

Status: **Kommentarutkast**
Dato: 30. september 2026

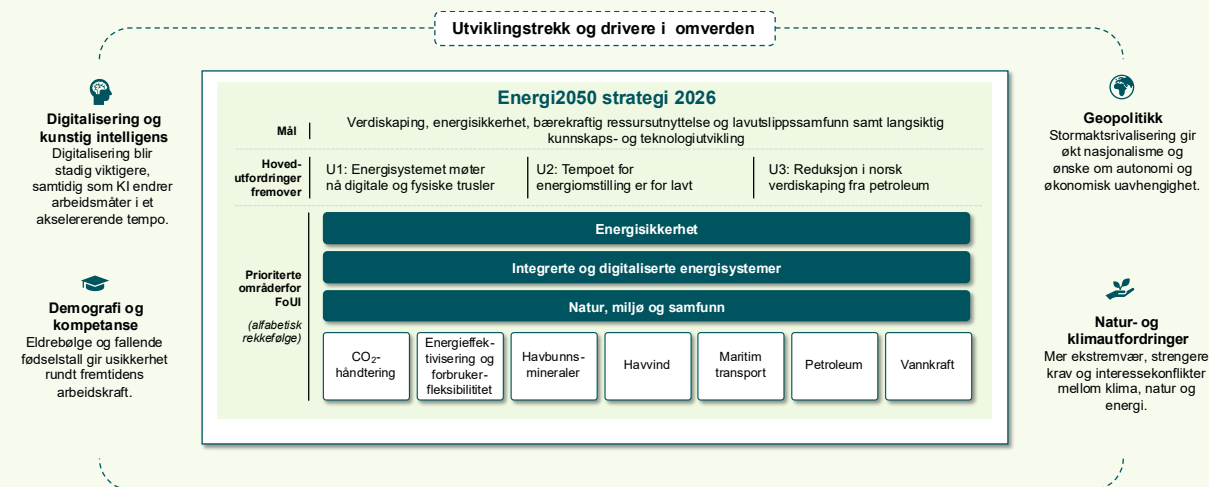
Energi2050-strategi



Veivalg for framtidens energisystem

Norges energisystem står foran store endringer. Lavutslippssamfunnet i 2050 krever rask omstilling fra fossil til fornybar energi. Samtidig ventes petroleumsproduksjonen å falle, noe som svekker grunnlaget for norsk verdiskaping. Parallelt stiller den geopolitiske utviklingen helt nye krav til sikkerhet og beredskap for norsk energiinfrastruktur.

Energi2050-strategien setter retningen for myndighetenes og næringslivets samlede innsats innen forskning, utvikling og innovasjon (FoUI) på energiområdet. Strategien skal bidra til å nå energipolitiske mål satt i Energi2050s mandat fra Energidepartementet.



Strategien prioriterer ti satsingsområder. De tre tverrgående områdene er energisikkerhet, integrerte og digitaliserte energisystemer, samt natur, miljø og samfunnshensyn. De er avgjørende for utviklingen av hele energisystemet.

De sju teknologiske områdene er CO₂-håndtering, energieffektivisering og forbrukerfleksibilitet, havbunnsmineraler, havvind, klimavennlig maritim transport, petroleum og vannkraft. De er valgt fordi FoUI kan utløse et stort bidrag til Energi2050s mål og fordi Norge har fortrinn som gjør det mulig å bygge eller opprettholde ledende posisjoner.

Innsatsen på andre viktige områder bør videreføres gjennom eksisterende programmer og virkemidler. De utgjør en bred kunnskaps- og teknologiplattform bygget opp over flere tiår.

Det haster med å øke den samlede FoUI-innsatsen på energiområdet. Uten en kraftig styrket innsats risikerer Norge å bli for sene til å håndtere sårbarheter, gjennomføre omstillingen og utnytte industrielle muligheter. For å realisere verdiene fra FoUI er det behov for et mer sammenhengende virkemiddelløp fra forskning til marked, bedre tilgang på risikovillig kapital, kompetansebygging i takt med omstillingen og at industrien tar ansvar for teknologilederskap.

