

Vil Kjernekraft løse Norges energiproblem?

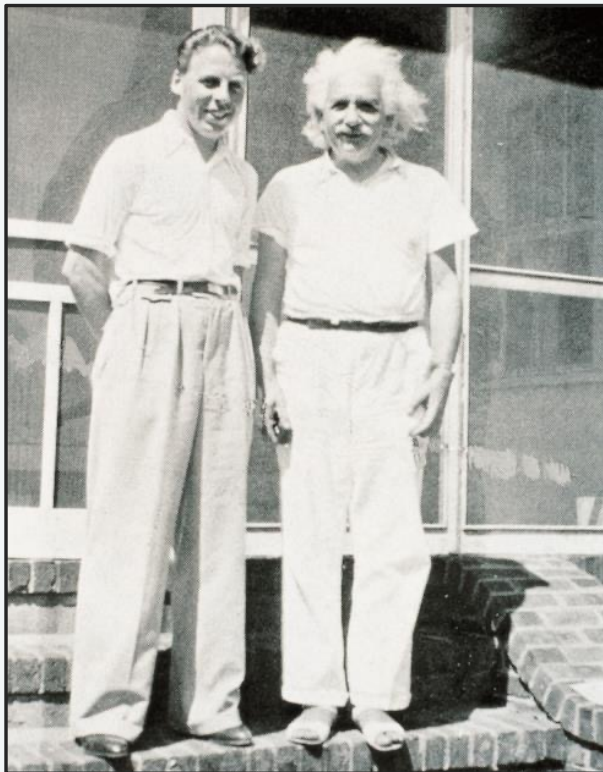
Presentasjon for Senioruniversitetet i Lillestrøm (SUL)

Martin Smedstad Foss

Divisjonsdirektør, Institutt for energiteknikk



IFE er Norges nukleære forskningsinstitutt



IFEs grunnlegger, Gunnar Randers, og
Albert Einstein, Long Island, 1942

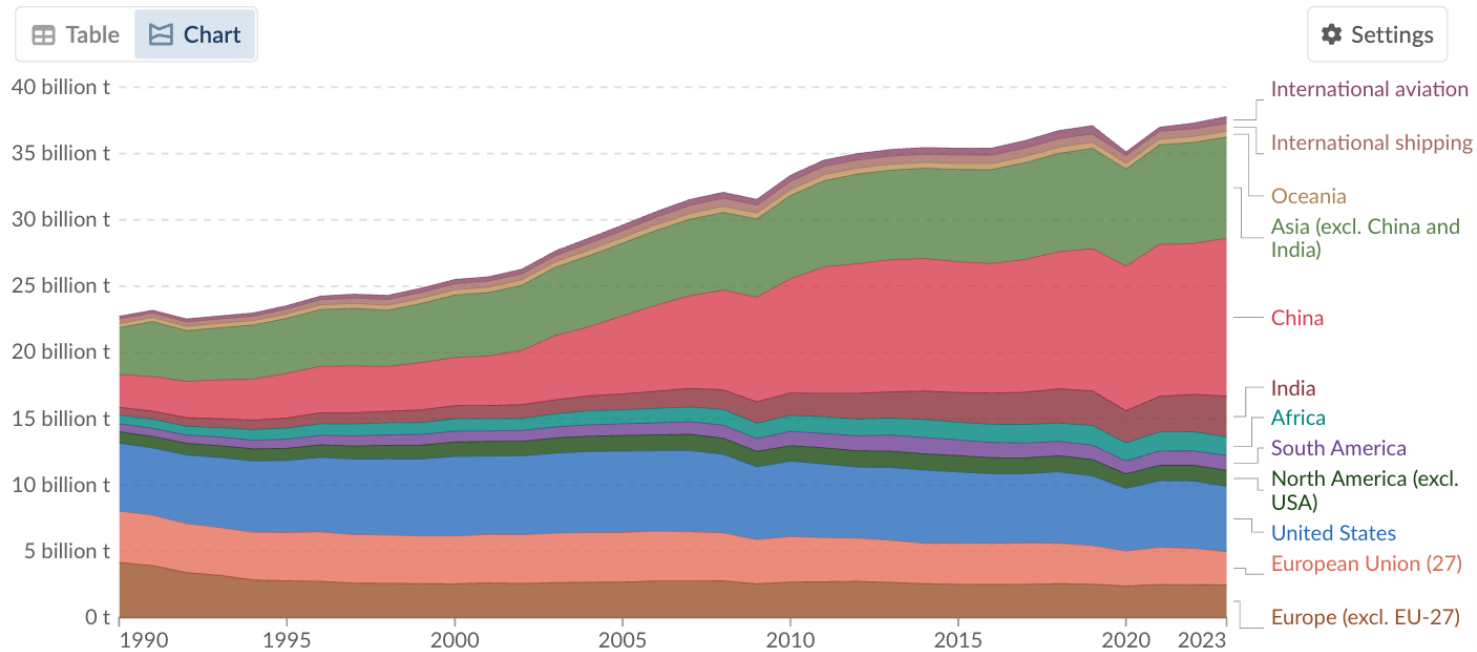
- IFE har bygd og drevet fire forskningsreaktorer fra 1951-2019:
 - JEEP I, Kjeller: 1951 – 1967
 - NORA, Kjeller: 1961 – 1968
 - HBWR, Halden: 1959 – 2018
 - JEEP II, Kjeller: 1966 – 2019
- Haldenreaktoren: Atomsikkerhet (brensel og materialforskning)
- Kjeller: Nøytronforskning, fysikk og materialer
- Nukleære forskningsaktiviteter ved IFE i dag:
 - Haldenprosjektet
 - Norsk Nukleært Forskningscenter (IFE, UiO, NMBU)
 - Deltager i Kjernekræftuvalget NOU 2024
 - Utvikling av kjernekjemi og kjernefysikk i Oslo regionen
 - EU Industrial Alliance on SMR

Globale CO₂ utslipp (2024)

- Utslippene øker fra 2023 to 2024 (2%):
 - Økte Indiske utslipp (4.6%)
 - Økte ikke-vestlige utslipp (1.6%)
- Positive trender:
 - Reduksjon i Europeiske utslipp (-8% in 2023, -3.8% in 2024)
 - Reduksjon i Amerikanske utslipp (-0.6%)

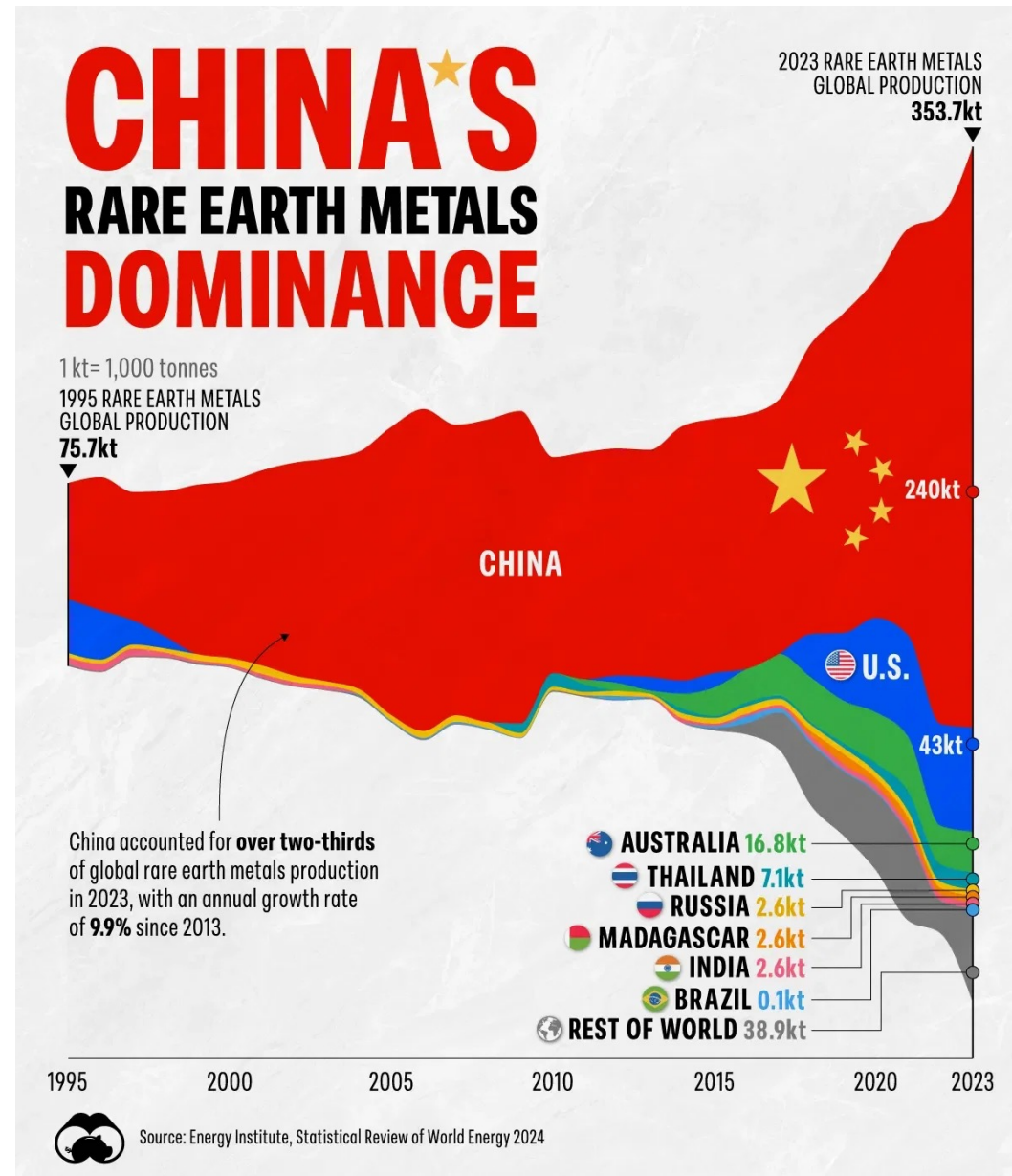
Annual CO₂ emissions by world region

Emissions from fossil fuels and industry are included, but not land-use change emissions. International aviation and shipping are included as separate entities, as they are not included in any country's emissions.



