

Energidepartementet
att. Energiminister Terje Aasland

Vår referanse:

24-4782

Dato:

10. oktober 2024

Innspill til Energidepartementet om kunnskapsbehov innen kjernekraft

I tråd med Energi21s mandat fra Energidepartementet og styrets hovedoppgave, gis med dette oppdatert innspill om kunnskapsbehov innen kjernekraftområdet. Nåværende Energi21 strategi ble ferdigstilt 2022. I etterkant av 2022 - strategien har det vært økt interesse og diskusjon rundt kjernekraft, hvor også Energi21 har blitt referert til.

Med bakgrunn i dette, har Energi21 siden desember 2023 jobbet med å revidere det strategiske kunnskapsgrunnlaget¹ om fisjon- og fusjonsenergi. Utgangspunktet for arbeidet var å utarbeide *et faktabasert kunnskapsgrunnlag om kjernekraftteknologien (kjernefysikk og kjernekjemi)* som inkluderer historisk utvikling, perspektiver fremover med hensyn på tidslinjer og kostnader, kompetanse- og teknologibehov, samt å vurdere kjernekraftens rolle i fremtidens energiforsyning. Kunnskapsgrunnlaget har blitt utarbeidet i samarbeid FoU-miljøer, akademia, næringsliv og relevante myndigheter. Energi21 har også hatt dialog og fått innspill fra eksperter i Sverige med erfaring fra kjernekraftområdet.

Med bakgrunn i Regjeringens oppnevning av "Kjernekraftutvalget"² 24. juni 2024, besluttet styret i Energi21 å gjennomføre *en første kartlegging* av kunnskapsbehovet på kjernekraftområdet med utgangspunkt i to scenarier:

1. *Kunnskapsbehovet i et videreføringsscenario*
– *Beslutning om å ikke tilrettelegge for kjernekraft i norsk energiforsyning og dermed videreføre dagens politikk*
2. *Kunnskapsbehovet i et kjernekraftscenario*
– *Beslutning om å tilrettelegge for kjernekraft i norsk energiforsyning*

Vedlagt følger oppdatert innspill til Energidepartementet om kunnskapsbehov innen kjernekraft. Innspillet erstatter nåværende tekst som omhandler fisjons- og fusjonsenergi i Energi21 strategien fra 2022.

Med vennlig hilsen



Styreleder
Energi21



Direktør
Energi21

¹ Kunnskapsgrunnlaget fra Energi21 strategien – 2022

² [Oppnemning av offentlig utval som skal utgreie kjernekraft som mogleg kraftkilde i Noreg - regjeringen.no](https://www.regjeringen.no)

Innspill fra Energi21 til Energidepartementet om kunnskapsbehov innen kjernekraft (fisjons- og fusjonsenergi)

Innspillet erstatter tekst som omhandler fisjons- og fusjonsenergi i Energi21 strategien fra 2022.

10. oktober 2024

Oppsummering

Energi21 har som mål å prioritere satsningsområder hvor Norge kan oppnå positive effekter av en mer målrettet forskningsinnsats. I Energi21-strategien fra 2022 ble kjernekraft (fisjons- og fusjonsenergi) beskrevet under områder som bør videreutvikles, men ikke trukket frem som et spesifikt satsingsområde. De siste tiårene har det ikke vært noe bredt politisk ønske om å vurdere kjernekraft som et alternativ i den norske energiforsyningen, men kjernekraft er nå på ny aktualisert som følge av økende behov for utslippsfrie stabile energikilder.

I lys av den nye debatten om kjernekraft så Energi21 et behov for å revidere det strategiske kunnskapsgrunnlaget om fisjon- og fusjonsenergi, og gjøre en vurdering av kjernekraftens rolle i fremtidens energiforsyning. I juni 2024 oppnevnte imidlertid regjeringen Kjernekraftutvalget, som skal «gjøre en bred gjennomgang og vurdering av ulike sider ved en eventuell framtidig etablering av kjernekraft i Norge». *Energi21 besluttet dermed å ikke utarbeide en detaljert FoU- anbefaling, men heller gjøre en første kartlegging av kunnskapsbehovet på kjernekraftfeltet, både i et scenario der kjernekraft ikke etableres i Norge (videreføringsscenario) og i et scenario der det etableres kjernekraft i Norge (kjernekraftscenario).* Energi21 har lagt mest vekt på fisjonsenergi (tradisjonell kjernekraft og små modulære reaktorer (SMR)). Fusjonsenergi er, som i strategien fra 2022, beskrevet separat.

Kunnskapsbehovet i et videreføringsscenario

– Beslutning om å ikke tilrettelegge for kjernekraft i norsk energiforsyning og dermed videreføre dagens politikk

Siden Norge er knyttet sammen med det europeiske energisystemet vil det være behov for oppdatert kunnskap om kjernekraft, selv om det ikke etableres kjernekraftverk i Norge. Energi21 trekker frem tre områder hvor det er behov for oppdatert kunnskap i et videreføringsscenario: 1) *teknologit utvikling og kunnskapstjenester*, 2) *kraftsystemutvikling* og 3) *sikkerhet*. Deler av kunnskapsbehovet i et videreføringsscenario kan dekkes gjennom deltagelse i internasjonale forsknings- og innovasjonssamarbeid. Et slikt samarbeid er EURATOM, EUs forskningsprogram for nukleær teknologi og strålevern, hvor Norge i dag er definert som et tredjeland. Et annet relevant samarbeid er OECD/NEA som har programmer innenfor nukleær teknologi, strålevern og avfall, inkludert dekommisjonering og flere andre relevante områder.

Kunnskapsbehovet i et kjernekraftscenario

– Beslutning om å tilrettelegge for kjernekraft i norsk energiforsyning

I beskrivelsen av kunnskapsbehovet i et kjernekraftscenario er veilederen for etablering av kjernekraft fra det Internasjonale Atomenergibyrået (IAEA) lagt til grunn. IAEA peker på at etableringen av et kjernekraftprogram skiller seg fra andre energikilder som følge av sikkerhetskravene knyttet til bruk av kjernefysisk materiale. Ifølge IAEA vil det å etablere et kjernekraftprogram og bygge det første kjernekraftverket minimum ta 10 – 15 år, og innebære en minst 100 år lang forpliktelse. Kravene til myndighetsinvolvering i etableringen av kjernekraft store. Veilederen understreker at det å etablere et kjernekraftprogram krever grundige forberedelser og investeringer i tid, institusjoner og ressurser. Implikasjonene av satsing på kjernekraft må kartlegges, inkludert konsekvensene for satsningen på andre fornybare energiteknologier.

