

KJERNEKRAFT – En bærekraftig energiform

TEKNA/FEIM

6. April 2016

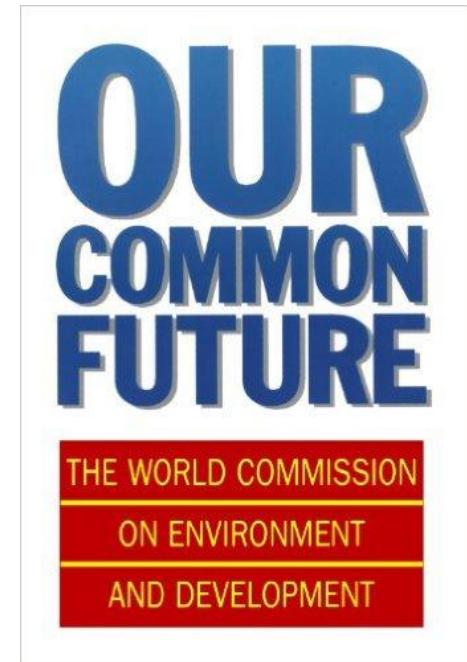
Per I. Wethe

Tittelen på foredraget –

- kan kanskje oppfattes som en provokasjon siden begrepet **bærekraftig** sjelden eller aldri knyttes til en energiform som **kjernekraft**.
- - Derfor har jeg valgt å se nærmere på noen sider ved denne energiformen som i dag bør være av interesse, spesielt i lys av de enorme helse – og miljøproblemene som et fossilbasert globalt energisystem har skapt.
- - Noen av kjernekraftens problemstillinger er teknologisk krevende, men erfaringene så langt viser at gode løsninger som tilfredsstillende samfunnets krav til helse, miljø og sikkerhet kan utvikles.
- - Mange av de mest sentrale problemstillingene er av politisk karakter og krever politiske løsninger, som spørsmål knyttet til spredning av kjernefysisk våpenmateriale. Dette er et globalt sikkerhetspolitisk anliggende der kjernekraft spiller en relativt underordnet rolle.

Brundtland – rapporten, Bærekraftig utvikling

- I 1983 opprettet FN **Verdenskommisjonen for miljø og utvikling**. (**Brundtland Kommisjonen**). Kommisjonen skulle se på miljøproblemene og fattigdomsproblemene, og foreslå løsningsstrategier
- I 1987 kom Verdenskommisjonens sluttrapport **Our Common Future** (**Vår felles framtid – Brundtland – rapporten**) som fikk stor innflytelse på det politiske ordskiftet når det gjaldt energi – og miljøspørsmål.
- Hovedbudskapet var at verdenssamfunnet måtte organisere seg på en ny måte” *for å sikre at dagens mennesker får dekket sine behov uten at dette svekker fremtidige generasjoner muligheter til å få dekket sine.*”
- Det sentrale begrepet ble ”**Bærekraftig utvikling**” som forutsatte et bredt perspektiv der den gjensidige avhengigheten mellom energi og miljø, helse, livsvilkår og økonomi ble analysert og synliggjort.
- Dessverre manglet begrepet en god og presis definisjon, og relevante indikatorer/kriterier. Dette åpnet for et virvar av tolkningsmuligheter.



Ulike tolkningskoler -

- Noen leste Brundtland - rapporten som om "alt henger sammen med alt" og tolket budskapet temmelig fritt og tilpasset egne synspunkter.
- Siden avstanden i tid til Tsjernobyl-ulykken var kort; april 1986 - oktober 1987, ble rapporten i hovedsak lest og fortolket som en offisiell bekreftelse på kjernekraftens demoniske og apokalyptiske egenskaper.
- Rapporten ble også tolket som en sterk advarsel mot økt energibruk generelt selv om de sterke advarslene var rettet mot de fossile energikildene og de forurensningene disse skapte.
- Gjennom flere runder festet det seg imidlertid det syn at Brundtland-rapporten formidlet et sterkt anti – energi, anti – kjernekraft og anti – økonomisk vekst syn. Samtidig avleiret det seg noen utrolig seiglivede misforståelser knyttet til begreper som "bærekraftig" – og "fornybar energi".
- Mye av dette har preget den norske energi- og miljødebatten i flere tiår, og blir i dag fortsatt ansett som spesielt innsiktsfullt når det gjelder politiske refleksjoner om energi generelt og kjernekraft spesielt.

Bærekraftig energi – mer enn fornybart

- På 1990-tallet ble energipolitikken dreiet mot de økologiske og miljømessige sidene ved selve energibruken, først og fremst mot de åpenbare og negative miljøeffektene fra forbrenning av fossile brensler og i neste omgang til de mer teoretiske men langt mer alvorlige og langsiktige klimaeffektene som kunne knyttes til utslipp av klimagasser som CO₂.
- Gjennom Brundtland-rapporten ble bærekraftige energikilder/energiformer raskt synonymt med energisystemer med lave eller fraværende CO₂ utslipp, og primært basert på solenergi og vindkraft, dvs. såkalte "**nye fornybare energikilder**" for å skille disse fra den tradisjonelle vannkraften som her i landet var satt på sidelinjen etter flere ti - år med politisk rabalder.

– og ikke så enkelt som mange tror

- Mye av debatten om bærekraftig energi er etter mitt syn preget av sterke forenklinger og mangel på helhetsperspektiv.
Nye fornybare energiteknikker som solceller og vindkraftverk antas ofte nærmest "automatisk" å bidra til bærekraftige løsninger, uten at det godtgjøres hvilke kriterier som anvendes og hva et bærekraftig energisystem egentlig er.
- Selv om energikilder som sol, vind og vann er fornybare, innebærer ikke dette at **kraftverket** eller **systemet** som omdanner primærenergien til anvendbare former (elektrisitet, varme) er fornybare eller bærekraftige. Slike forskjeller blir ofte utelatt, noe som også kan gjenspeiles i ordskiftet når viktige energispørsmål drøftes.

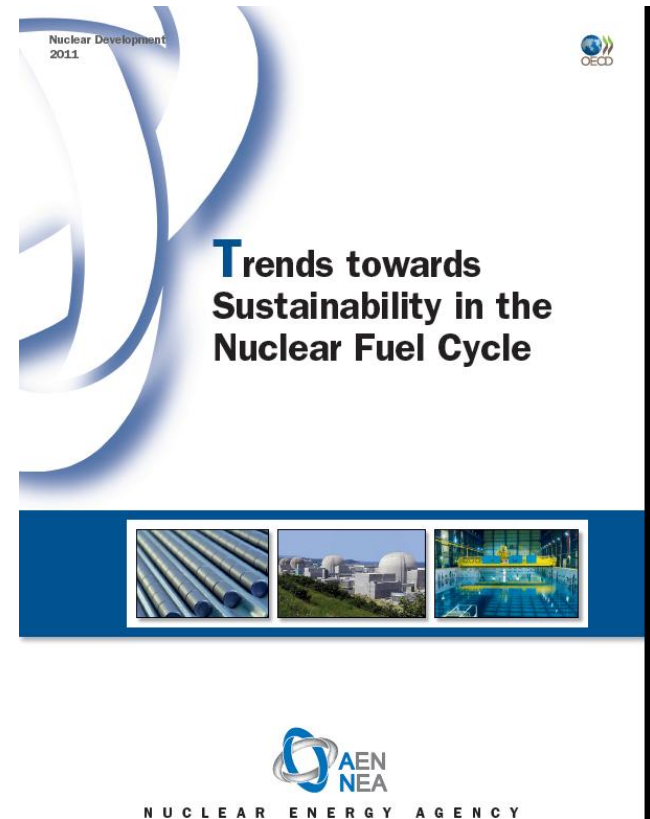
Nesten alle kjente energiformer -

- har utgangspunkt i de kjernefysiske basisprosessene **Fisjon** og **Fusjon**, og **Radioaktiv nedbryting/omdanning**.
- Alle former for **Fornybar energi** har tre hovedkilder:
 - **Fusjon**, solenergi (direkte og indirekte)
 - **Gravitasjonsenergi** (tidevann)
 - **Radioaktiv nedbryting** (geotermisk)
- Med Brundtland-rapportens terminologi kan jeg også regne Breeder-teknologien med i **Fornybar Energi**, slik at kun tidevannsenergien skriver seg fra noe annet enn en ren nukleær energikilde!
- Etter min syn kan kanskje dette utvide perspektivet og dempe det litt oppjagede motsetningsforholdet mellom **ny fornybar energi** og **kjerneenergi**.