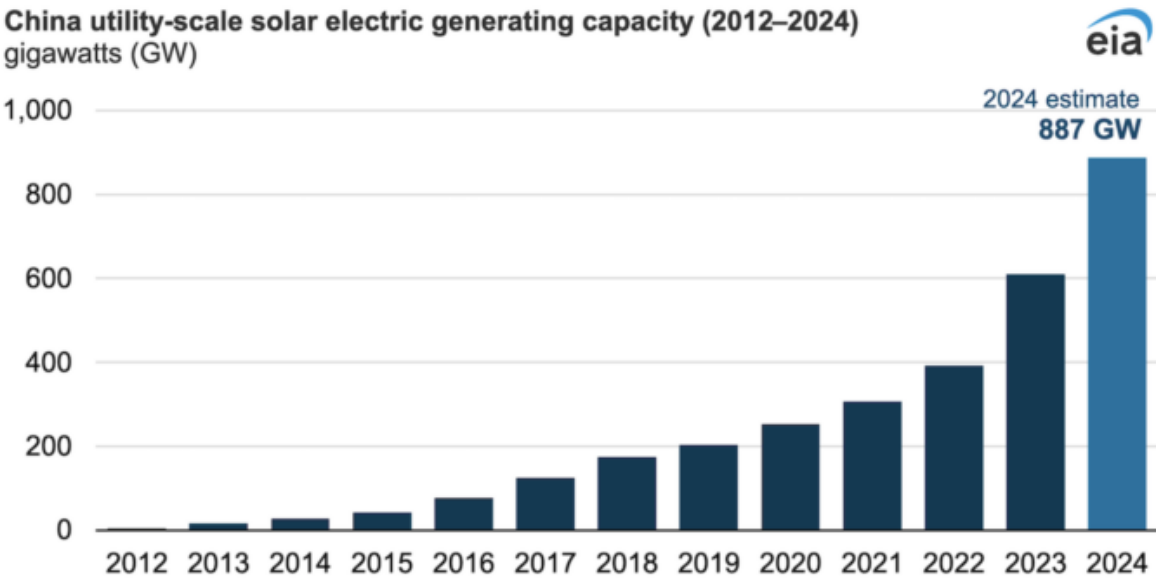
Global maktkamp

«markedspris» finnes ikke for strategisk viktige varer



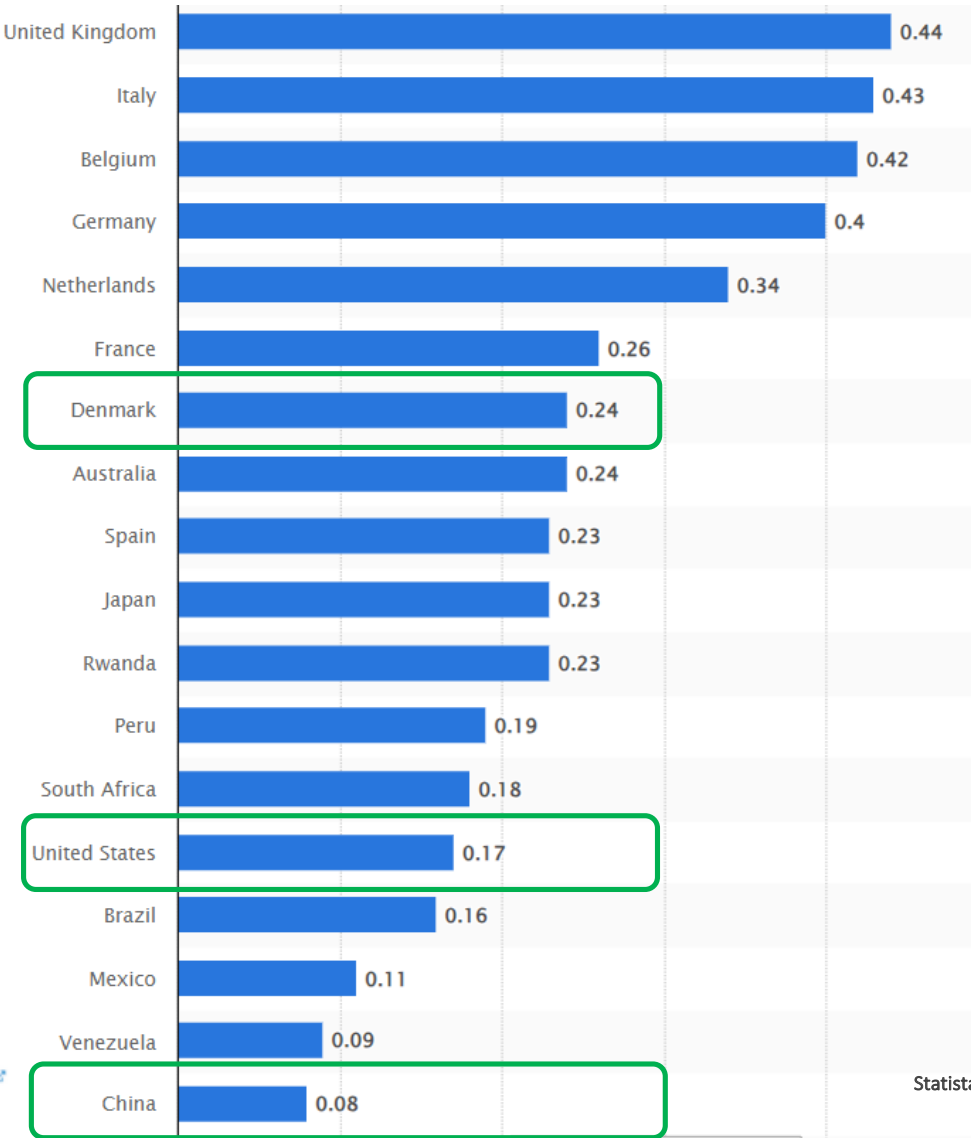
Global konkurranse og energisikkerhet

- +277 GW Solkraft (+28%) i 2024 i Kina(EnerData)
- Total effekt for verdens kjernekraft er 377 GW



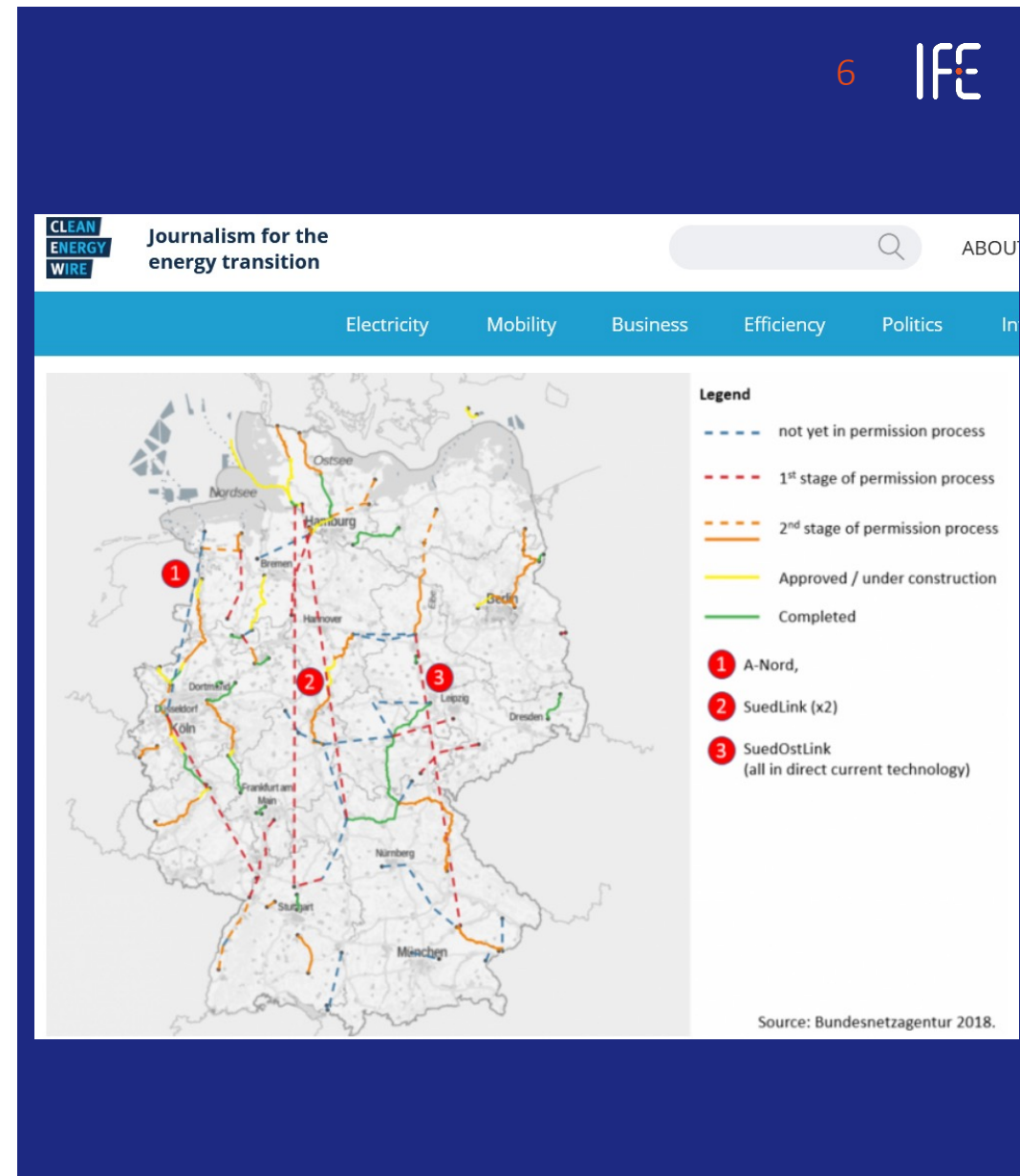
Data source: Through 2023: U.S. Energy Information Administration, International Energy Statistics (IES); 2024: China's National Energy Administration (NEA)
Note: NEA considers utility-scale solar to include projects of at least six megawatts of installed alternating current capacity.

Household electricity prices worldwide 2023 (\$/kWh)



Kapasitet og stabilitetsutfordringer strømnettet

- Overføringskapasitet
- Kritiske fleksibilitetsutfordringer



Nedbygging av natur



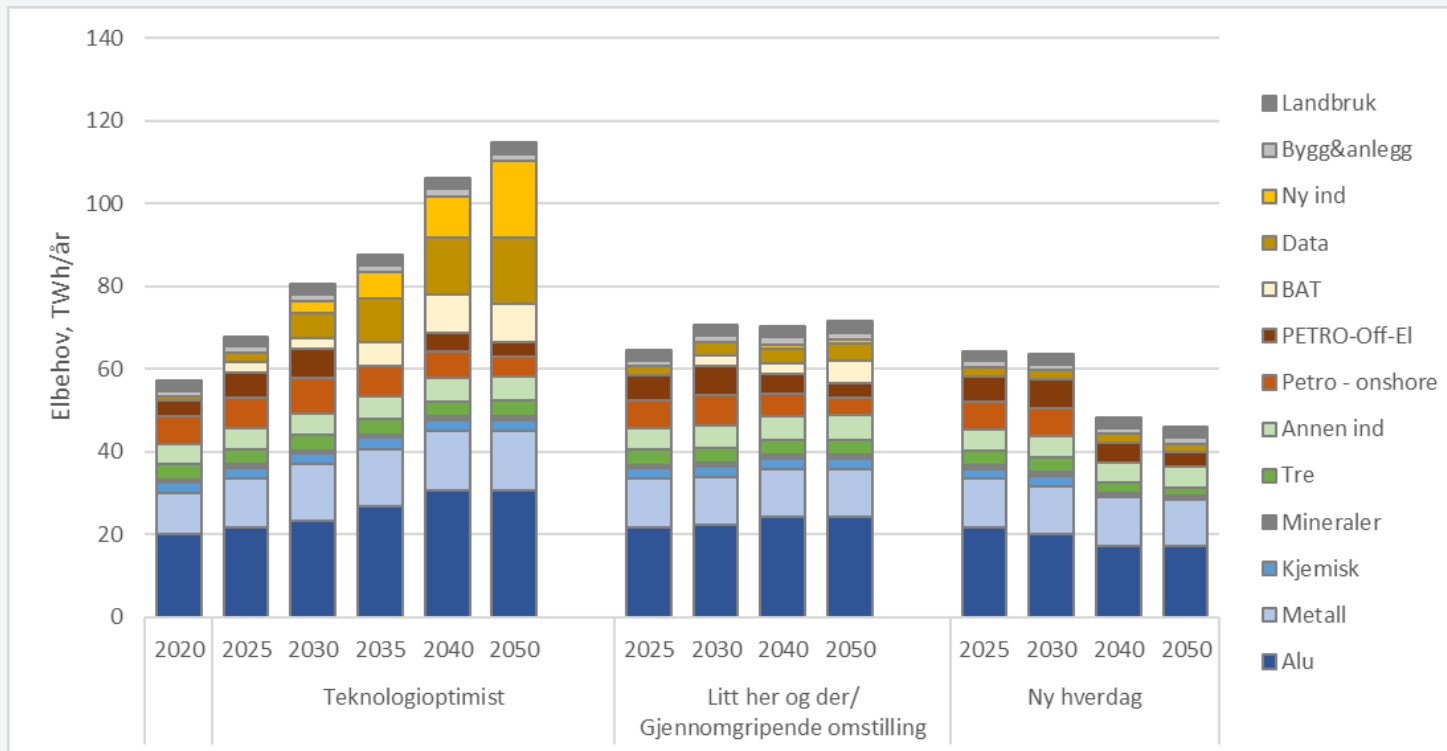
Foto: Dagmar
Hagen/NINA

Adkomstveg til eit radaranlegg i fjellet
der det ikkje er stilt konkrete vilkår
utover standardformuleringar.