Energi21 har kategorisert kunnskapsbehovet i et kjernekraftscenario etter 6 områder/temaer: 1) regulatorisk og juridisk, 2) sikkerhet, 3) teknologi, 4) kompetanse, ressurser og utdanning, 5)

miljø, avfall og samfunn og 6) energisystemet. Overordnet vil det være behov for et kunnskapsløft på alle de seks områdene i et kjernekraftscenario.

Energi21 mener i dette scenarioet at et kunnskapsløft innen kjernekraft må komme i tillegg til myndighetenes eksisterende prioriteringer og satsinger innen energiforskning.

Kjernekraftområdet er komplekst, og det vil kreve store investeringer i kunnskap for sikre en trygg, kostnadseffektiv og verdiskapende utvikling i Norge.

Innhold

1	Innledning og bakgrunn for innspillet.....	4
2	Kjernekraft: Fisjons- og fusjonsenergi.....	5
2.1	Prosess for etablering og avvikling av kjernekraftverk.....	5
3	Innspill om kunnskapsbehovet innen kjernekraft	9
3.1	Kunnskapsbehov i et videreføringsscenario	10
3.2	Kunnskapsbehov i et kjernekraftscenario	11
4	Fusjonsenergi	16

1 Innledning og bakgrunn for innspillet

Energi21 er Norges nasjonale strategi for forskning, utvikling og kommersialisering av ny klimavennlig teknologi. I 2022 utga Energi21 sin femte strategi, med mål om å prioritere satsningsområder hvor Energi21 mener Norge vil oppnå positive effekter av en mer målrettet forskningsinnsats. I strategien trekkes det frem åtte satsningsområder tillegg til 12 øvrige teknologi- og kunnskapsområder Energi21 mener bør videreutvikles. Blant de 12 øvrige områdene er *Fremtidens kjernekraft* og *Fusjonsenergi*.

I etterkant av 2022-strategien har det vært økt interesse og diskusjon rundt kjernekraft, hvor også Energi21 har blitt referert til. Med bakgrunn i det ønsket Energi21 å gjennomgå anbefalingen på kjernekraftfeltet på nytt, og har siden desember 2023 jobbet med å revidere det strategiske kunnskapsgrunnlaget¹ om fisjon- og fusjonsenergi. Utgangspunktet for arbeidet var å utarbeide et faktabasert kunnskapsgrunnlag om kjernekraftteknologien (kjernefysikk og kjernekjemi) som inkluderer historisk utvikling, perspektiver fremover med hensyn på tidslinjer og kostnader, kompetanse- og teknologibehov, samt å vurdere kjernekraftens rolle i fremtidens energiforsyning.

Regjeringen opprettet i juni 2024 et offentlig utvalg som «skal utrede kjernekraft som mulig kraftkilde i Norge».² I mandatet står det at «utvalget skal gjøre en bred gjennomgang og vurdering av ulike sider ved en eventuell framtidig etablering av kjernekraft i Norge». Både fisjon- og fusjonskraft vurderes. Utvalget skal levere sin utredning innen 1. april 2026. NOU-en vil være premissgivende for en politisk beslutning om hvilken rolle kjernekraft kan komme til å spille i det nasjonale energisystemet. Blant temaene utvalget skal arbeide med er kjernekraftens egnethet for det norske kraftsystemet, behov for forskning- og teknologiutvikling, kostnader og avfallsproblematikk. Utvalget skal også beskrive dagens regelverk og peke på behovet for regelverksutvikling, inkl. konsesjonsprosess og ansvarsforhold.

Grunnet oppnevningen av Kjernekraftutvalget og gjennom diskusjoner med Energidepartementet, vurderte Energi21 det som lite hensiktsmessig å utarbeide et detaljert kunnskapsgrunnlag om temaet og gjøre en vurdering av kjernekraftens rolle i fremtidens energiforsyning. Energi21 besluttet dermed å gjøre en første kartlegging av kunnskapsbehovet på kjernekraftfeltet, både i et scenario der kjernekraft ikke etableres i Norge (videreføringsscenario) og i et scenario der det etableres kjernekraft i Norge (kjernekraftscenario). *Energi21 gir dermed ikke en konkret anbefaling om FoU-I innsats på kjernekraftområdet, men har utarbeidet et innspill til Energidepartementet om kunnskapsbehov på feltet.*

Energi21 har gjennomført ulike aktiviteter med involvering fra næringsliv, akademia og FoU-I miljøer for å sikre faktabasert kunnskap og innspill. Energi21 har også vært i dialog med aktører i Sverige for å innhente kunnskap og erfaringer om kjernekraftanlegg og kompetansebehov.

Energi21 har avgrenset arbeidet til fisjon – og fusjonsenergi som kilde til produksjon av kraft og varme i det norske energisystemet. Kjernekraft som fremdriftsteknologi i skip vil bli behandlet på

¹ Kunnskapsgrunnlaget fra Energi21 strategien – 2022

² [Kjernekraftutvalget, 2024](#)

et senere tidspunkt. Det er ikke gjort noen vurderinger av industriutviklingspotensialet for kjernekraft.

2 Kjernekraft: Fisjons- og fusjonsenergi

Kjernekraft er en fellesbetegnelse for elektrisitetsproduksjon basert på fusjons- og fisjonsenergi. All kjernekraft i drift i dag er basert på fisjonsenergi. Fusjonsenergi har blitt forsket på i mange tiår og er fortsatt teknologisk umodent, men det har i de senere år skjedd betydelig teknologisk fremgang som har bidratt til økt optimisme rundt teknologien: I 2022 klarte forskere i USA, etter flere tiår med forskning og eksperimentering, å få mer energi ut av fusjonen enn det som ble brukt for å utløse den.

Selv om både fusjons- og fisjonsenergi er kilder til kjernekraft, bygger de på to helt ulike kjernefysiske reaksjoner, har ulik teknologisk og kommersiell modenhet og forskjellig risikobilde. Det må derfor skilles tydelig på fisjon- og fusjonskraft i en FoU-I anbefaling. I dette innspillet er det lagt mest vekt på fisjonsenergi (tradisjonell kjernekraft og små modulære reaktorer (SMR)) ettersom det er denne teknologien som er aktuell på kort sikt og har blitt mest vektlagt i det offentlige ordskiftet. En kortfattet oversikt over kunnskapsbehov knyttet til fusjonsenergi er dekket i kapittel 4.

