt globalt, normalt i Norge. RegClim i *Cicerone* nr. 1/99.
- Godal, O., L. Sygna, J.S. Fuglestad and T. Berntsen, 2000. Estimates of future climate based on SRES emission scenarios. CICERO Working Paper 2000:4.
- Hagem, C., 2000. anbefaler et bredest mulig kvotesystem. *Cicerone* nr. 1 februar 2000.
- Houghton, J.T. (ed.) 1996. Climate Change 1995 – the Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IEA, 1998. Heat Pump Centre, International Energy Agency (<http://heatpumpcentre.org>)
- IPCC, 1996. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kolshus, H. H., A. Torvanger, H. Malvik (2000): Climate policy futures, energy markets and technology: Implications for Norway. CICERO Working Paper 2000:9, CICERO, Oslo.
- Lamb, H. H. (1995): *Climate history and the modern world*, 2nd edition, London: Routledge.
- Mann, Michael E., Raymond S. Bradley & Malcolm K. Hughes (1998): "Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries", *Nature* 392, 779 - 787
- OED, 1999. Faktaheftet 1999 – Norsk petroleumsvirksomhet. Olje –og Energidepartementet, Oslo.
- Petit, J. R., J. Jouzel, et al. (1999). "Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica." *Nature* 399 (3 June): 429-436.
- RegClim, 1999. I *Cicerone* nr. 5/99. (BOKS)
- Schlesinger, M.E., X. Jiang and R.J. Charlson, 1992. Implications of Anthropogenic Atmospheric Sulphate for the Sensitivity of the Climate System. *Climate Change and Energy Policy*. American Institute of Physics, New York.
- SRES, 1999. <http://sres.ciesin.org/>
- Statoil, 1997. Annual report on health, the environment and safety.
- Statoil, 2000a. Publikasjoner og foredrag. (<http://www.statoil.com/statoilcom/svg00990.nsf/design/frameset?OpenDocument&..../docs/Publikasjoner%20og%20foredrag>)

Statoil, 2000b. CO2 and Energy. The Sleipner CO2 Project and Possible Future Roles of Underground Storage. CD-ROM.

Tett, Simon F. B., Peter A. Stott, Myles R. Allen, William J. Ingram and John F. B. Mitchell (1999):
"Causes of twentieth-century temperature change near the Earth's surface", *Nature* 399 (10 June), 569-572.

Torvanger, A. J. Fuglestedt, B. Holtmark og L.O. Næss (1997). Klimaforskning og klimaforhandlinger – status og utsikter fremover. CICERO report 1997:5, Oslo.

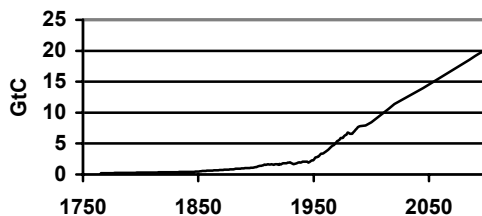
Appendiks

Hvilke rolle spiller ulike fossile reserver? Finnes det nok karbon i verden til å skape store klimaendringer?

Sentralt i debatten om mulige framtidige menneskeskapt klimaendringer står framskrivninger av CO₂-utslipp. Men finnes det egentlig nok karbon i verden til at de mest pessimistiske anslagene for CO₂-konsentrasjoner i atmosfæren er reelle?

Mange av framskrivningene av CO₂-utslipp viser en tilnærmet trendforlengelse inn i neste århundre av den historiske utviklingen de siste tiårene. FN's klimapanel (IPCC) har for eksempel laget et middelalternativ, kalt IS92a, som i et historisk perspektiv fortøner seg som vist i Figur 1.

**Historiske utslipp av karbon fra
forbrenning og avskogning**



Figur 1: Historiske utslipp av karbon og framskrivninger i henhold til IPCCs IS92a scenarie. GtC.

IS92a-scenariet vil føre til stadig økende CO₂-konsentrasjoner i atmosfæren. For å stabilisere konsentrasjonen trengs ganske drastiske reduksjoner i utslippene. Det er imidlertid usikkert hvilket stabiliseringsnivå det eventuelt vil være fornuftig å forsøke å nå.

Tabell 1 viser de samlede utslippene av karbon fra 1990 til 2100 i noen utslippsbaner som leder til stabilisering av CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren på noen ulike nivåer, samt i IPCC-banen IS92a.