Adkomstveg til eit stort kraftanlegg i
fjellet der det er stilt heilt konkrete
vilkår for å begrense naturinngrep.

Kraftbehovet og produksjonen styres av politiske valg



Blar opp 58 mrd. for havvind – kunne vært gratis

Staten vil gi titalls milliarder for kraft som den kunne fått gratis. Bakteppet er striden om vindkraft på land og håpet om et industrieventyr til havs.



Politikk og strømproduksjon 2025

Norges klimamål

	R	SV	Ap	Sp	MDG	KrF	V	H	FrP
Nasjonale klimamål skal prioriteres, selv om det kan komme i konflikt med mål om økonomisk vekst	Enig	Svært enig	Uenig	Ingen politikk	Svært enig	Enig	Enig	Uenig	Svært uenig

Kabler til utlandet

	R	SV	Ap	Sp	MDG	KrF	V	H	FrP
Norge bør ikke tillate noen ny transmisjonskapasitet til utlandet	Enig*	Enig	Enig	Svært enig	Svært uenig	Enig	Svært uenig	Uenig	Svært enig*
Norge bør redusere eksisterende transmisjonskapasitet til utlandet	Enig	Svært enig	Enig	Svært enig	Svært uenig	Enig	Svært uenig	Uenig	Enig

*R og FrP er åpne for ny kapasitet til Sverige

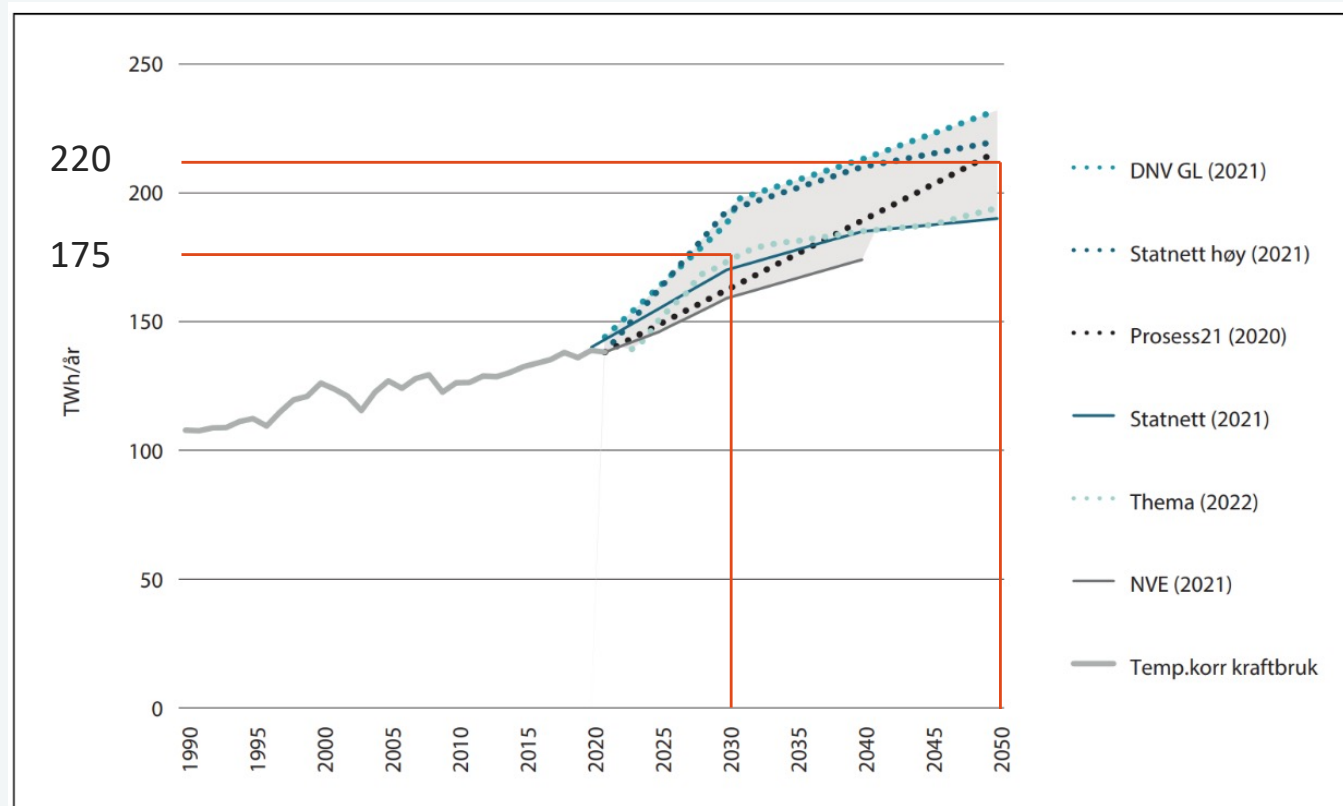
Politikk og strømproduksjon II 2025

Havvind	R	SV	Ap	Sp	MDG	KrF	V	H	FrP
Partiet ønsker å subsidiere havvind på norsk sokkel	Svært uenig	Svært enig	Enig	Ingen politikk	Svært enig	Enig	Enig	Enig	Svært uenig
Partiet ønsker å tillate hybride kabler ved utbygging av havvind på norsk sokkel	Svært uenig	Uenig	Enig*	Svært uenig	Svært enig	Enig*	Svært enig	Svært enig	Svært uenig

* Ap og KrF kan tillate hybride kabler ved mye havvindutbygging

Kjernekraft	R	SV	Ap	Sp	MDG	KrF	V	H	FrP
Partiet støtter å utrede mulighetene for kjernekraft i Norge	Svært enig	Uenig	Enig	Enig	Svært enig	Svært enig	Enig	Svært enig	Svært enig

Utfordringen med tilgang på kraft vil forsterkes

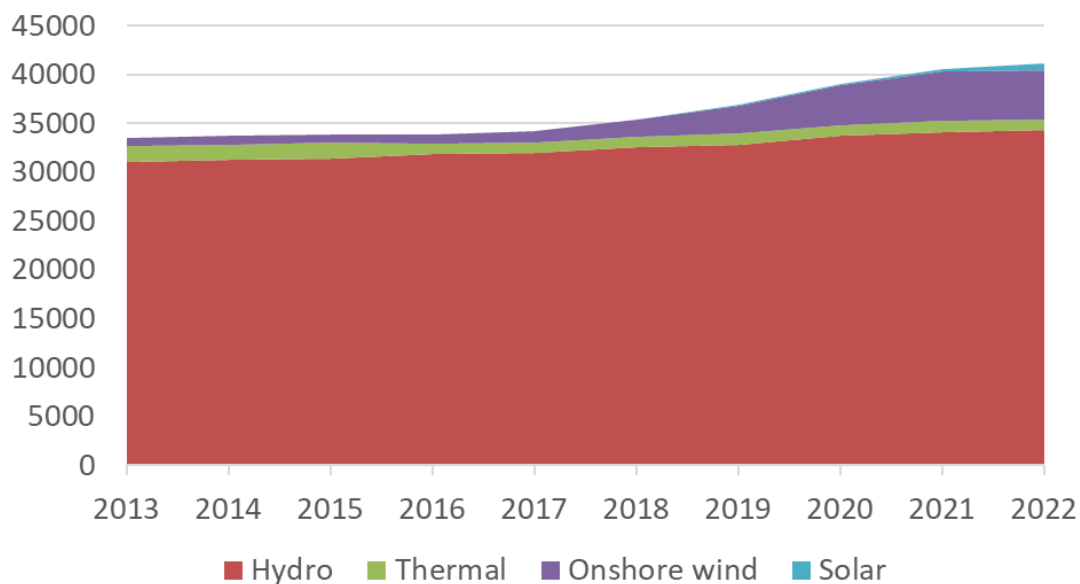


Figur 9.1 Utfallsrom for fremskrivninger av kraftbruk i 2030, 2040 og 2050, TWh/år

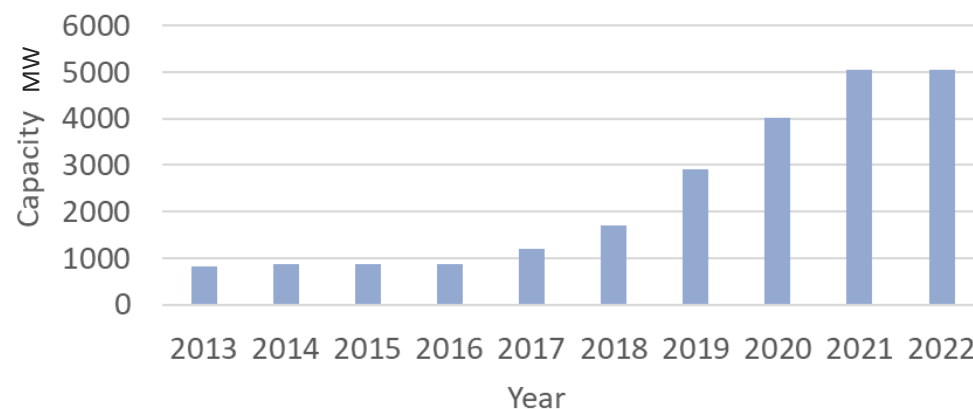
Kilde: NVE (2021), Statnett (2021), Thema og Multiconsult (2022), DNV GL (2021), Prosess21 (2020).

Hva har Norge gjort for å løse kraftutfordringen?