Tradisjonell kjernekraft omfatter kjernekraftverk som består av konvensjonelle atomreaktorer, det vil si de reaktorene som er i kommersiell drift i dag. *Små modulære reaktorer* er et samlebegrep for ulike atomreaktorer med produksjonskapasitet på mellom 10 - 300 MWe. I tillegg til å være vesentlig mindre enn konvensjonelle reaktorer skiller SMRene seg fra tradisjonelle kjernekraftverkene ved at de har en modulær oppbygging. En underkategori til SMR er *avanserte SMRer*, kalt AMR³. AMR henviser til modulære reaktorer som blir utviklet med ny reaktorteknologi som enda ikke har vært kommersialisert for konvensjonell kjernekraft. FoU-behovet for tradisjonell kjernekraft og SMR er relativt likt, men siden SMR er en mer umoden teknologi er det rimelig å legge til grunn at behovet for kunnskap om blant annet ulike reaktorteknologier, ledetider og kostnader er større for SMRer enn tradisjonell kjernekraft. Utover det skilles det ikke på kunnskapsbehovet for SMRer og tradisjonell kjernekraft i dette dokumentet.

Etablering av kjernekraft medfører en langsiktig forpliktelse på godt over 100 år. Forpliktelsen omfatter tiden det tar å sikre tilstrekkelig kompetanse og kapasitet i alle ledd, etablere regulatorisk rammeverk, prosjektering og bygging av kraftverket, drift av kraftverket⁴ og dekommisjonering. Den langsiktige forpliktelsen bør ikke være en begrensning, men tidsperspektivet må være en del av vurderingen av et nasjonalt kjernekraftprogram.

2.1 Prosess for etablering og avvikling av kjernekraftverk

I dette avsnittet gis det en kort redegjørelse for i) prosessen for etablering av et nasjonalt kjernekraftprogram og det første kjernekraftverket, ii) verdikjeden til et ferdig utbygd kjernekraftverk i drift, og iii) prosessen for dekommisjoneringen av et kjernekraftverk.

³ [Advanced Nuclear Technologies - UK government](#)

⁴ I dag prosjekteres de fleste kjernekraftverk med en driftstid på 60 til 80 år (IFE)

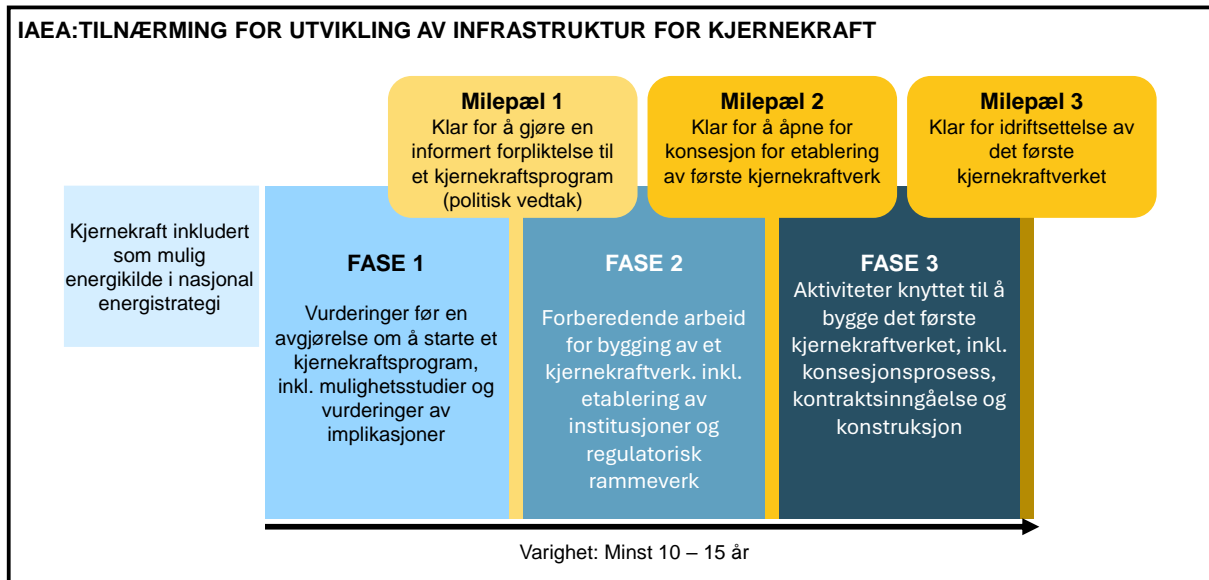
Etablering av et nasjonalt kjernekraftprogram og det første kjernekraftverket

Å etablere et kjernekraftprogram er en stor oppgave som krever grundige forberedelser og investeringer i tid, institusjoner og ressurser. Oppgaven inkluderer blant annet etablering/ styrking av nasjonale institusjoner og juridisk og regulatorisk rammeverk, kompetanseutvikling og etablering av økonomiske- og markedsmessige rammevilkår og planlegging for slutfasen og avfallshåndtering.

Det som gjør prosessen mer omfattende for kjernekraft sammenlignet med andre energikilder er sikkerhetskravene knyttet til bruk av kjernefysisk materiale⁵.

IAEA har utviklet en veileder (milepælstilnærming) for land som vurderer å etablere kjernekraftprogram. Fasene og milepælene i etableringen av et kjernekraftprogram, fra vurdering av kjernekraft som mulig energikilde til det første kjernekraftverket er klart for idriftsettelse, er illustrert i Figur 1.

FIGUR 1: IAEA - VEILEDER FOR ETABLERING AV ET NASJONALT KJERNEKRAFTPROGRAM



Fase 1 kan sees på som en forberedende fase til en eventuell politisk forpliktelse til å etablere et kjernekraftprogram. I denne fasen inngår mulighetsstudier og vurderinger av implikasjoner.

I fase 2 skjer det nødvendige forberedende arbeidet, inkludert etablering/ styrking av institusjoner og regulatorisk rammeverk. Etter fase 2 er rammeverket for å gi en konsesjon for kjernekraftverk på plass.