KJERNEKRAFT i et bærekraftig perspektiv

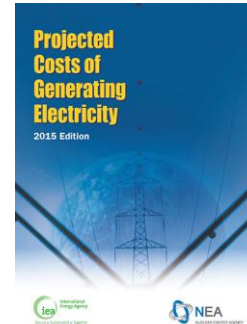
OECDs angrepsvinkel -

- setter kjerneenergi inn i et **bærekraftsperspektiv** ved å definere et antall økonomiske, sosiale og miljømessige indikatorer/kriterier som kjerneenergien kan måles mot:
 - Ressurstilgjengelighet/geografisk fordeling av ressurser
 - Energibruk og materialstrømmer
 - Helsekonsekvenser for berørte grupper
 - Risiko for betydelige og irreversible miljøbelastninger
- - Når det gjelder ulike energisystemers helse – og miljøpåvirkning eksisterer det i dag en alment akseptert metodikk, livsløpsanalyse (Lifecycle Assessment-LCA) som gjør det mulig å bedømme kjerneenergiens egenskaper på en standardisert måte, ISO 14040.

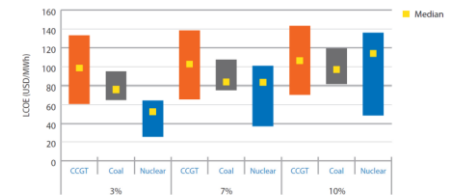


Den økonomiske dimensjon

- Kjerneenergiens konkurransedyktighet mot andre kommersielle energiformer oppdateres og dokumenteres jevnlig av OECD/IEA/NEA, sist i 2015. Produksjonskostnadene omfatter sikring og lagring av radioaktivt avfall, samt alle kostnader knyttet til kontroll og regulering av radioaktive utslipp til miljøet, altså eksterne kostnader.

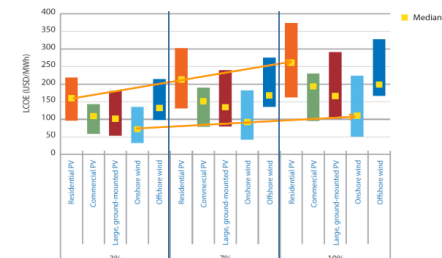


Overview of results – conventional and nuclear technologies



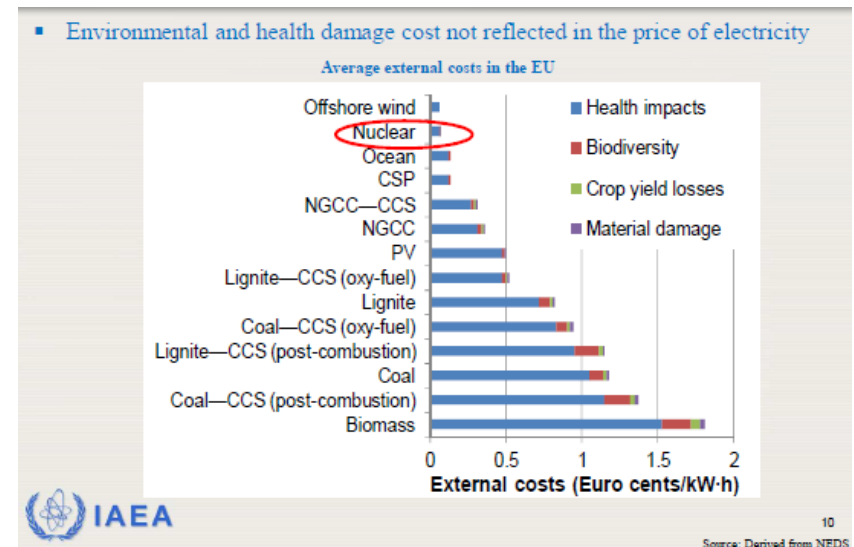
Note: Assumes region-specific fuel prices for US, Europe, Asia; 85% load factor; CO₂ price of 30 USD/tonne.

Overview of results – solar PV and wind



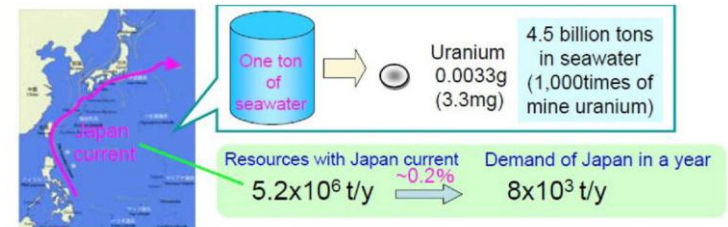
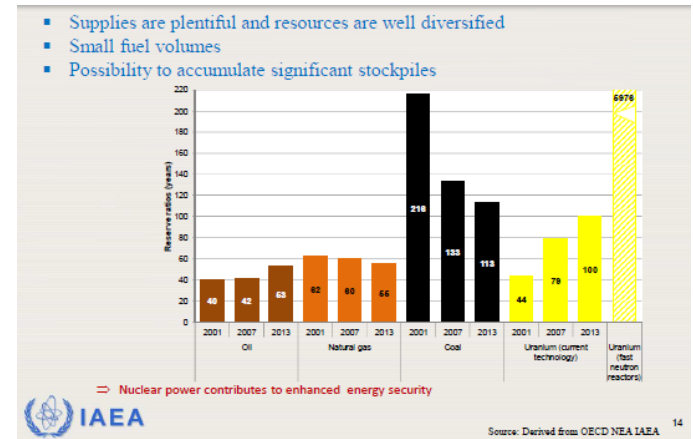
Eksterne kostnader

- - Gjennom det europeiske "ExternE"-prosjektet er det mulig å sammenligne og bedømme de såkalte eksterne helse – og miljøkostnadene ved ulike energiformer. De eksterne kostnadene tar i særlig grad hensyn til de helsemessige effektene av luftforurensning, samt yrkesrelaterte skader og ulykker. Det tas også hensyn til effekter på økosystemer og effekten av global oppvarming.
- - For kjernekraftens del blir de eksterne kostnadene betydelig lavere enn de eksterne kostnadene for kullkraft og gasskraft, og av samme størrelsesorden som de eksterne kostnadene for vannkraft og vindkraft.



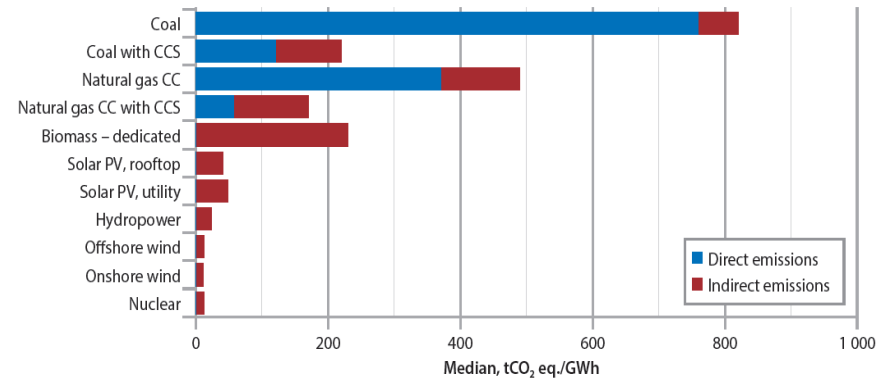
Miljødimensjonen

- - Her er indikatorene knyttet til håndtering av og utnyttelse av naturressurser, klimaendringer og miljøpåvirkninger i bred forstand. Kjerneenergis miljøpåvirkninger er i hovedsak knyttet til utslipp av radioaktive stoffer og radioaktivt avfall.
- - Ressurstilgangen er i dag ingen begrensende faktor når det gjelder fremtidig bruk av kjerneenergi. De konvensjonelle uranressursene kan drive dagens uranbaserte termiske reaktorer (LWR) i mer enn 100 år. Brukt i hurtige breeder - reaktorer vil ressursutnyttelsen kunne økes med en faktor 60 – 80.
- - Med breeder – reaktorer blir kjerneenergi i praksis en vedvarende energikilde. Dette synspunktet er også understreket i Brundtland-rapporten .
- - Utvinner vi uran fra havvannet blir kjerneenergi i prinsippet en fornybar energiform.