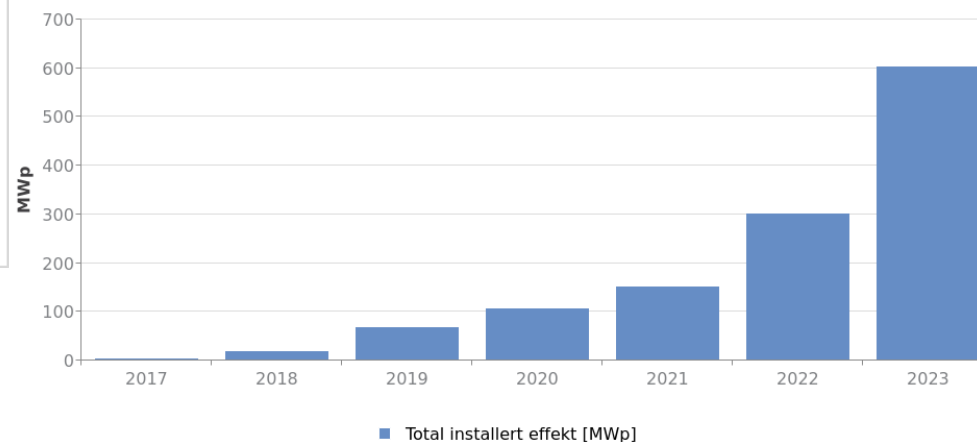
Installed capacity Norway MW



Onshore wind

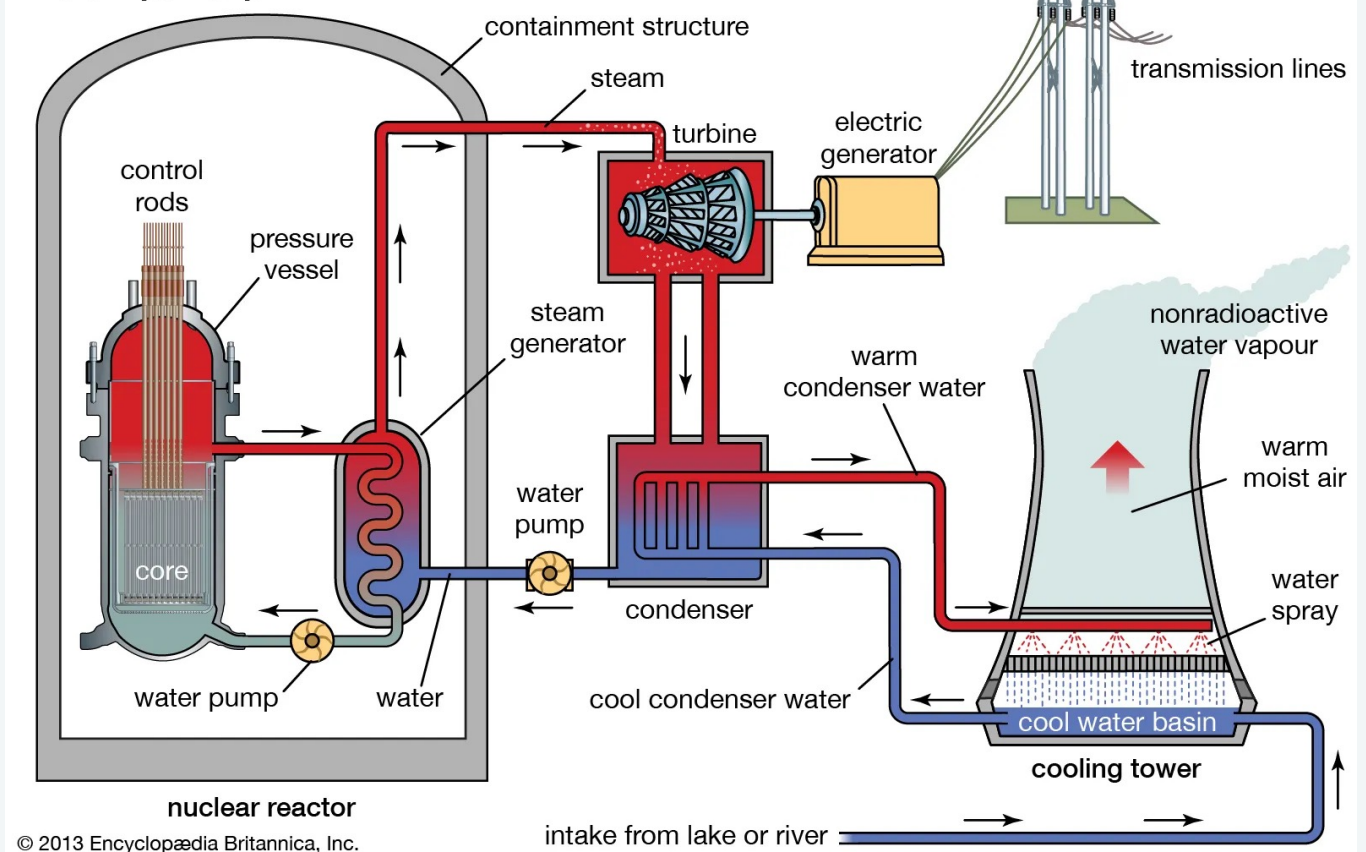


SOLKRAFT



Er kjernekraft
løsningen for å
få nok kraft?

Nuclear power plant

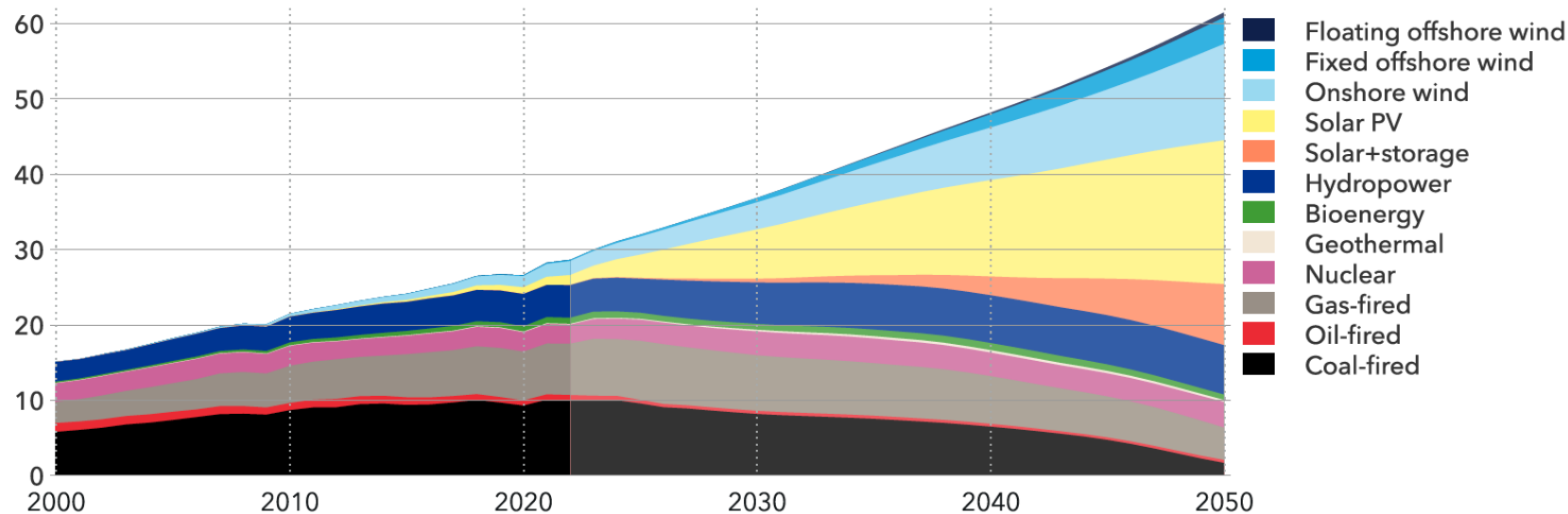


Verden trenger kjernekraft

- For å nå klimamålene - dobling
- For å dekke økt energibehov grunnet elektrifisering
- For leveransesikkerhet
- Under COP28 inngikk 20 land forpliktelser på en tredobling av kjernekraft innen 2050.

World grid-connected electricity generation by power station type

Units: PWh/yr



Historical data source: IEA WEB (2024), GlobalData (2024)

Styrker ved kjernekraft 1: Mindre naturinngrep og arealbruk

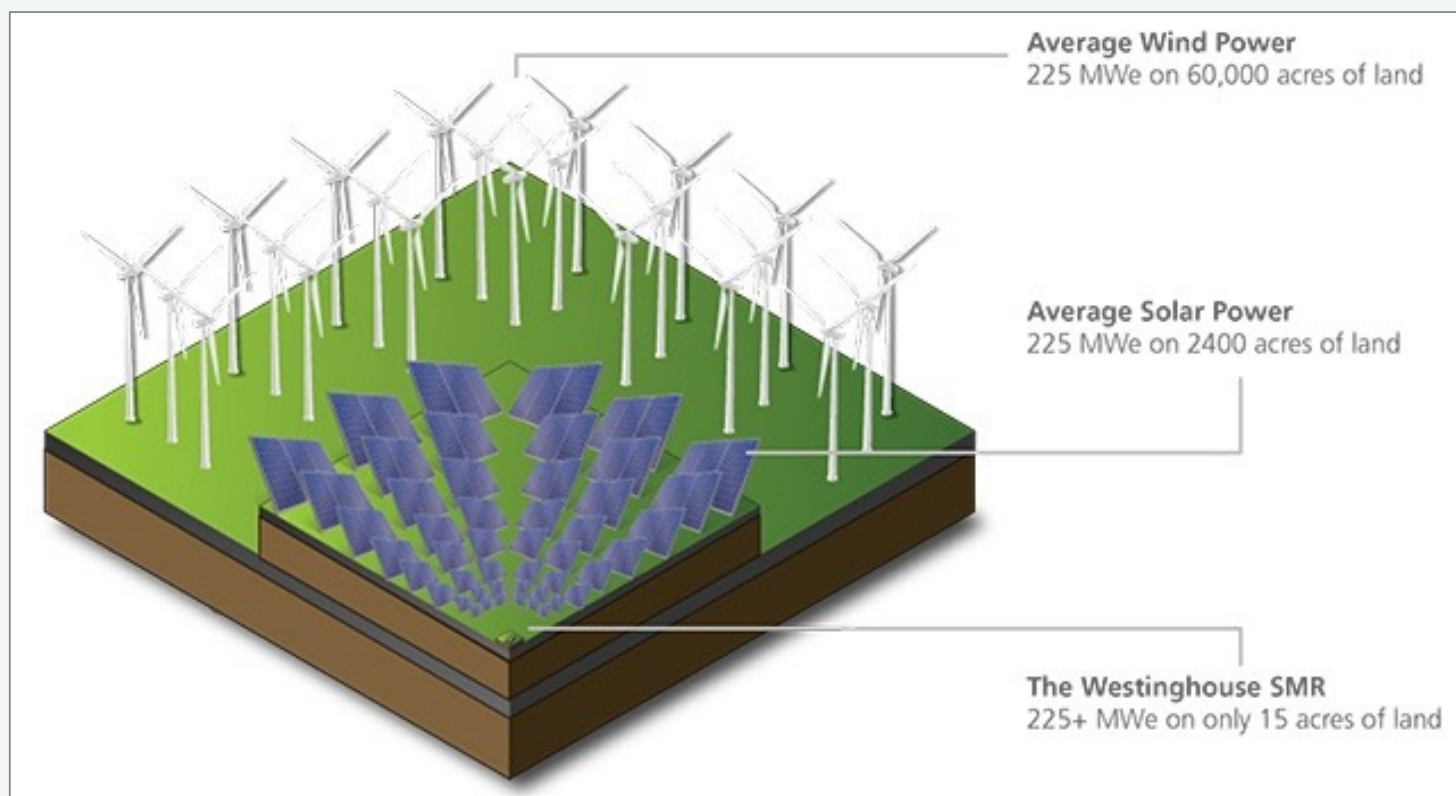


Image: www.westinghousenuclear.com

Styrker ved kjernekraft 2

- Kjernekraft gir grunnlag for utvikling av teknologi
 - Kjernefysikk og Kjernekjemi
 - Teknologiutvikling i komplekse industriprosjekter
 - Energistyring og optimalisering
- Kjernekraft gir store mengder kraft
 - En konvensjonell reaktor på 1.6 GW produserer 12TWh
 - Åpner for større optimalisering av vannkraft
- Kjernekraft gir økt energisikkerhet
 - Mer uavhengighet av kraft fra i naboland

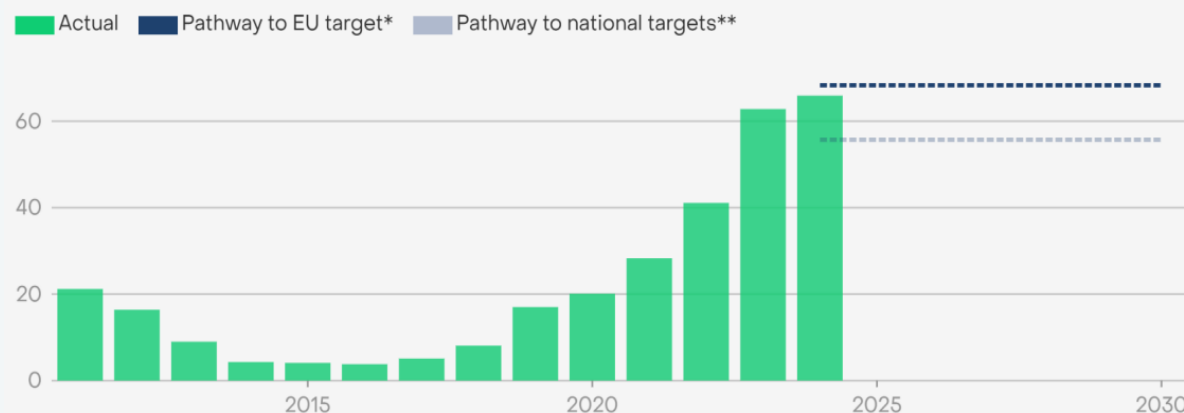


Er kjernekraft konkurransedyktig i Europa i 2025?