I Norge er det Atomenergiloven som danner rammeverket for etablering av kjernekraftverk. Direktoratet for strålevern og atomsikkerhet (DSA) er den regulatoriske myndigheten som forvalter Atomenergiloven. Operatøren av et kjernekraftverk må ha konsesjon for å oppføre og drive et atomanlegg. I tillegg må det en politisk behandling til. I forarbeidene til loven står det at Stortinget bør høres før kjernekraftverk etableres i Norge.

I tillegg til konsesjon etter Atomenergiloven, må det også søkes om konsesjon for å oppføre og drive et kraftverk i henhold til Energiloven. Plan- og bygningsloven stiller i tillegg krav til konsekvensutredning, og KLD har pekt på DSA som ansvarlig myndighet i denne sammenheng.

⁵ [IAEA Milestones Approach: Developing the National Infrastructure for Nuclear Power](#)

Atomenergiloven kom i 1972, og det er naturlig at loverket utvikles med tilhørende forskrifter. DSA er heller ikke satt opp med tilstrekkelig kapasitet til å saksbehandle en etablering av kjernekraft i Norge.

I fase 3 gjennomføres aktivitetene som er nødvendige for en kontraktsinngåelse. I denne fasen skjer også konstruksjonen av det første kjernekraftverket. Etter fase 3 skal det være klart for idriftsettelse av det første kjernekraftverket.

IAEAs veileder peker på 19 områder knyttet til kjernekraftinfrastruktur med behov for spesifikke tiltak i hver av de tre fasene. Områdene er listet opp under (i vilkårlig rekkefølge):

- Nasjonal posisjon (tydelig politisk vedtak og tilslutning)
- Nukleær sikkerhet
- Ledelse og styring
- Finansiering
- Juridisk rammeverk
- Regulatorisk rammeverk
- Sikkerhetstiltak
- Strålevern
- Nettverksintegrasjon
- Kompetanseutvikling
- Involvering av interessenter
- Anlegg
- Miljøvern
- Beredskapsplanlegging
- Atomsikkerhet
- Brenselssyklus
- Håndtering av radioaktivt avfall
- Industriutvikling
- Anskaffelse

Tiltakene som kreves under hvert område i de ulike fasene er beskrevet i detalj i IAEA sin veileder. IAEA skiller ikke mellom tradisjonell kjernekraft og SMR i beskrivelsen av milepælstilnærmingen.

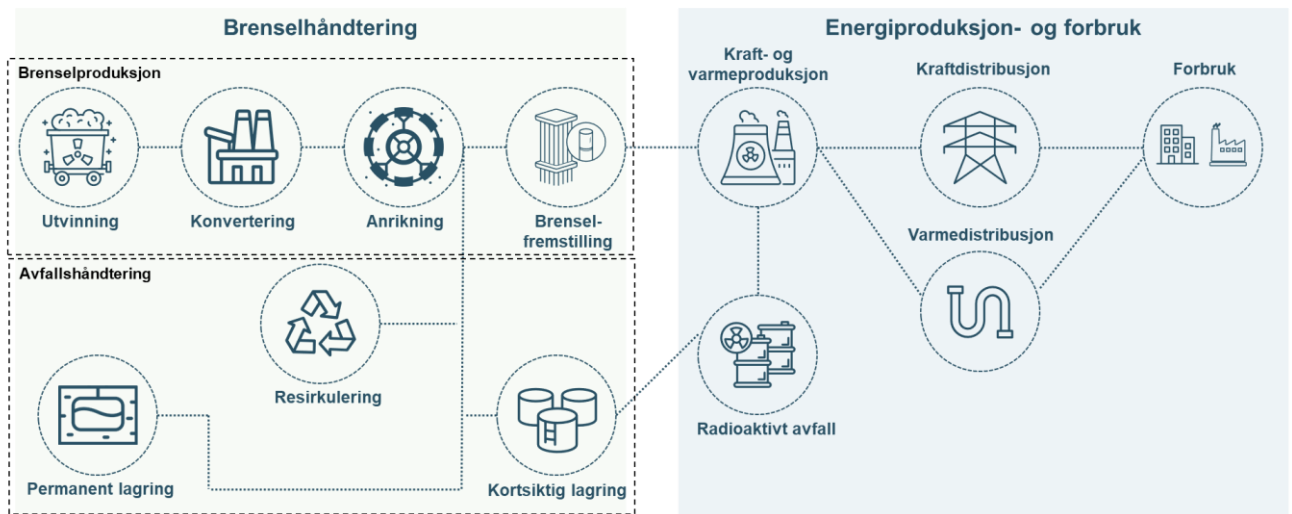
Verdikjeden til et kjernekraftverk i drift

Verdikjeden til et ferdig utbygd kjernekraftverk er lik for tradisjonell kjernekraft og SMR, og kan deles inn i følgende faser:

1. **Brenselsproduksjon:** Fra utvinning uran til brenselet er klart for reaktor
2. **Energiproduksjon og -forbruk:** Produksjonen av energi (strøm og varme) fra et kjernekraftverk, samt distribusjon og forbruk
3. **Anlegget:** Vedlikehold, og endring av anlegg basert på erfaringer og endring av regulatoriske krav
4. **Avfallshåndtering:** Håndteringen av brenselet etter bruk

DEN OVERORDNEDE VERDIKJEDEN TIL KJERNEKRAFT ER ILLUSTRERT I FIGUR 2.

FIGUR 2: OVERORDNET BESKRIVELSE AV VERDIKJEDEN TIL ET FERDIG UTBYGD KJERNEKRAFTVERK



Prosess for dekommisjonering og permanent lagring av avfall

Et kjernekraftverk må dekommisjoneres slik at arealet kan tilbakeføres til et miljø som ligner det opprinnelige miljøet før bygging. I tillegg må alt radioaktivt avfall lagres permanent. DSA har utviklet generelle vilkår for vurdering av søknader om konsesjon etter atomenergiloven. Disse er publisert i StrålevernHefte 33 (2018). Vilkårene lister opp 25 kriterier som må være ivaretatt i en søknad. Herunder stilles det krav til avfallsbehandling og planer for dekommisjonering. I tillegg må alt radioaktivt avfall lagres permanent. Dette er omtalt i vilkår om håndtering av radioaktivt avfall og brukt atombrensel⁶.