Strategien staker ut kursen. Å realisere den er et felles ansvar for myndigheter, forskningsmiljøer og industri, og arbeidet må starte nå.

Sammendrag

Fremtidens energisystem vil formes av løsninger vi kjenner og nye løsninger som må utvikles. Myndighetenes overordnede mål for energipolitikken er å sikre høy verdiskaping gjennom effektiv og miljøvennlig forvaltning av energiressursene. Energi2050-strategien setter retningen for myndighetenes og næringslivets samlede FoU-innsats for å 1) bidra til å styrke sikkerhet, konkurransekraft og verdiskaping på hele energiområdet, 2) sikre en langsiktig kunnskaps- og teknologiutvikling som ivaretar en bærekraftig energiomstilling og en sikker og effektiv energiforsyning, og 3) bidra til en utvikling mot et lavutslippssamfunn innen 2050.

Norges og Europas energisystemer skal bli utslippsfrie mot 2050, uten at energisikkerhet, konkurransekraft og velferd svekkes. Omstillingen rommer to tydelige dilemmaer. For det første må fossil energibruk reduseres raskt, samtidig som tilstrekkelig kraft, nett og effekt må bygges ut for å unngå energiknapphet, høyere kostnader og svekket konkurransekraft. Denne utbyggingen kan samtidig belaste naturen og svekke den sosiale legitimiteten. For det andre trenger Europa fortsatt norsk olje og gass gjennom omstillingen, samtidig som Norge skal kutte utslipp og bidra til klimanøytralitet. Fortsatt petroleumsaktivitet støtter norsk verdiskaping og europeisk energisikkerhet, men medfører utslipp både fra produksjon og bruk. Målkonfliktene mellom klima, natur, energisikkerhet, kostnader, verdiskaping og legitimitet er med på å danne rammene for Energi2050s arbeid. I tillegg skal omstillingen gjennomføres samtidig som Norge håndterer et generasjonsskifte i energikompetansen og en rask utvikling innen kunstig intelligens, som endrer både driften av energisystemet og kompetansebehovet.

Det sikkerhetspolitiske landskapet rundt energisystemet har blitt vesentlig mer krevende. Russlands krigføring i Ukraina, skjerpet rivalisering mellom stormaktene og sabotasjeaksjoner mot energiinfrastruktur har vist at energi brukes som et aktivt maktmiddel. Som en av Europas viktigste leverandører av gass og olje er Norge blitt mer eksponert for etterretningsaktivitet, cyberangrep og fysisk sabotasje, der et mer sammenkoblet og digitalisert energisystem skaper nye risikoer. Energisikkerhet må derfor forstås langs et bredt krisespekter og handler i økende grad om evnen til å opprettholde og gjenopprette energiforsyningen i de mest alvorlige delene av dette spekteret.

Disse utviklingstrekkene griper inn i hverandre og gjør at handlingsrommet for å styrke sikkerhet, konkurransekraft og verdiskaping på energiområdet er tidsbegrenset. Uten en kraftig styrket forsknings- og innovasjonsinnsats risikerer Norge å bli for sene med å håndtere sårbarhetene, gjennomføre omstillingen i tilstrekkelig tempo og utnytte nye industrielle muligheter.

På dette grunnlaget har Energi2050 identifisert tre hovedutfordringer som strategien skal svare ut:

- Energisystemet, bygget for fredstid, møter nå digitale og fysiske trusler
- Tempoet for energiomstilling er for lavt i forhold til nasjonale klimaambisjoner og ny næringsutvikling
- Reduksjon i norsk verdiskaping etter ventet nedgang i petroleumsvirksomheten

ENERGI2050-STRATEGIEN 2026

Prioriteringen av forsknings- og innovasjonsområder er begrunnet i hvordan hvert område møter de tre hovedutfordringene og herunder bidrar til målene i Energi2050s mandat, og i hvilken grad forskning og innovasjon er avgjørende for å utløse mulighetene. At et område er prioritert, innebærer at innsatsen i form av midler og aktivitet bør styrkes fra dagens nivå og relativt til andre områder innenfor Energi2050s mandat. Ansvaret for å følge opp prioriteringene ligger hos myndighetene, forskningsmiljøene og i industrien.