”Livsløpsanalyser” (ISO 14040)

- - har dokumentert at kjerneenergiens prosesskjede har CO₂ – utslipp på linje med det som karakteriserer energisystemer basert på vannkraft og vindkraft.
- - Dette definerer kjerneenergi som en lavkarbon - teknologi.



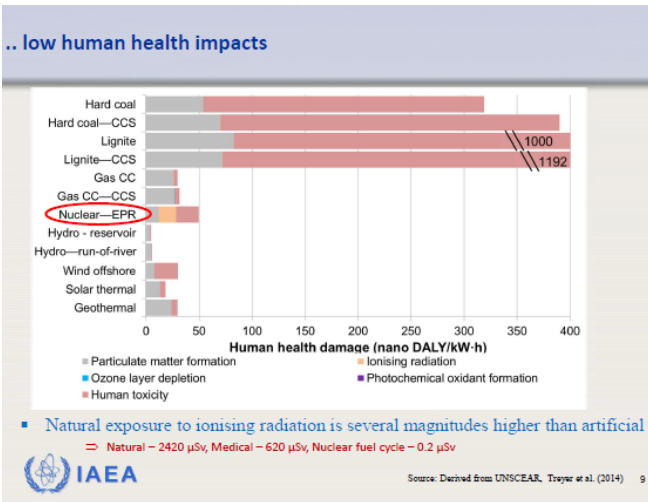
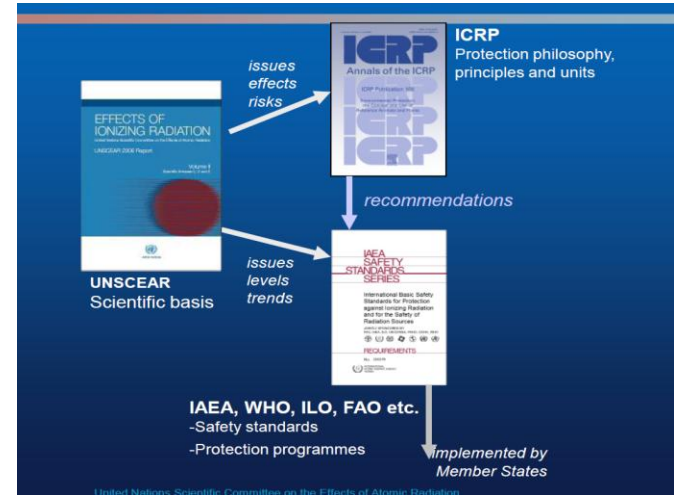
Note: Lifecycle emissions from dedicated energy crops are relatively high due to the N₂O emissions from agricultural soils. N₂O has a global warming factor that is 298 times that of CO₂ (IPCC [2014], Chapter 11, p. 880).

CC = combined cycle; CCS = carbon capture and storage; GWh = Gigawatt-hour.

Source: Data from IPCC (2014).

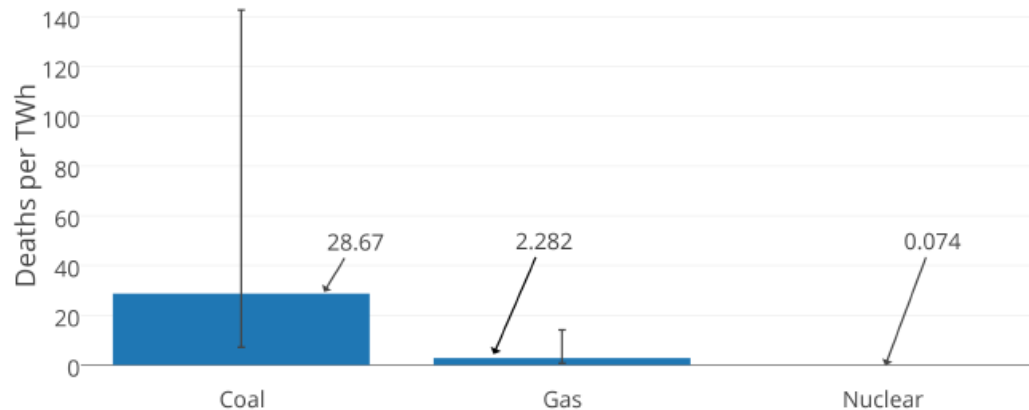
Den sosiale dimensjon

- På bakgrunn av kjerneenergiens spesielle og utfordrende egenskaper er det etablert et omfattende internasjonalt regelverk som fastlegger klare rammebetingelser for utnyttelsen av denne energiformen. Uavhengige tilsynsorganer spiller en hovedrolle når det gjelder samfunnets kontroll med denne virksomheten, og at virksomheten drives i henhold til strenge krav til sikkerhet og strålevern.
- Internasjonalt er dette arbeidet knyttet til FNs International Atomic Energy Agency (IAEA) og OECDs Nuclear Energy Agency (NEA).



Mortality of electricity production

- Wide disparity of data, figures used are **best-estimate mean**
- Coal mortality data for China has been excluded (much higher)
- Air pollution kills **~7 million people annually** (WHO)



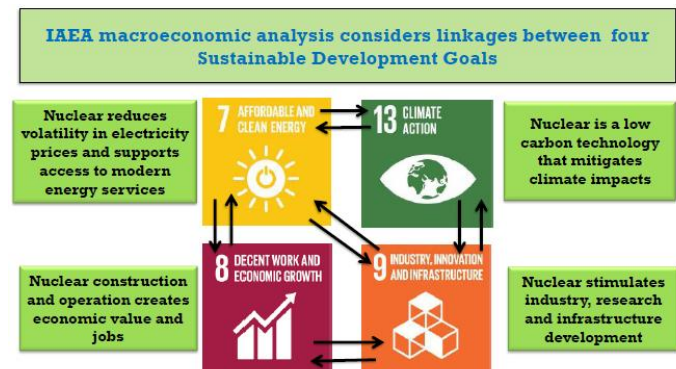
Markandya, A.; Wilkinson, P. Electricity generation and health. *Lancet* 2007, vol. 370, p. 979–990.

1

Staffan Qvist, 2015

FNs angrepsvinkel-

- - er vesentlig mer kompleks enn den sammenstillingen som OECD formidler gjennom sine mål på en bærekraftig utvikling,
- - Komplekse sammenstillinger finner vi også i et flertall av de makroøkonomiske beslutningsanalysene som er publisert i en armada av ulike fagtidsskrifter opp gjennom årene, og der budskapet er styrt gjennom et ti-talls beslutningskriterier tilpasset en eller annen aktuell situasjon med liten generell gyldighet.
- - IAEA har imidlertid forenklet oppgaven og arbeider ofte med fire relevante mål på en bærekraftig utvikling for kjernekraft. Disse målene er imidlertid knyttet til overordnede makroøkonomiske mål for et typisk vestlig industrisamfunn.

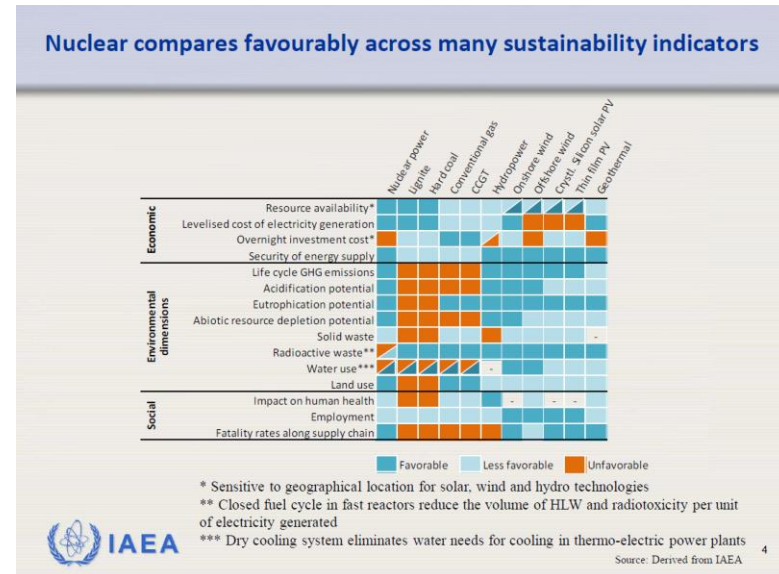


Source: Adapted from UN (2015):

IAEAs sammenstilling

- For de som måtte ønske å se nærmere på slike analyser kan jeg anbefale en av de enkleste som IAEA nylig har publisert.