Brukt atombrensel klassifiseres som høyradioaktivt avfall og kan være skadelig for mennesker og miljø i flere tusen år. I dag er det internasjonal konsensus om at den beste måten å håndtere avfallet på er å deponere det dypt under bakken⁷, på minst 500 meters dyp i en stabil geologisk formasjon.

Finland er det landet som har kommet lengst i ferdigstillingen av et permanent lager, og skal etter planen åpne sitt første permanente lager for radioaktivt avfall senest i starten av 2026⁸. I Norge jobber Norsk Nukleær Dekommisjonering (NND) med dekommisjonering av forskningsreaktorene på Halden og Kjeller og permanent lagring av avfall fra forskningsaktiviteten.

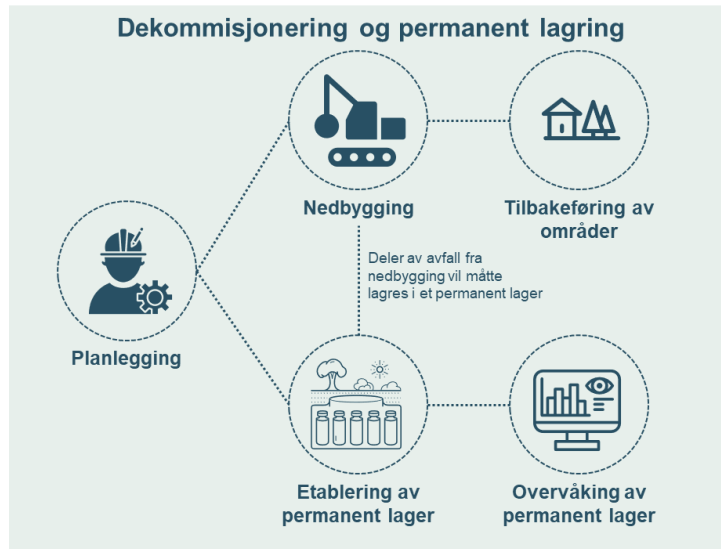
Figur 3 viser den overordnede verdikjeden for dekommisjonering og bygging av permanent lager.

⁶ DSA.no

⁷ [Løsninger for håndtering av radioaktivt avfall, Norsk Nukleær Dekommisjonering](#)

⁸ [Nucnet.org, 2024](#)

FIGUR 3: OVERORDNET BESKRIVELSE AV DEKOMMISJONERING OG PERMANENT LAGRING AV AVFALL



3 Innspill om kunnskapsbehovet innen kjernekraft

Energi21 styret har besluttet å gi innspill til departementet om kunnskapsbehovet (FoU-I og utdanning) innen kjernekraft med utgangspunkt i to ulike scenarier for kjernekraftspørsmålet i Norge:

- 1) *Videreføringsscenarioet*: Beslutning om å ikke tilrettelegge for kjernekraft i norsk energiforsyning og dermed videreføre dagens politikk
- 2) *Kjernekraftscenariot*: Beslutning om å tilrettelegge for kjernekraft i norsk energiforsyning

I lys av kjernekraftutvalgets oppgave og usikkerheten rundt en eventuell politisk beslutning, anser Energi21 at det ikke er hensiktsmessig å gi konkrete anbefalinger om prioritering av FoU-I innsats og utdanningsprogrammer på kjernekraftområdet nå.

Beskrivelse av videreføringsscenarioet

Scenario 1 er en videreføring av dagens politikk, hvor kjernekraft ikke er en del av det nasjonale energisystemet. Selv om det ikke etableres kjernekraft i Norge, vil det være behov for oppdatert kunnskap på feltet. Det kan for eksempel være muligheter for verdiskaping knyttet til teknologi og kunnskapstjenester, eller det kan skje teknologiske fremskritt som gjør at det blir aktuelt å etablere kjernekraftverk på et senere tidspunkt. I tillegg vil kjernekraft være en del av energisystemet i landene rundt Norge, dermed er kunnskap om hvordan kjernekraft i andre land påvirker det norske energisystemet er viktig. Kunnskap om kjernekraft er også viktig i et atomberedskapsperspektiv.

Beskrivelse av kjernekraftscenariot

Et kjernekraftscenario kan både innebære at norske myndigheter selv initierer etablering av et kjernekraftverk, eller at myndighetene tilrettelegger for at private aktører kan bygge kjernekraft i Norge. Staten vil uansett måtte ta en aktiv rolle i etableringen av et kjernekraftprogram, se avsnitt 2.1. Uavhengig av hvilken rolle myndighetene tar, vil både det å etablere og tilrettelegge for kjernekraft i Norge kreve FoU-I og utdanningskapasitet. Etablering av kjernekraft i Norge vil i

praksis betyr at Norge må tilrettelegge for en helt ny type kraftproduksjon, inkludert oppdatert lovverk, reguleringer og forskrifter, samt styrking av kompetanse og kapasitet ved tilsyns- og reguleringsmyndigheter. Det vil være behov for mer kunnskap om kostnadsutvikling, fleksibilitet i drift og levetid, både for konvensjonell kjernekraft og SMR, kunnskap om markedsmekanismer og konsekvenser av integrasjon i energisystemet, for å nevne noen områder.

I de videre avsnittene beskrives kunnskapsbehovet knyttet til videreføringsscenarioet og kjernekraftscenarioet i mer detalj.

3.1 Kunnskapsbehov i et videreføringsscenario

Selv om det ikke etableres kjernekraft i Norge, vil det være behov for oppdatert kunnskap på feltet. I dette kapitlet trekkes det frem tre områder hvor det er behov for oppdatert kunnskap i et videreføringsscenario:

- Teknologiutvikling og kunnskapstjenester
- Kraftsystemutvikling
- Sikkerhet

Deler av kunnskapsbehovet i de overnevnte områdene kan dekkes gjennom deltagelse i internasjonale forsknings- og innovasjonssamarbeid. Et slikt samarbeid er EURATOM, EUs forskningsprogram for nukleær teknologi og stråleverk, hvor Norge i dag er definert som et tredjeland. Norske forskningsinstitutter som deltar i EURATOM-prosjekter kan søke om å få dekket prosjektkostnader fra Forskningsrådet. I dag ikke EURATOM prosjektene dekket av RETUR-EU ordningen. I praksis må forskningsinstituttene derfor bidra med en betydelig del av sin grunnbevilgning, og dermed er det ikke attraktivt å delta i EURATOM-prosjekter. OECD/NEA også en viktig arena for samarbeid, hvor Norge helt tilbake til 1950-tallet har vært delaktig.