Den totale FoUI-innsatsen på områder innenfor Energi2050s mandat bør styrkes kraftig. Mandatet er betydelig bredere enn summen av forløperne Energi21 og OG21. Energisikkerhet er kommet til som et nytt og kritisk område med store kunnskapsbehov, og havbunnsmineraler representerer en mulig ny næring der forskning er avgjørende for å gi et forsvarlig beslutningsgrunnlag. Samtidig er FoUI-behovet innenfor kraftsystem, petroleum, CO₂-håndtering, energieffektivisering, fornybar energi og nye lav- og nullutslippsløsninger minst like stort som tidligere. Et bredere mandat og et mer krevende utfordringsbilde må derfor speiles i en tydelig opptrapping av innsats og ressurser til energi-FoUI. Fordi energi og energisikkerhet er grunnleggende for samfunnsfunksjoner, beredskap, industri, transport, klimaomstilling og næringsutvikling, må oppfølgingen av strategien forankres som et tverr-sektorielt ansvar på tvers av relevante politikkområder.

Strategien består av ti satsingsområder, hvorav tre tverrgående områder og sju teknologi-områder. Hvert område i porteføljen har et selvstendig bidrag til å møte en eller flere utfordringer, samtidig som porteføljen drar nytte av kunnskapsmessige og industrielle synergier. Ressursfordelingen mellom områdene bør reflektere forventede effekter av FoUI som verdiskaping, industriutvikling, klima og miljø som bidrar til Energi2050s mål.

Tverrgående satsingsområder

De tre tverrgående satsingsområdene løftes fram fordi de er avgjørende for utviklingen av hele energisystemet, og fordi det ligger stor verdi i å løse forsknings- og innovasjonsbehov på tvers av energiverdikjedene.

Energisikkerhet er et varig og kritisk premiss for energisystemet og for hele Energi2050s mandat. Rammene er fundamentalt endret: et skjerpet trusselbilde, geopolitisk rivalisering, klimaendringer og rask utvikling innen digitalisering og kunstig intelligens gir nye sårbarheter, samtidig som samfunnet blir mer avhengig av stabil energiforsyning. Satsingsområdet omfatter både Norges rolle som en sikker leverandør av energi til Europa, og motstandsdyktigheten i det nasjonale energisystemet. Måltrettet FoUI i Norge og sammen

med våre allierte, må bidra til å gi et mer robust energisystem og redusere sårbarheter i kritisk infrastruktur og verdikjeder, samt redusere strategiske avhengigheter til teknologier, komponenter og råvarer. Det er nødvendig å starte den nasjonale satsingen nå, som et supplement til – ikke en erstatning for – den ordinære energiforskningen, og med ressurser som er dimensjonert i tråd med ambisjonene.

Integrerte og digitaliserte energisystemer handler om å finne løsninger for at et mer sammenkoblet og komplekst energisystem som vokser frem som følge av energiomstillingen, kan forbli effektivt, fleksibelt og konkurransedyktig. Området omfatter fysiske, digitale og markedsmessige komponenter i energisystemet, inkludert kraftsystem, energiinfrastruktur, energibærere, fleksibilitet, markedsdesign, systemteknologi og digitalisering. Et robust og sammenhengende system er en forutsetning for å ta i bruk ny fornybar kraft raskt nok til å nå klimaambisjonene. Det er behov for FoUI som styrker systemstyring og effektiv utnyttelse av infrastruktur på tvers av energisystemet.

Ivaretagelse av natur, miljø og samfunnshensyn er avgjørende for å muliggjøre et tilstrekkelig tempo i energiomstillingen som begrenser konsekvensene for natur og miljø, og sikrer bred tilslutning i befolkningen og ivaretar minoritetsrettigheter og menneskers sikkerhet på jobb. Sosial legitimitet og bærekraftig arealbruk er en forutsetning for å videreutvikle eksisterende energiinfrastruktur, og for å etablere ny industri og næringsvirksomhet. Sentrale FoUI-behov er miljødesign, rammeverk for konsekvensvurderinger og prosesser som reduserer konflikt og forsinkelser.