- - Her er de aktuelle indikatorene knyttet til økonomi, miljø, og samfunnsansvar.
- - Når det gjelder **Den økonomiske dimensjon** er kostnadseffektivitet et hovedpunkt, for **Miljødimensjonen** er ressurstilgang, utslipp av radioaktive stoffer og radioaktivt avfall hovedpunkter, og for **Den sosiale dimensjon** er samfunnets rammebetingelser for utnyttelse av kjerneenergi et hovedpunkt.
- - Det er også angitt en rekke underpunkter for å kunne sammenligne ned på et svært detaljert nivå, men slike sammenligninger får som regel et subjektivt preg.



Hva sier Brundtland-rapporten om -

- **Dagens energiformer:**

- *Today's primary sources of energy are mainly non-renewable: natural gas, oil, coal, peat, and conventional nuclear power. There are also **renewable sources**, including wood, plants, dung, falling water, geothermal sources, solar, tidal, wind, and wave energy, as well as human and animal muscle-power. **Nuclear reactors that produce their own fuel ('breeders') and eventually fusion reactors are also in this category.***

- **Fossile brensler:**

- *The burning of fossil fuels puts into the atmosphere carbon dioxide, which is causing gradual global warming. This "greenhouse effect" may by early next century have increased average global temperatures enough to shift agricultural production areas, raise sea levels to flood coastal cities, and disrupt national economies.*

- **Energi-effektivisering:**

- *Energy efficiency can only buy time for the world to develop "low-energy paths" based on **renewable sources**, which should form the foundation of the global energy structure during the 21st Century.*

-og om kjerneenergi

- *- The generation of nuclear power is only justifiable if there are solid solutions to the presently unsolved problems to which it gives rise. The highest priority must be accorded to research and development of environmentally sound and economically viable alternatives, as well as means of increasing the safety of nuclear energy.*

- hva sier nå Verdenskommisjonens leder ?

- *Verken energieffektivisering (**Energy efficiency**) eller energiøkonomisering (**Energy conservation**) kan på lang sikt løse verdens energiproblemer. Økt energieffektivisering og økt energiøkonomisering kan heller ikke skape energi eller sørge for nye energitilganger.*
- *Det er bare to større energikilder som kan betraktes som teknologisk realiserbare og økologisk akseptable på lengre sikt – **fornybar solenergi og kjerneenergi**. Fornybar solenergi omfatter biomasse, sol – termisk, solceller, vindkraft, havbølger og vannkraft. Disse kildene sammen med kjerneenergi representerer den eneste **langsiktige løsningen for en trygg og sikker energiløsning**. Fusjon kan en dag bli utviklet til en praktisk talt ubegrenset energikilde men er i dag bare et forskningsobjekt og ikke en tilgjengelig teknologi.*

1993

Gro Harlem Brundtland/SunWorld/Volume17 Number 2 June

SUNWORLD
Renewable Energy and the Environment



INTERNATIONAL SOLAR ENERGY SOCIETY
Volume 17, Number 2
JUNE 1993

Disse to hovedpunktene -

- - fremstår som kjernen i Verdenskommisjonens rapport eller "*Brundtland - rapporten*" om hele den komplekse energisiden ved en bærekraftig utvikling. Dette er kanskje nytt siden en slik fortolkning av det sentrale budskapet sjelden flagges.
- Etter min vurdering er det viktig å få frem de synspunkter som Verdenskommisjonens leder selv formidler, riktignok i en prinsipiell form, men tydelig nok til å klargjøre og kanskje rydde opp i noe av det villniset som grodde i kjølvannet av rapportens lansering i 1987. Kanskje vil en slik klargjøring også fjerne noe av den åpenbare begrepsforvirringen som preger mye av samfunnsdebatten omkring energi, miljø og ressurser.
- Kjernekraft er i dag et omstridt tema, et politisk "ikke-tema" i Norge der de fleste spørsmål knyttet til kjernekraft ofte blir håndtert i et moralsk perspektiv. Fraværet av det nukleære alternativet gir også en smalere energipolitisk debatt enn nødvendig, spesielt i et land som Norge der avhengigheten av svensk energipolitikk ofte blir sterkt underkommunisert.

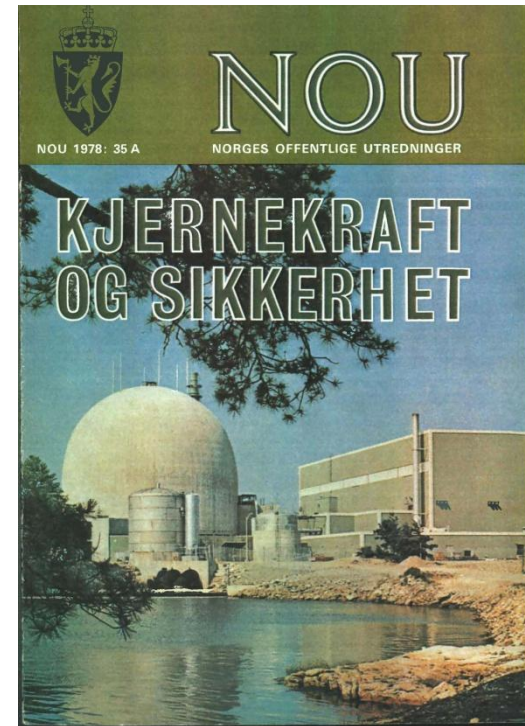
KJERNEKRAFT – Hva nå?

Det globale energisystemet -

- - er i struktur og detalj "innelåst" i en helt dominerende avhengighet av fossile brensler; kull, olje og gass.
- Dette var situasjonen for 40 - 50 år siden, og er i store trekk situasjonen i dag.
- En omstilling av dagens globale energisystem til et system basert på fornybar energi og uten innslag av fossile brensler er en ekstremt langsiktig visjon, og neppe realiserbar i dette århundre.
- På kort sikt, 30 – 40 år, kan kanskje kjernekraft, sol - og vindkraft erstatte deler av det energiforbruket som i dag er knyttet til produksjon av elektrisk energi, men dette forutsetter at dagens reaktorteknologi erstattes med avansert "breeder"- teknologi, og at det utvikles nye og avanserte teknologier for sol – og vindenergi.