Teknologiutvikling og kunnskapstjenester

Selv om Norge ikke etablerer kjernekraft, kan det være muligheter for verdiskaping knyttet til teknologi og kunnskapstjenester innenfor nukleærteknologi. IFE utfører forskning på oppdrag fra både nasjonale aktører og internasjonal kjernekraftindustri. Forskingen har blant annet ført til redusert bruk av energi i metallindustrien, og har bidratt med ny teknologi til petroleumsindustrien. Nukleær kompetanse var også sentral i utviklingen av det radioaktive legemiddelet Xofigo, og selskapet bak legemiddelet ble kjøpt av et tysk selskap for 18 milliarder kroner i 2014.

I et videreføringsscenario vil det være behov for kunnskap innen teknologi for dekommisjonering og permanent lagring av avfall. Kunnskapsbehovet er i dag håndtert gjennom opprettelsen av Norsk Nukleær Dekommisjonering (NND), som har ansvar for å avvikle de norske atomanleggene og håndtere det radioaktive avfallet.

I et videreføringsscenario vil det også være relevant å overvåke teknologiutviklingen rundt SMRer og AMRer. Teknologiutvikling kan for eksempel gi lavere kostnader og ledetider, som kan gjøre kjernekraft relevant for Norge på et senere tidspunkt. Norge bør derfor holde seg oppdatert på trender og drivkrefter som påvirker utviklingen av kjernekraft i internasjonale energimarkeder, der viktige punkter er:

- Ulike reaktortyper
- Kostnadsutvikling
- Ledetider

- Teknisk og kommersiell fleksibilitet i drift
- Sikkerhet

Kraftsystemutvikling

Analyser fra IEA slår fast at kjernekraft må til dersom verden skal nå klimamålene, og i prognoser på fremtidig kraftproduksjon i Europa er kjernekraft en del av energimiksen. Fra 2026 er det ventet at kjernekraft vil stå for 50 prosent av kraftproduksjonen i Finland, og i Sverige utredes muligheten for investeringer i ny kjernekraft og forlengelse av eksisterende anlegg. Storbritannia planlegger også å utvide sin kjernekraftkapasitet, og i Belgia har myndighetene gitt støtte til livstidsforlengelse for to kjernekraftverk som etter planen skulle stenges ned i 2025^{9,10}.

Politiske beslutninger om kjernekraft i våre naboland vil ha stor betydning for hvordan energisystemene utvikler seg fremover. Dette har konsekvenser for det norske systemet, og det er viktig å ha et oppdatert kunnskapsgrunnlag på hvordan andelen kjernekraft i systemene rundt Norge påvirker det nasjonale kraftsystemet.

Sikkerhet

I et sikkerhetsperspektiv er det i et videreføringsscenario behov for kunnskap om konsekvenser av kjernekraftaktiviteten i andre land. Denne tematikken forskes det i dag på både ved IFE, som blant annet bistår Utenriksdepartementet i saker knyttet til atomsikkerhet i Ukraina, samt ved Forsvarets Forskningsinstitutt (FFI), som har jobbet med atomsaker siden 1946.

Sikkerhet knyttet til dekommisjonering og permanent lagring av avfall håndteres gjennom arbeidet til NND og IFE.

3.2 Kunnskapsbehov i et kjernekraftscenario

Etablering av kjernekraft i Norge vil medføre et økt kunnskapsbehov innenfor for mange fag (jus, økonomi, nukleær teknologi med flere), hvor Norge har et annet utgangspunkt sammenlignet med land som har etablert verdikjede for kjernekraft. I henhold til IAEA sin veileder for etablering av kjernekraftprogram er det en politisk beslutning om man skal vurdere og prioritere en FoU-I satsning på kjernekraft (se avsnitt 2.1 for beskrivelse av veilederen). I den politiske vurderingen må implikasjonene av satsing på kjernekraft kartlegges, inkludert konsekvensene for satsningen på andre fornybare energiteknologier. Dersom det besluttes at Norge skal tilrettelegge for kjernekraft vil det oppstå et stort forsknings-, utviklings- og utdanningsbehov, som trolig er best ivaretatt gjennom et omfattende kjernekraftprogram. Energi21 mener at et slikt program må komme i tillegg til allerede prioriterte oppgaver innen energiforskning og utvikling.

I dette kapittelet gis det en beskrivelse av overordnede områder/temaer hvor det er behov for mer kunnskap i et kjernekraftscenario. Kunnskapsbehovet dekker hele verdikjeden til kjernekraft; etablering, drift og brensels- og avfallshåndtering. Kunnskapsbehovet er kategorisert etter følgende seks områder (vilkårslig rekkefølge):

- Regulatorisk og juridisk
- Sikkerhet
- Teknologi

⁹ [Gov.uk, 2024](#)

¹⁰ [European Commission, 2024](#)

- Kompetanse, ressurser og utdanning
- Energisystemet
- Miljø, avfall og samfunn

I påvente av Kjernekraftutvalget har Energi21 ikke gjennomført grundige analyser av kunnskapsbehovet på dette tidspunktet. Dermed kan det være områder og temaer som ikke er fanget opp i oversikten over kunnskapsbehov.

Regulatorisk og juridisk rammeverk

Det regulatoriske og juridiske rammeverket vil sette rammene for en eventuell kjernekraftvirksomhet i Norge. Lov om atomenergivirksomhet (atomenergiloven) kom i 1972, og selv om loven har vært benyttet til å regulere forskningsreaktorene på Kjeller og Halden, har den aldri vært brukt til å regulere kraftproduksjon. Det er også en rekke andre lover og forskrifter som er viktige for etablering av kjernekraftverk, som sikkerhetsloven, forurensningsloven, energiloven og plan- og bygningsloven.

Selv om Norge har lovverk og institusjoner på kjernekraftområdet er ikke lovverket og konsesjonsprosessene samordnet og optimalisert med tanke på etablering av kjernekraft. Institusjonene er heller ikke satt opp med tilstrekkelig kompetanse og kapasitet til å håndtere konsesjonssøknader og tilsynsoppgaver for kjernekraft.