Tabell 1: Akkumulerte karbonutslipp i baner som stabiliserer CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren på ulike nivå, samt i IPCCs middelalternativ IS92a (i GtC). Forventet CO₂-konsentrasjon i atmosfæren rundt år 2100 (i ppmv). Kilde: IPCC (1996)

Stabiliseringsnivå for CO ₂ (ppmv)/scenario navn	Akkumulerte karbonutslipp 1990-2100, GtC ^{a)}		Forventet CO ₂ -konsentrasjon rundt år 2100, ppmv ^{b)}
450	640	+/-50	450
550	930	+/-60	520
650	1 110	+/-80	550
750	1 260	+/-80	600
IS92a	1 500		710

a) GtC = Gigatonn karbon = Milliarder tonn karbon

b) ppmv = parts per million by volume. Angir konsentrasjonen av CO₂ i atmosfæren. Dagens nivå er på om lag 370 ppmv, mens det før-industrielle nivået var på rundt 280 ppmv.

Utslippene av karbon i disse og liknende baner er formidable, og man kan med rette stille spørsmål om hvorvidt reservene av fossile brensler er store nok til å dekke slike utslipp framover. For å belyse dette presenteres noe informasjon om karbonreserver i form av fossile brensler.

Men før vi drøfter disse tallene og sammenholder dem med utslippene i henhold til utslippsscenarioene, kan det være grunn til å si litt om begrepene *reserver* og *ressursmengde* i samband med fossile brensler.

A.1 Ressursmengde

Rent fysisk er det klart at det er begrensede mengder karbon på jorden. Mesteparten av dette er imidlertid enten dypt begravd – delvis under hav – eller tynt fordelt på en måte som gjør det praktisk utlignelig. Den delen en regner med å kunne utvinne betegnes ofte som *ressursbasis*.

Denne vil variere ettersom teknologien utvikler seg og etterhvert som man finner nye utvinnbare forekomster. Et eksempel på denne dynamikken har vi sett i Nordsjøen opp gjennom årene hvor olje- og gassressursene har økt ettersom teknologien for utvinning på stadig større dyp har utviklet seg.

Ressursbasen endrer seg også med nye og uventede oppdagelser. Det er begrenset hva vi har oppdaget av utvinnbare ressurser til nå. Dette skyldes ikke minst at det er begrenset behov for å kjenne til store ressursmengder utover det som allerede er kjent. Man leter med andre ord først etter mer, når det man kjenner blir for knapt i en eller annen forstand.

A.2 Reserver

Normalt vil bare en mindre del av ressursbasen være økonomisk lønnsom å utvinne til enhver tid. Den økonomisk interessante delen av ressursforekomsten kalles *reserven*. Oljereserven utgjør derfor bare en del av den kjente eller forventede oljeressursen. I tillegg til endringer i kunnskap om forekomster og utvinningsteknologi, vil reserveanslagene variere med prisen på ressursen. Høy pris vil gjøre det lønnsomt å utvinne kull, olje og gass som ikke ville være en del av reserven ved lavere priser.

Som vi ser er det flere forhold som stadig vil endre seg og som vil påvirke anslag over ressursbasis og reserver av fossile brensler. Til dette kommer den definisjonsmessige usikkerheten om hva som faktisk skal regnes som en del av ressursbasen eller reserven. Det er derfor ikke til å undres over at anslagene over disse størrelsene vil sprike, ikke minst når man prøver å anslå hva situasjonen vil være inn i neste århundre.

A.3 Usikker rapportering

Til denne faktiske usikkerheten omkring størrelsen på ressursbasen og reserven, kommer usikkerhet knyttet til rapportering av disse størrelsene. Land og selskaper har ulik praksis når det gjelder å anslå for eksempel reserver.

Noen rapporterer forventet størrelse, andre rapporterer det man med 90 prosent sannsynlighet tror er riktig verdi. Videre er det slik at oljeutvinningskvotene som tildeles landene i OPEC delvis bestemmes på bakgrunn av reserveanslag. Dette kan gi incentiver til å rapportere for store størrelser. Andre land kan også ha interesse av å overdrive sine reserveanslag, fordi dette vil kunne påvirke lånemulighetene i det internasjonale finansmarkedet.

Alt dette gjør det vanskelig å ha en sikker formening om de faktiske reservene av fossile brensler og ressursbasen for disse reservene (se Campell og Laherrère, 1998, for en nærmere drøftelse).

I Tabell 2 ser vi likevel på noen nåværende og framtidige anslag over reserver og ressursbasis for fossile brensler. "Konvensjonelle" reserver eller ressurser er slike vi normalt kjenner dem i dag, mens "ukonvensjonelle" henspeiler på reserver utvunnet av for eksempel tjæresand og andre fossile karbonlagre som i dag ikke utnyttes i særlig grad. Det må understrekes at tallene er svært usikre og muligens innbyrdes inkonsistente.