Vi varslet tidlig -

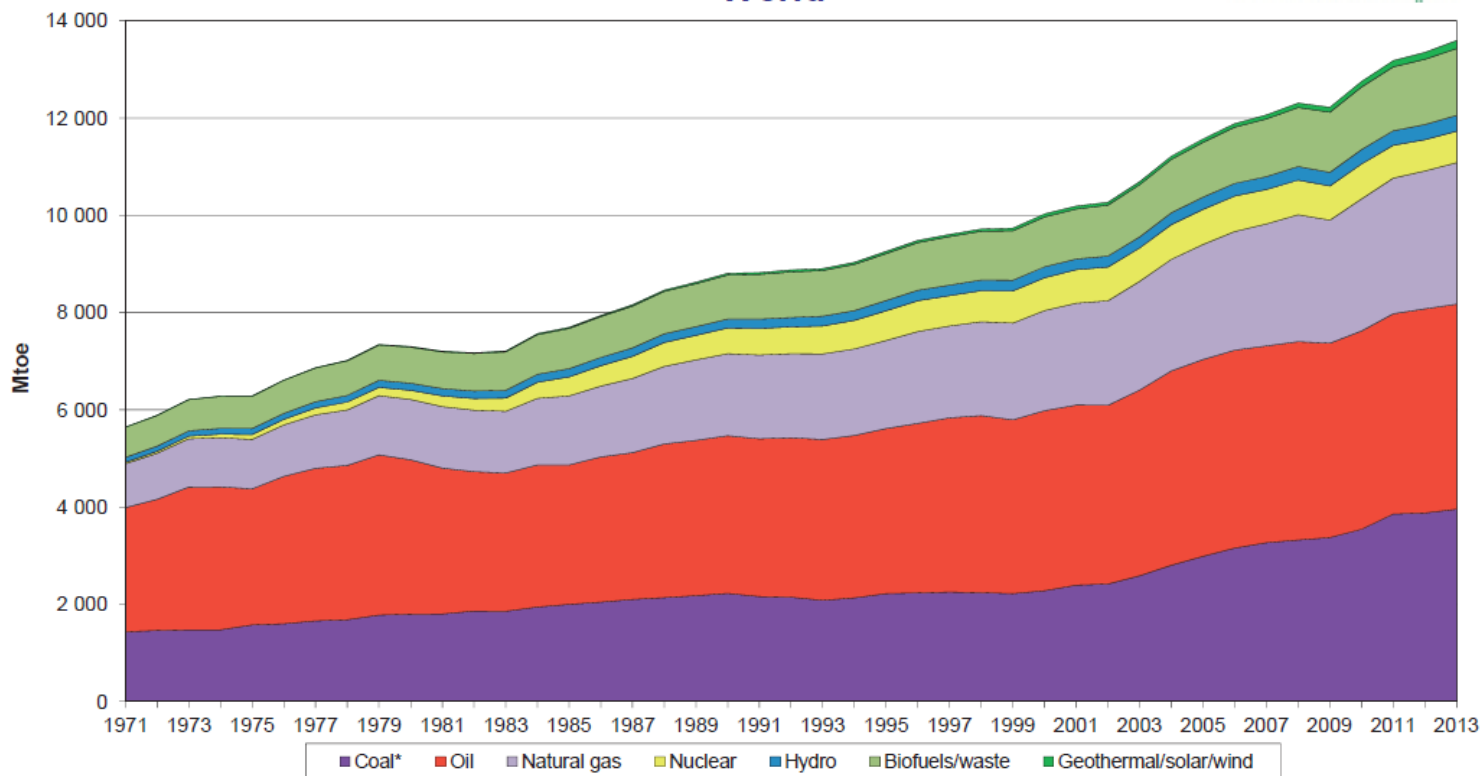
- Allerede i 1978 pekte KJERNEKRAFTUTVALGET på de globale klimaproblemene som bruken av fossile energiformer kunne føre med seg.
- -----" etter Utvalgets oppfatning må man regne med at økt bruk av ikke-fornybare energiformer og særlig bruk av fossile brennstoffer inklusive det som utnyttes i kraftproduksjon, representerer en risiko for store globale klimaendringer."
- Først langt ut i 1980 – årene blir disse problemene satt på den internasjonale dagsorden, bl.a.:
 - James Hansen , US Congress, 1984
 - "Vår Felles Fremtid"/Brundtlandrapporten, 1987



Det store bildet I

Energy production

World

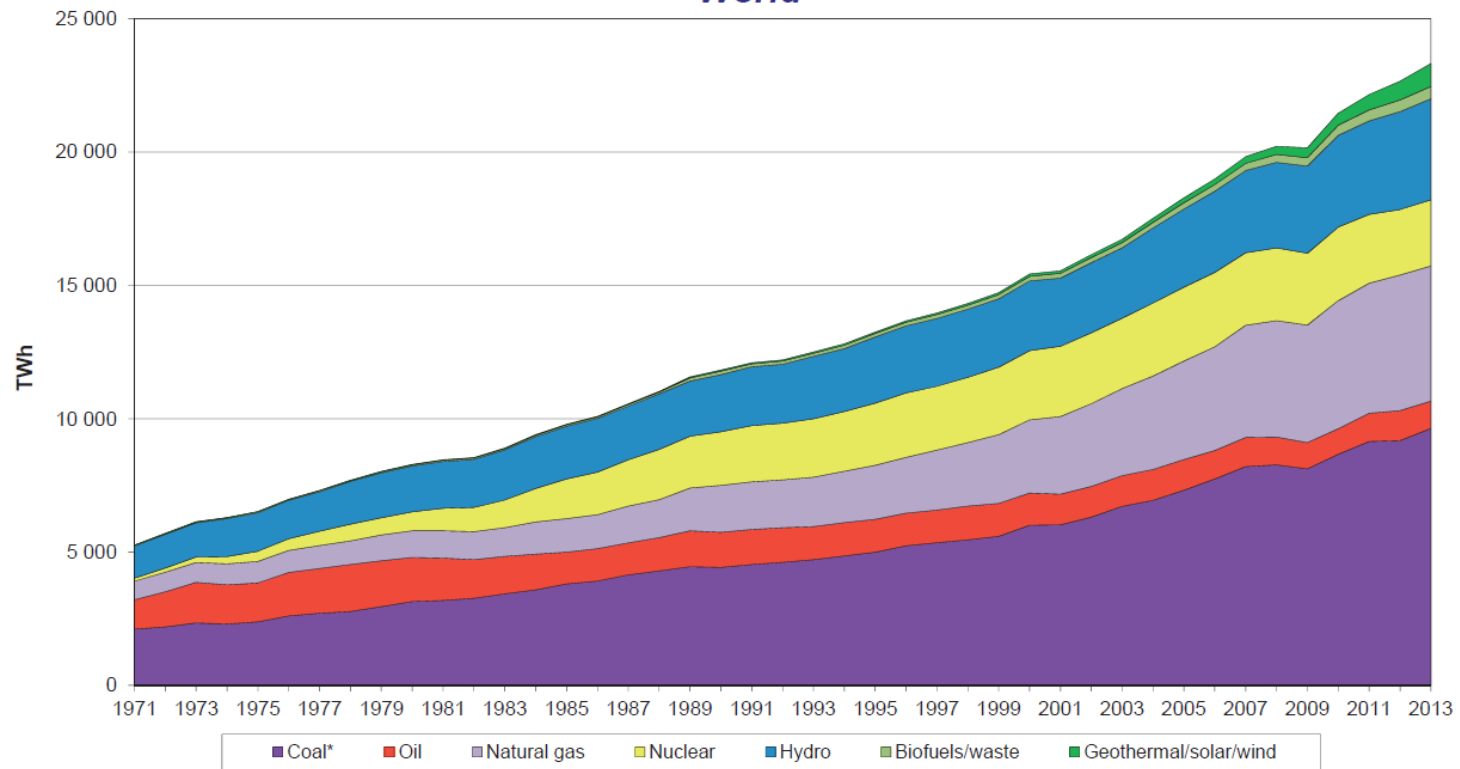


* In this graph, peat and oil shale are aggregated with coal, when relevant.