Et stabilt og forutsigbart regulatorisk og juridisk rammeverk er et premiss for å kunne etablere kjernekraftverk i Norge. Kjernekraftprosjekter er normalt også preget av lange ledetider, noe som blant annet påpekes i en utredning gjort for det svenske energidepartementet¹¹. En av årsakene til lange ledetider for kjernekraftprosjekter er uforutsigbarhet knyttet til det regulatoriske og juridiske rammeverket. Kunnskapsbehov knyttet til regulatorisk og juridisk rammeverk inkluderer:

- Oppdatering og utvidelse av nasjonalt lovverk
- Etterlevelse av internasjonale konvensjoner, resolusjoner og reguleringer
- Effektive konsesjonsprosesser for etablering og drift av kjernekraftverk og løsninger for håndtering av avfall
- Økonomiske rammevilkår og finansieringsmodeller som dekker kostnader fra vugge til grav, evt. behov for statlig risikoavlastning
- Eierskapsmodeller

Sikkerhet

Sikkerhetsaspektet skiller kjernekraft fra andre energikilder, og det er hovedgrunnen til at det regulatoriske og juridiske rammeverket er relativt omfattende. Det er tre aspekter ved sikkerhet som er viktig når det gjelder kjernekraft i) Beskyttelse av mennesker og miljø mot effektene av stråling (safety), ii) Beskyttelse mot viljestyrte, ondsinnede handlinger (security) og iii) Sikkerhet mot tap av, eller uautorisert bruk av, spaltbart materiale (safeguards). I tillegg er forsyningssikkerhet og kraftsystemets sårbarhet viktige sikkerhetsaspekter. Av den grunn må det gjøres flere sikkerhetsvurderinger før og under etableringen av et kjernekraftverk, blant annet:

- Sårbarhet for sabotasje
- Sårbarhet ved krig
- Risiko ved ulykker og naturkatastrofer

¹¹ [Utredning for det svenske Finansdepartementet, august 2024](#)

- Risiko for misbruk av spaltbart materiale i kjernefysiske våpen
- Behov for fysiske, digitale og organisatoriske sikkerhetstiltak
- Behov for beredskap
- HMS-krav
- Lokalisering
- Brensel (valg av leverandørnasjon, forsyningssikkerheten i leverandørkjeden og sikkerhetstiltak tilknyttet transport, mottak, safeguards av brensel og lagring av brensel)
- Håndtering og lagring av radioaktivt avfall, og risiko for misbruk av radioaktivt avfall i radiologiske våpen

Teknologi

Det skjer mye teknologiutvikling på kjernereaktorfeltet. Det finnes flere titalls SMR design under utvikling, i tillegg til flere konvensjonelle reaktordesign med ulik grad av modenhet. Status og modenheten til SMRer overvåkes kontinuerlig av OECD/NEA¹².

Et kjernekraftverk består av flere komponenter enn selve reaktoren, for eksempel sikkerhetssystemer og komponenter for konvertering og distribusjon av energi. Det er gjerne for slike sekundære komponenter det må gjøres tilpasninger fra prosjekt til prosjekt, på grunn av ulike reguleringskrav i forskjellige land (og kravendringer i løpet av prosjektperioden).

Flere prosjekter der reaktor- og kraftverkdesign ikke har vært ferdig ved investeringsbeslutning har vært preget av forlengede ledetider, selv om dette ikke er den eneste grunnen for forsinkelser. En grundig vurdering av de ulike teknologiaspektene ved kjernekraft er viktig for å redusere risiko for kostnads- og tidsoverskridelser. Viktige temaer knyttet til teknologi inkluderer:

- Kommersiell tilgjengelighet
- Kostnad og kostnadsutvikling
- Teknisk og økonomisk fleksibilitetspotensial
- Ledetid for ulike reaktortyper/kraftverk
- Skalerbarhet
- Brensel¹³
- Mulighet for fremstilling av brensel i Norge
- Design av sikkerhetssystemer
- Behovet for og tilgjengeligheten til nødvendig infrastruktur, slik som høyspentanlegg for overføring av energi, transformator for å heve spenningen og fjernvarmeinfrastruktur dersom spillvarme skal utnyttes
- Behov for og tilgjengeligheten på andre komponenter i kjernekraftverk, for eksempel kjøletårn og utstyr for avfallshåndtering
- Vedlikeholdsbehov i driftsfasen
- Løsninger for avfallshåndtering (mellomlagring og kort- og langsiktig lagring), herunder dekommisjonering av anlegg

¹² [NEA Small Modular Reactors \(SMR\) Dashboard](#)

¹³ Valg av annet brensel enn uran vil gi behov for ytterligere og annet kunnskapsbehov, blant annet knyttet til utvinning

- Teknologiske tilpasninger i lys av det norske regulatoriske rammeverket og de internasjonale konvensjonene Norge er tilsluttet til

Kompetanse og ressurser

Etableringen av et kjernekraftprogram og påfølgende drift av kjernekraftverk i Norge vil kreve ressurser med spesifikk kompetanse på feltet, for eksempel kompetanse på drift, forskning- og utvikling og på myndighetsnivå, for å nevne noen. Norge har ingen erfaring med bygging eller drift av kjernekraftverk utover forskningsreaktorer bygget på 50- og 60-tallet. Det er allerede i dag trolig behov for mer kompetanse og kapasitet hos myndighetene knyttet til den pågående dekommisjoneringen av atomanleggene på Kjeller og i Halden, samt etablering av nye nasjonale løsninger for lagring og deponering av radioaktivt avfall både fra reaktorene, samt fra industri, sykehus osv.