Teknologiske satsingsområder

De sju områdene trekkes fram fordi de har et særlig potensial for å bidra til Energi2050s mål, samtidig som økt FoUI-innsats er viktig for å utløse potencialet. Samtidig har Norge fortrinnene som skal til for å bygge eller opprettholde ledende posisjoner innenfor områdene. Områdene, presentert i alfabetisk rekkefølge, er:

CO₂-håndtering er avgjørende for å nå nasjonale og internasjonale klimaambisjoner, fordi verdikjeden muliggjør utslippsreduksjoner i sektorer og prosesser som er vanskelige å elektrifisere. Området bygger videre på kompetanse og industriell erfaring fra sokkelen, prosessindustrien og avfallsbransjen, og har potensial til ny industriell verdiskaping i årene som kommer. Det er behov for FoUI som reduserer kostnader og kvalifiserer teknologi i hele verdikjeden fra fangst til lagring, og som muliggjør oppskalering.

Energieffektivisering og forbrukerfleksibilitet er viktig for å utnytte både energien og selve energiinfrastrukturen enda mer effektivt. Energieffektivisering, fleksibilitet og bruk av riktig energibærer til riktig formål kan redusere energibruk og effekttopper, frigjøre kraft og nettkapasitet og gjøre det mulig å utnytte eksisterende infrastruktur mer kostnadseffektivt. Det er behov for FoUI som utvikler teknologi, markedsmodeller og løsninger som gjør det enklere og mer lønnsomt å flytte, redusere og tilpasse energibruken.

Havbunnsmineraler prioriteres fordi det er behov for å styrke kunnskapsgrunnlaget om mineralressursene på norsk sokkel og miljøaspekter knyttet til eventuell utvinning av dem. Ressursene kan styrke europeisk forsyningssikkerhet for kritiske mineraler og gi ny industriell verdiskaping basert på eksisterende offshore- og maritim kompetanse. Samtidig er dyphavsøkosystemer mindre kartlagt og mulig påvirkning fra fysiske inngrep må forstås

bedre. Det er også behov for FoUI som utvikler forståelse, rammeverk og teknologi for å begrense natur- og miljøpåvirkninger ved en eventuell utvinning.

Havvind prioriteres fordi Norge har gode naturgitte forhold og overførbar kompetanse fra havbaserte næringer. Det gir grunnlag for å videreutvikle en eksportrettet leverandørindustri, samtidig som havvind har potensial for et vesentlig energibidrag til energiomstillingen. Det er behov for FoUI som reduserer kostnadene for havvind og videreutvikler norsk leverandørindustri.

Klimavennlig maritim transport prioriteres fordi Norge har betydelig maritim virksomhet med stort potensial for avkarbonisering, og en komplett, konkurransedyktig verdikjede med lang industriell erfaring å bygge videre på. Området kan samtidig støtte utviklingen av nye offshore energi- og mineralverdikjeder med lav- og nullutslippsløsninger. Det er behov for FoUI innen nye fremdriftssystemer med lave utslipp og havneinfrastruktur.

Petroleumsvirksomheten er en bærebjelke i norsk verdiskaping og i europeisk energisikkerhet, samtidig som sokkelen modnes og produksjonen ventes å avta. Ressursbasen er mer kompleks enn tidligere, funnene som gjøres blir mindre, infrastrukturen er aldrende, og produksjon fra eksisterende felt blir enda viktigere for å motvirke produksjonsfall. En styrket FoUI-innsats de nærmeste årene kan bidra til å utløse konkurransedyktige ressurser på sokkelen, og til å redusere kostnader og klimagassutslipp fra eksisterende og nye felt. Området bidrar til å sikre verdien av gjenværende petroleumsressurser for Norge, og til stabile leveranser fra norsk sokkel som er viktig for Europas energisikkerhet på veien mot målet om klimanøytralitet i 2050.