- Europeiske solcelleinstallasjoner fortsatte å nå rekordhøye nivåer i 2024
- 2023: +63 GW kapasitet, +40 TWh produksjon
- 2024: +66 GW kapasitet, +54 TWh produksjon
- Det nye Franske atomkraftverket Flamanville 3 ble åpnet i 2024:
 - Effekt 1,6 GW.
 - Produksjon på 12 TWh

Solar power growth already outpaces national targets but must be sustained to achieve EU 2030 targets

Annual solar capacity additions in the EU (GW)

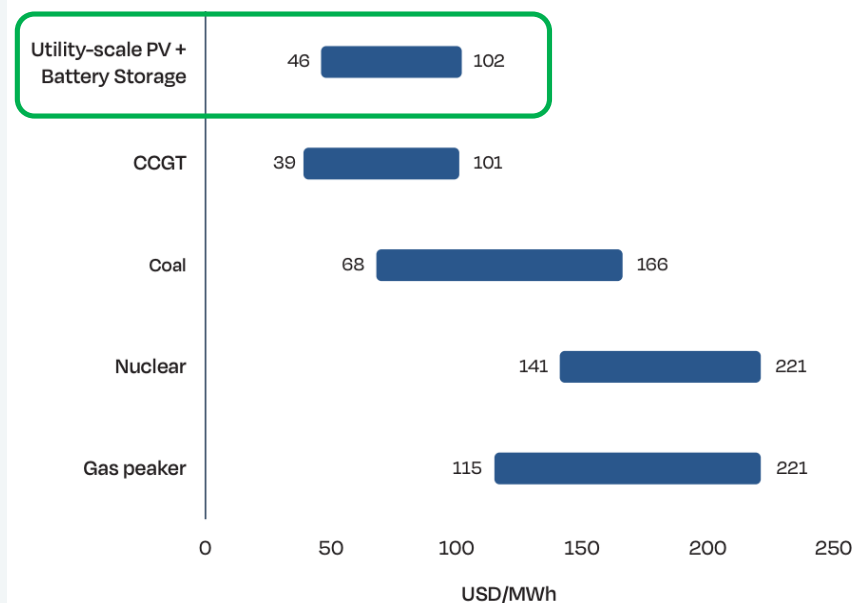


Source: Ember NECP tracker, Solar Power Europe · Pathway assumes constant annual solar additions starting from the 2023 installed base and reaching the corresponding target for cumulative installed capacity in 2030. *Based on RePowerEU 2030 target **Based on the sum of targets in the latest 2024 NECPs

Status for storskala lagring av variabel kraftproduksjon

- Årlige batterilagringsinstallasjoner i Europa i 2024
 - Totalt 21,9 GWh batterilagring installert, opp 15 % fra året før
- Tyskland distribuerte mer energilagring enn noe annet europeisk land i 2024
 - 6,2 GWh ny kapasitet, 33 % økning fra 2023
 - Totalt 22 GWh installert
- Prisene for PV+lagring er konkurransedyktige i forhold til alle andre grunnlastalternativer i 2025.

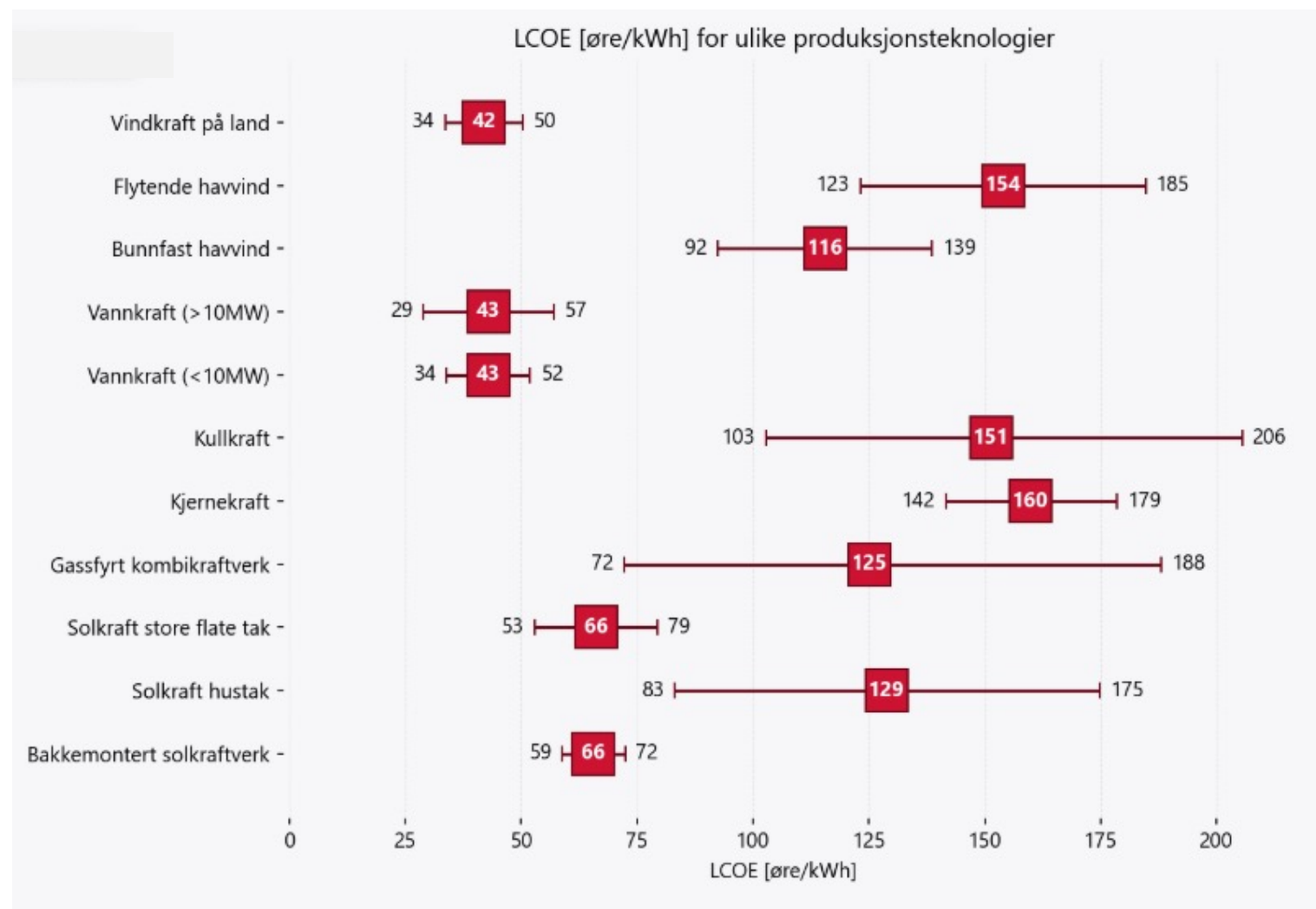
FIGURE 4 LCOE COMPARISON FOR BASELOAD TECHNOLOGIES 2023



Source: Lazard (2023).

© SOLARPOWER EUROPE 2024

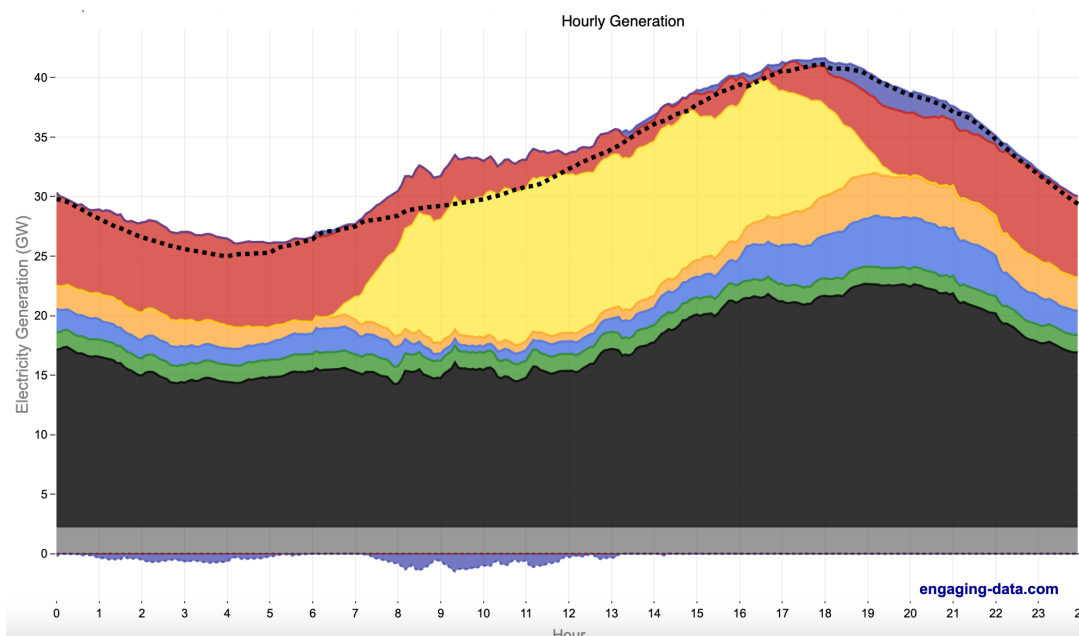
NVE 2025 – Priser på kraft i det Norske markedet+



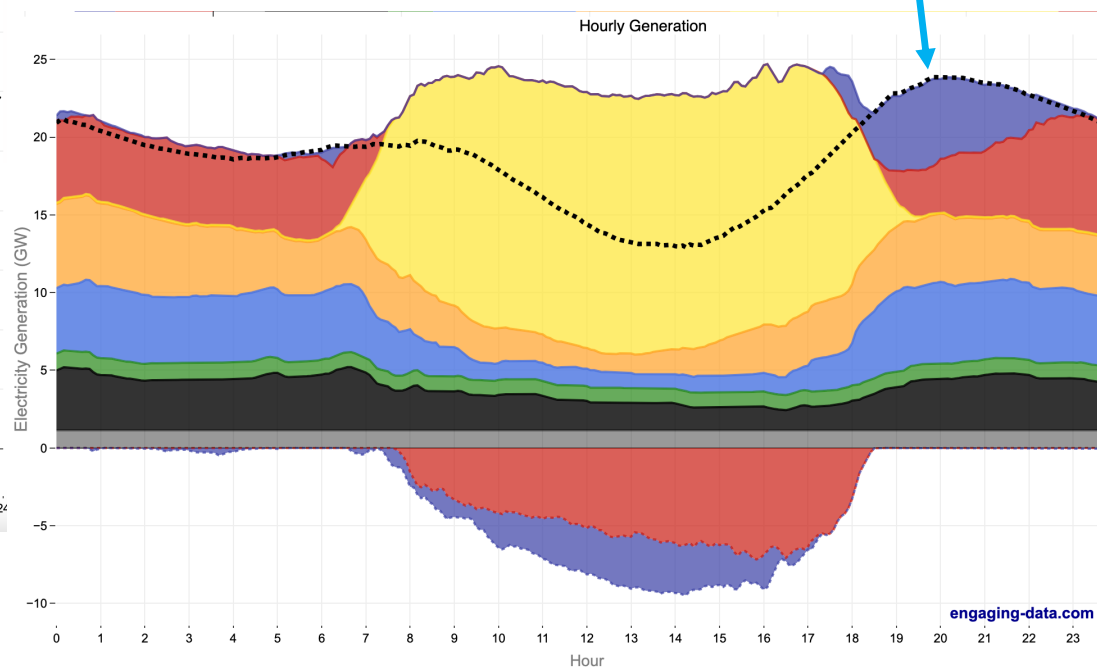
IFE Batterirevolusjonen har allerede skjedd!