Tabell 2: Karbonreserver og –ressurser (GtC). Reserver i forhold til dagens forbruk (R/P), år.

	Reserveanslag				Ressursbasisanslag		Varighet av reservene med dagens forbruk (R/P)	
	a)	b)	c)	d)	a)	b)	c)	d)
Olje							40	42,2
-Konvensjonell	110	66	105	121	160	172		
-Ukonvensjonell	130	-			300	515		
Gass							60	62,2
-Konvensjonell	70	83	78	106	140	170		
-Ukonvensjonell	100				400			
Kull	640	602	876	681	3 170	3 378	390	224
I alt	1 050	752	1 060	908	4 170	4 235		

a) Kilde: Bert Bolin (1998), som baserer seg på IPCC (1996). Gjelder forventet anslag rundt 2020-2025.

b) Kilde: Sir John Houghton (1997). Anslag for 1995.

c) Kilde: World Resource Institute: World Resources 1992-93, Table 10.2: Proven commercial energy reserves 1987.

d) Kilde: BP World Energy Statistics 1997, <http://www.bp.com/>

A.4 Reserveansalg

Reserveanslagene for fossile brensler varierer fra om lag 750 GtC (Gigatonn karbon = Milliarder tonn karbon) til vel 1000 GtC. Kull utgjør hovedparten av anslagene over karbonreservene, med olje og gass et godt stykke bak, se figurene 2 og 3. Med dagens forbruk vil reservene av olje og gass vare mellom 40 og 60 år, mens kullreservene vil kunne vare i flere hundre år (se Figur 3). Anslag over ressursbasen er mer enn fire ganger høyere enn reserveanslagene, vesentlig på grunn av de store kullressursene man antar finnes.

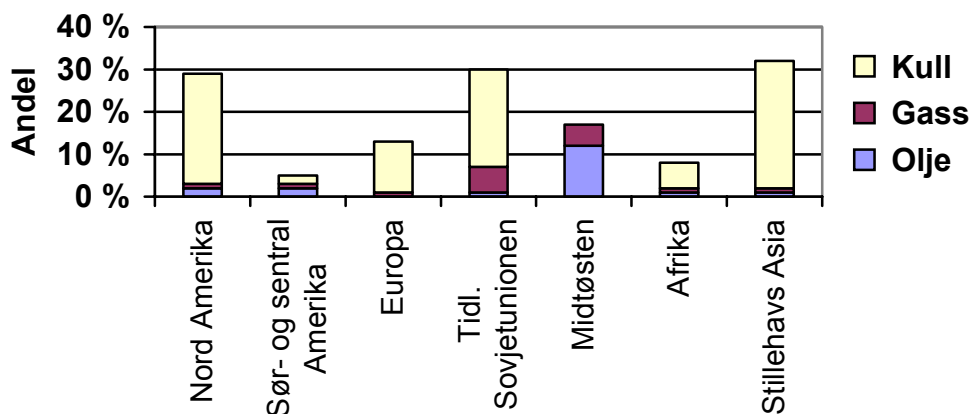
Sammenholder vi reserveanslaget i Tabell 2 med akkumulert karbonutslipp i de ulike utslippsscenarioene i Tabell 1, ser vi at *reserveanslagene* på fra 750 til vel 1000 GtC bare er store nok til å dekke utslipp som vil øke CO₂-konsentrasjonen opp til om lag 500-550 ppmv rundt år 2100; altså om lag det dobbelte av hva konsentrasjonen var før den industrielle revolusjon (280 ppmv).

Er det da slik at scenarier med høyere utslipp, som for eksempel IS92a med samlede utslipp i løpet av perioden 1990-2100 som er nesten 50 prosent over de høyeste reserveanslagene i tabell 2, er helt urealistiske? Nei - desverre kan man ikke si det. Det henger selvfølgelig sammen med at anslag over karbonreservene stadig revideres oppover, og at det er høyst sannsynlig at dette også vil skje framover.