Det store bildet II

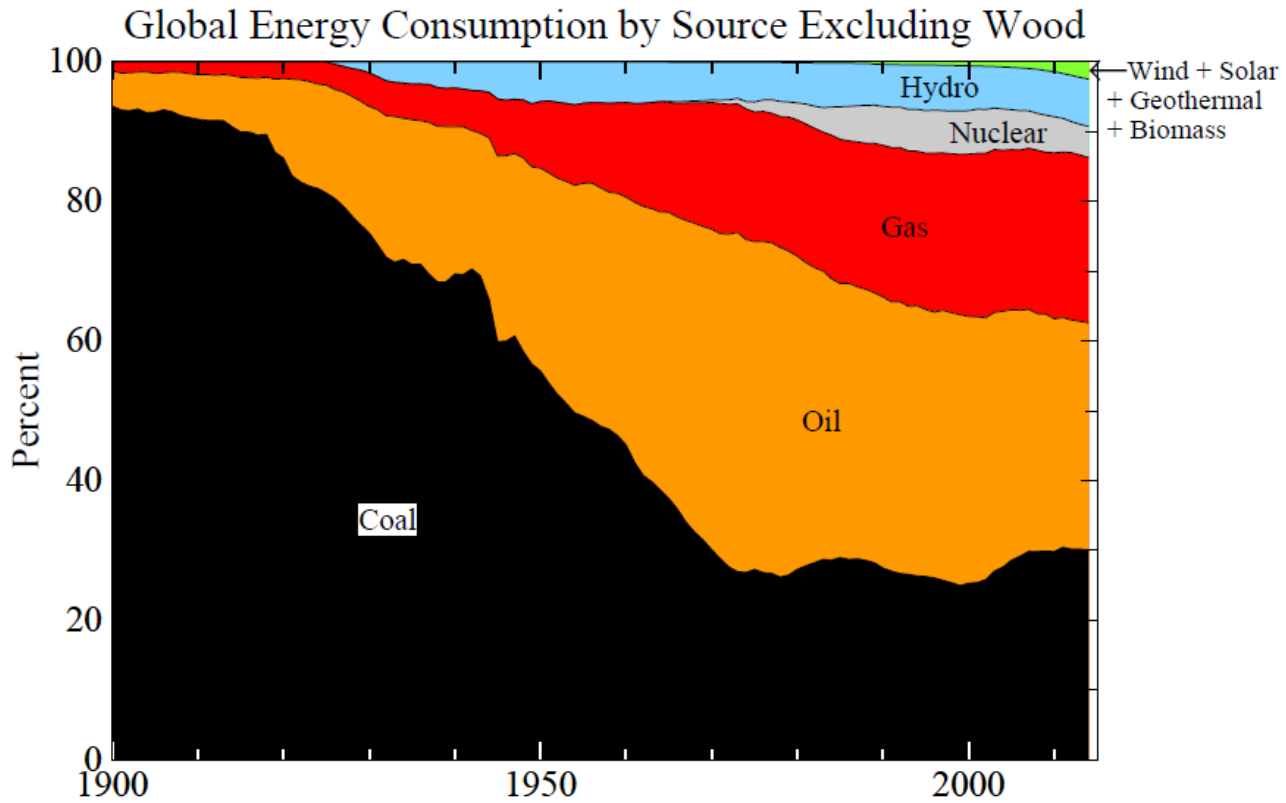
Electricity generation by fuel

World

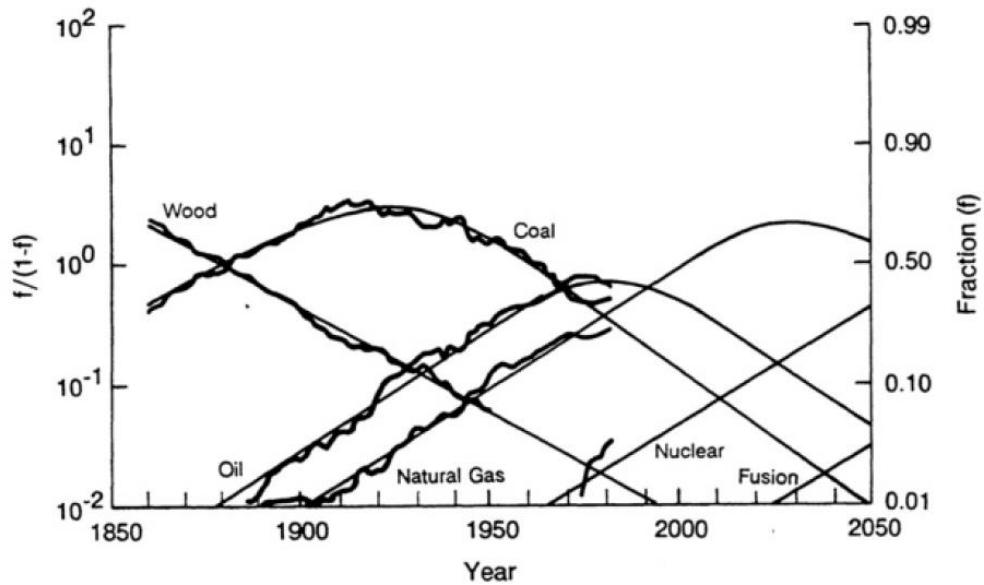


* In this graph, peat and oil shale are aggregated with coal, when relevant.

Dette tar tid -



Ekstremt stabile strukturer -



Historiske og projiserte utviklingsbaner for verdens energibruk. Modellestimer versus statistikk.

Marchetti and Nakicenovic, 1979

Hvilken rolle spiller fornybar energi i dag?

Figure 1: 2013 fuel shares in world total primary energy supply

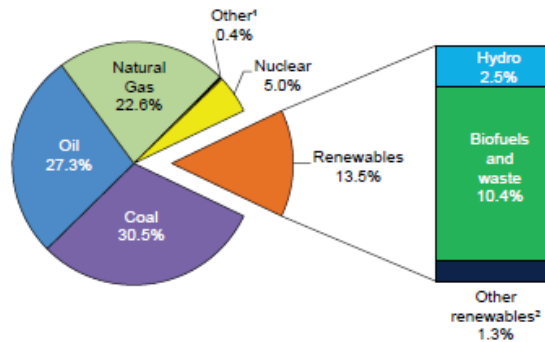
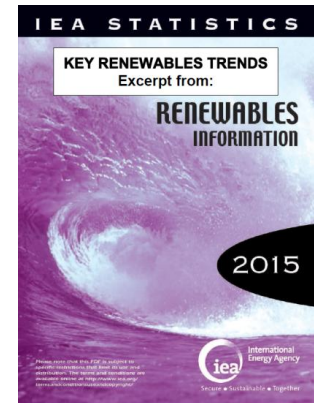
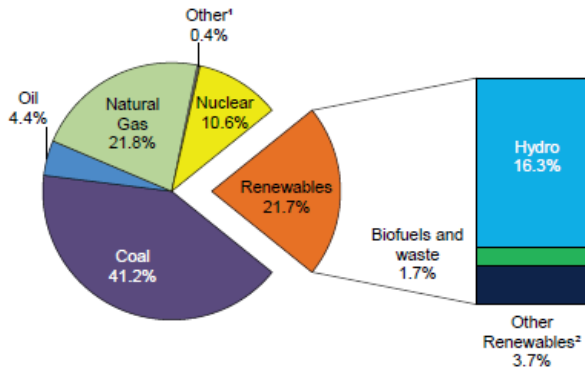


Figure 7: Fuel shares in world electricity production in 2013

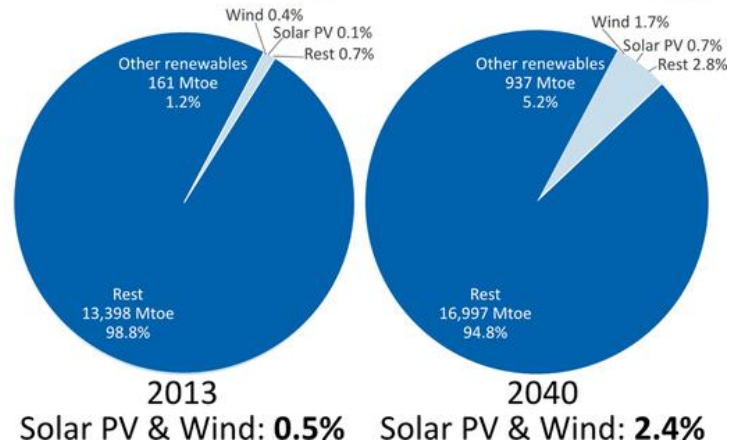


*"2015 Key Renewables Trends/
OECD/IEA, 2015*

- og i fremtiden?

IEA 2015 World New Policies Scenario

	Energy demand (Mtoe)						
	1990	2013	2020	2025	2030	2035	2040
TPED	8 772	13 559	14 743	15 503	16 349	17 166	17 934
Coal	2 221	3 929	4 033	4 112	4 219	4 322	4 414
Oil	3 237	4 219	4 461	4 540	4 612	4 675	4 735
Gas	1 662	2 901	3 178	3 422	3 691	3 977	4 239
Nuclear	526	646	831	923	1 042	1 127	1 201
Hydro	184	326	383	426	467	502	531
Bioenergy	905	1 376	1 541	1 639	1 727	1 805	1 878
Other renewables	37	161	316	442	591	758	937

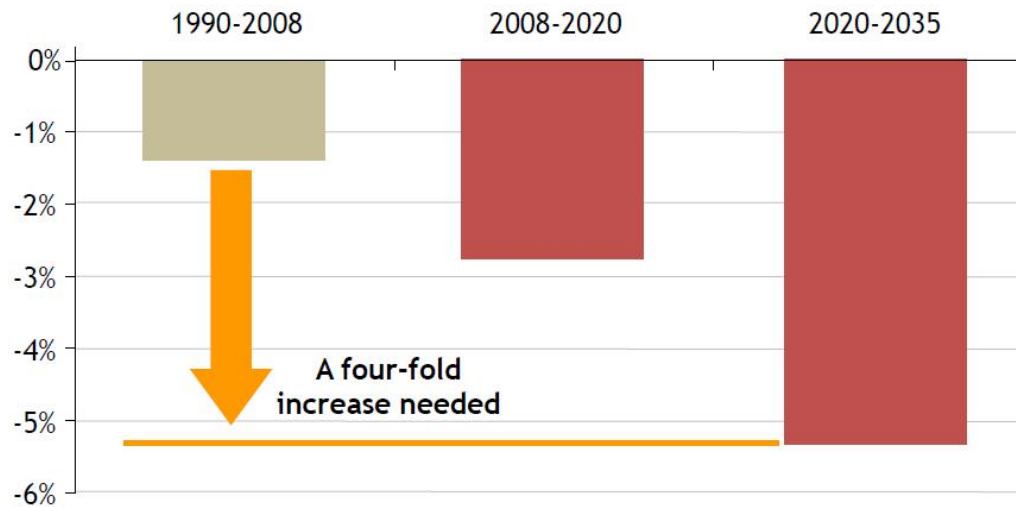


Hva må til for å nå ” 2°C – målet”?