I 2 timer på kvelden leverer batteriene mer enn alle andre kilder (>1000% siden 2020)

California April 2022



California April 2024



<https://engaging-data.com/california-electricity-generation/>

Kjernekraft i Norge

– hva skjer, og hva må til?

ÅPEN



Copyright: Sustainable Review

Kjernekraft ble vurdert som aktuelt i Norge helt til slutten av 1970-tallet

NVE informerer om kjernekraftverk, 1973:



Elektrisitetsforsyningen i Norge

Denne del omhandler behovet for elektrisk energi og hvordan dette kan dekket.



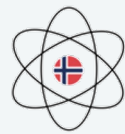
Slik situasjonen fortoner seg i dag, vil kjernekraften komme til å dekke en vesentlig del av økningen i vårt kraftforbruk etter hvert som vannkraftressursene blir utbygd. Olje og gass fra Nordsjøen kan også komme til å spille en viss rolle, men her står det enda igjen å avklare en rekke åpne spørsmål.

Det tas nå sikte på å få det første kjernekraftverket i Norge i drift omkring 1982, og de forberedende arbeider for dette prosjektet er allerede så smått igang.

Kjernekraft i Norge – hva må til?



Norsk Nukleært Forskningscenter



Norsk Nukleært Forskningscenter
Norwegian Nuclear Research Centre

ÅPEN
24



NCNR Consortium & Associates

Academia



UiO



NTNU



Høgskulen
på Vestlandet



Berkeley
UNIVERSITY OF CALIFORNIA



Research & Application Sector



NORSAR

Norwegian
Meteorological
Institute



Other



NND, Halden Municipality, ...

NCNR Connections



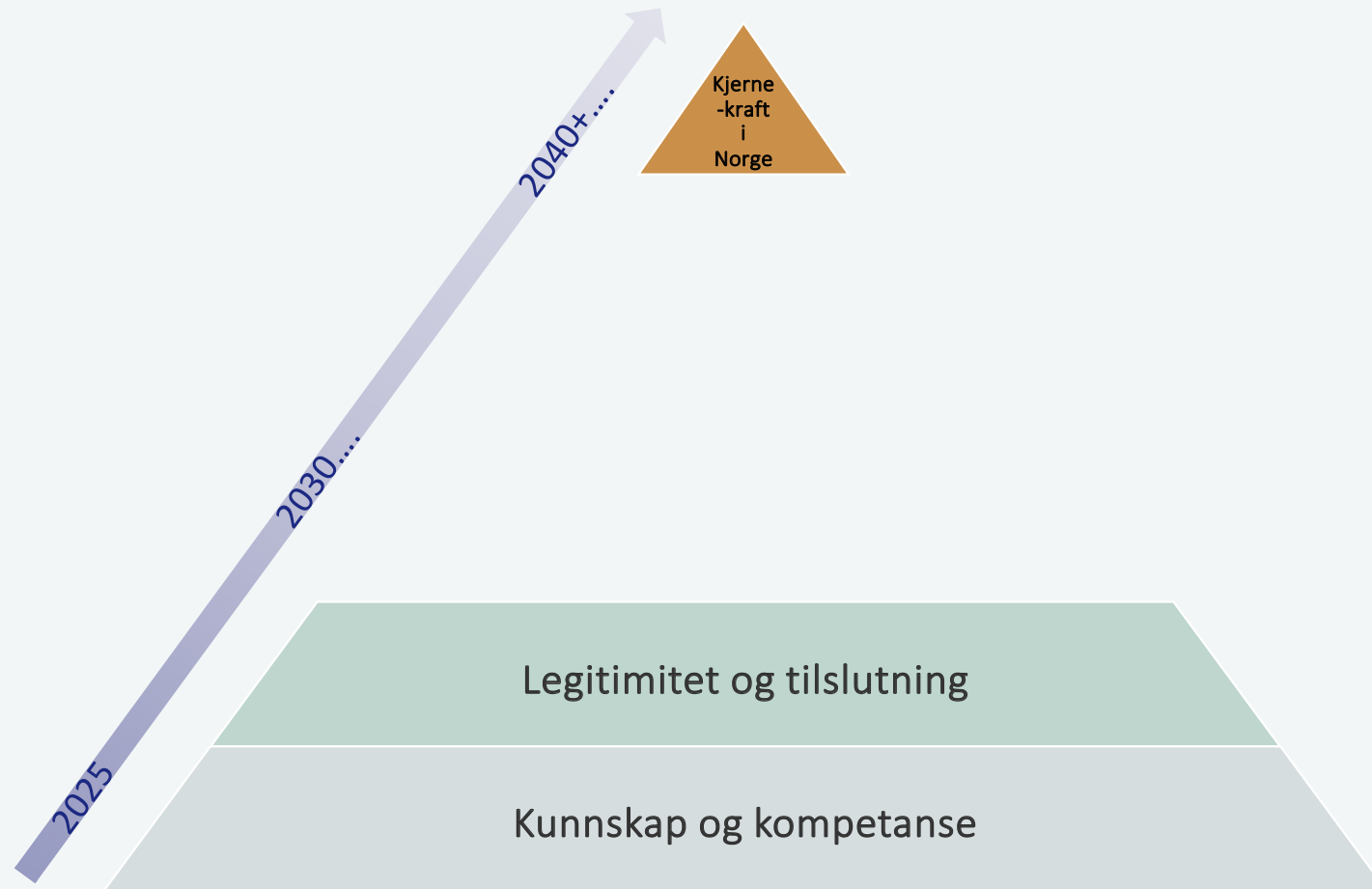
dScience
Sentor for data- og beregningsvitenskap



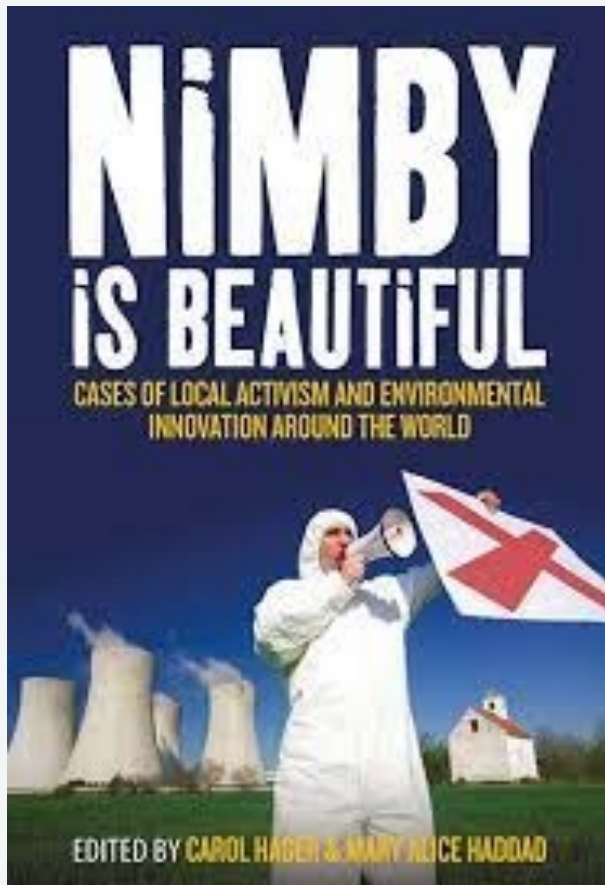
INTPART

Other international partners &
networks ...

Kjernekraft i Norge – hva må til?



Legitimitet og støtte i befolkningen

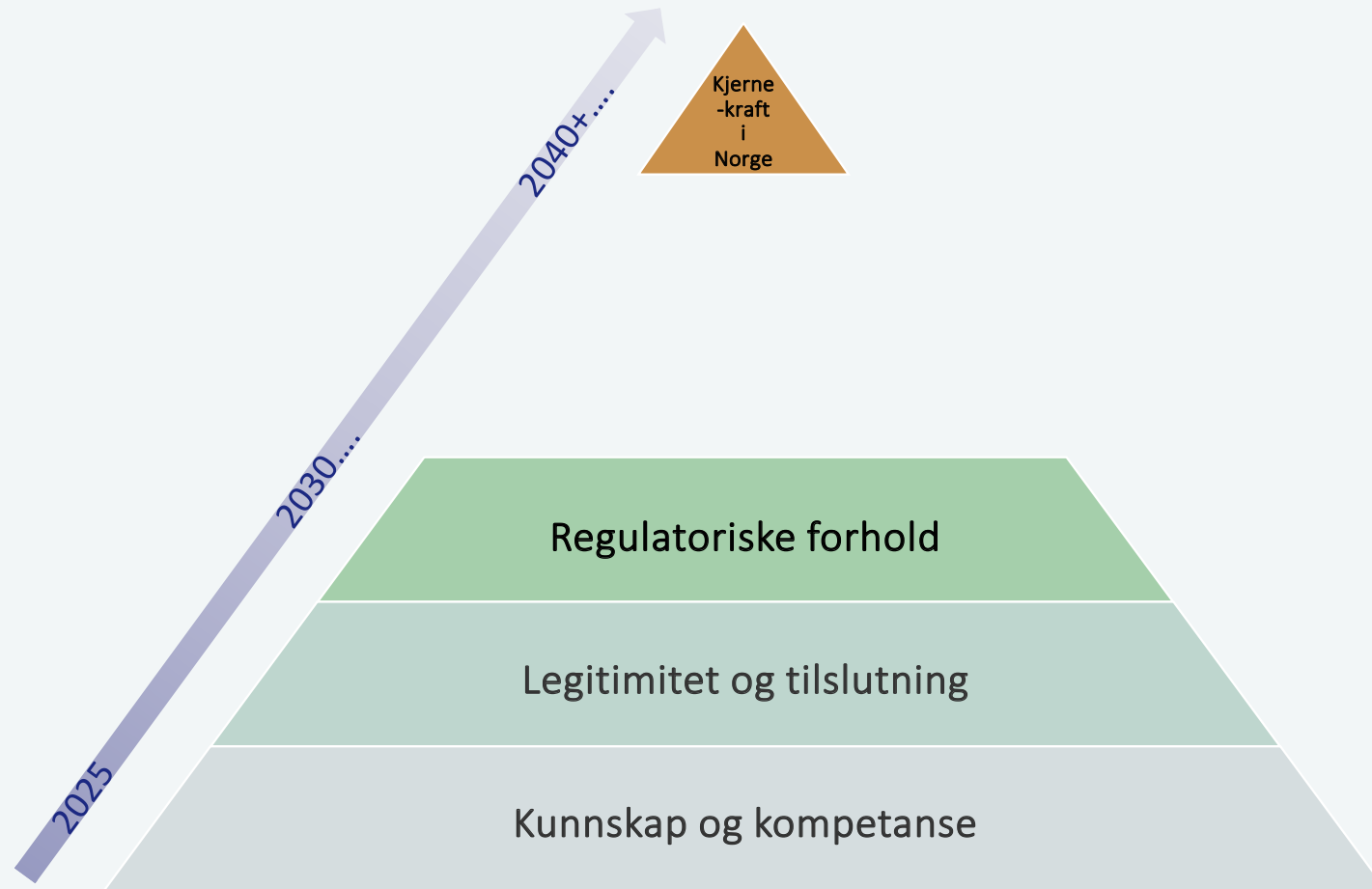


56% av nordmenn under 30 år er positive til kjernekraft

80 kommuner har meldt sin interesse for å utrede bygging av kjernekraft

Halden og Aremark har uttrykt interesse for å ha lager for avfall

Kjernekraft i Norge – hva må til?