Vannkraft er ryggraden i norsk kraftforsyning og en kritisk ressurs for fornybar kraftproduksjon, energilagring og fleksibilitet. Det er ingen andre land i Europa hvor vannkraften spiller en like viktig rolle i kraftforsyningen. Med sine systemtekniske egenskaper er den samtidig en av Norges viktigste beredskapsressurser. Det er behov for FoUI som videreutvikler vannkraften, øker verdien av eksisterende ressurser og tilpasser vannkraftsystemet til effektiv og robust drift i framtidens energisystem.

En bred kunnskaps- og teknologiplattform skal videreutvikles

At et område ikke er prioritert opp, betyr ikke at det mangler betydning. Norsk energiforskning hviler på en bred kunnskaps- og teknologiplattform bygget opp over flere tiår, og denne plattformen er en forutsetning for å nå Energi2050s mål. Store deler av det sentrale FoUI-behovet for andre viktige områder dekkes gjennom Energi2050s tverrgående satsinger. Dette omfatter blant annet behov knyttet til systemtjenester, natur- og miljøhensyn, energisikkerhet, effektiv ressursutnyttelse og samfunnsmessige rammevilkår. For teknologi-spesifikke FoUI-behov anbefaler Energi2050 at innsatsen i hovedsak videreføres gjennom eksisterende programmer og virkemidler framfor nye, dedikerte satsinger. Det innebærer å fullføre igangsatte programmer som svarer ut identifiserte behov, opprettholde nisjemiljøer og utdanningsløp der Norge har en tydelig faglig styrke, og bruke nordisk og europeisk forskningssamarbeid aktivt.

REALISERING AV STRATEGIEN

For å nå målene må ny kunnskap og nye løsninger utvikles og tas i bruk raskere. Det forutsetter at forskningsmiljøer, næringsliv, myndigheter og virkemiddelaktører samarbeider tettere og mer målrettet. Fem gjennomgående behov peker seg ut:

Virkemidlene må henge sammen gjennom hele innovasjonsløpet. Virkemiddelapparatet dekker i hovedsak hele løpet fra grunnleggende og anvendt forskning til pilotering, demonstrasjon og markedsintroduksjon. Apparatet fungerer godt, men det er fortsatt gap mellom fasene, særlig i kapitalintensive prosjekter med lang tidshorisont. Skattebaserte incentiver kan mobilisere bedriftenes egen FoUI-innsats. FOT-ordningen i petroleumssektoren er et eksempel, og tilsvarende ordninger bør vurderes for andre prioriterte områder. Samtidig bør ordningene utformes slik at FoUI-innsatsen ikke svekkes automatisk ved svingninger eller fall i aktivitetsnivå. Energi2050 anbefaler et mer sammenhengende virkemiddelløp for de prioriterte områdene, med tydelig ansvar i overgangene, og styrket finansiering av systemdemonstrasjoner der teknologi, infrastruktur, marked og regulering testes samlet. Flere av områdene er dessuten avhengige av avklarte rammebetingelser, som konsesjoner, standarder, marksedsregler og sikkerhetskrav. Finansielle virkemidler må derfor suppleres med regulatoriske avklaringer som gjør det mulig å teste, ta i bruk og skalere nye løsninger.

Tilgangen til risikovillig kapital må styrkes. Overgangen fra pilot til første industrielle anlegg er blant de mest krevende fasene å finansiere, og norske analyser peker på at Norge har svakere tilgang på venture- og vekstkapi tal enn sammenlignbare nordiske og europeiske land. Offentlig kapital bør brukes som katalysator for privat kapital gjennom tidligfasekapital, vekstkapi tal, lån og garantier, og kobles tettere til europeiske finansieringskilder. Kapitalvirkemidlene bør rettes særlig mot områder der Norge har industrielle fortrinn og mulighet til å bygge nye eksportrettede verdikjeder.

Kompetansen må bygges i takt med omstillingen. Flere av de prioriterte områdene konkurrerer om de samme fagmiljøene. Undergrunn, boring og brønn, maritim teknologi, kraftelektronikk, prosess- og materialteknologi, digital sikkerhet, kunstig intelligens og systemanalyse er relevante på tvers av petroleum, CO₂-håndtering, havvind, havbunnsmineraler og integrerte energisystemer. Energi2050 anbefaler at FoUI-satsinger, utdanning og etter- og videreutdanning kobles tettere sammen, og at kompetanseoverføringen fra petroleum og maritim sektor til nye hav- og energinæringer styrkes. Dersom nye verdikjeder ikke industrialiseres raskt nok, kan fallende petroleumsaktivitet svekke kritiske fagmiljøer.