Det er uten tvil et stort gap mellom behovet og dagens kompetanse- og ressursituasjon på feltet. I et kjernekraftscenario er det nødvendig å kartlegge hvilke kompetanse som trengs og hva omfanget av ressursbehovet er. Blant temaene som må kartlegges er:

- Kompetansebehov ved bygging og drift av kjernekraftverk
- Krav til utdanningsforløp
- Tilgang på kompetanse i Norge og avhengighet av utenlandske ressurser
- Behov og mulighet til å bygge opp nødvendig kompetanse
- Tilgrensende kompetanse/mulighet for å ta i bruk eksisterende kompetanse og utdanningsprogram
- Tilknytting til eksisterende forskningssamarbeid

Energisystemet

Tradisjonelle kjernekraftverk, samt de fleste SMR-anlegg, har i norsk sammenheng stor produksjonskapasitet (effekt). Effekten av integrering av kjernekraft i det norske kraftsystemet bør kartlegges nøye, og de faktiske samfunnsøkonomiske kostnadene ved kjernekraft må beregnes. Kunnskapsbehov knyttet til kraftsystemet inkluderer:

- Nettilknytning og behov for nettførsterkninger
- Lokalisering for å minimere kostnadene knyttet til nettutbygging og -oppgradering
- Samspill mellom kjernekraftanlegget og andre produksjons- og lagringsteknologier
- Bidrag til drift av systemet (systemkostnader), inkludert fleksibilitet
- Mulighet for utnyttelse av spillvarme

Miljø, avfall og samfunn

Det må gjøres grundige vurderinger av konsekvensene for nærmiljøet og samfunnet rundt før utbyggingen av et kjernekraftverk kan starte. Dette gjelder for selve kraftverket, men også for lagring av atomavfall. Kunnskapsbehov knyttet til miljø, avfall og samfunn inkluderer:

- Sikkerhet
- Arealbruk
- Miljø- og naturkonsekvenser
- Økonomiske ringvirkninger

- Publikumsopfatning: Aksept i samfunnet og i lokalmiljøet for kjernekraft i norsk energiforsyning for å skape forståelse for barrierer og et utgangspunkt for eventuelle løsninger ved en etablering

4 Fusjonsenergi

Fusjonsenergi har potensiale til å gi nærmest ubegrenset energi uten utslipp av klimagasser, og produserer langt mindre radioaktivt avfall enn dagens fisjonsbaserte kjernekraftverk.

Fusjonsenergi kan altså potensielt være en revolusjonerende energikilde. Teknologien er fremdeles i forskningsstadiet, og vil trolig ikke være tilstrekkelig modent til å bidra til å nå klimamålene i 2050¹⁴. Til tross for det kan det bli en viktig komponent i andre halvdel av dette århundret, når etterspørselen etter energi trolig blir enda større. Det er derfor viktig å overvåke utviklingen.

Hva er fusjonsenergi?

Fusjonsenergi er overskuddsenergi som dannes når kjernen av to lette atomer smelter sammen og danner et tyngre grunnstoff. De vanligste atomene er to isotoper av hydrogen: Deuterium og tritium. Deuterium finnes i sjøvann og tilgangen er praktisk talt ubegrenset. Tritium er ikke vanlig i naturen, og er en radioaktiv isotop som brytes ned relativt raskt.

Fusjonskraft har flere fordeler:

1. Ingen fare for nedsmelting, som i fisjonsbaserte kjernekraftverk
2. Avfallsproblemene er mindre ved fusjonskraftverk: Avfall kommer i hovedsak fra komponenter i kraftverket, og ikke fra brenselet
3. Fusjonskraftverk kan ikke brukes som basis for å lage atomvåpen.
4. Fusjonskraft er grunnlast, den er variabel og lav-karbon
5. Det er god tilgang på brensel

Fusjonskraft er derimot svært teknisk krevende. For å få til en fusjon kreves det høy tettet, høy temperatur og energiinneslutting. Det er hovedsakelig to metoder for fusjonskraft:

1. Magnetic Confinement (MCF): Ekstrem varme fjerner elektroner fra kjerner for å danne ladede ioner som et plasma. Kraftige magneter hindrer at plasmaen berører sidene av maskinen (da vil prosessen dø)
2. Inertial Confinement (IFC): Trykk presser brenselet sammen til det imploderer og frigir energi. I dag brukes lasere for å drive prosessen

I 2022 klarte forskere i USA å generere overskuddsenergi fra en fusjonsprosess for første gang¹⁵. Til tross for dette det fusjonsenergi fremdeles på grunnforskningsstadiet, og det er lenge til et kommersielt fusjonskraftverk vil være i drift. Ifølge International Atomic Energy Agency (IAEA) mener eksperter at en kraftproduserende fusjonsreaktor kan være på plass i 2050. Det finnes imidlertid private aktører som har en 2030-horisont for kommersiell fusjon, blant annet Commonwealth Fusion Systems (CFS), som Equinor Ventures har investert i.

Internasjonal utvikling

Den finnes 154 fusjonsinnretninger i verden som enten er i drift, under utbygging eller under planlegging. 99 av disse er i drift.

1. På verdensbasis er mer enn 6.2 milliarder dollar investert i fusjonsenergi av private investorer.
2. USA finnes det 25 private selskap innenfor fusjonsenergi.

¹⁴ [Fusion Energy, IAEA, 2021](#)

¹⁵ [IAEA, 2023](#)

3. Tyskland har etablert et finansieringsprogram med målsetning om 1 milliard euro innen 2028, og satser på offentlig/privat samarbeid.
4. Storbritannia har lansert en fusjonsstrategi hvor de blant annet har definert at fusjonsenergi ikke skal reguleres under samme regime som fisjonsenergi. Det er etablert et statlig selskap som skal levere en prototype på et fusjonskraftverk kalt CCFE (Culham Centre for Fusion Energy).
5. I 2020 ble ITER etablert i Frankrike. ITER er et internasjonalt prosjekt med målsetning om å utarbeide demoer på fusjonsreaktorer. De første eksperimentene skal etter planen starte opp i siste halvdel av 20-tallet, og de første demoene skal være klare i 2036.
6. Europa har satt i gang EUROfusjon som et fellesprosjekt for finansiering og forskning på fusjon.

Norge sin rolle?

Fusjonsenergi kan, hvis teknologiutviklingen lykkes, representere et paradigmeskifte på energifeltet. Teknologien vil være en forsyningssikker og arealbesparende varme og kraftteknologi som på lang sikt kan bidra med tilnærmet ubegrensede mengder konkurransedyktig og sikker energiforsyning. Det er dermed viktig for Norge å følge med i utviklingen. Tiltak på fusjonsfeltet inkluderer:

1. Tydeliggjøre skille mellom fusjon- og fisjonskraft i den offentlige samtalen
2. Følge med på internasjonal forskning og innovasjonsarbeid
3. Utvikle kompetanse der det har størst effekt, gjennom fagutdanninger, studieplasser, videreutdanning og forskning
4. Tilrettelegge for samarbeid mellom universitet/forskning og industri