Kjernekraft i Norge – regulatorisk rammeverk

28

- Krav om konsesjon (Atomenergiloven og Energiloven)
- Regulatoriske rammer for nukleær virksomhet settes av nasjonale krav basert på internasjonale anbefalinger

Rammeverk:

- Atomenergiloven
- Energiloven
- Sikkerhetsloven
- Strålevernloven
- Forurensningsloven
- Eksportkontrollloven
- Personopplysningsloven
- Forretningshemmelighetsloven
- Plan- og bygningsloven (konsekvensutredning)
- Forskrift om landtransport av farlig gods
- Forskrift om forebyggelse av anslag mot sikkerheten i luftfarten mv.
- IAEA
- ISO 9001, 14001 og 27001
- NSM veiledninger

• Myndighetsaktører:

- DSA
- PST
- NSM
- Politiet
- SKM (Sivil Klareringsmyndighet)
- NFD
- OED
- HOD
- KLD
- UD
- NVE
- Kommuner

Viktige interessenter:

- Naboer og nabo-virksomheter til nukleære anlegg
- Sivilsamfunnet
- Miljøorganisasjoner

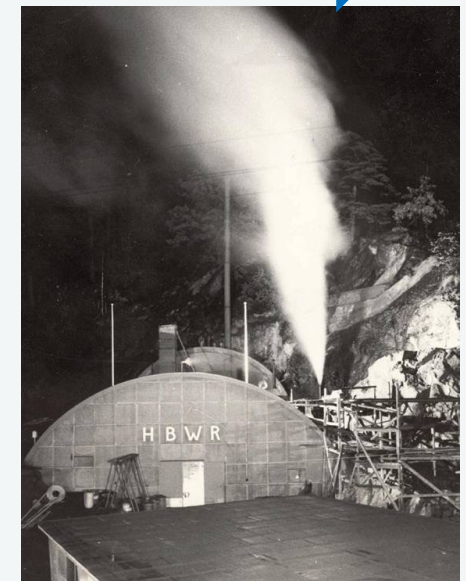
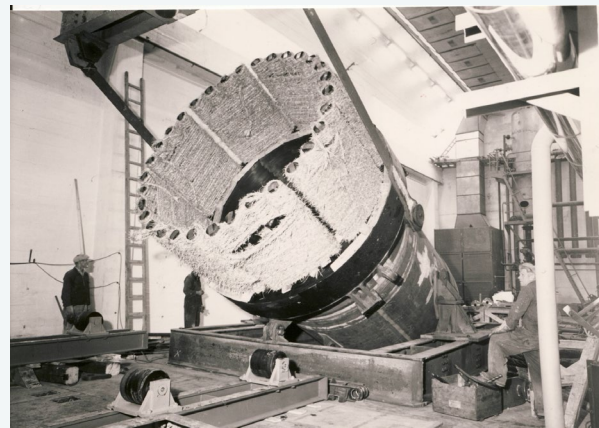


Norway, 1950s: The Halden Reactor was built in 3 years...

20. March 1956: Parliament
approves the budget for
construction of the Halden Reactor

April 1956:
Construction work
commences

29. June 1959: The
Halden Reactor in
operation



Oppryddingen var også enklere på 60-tallet



SMR krever omfattende internasjonalt samarbeid før teknologien kan tas i bruk

Industrisamarbeid:

- Standarder for SMR må etableres for å kunne oppskalere og industrialisere

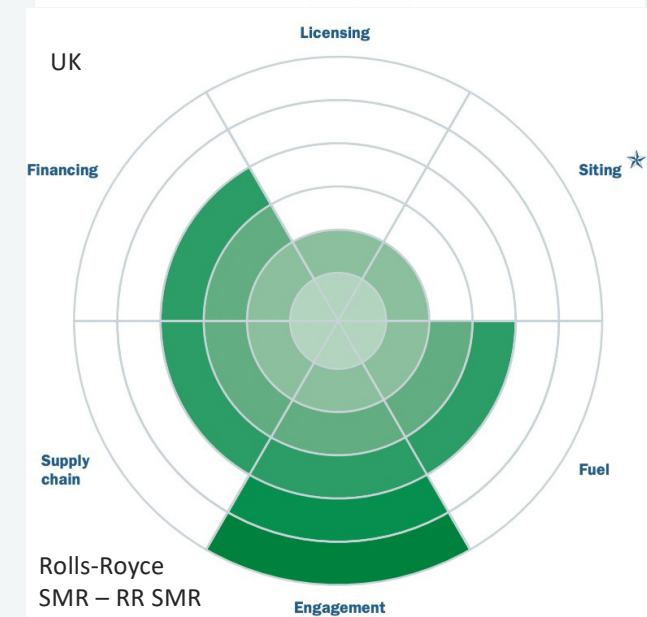
Statlig samarbeid:

- Nasjonale konsesjoner og regulatorisk regime må tilpasses og harmoniseres

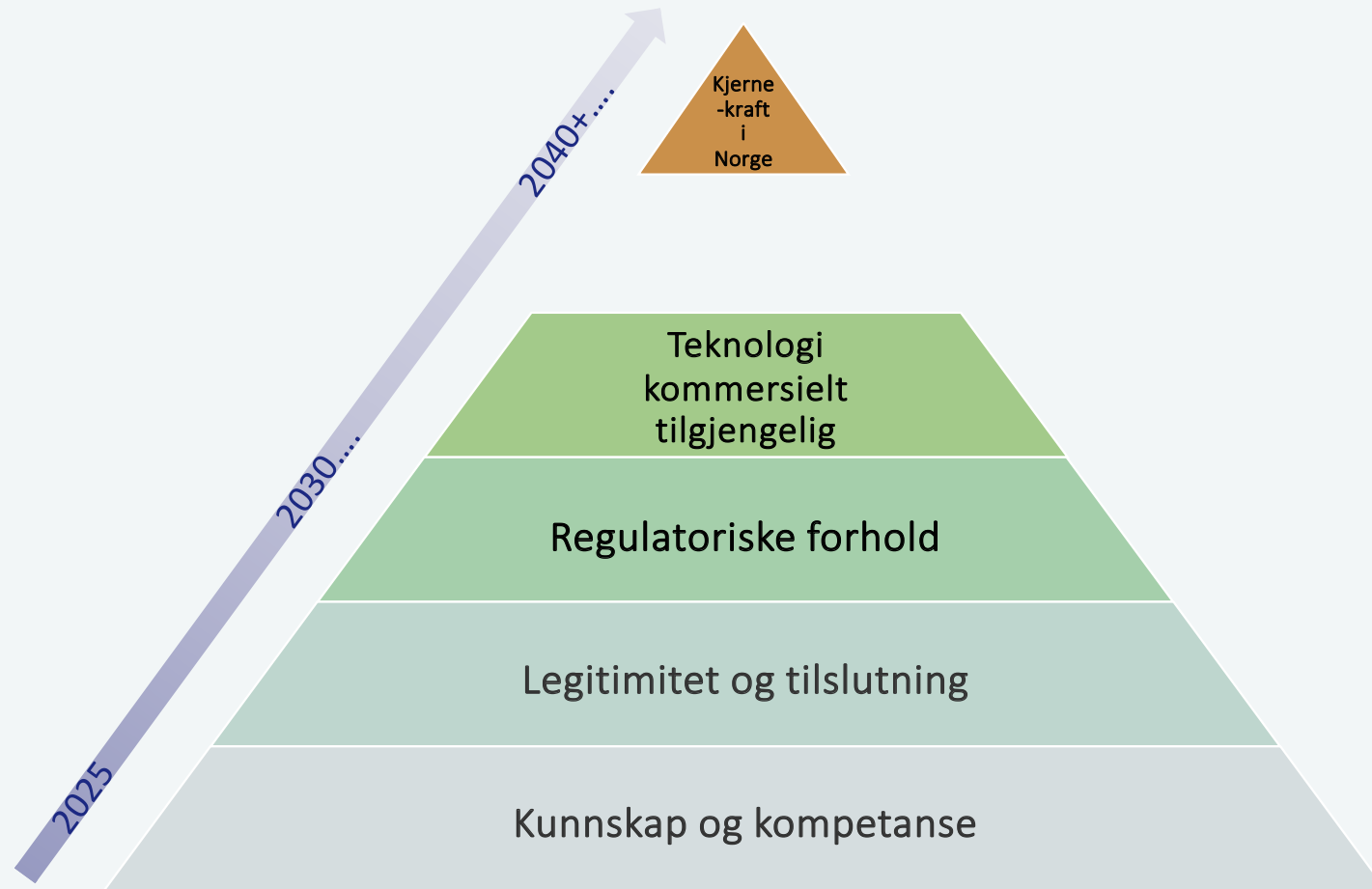
Internasjonalt samarbeid:

- Internasjonale konvensjoner må revideres
- Utvikle garantier og forsikringsordninger som ivaretar ansvarsforhold, atomsikkerhet og sikring

Kilde: OECD/NEA Small Modular Reactor Dashboard: Second Edition



Kjernekraft i Norge – hva må til?



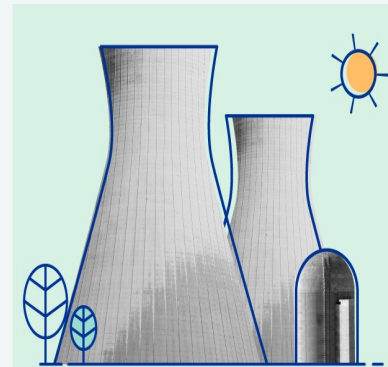
Kjernekraft-teknologi i utvikling

Generasjon III reaktorer (1998-->)

- God sikkerhet
- Forbedret lønnsomhet (60+ år)
- Forenklet design
- Velkjent brenselsteknologi

Generasjon IV eller små modulære reaktorer:

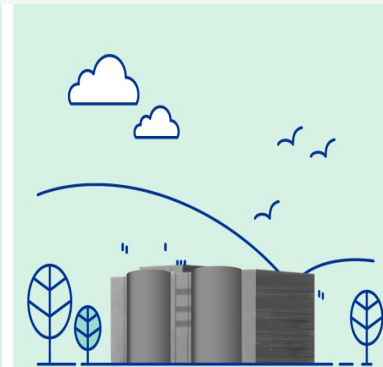
- Modulære SMR enheter
- Integrerte sikkerhetssystemer
- Fabrikk-produserte deler
- Betydelig redusert avfall



LARGE, CONVENTIONAL REACTOR
700+ MW(e)

Conventional Nuclear Power Plant

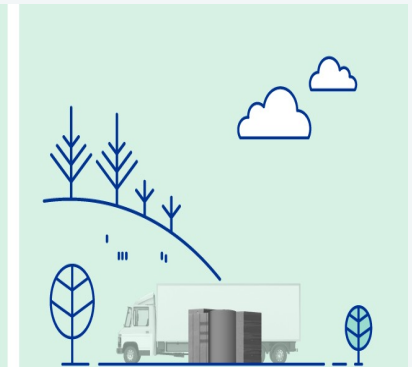
- Power output of 700-1400 MWe
- Used primarily for baseload electricity production and some hydrogen production



SMALL MODULAR REACTOR
Up to 300 MW(e)

Small Modular Reactor

- Power output of 10-300 MWe
- Can be used for electricity generation, district heating, sea water desalination, hydrogen production, etc.



MICROREACTOR
Up to ~10 MW(e)

Conventional Nuclear Power Plant

- Power output of 700-1400 MWe
- Used primarily for baseload electricity production and some hydrogen production

Small Modular Reactor

- Power output of 10-300 MWe
- Can be used for electricity generation, district heating, sea water desalination, hydrogen production, etc.