Industrien må ta ansvar for teknologilederskap. Industriell aktivitet er en selvstendig innovasjonsdriver. Forskning gir størst effekt når den møter krevende kunder, reelle driftsmiljøer, investeringsbeslutninger og markeder, og nye verdikjeder trenger piloter, demonstrasjonsprosjekter og tidlige industrielle kunder før de kan bli konkurransedyktige internasjonalt. Energi2050 anbefaler at store industriprosjekter brukes mer målrettet som lærings- og demonstrasjonsarenaer. Offentlige virkemidler kan redusere risiko, men ikke erstatte industriens eget eierskap til strategiske satsinger, demonstrasjon og markedsintroduksjon. Det krever forankring i styre og toppledelse, langsiktige kapitalrammer og vilje til å bære risiko.

Internasjonalt samarbeid styrker konkurransekraften. Norske aktører inngår i europeiske og globale verdikjeder, og europeisk FoUI kobles i økende grad til konkurransekraft, sikkerhet, industriell kapasitet og strategisk autonomi. Full norsk deltakelse i europeiske programmer og tidlig posisjonering i partnerskap og arbeidsprogrammer er derfor viktig. Nordisk og internasjonalt samarbeid bør brukes strategisk der felles markeder, infrastruktur eller sikkerhetsutfordringer er avgjørende, blant annet Nordsjøen som energiområde, nordisk-baltisk energisikkerhet, grensekryssende CO₂-verdikjeder, maritim lavutslippsteknologi, kritiske råvarer og systemintegrasjon.

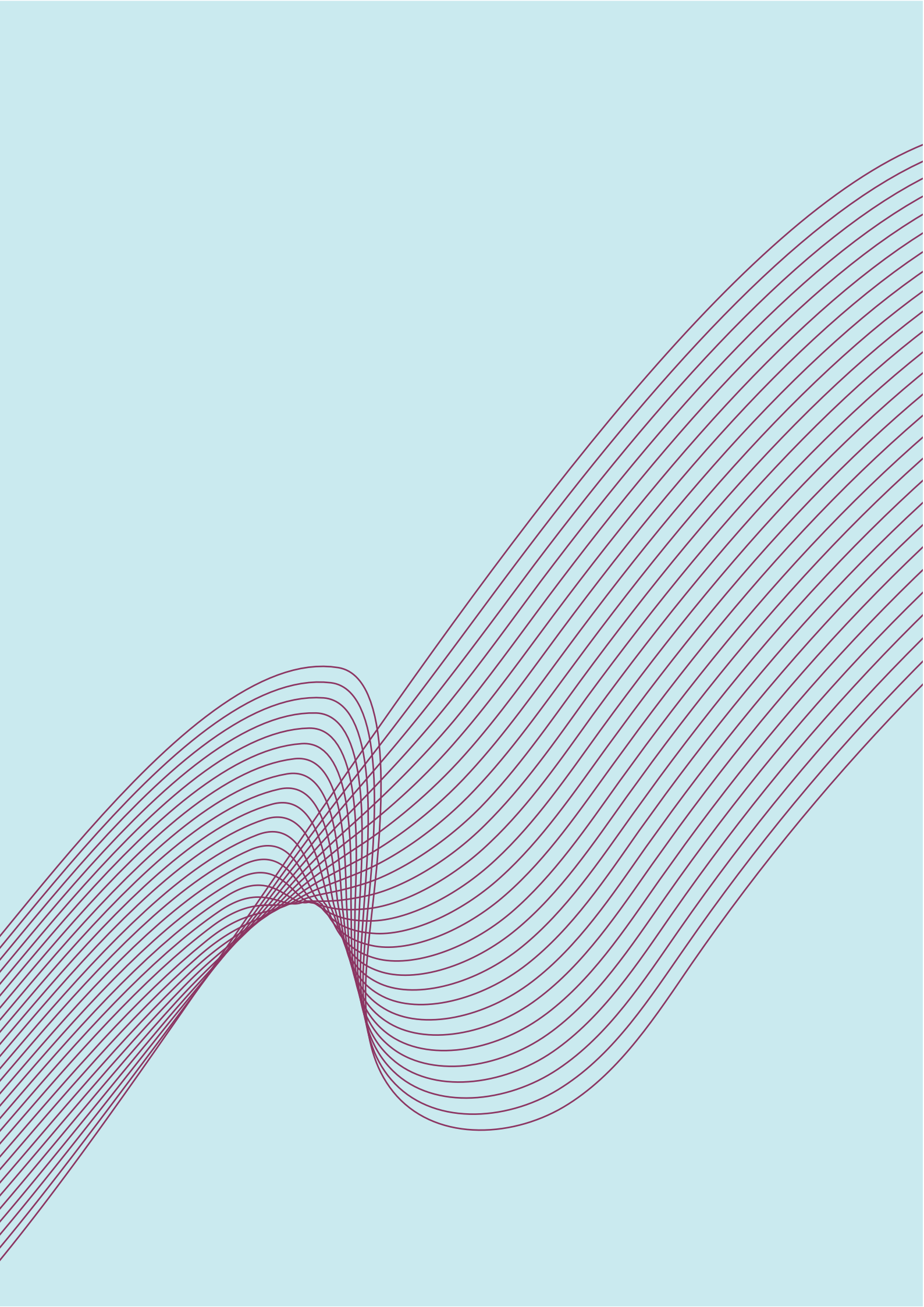
Forskning, utvikling og innovasjon på energiområdet bør forstås som strategisk nasjonal infrastruktur – en nødvendig investering i Norges framtidige handlefrihet, konkurransekraft og velferd. Effekten av innsatsen avhenger av at initiativene settes i gang nå. Mye av innsatsen vil gi kunnskap og løsninger som raskt kan anvendes. Men også kunnskap, teknologi og løsninger som skal være klare til bruk om 10–20 år, krever tiltak i dag. Forsinket handling vil begrense handlingsrommet for utviklingen av energisystemet mot 2050.