- I følge FNs Klimapanel må det globale utslippet av klimagasser, primært CO₂, reduseres med minst 90% , sammenlignet med nivået i 2010, i perioden 2040 til 2070 (IPCC 2014). De største oppgavene ligger på industrilandene siden disse har størst muligheter for å utvikle nye teknologier som avansert kjerneenergi og avansert solenergi.
- Dette globale utslippskravet innebærer at industrilandenenes kraftsektor må ”av – karboniseres” i løpet av 40 til 50 år, og det globale energisystemet bli tilnærmet ”CO₂ – fritt” innen 2100.
- Oppgaven er formidabel, men dette er realitetene i den internasjonale enigheten etter COP-21 i Paris i desember 2015.

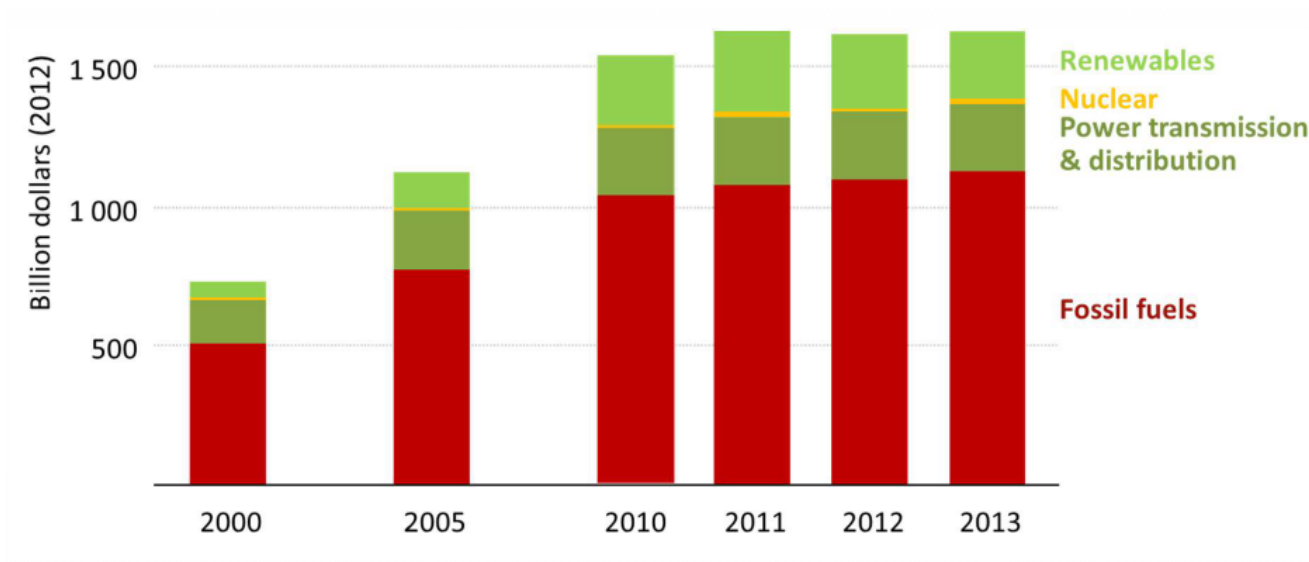
Achieving the 2°C goal will require rapid decarbonisation of global energy

Average annual change in CO₂ intensity in the 450 scenario



Carbon intensity would have to fall at twice the rate of 1990-2008 in the period 2008-2020 & almost four times faster in 2020-2035

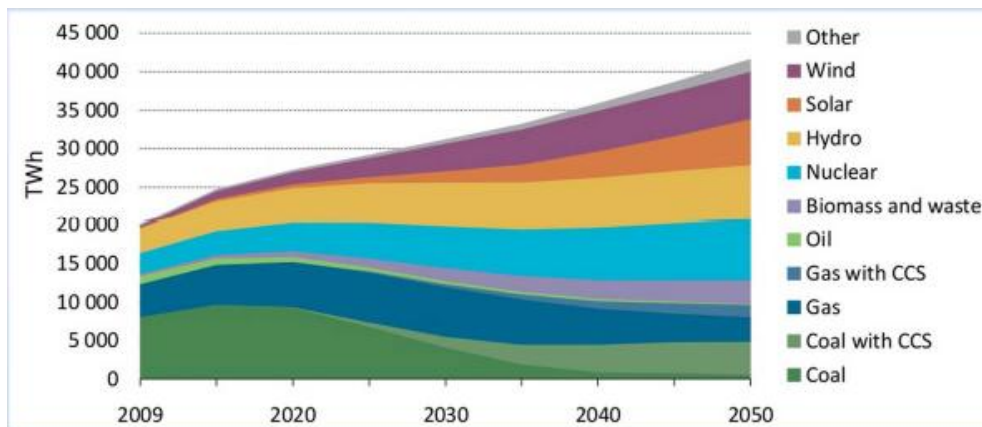
Ingen tvil om hva som prioriteres -



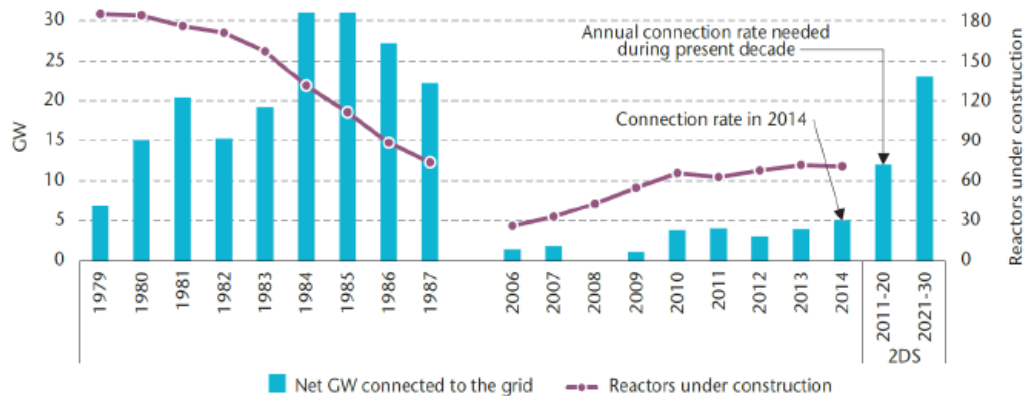
World Energy Investment Outlook (2014).IEA/OECD

Hvor stort er bidraget fra kjernekraft i IEAs 2°C scenarie?

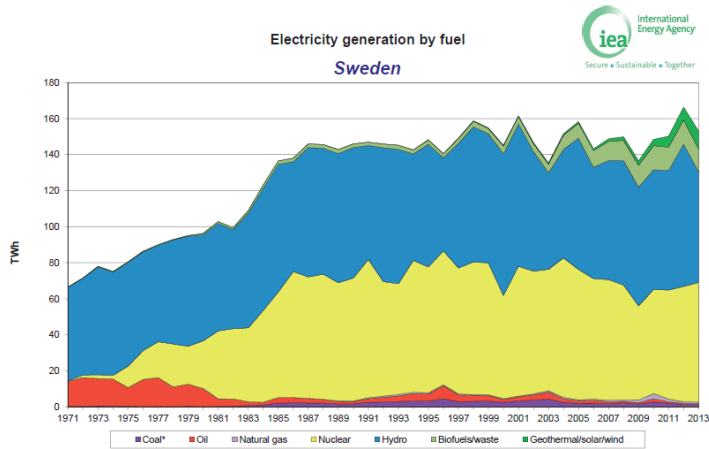
- I 2050 kan kjernekraft gi det største bidraget, men det forutsetter bl.a.:



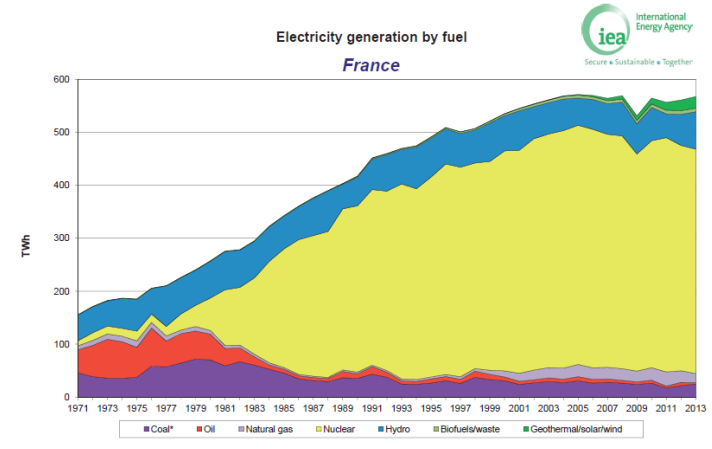
- Økning av kapasiteten på 12-15 Gwe/år.