Micro Reactor

- Power output of < 10 MWe
- Typically used for space rocket propulsion, space craft power supply, power supply for remote towns, and provision of emergency power after natural disasters

Forente Arabiske Emirater brukte 13 år på å bygge kjernekraftverk

- 2008: UAE besluttet å bygge kjernekraftverk
- 2009: KEPCO (S.Korea) tildelt kontrakt på 20 BUSD (222 mrd kr) for å bygge fire APR-1400 reaktorer (totalt 5.43 GW)
- 2011: Tomtearbeidet startet
- 2012: Startet konstruksjon av 1. reaktor (Juli)
- 2015: Søknad om konsesjon
- 2021: Kommersiell drift av 1. reaktor (April)

Totalkostnad estimert til 25 BUSD (278 mrd kr)

Barakah Nuclear Power Plant, UAE (5380 MW)

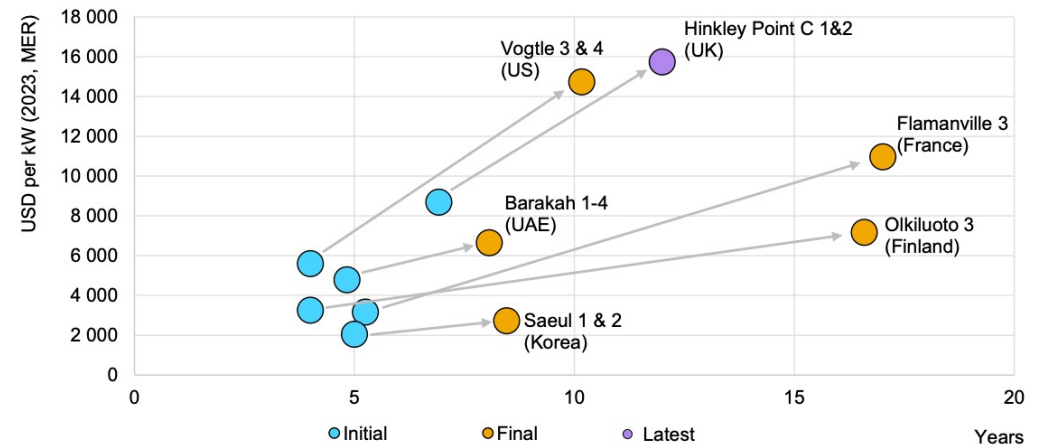


Hinkley Point C: Høy prestisje, kompleksitet og kostnader

- Konvensjonelt kjernekraftverk (Gen III+), 2 x 1,6 GW (25 TWh)
- UKs første kjernekraftreaktor siden 1995, planlagt i 40 år
- Nytt og kontroversielt design, mange tekniske utfordringer
- Estimert å koste 46 mrd £ (januar 2024) = ca. 550 mrd. kr
- Britisk regjering inngikk avtale med EDF:
 - I 2012 ble den garanterte prisen - "strike price" - satt til £ 92,50 per megawatttime (MWh).
 - Inflasjonsjustering per 2024: £ 128/MWh (>1,75 kr/ kWh)

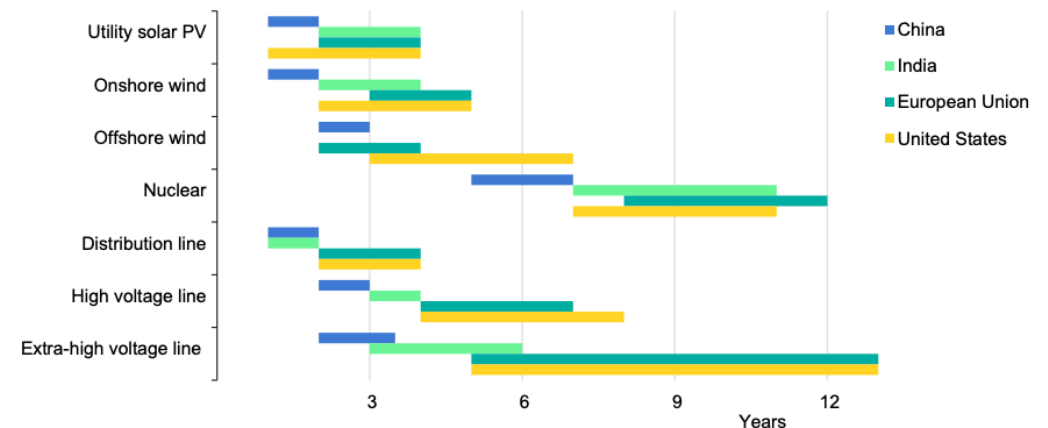
[Hinkley Point: the 'dreadful deal' behind the world's most expensive power plant | Hinkley Point C | The Guardian](#)
 BBC, 15 December 2023, by Dave Harvey
[Yeomans\\$, Jon \(23 January 2022\). "Emmanuel Macron hammers EDF as Britain's nuclear energy future hangs in the balance".](#)
[The Sunday Times. London. Retrieved 23 January 2022.](#)

Figure 1.7 Initial and latest capital cost estimates and construction time for selected recent nuclear projects



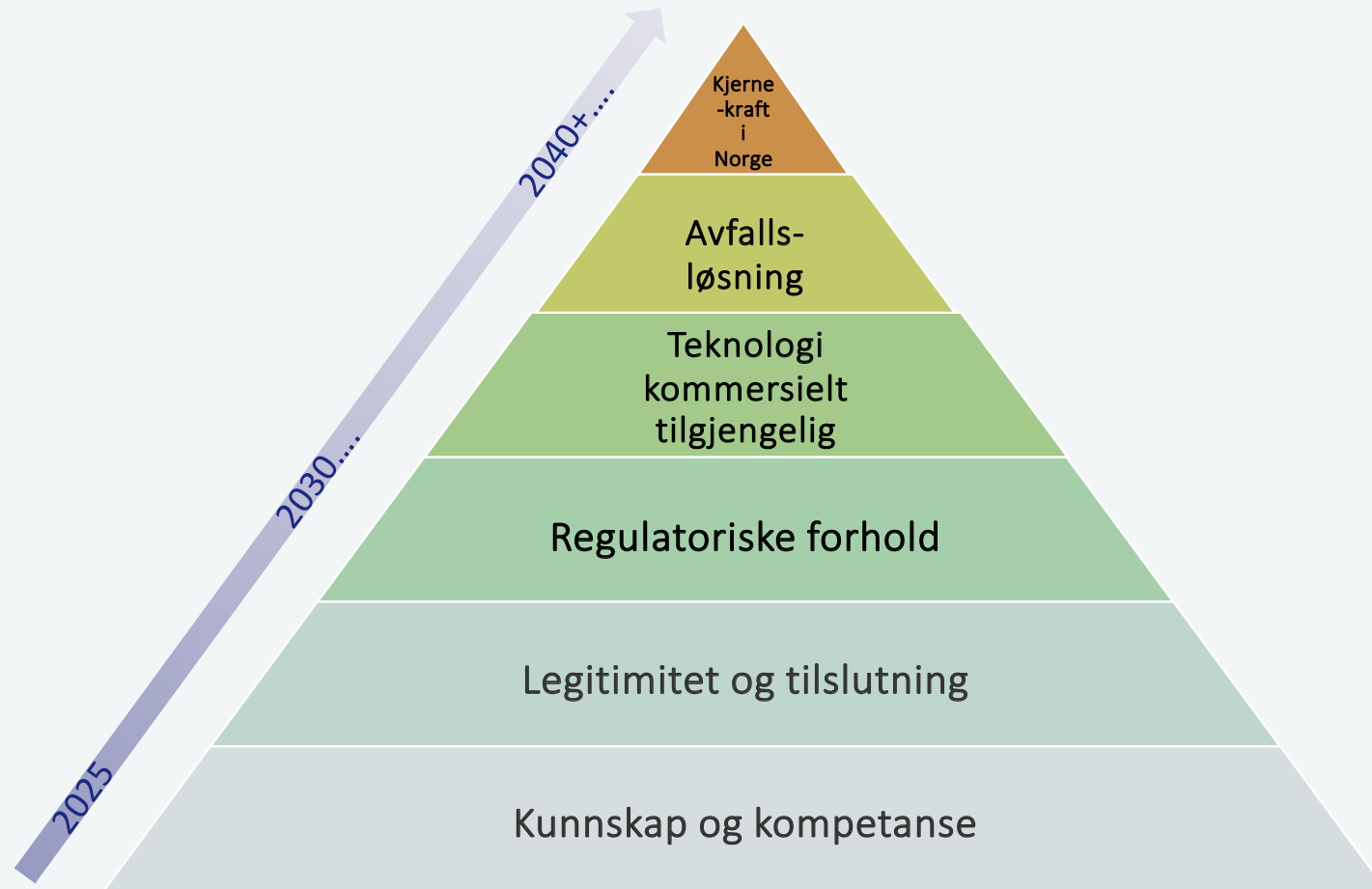
IEA. CC BY 4.0.

Figure 1.6 Typical development time for selected power plants and electricity grids



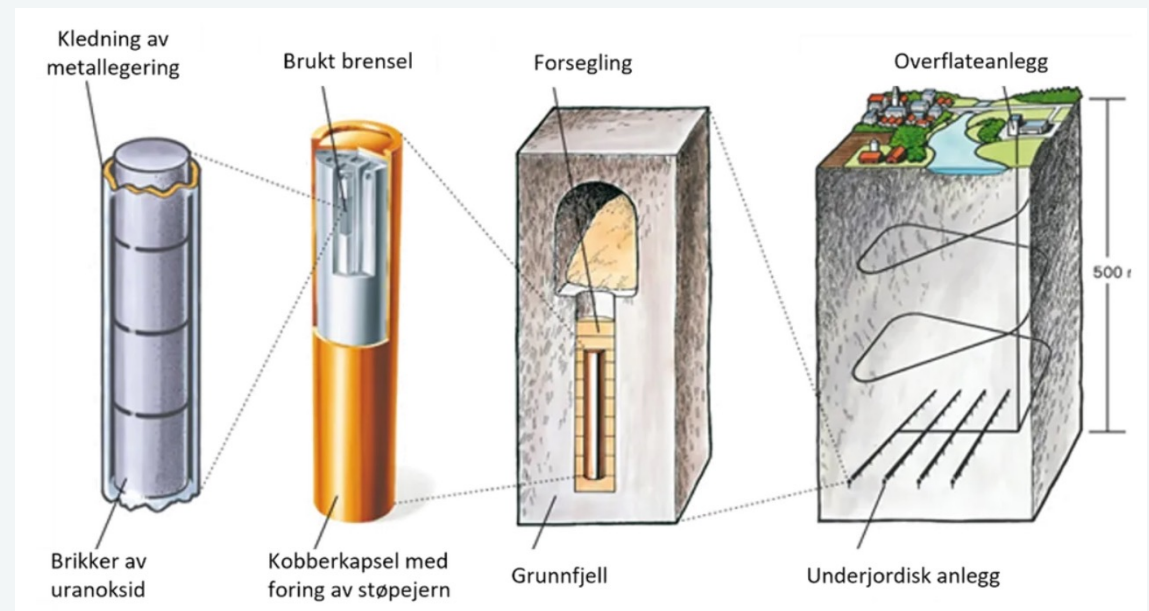
IEA. CC BY 4.0.

Kjernekraft i Norge – hva må til?



Atomavfallet må håndteres

- Dypdeponi >500 m i stabil geologisk formasjon eneste internasjonalt aksepterte løsning
- Behov for forbehandling før deponering
- For nye anlegg må avfallsløsning være etablert før konsesjon kan gis
- Nasjonalt ansvar som andre sentrale sikkerhetsaspekter
- EU taksonomi: Må foreligge godkjente planer for håndtering av atomavfall innen 2050



IFEs posisjon innen kjernekraft

- Bidra med fakta og erfaring fra 75 år med nukleær virksomhet og forskning
- Tar ikke stilling til om kjernekraft skal utbygges i Norge eller ikke – det er et politisk spørsmål