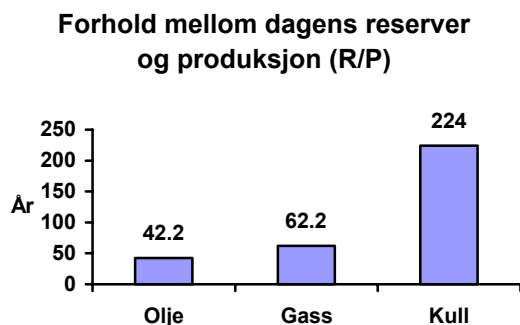
Figur 4 viser hvordan reserveanslagene for olje og gass har utviklet seg i perioden 1976-1996. Veksten i reservene har generelt sett oversteget produksjonen fra disse reservene. Dette skyldes imidlertid delvis at reserveanslagene gjerne oppjusteres når et felt kommer i produksjon

og man får bedre kunnskap om feltet. Hvis oppjusteringene tilbakedateres til det tidspunktet da feltet ble oppdaget, vil tidsutviklingen i reserveanslagene bli anderledes. De vil, for eksempel for olje, vise en nedadgående trend etter ca. 1985 (se Campell og Laherrère, 1998).

Fossile reserver

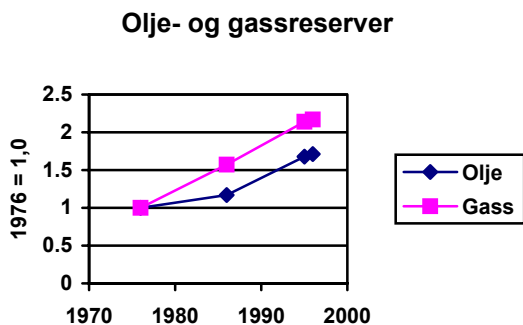


Figur 2. Andelen av fossile reserver i ulike regioner



Figur 3. Forholdet mellom dagens reserver av fossile brenslere og produksjon (R/P).

Kilde: BP- Statistical review of world energy 1997.



Figur 4. Historiske utvikling i olje- og gassreservene. 1976 = 1,0.

Kilde: BP- Statistical review of world energy 1997.

A.5 Alternativer må velges

Hva kan vi så slutte av dette, utover at framtiden er usikker? Konvensjonell olje og gass tar høyst sannsynlig slutt i første halvdel av neste århundre (Dahle, 1997). Deretter står vi ovenfor valget om vi massivt skal ta ukonvensjonell olje og gass i bruk og om i hvor stor grad vi skal basere vår energibruk på de store kullressursene som finnes.

Velger vi å satse på en fossilt basert energiforsyning er det liten tvil om at selv de mest pessimistiske utslippsscenarioene med svært høye CO₂-utslipp i neste århundre vil kunne bli oppfylt. Alternativet er satsing på fornybare energikilder som biomasse, sol-, bølge- og vindkraft, eller karbonfrie energikilder som kjernekraft eller hydrogenbaserte systemer. Hva som blir valgt bestemmes mye av utviklingen i de relative prisene på de ulike energisystemene.

At utfordringen er formidabel kan illustreres ved de relativt optimistiske forutsetningene som ligger inne i utslippsbanen IS92a. I IS92a er det antatt at 100 år fra nå så står fornybare energikilder sammen med kjernekraft for 75 prosent av all kraftforsyning. I 1990 var andelen litt under 25 prosent. Dette innebærer at bruk av biomasse, sol- og vindenergi, vannkraft og kjernekraft i 2100 vil representere mer enn to ganger dagens samlede energisystem. Dette til tross for at det antas en teknologisk endring som vil gjøre at energibruk per produsert enhet om 100 år vil reduseres til om lag 1/3 av nivået i 1990.

I dag er karbonbasert energi billigst. Det kreves betydelig satsing på forskning og teknologisk utvikling av alternative energisystemer dersom en ønsker å endre dette. Siden det er en enorm oppgaven å endre et så stort system som dagens energisystem med de betydelige investeringer som trenges, sier det seg selv at en omlegging fra et fossilt basert til et karbonfritt system ikke kan skje fort. Det er derfor viktig at vi starter med oppgaven allerede i dag om vi ønsker å redusere sannsynligheten for uønskede klimaendringer.

7.3 Referanser

- Bolin, B. (1988): Key features of global climate system to be considered in analysis of the climate change issue. To be published in *Environment and Development Economics*.
- Campbell, C. J., and J. H. Laherrère (1998): The end of cheap oil, *Scientific American*, March 1998, s. 60-65.
- Dahle, Ø. (1997): *Towards a Sustainable Energy System – A Long Term Transition Strategy*, CICERO Report 1997:6.
- Houghton, J. (1997): *Global Warming - the complete briefing*, 2nd edition, Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC (1996): *Climate Change 1995. The Science of Climate Change*, Cambridge: Cambridge University Press.
- World Resources Institute (1992): *World Resources 1992-93. A Guide to the Global Environment*, Oxford: Oxford University Press.