Innhold

<i>Veivalg for framtidens energisystem.....</i>	2
<i>Sammendrag.....</i>	3
Energi2050-strategien 2026	4
Tverrgående satsingsområder.....	4
Teknologiske satsingsområder	5
En bred kunnskaps- og teknologiplattform skal videreutvikles	6
Realisering av strategien	7
1 Om Energi2050.....	13
1.1 Om Energi2050 og formål med strategien	13
1.2 Organisering av Energi2050 og strategiarbeidet	14
1.3 Samarbeid og grenseflater med virkemiddelapparatet og andre FoUI-strategier	15
2 Trender og utviklingstrekk for energinasjonen Norge	16
2.1 Norges komparative fortrinn som energinasjon	16
2.2 Utviklingstrekk i omverdenen.....	17
2.2.1 Trusselbildet skjerpes, energisystemet må kunne beskyttes	18
2.2.2 Sårbare verdikjeder kan forsinke omstillingen i Norge og Europa.....	19
2.2.3 Lavutslippssamfunnet i 2050 krever omstilling av hele energiområdet	19
2.2.4 Kraftbehovet vokser raskere enn utbygging av produksjon og nett.....	20
2.2.5 En moden sokkel krever innsats for å motvirke produksjonsfall og for å utvikle ny næring.....	21
2.2.6 Norge må håndtere et generasjonsskifte i energikompetansen samtidig som KI endrer hvordan vi jobber og systemet driftes	22
2.3 FoUI kan spille en rolle for å håndtere utfordringer og gripe mulighetene i omverdenen	23
3 Prioriterte forsknings- og innovasjonsområder	25
3.1 Energi2050s prioritering av forsknings- og innovasjonsinnsatsen	25
3.1.1 Tverrgående satsinger for å møte FoUI-behov på tvers av energisystemet.....	26
3.1.2 Teknologisatsinger med stort potensial for måloppnåelse med FoUI.....	27
3.1.3 Porteføljen av prioriterte forsknings- og innovasjonsområder svarer ut hovedutfordringene og kan muliggjøre synergier	29
3.2 Energisikkerhet.....	30
3.2.1 Energisikkerhet som en forutsetning for Energi2050s måloppnåelse	30
Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov	33
3.3 Integrerte og digitaliserte energisystemer	35
3.3.1 Integrerte og digitaliserte energisystemer som en forutsetning for måloppnåelse	36
3.3.2 Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov.....	43
3.4 Natur, miljø og samfunn.....	46
3.4.1 Natur, miljø og samfunn er en forutsetning for måloppnåelse.....	46