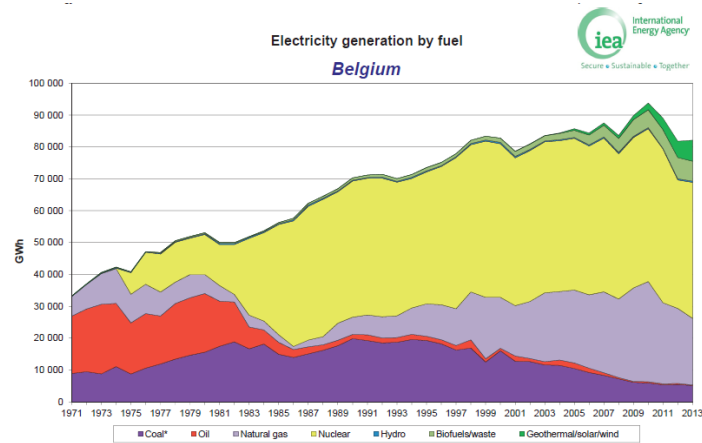
Noen har klart det -



* In this graph, peat and oil shale are aggregated with coal, when relevant.

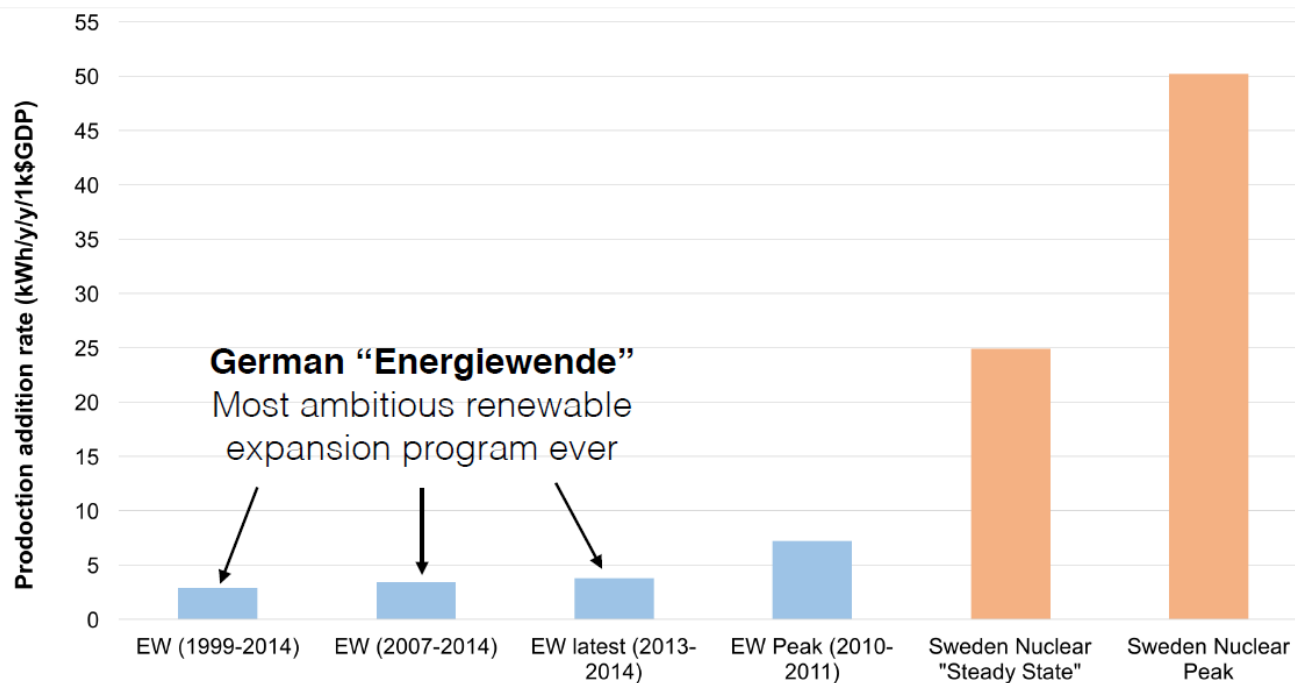


* In this graph, peat and oil shale are aggregated with coal, when relevant.

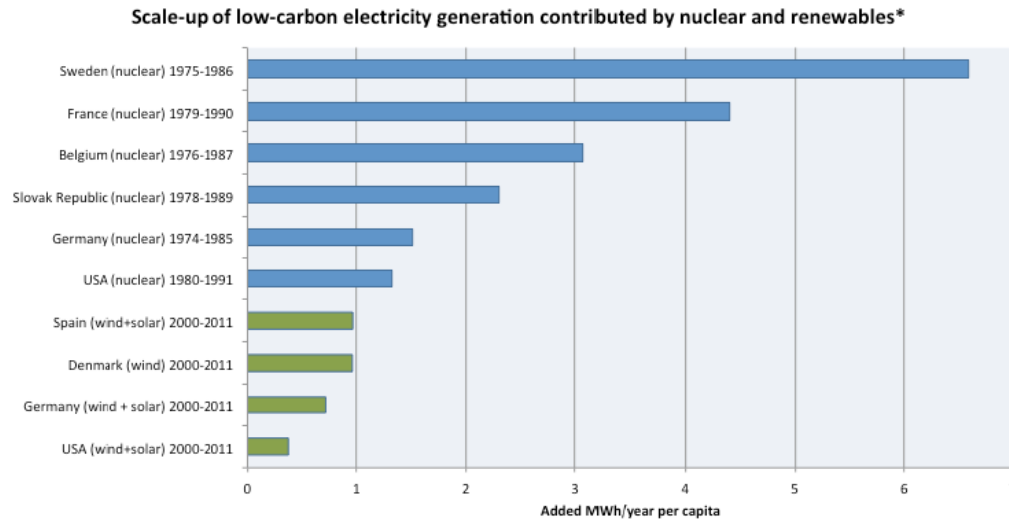


* In this graph, peat and oil shale are aggregated with coal, when relevant.

- men kan Tyskland klare det?



Kjernekraften bør kunne klare det -



* For nuclear, the decade of most rapid scale-up; for solar and wind, the most recent decade.

- Det er en populær oppfatning at solenergi og vindkraft har et formidabelt tilvekstpotensial, men historisk er det kjernekraft som har demonstrert den hurtigste tilveksten, Gwe/år.
- Selv den aggressive utbyggingen av solenergi og vindkraft i Danmark og Tyskland i løpet av det siste ti - året kan ikke konkurrere med takten i den historiske utbyggingen av kjernekraft i Europa i 1970-, og 1980-årene, i Belgia, Frankrike og Sverige.

- men det krever en massiv innsats

- fra de store industrilandene gjennom flere tiår frem til midten av dette århundret.

- Sverige, Belgia og Frankrike klarte i 1970- og 1980-årene å få tilsvarende mengder ny kapasitet på nettet, men det var den gang og ikke nå!
- I dag mangler mye av de industrielle forutsetningene og nødvendig infrastruktur. Samtidig er kjernekraftindustriens krav til kvalitet stort sett et glemt kapittel, og nukleærfaglig kompetanse forvitret.
- Sverige er på mange måter et trist eksempel, og Tyskland har i praksis avviklet sin kjernekraftindustri.
- Nordisk kompetanse finnes i dag i Finland.
- USA har åpenbart innsett alvoret, og her støtter myndighetene en lang rekke utviklingsprosjekter som er satt i gang.
- At Bill Gates samarbeider med kinesiske forskningsmiljøer er kanskje et viktig signal om hvilken nasjon som har globale ambisjoner når det gjelder å skaffe verden CO₂ - fri energi.

Takk for oppmerksomheten!