3.4.2	Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov.....	50
3.5	CO₂-håndtering	52
3.5.1	Markedsmuligheter og komparative fortrinn	52
3.5.2	Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov.....	55
3.6	Energieffektivisering og forbrukerfleksibilitet.....	57
3.6.1	Markedsmuligheter og komparative fortrinn	58
3.6.2	Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov.....	59
3.7	Havbunnsmineraler	61
3.7.1	Markedsmuligheter og komparative fortrinn	61
3.7.2	Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov.....	63
3.8	Havvind	65
3.8.1	Markedsmuligheter og komparative fortrinn	65
3.8.2	Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov.....	67
3.9	Klimavennlig maritim transport.....	69
3.9.1	Markedsmuligheter og komparative fortrinn	69
3.9.2	Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov.....	71
3.10	Petroleum	72
3.10.1	Markedsmuligheter og komparative fortrinn	73
3.10.2	Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov.....	79
3.11	Vannkraft	80
3.11.1	Markedsmuligheter og komparative fortrinn	81
3.11.2	Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov.....	82
4	Realisering av prioriterte forsknings- og innovasjonsområder.....	84
4.1	Verdien av forskning og innovasjon.....	84
4.2	Det norske virkemiddelapparatet	85
4.3	Nordisk, europeisk og internasjonalt samarbeid	86
4.4	Kompetanse, utdanning og videreutdanning, digitalisering og datahåndtering	87
4.5	Industriell aktivitet som innovasjonsdriver	89
4.6	Industriens ansvar og behov for teknologilederskap	90
4.7	Tilgang til risikokapital	91
4.8	Energi2050s rolle og arbeid for å få strategien realisert	92
5	Videreutvikling av en solid kunnskaps- og teknologiplattform	93
5.1	Betydningen av en bred kunnskaps- og teknologiplattform.....	93
5.2	Batteri	94
5.3	Bioenergi- og drivstoff	95
5.4	Geotermisk energi	96
5.5	Hydrogen.....	98

5.6	Kjernekraft.....	99
5.7	Klimavennlig landtransport.....	101
5.8	Klimavennlig luftfart	102
5.9	Landvind.....	104
5.10	Solenergi	105
5.11	Høydevind	107
5.12	Bølge- og tidevannskraft.....	107
6	Vedlegg	109
6.1	Oversikt over norske og internasjonale virkemidler	109
6.1.1	Innledning	109
6.1.2	Oversikt over virkemidler og samspill	109
6.1.3	Omfanget av midler til forskning og innovasjon	119
6.2	Mandat Energi2050 fra Energidepartementet	124
6.2.1	Formål	124
6.2.2	Mål for strategien	124
6.2.3	Styrets oppgaver	124
6.3	Styret i Energi2050.....	125
6.4	Premissgrunnlag for strategiske prioriteringer	126
6.4.1	Premisser for strategivalget	126
6.4.2	Strategisk gjennomgang av fagområdene	126
6.4.3	Systematikk for sammenlignende analyse	127
6.4.4	Informasjonskilder til den strategiske analysen	129
6.5	Begrepsliste	130
6.5.1	Forskning, utvikling og innovasjon	130
6.5.2	Energisystem og kraftmarked	130
6.5.3	Energisikkerhet	131
6.5.4	Energibærere, klima og natur	131
6.5.5	Petroleum og havbunnsmineraler	132
6.5.6	Aktører i verdikjeden	132
6.6	Referanseliste	133





1 Om Energi2050

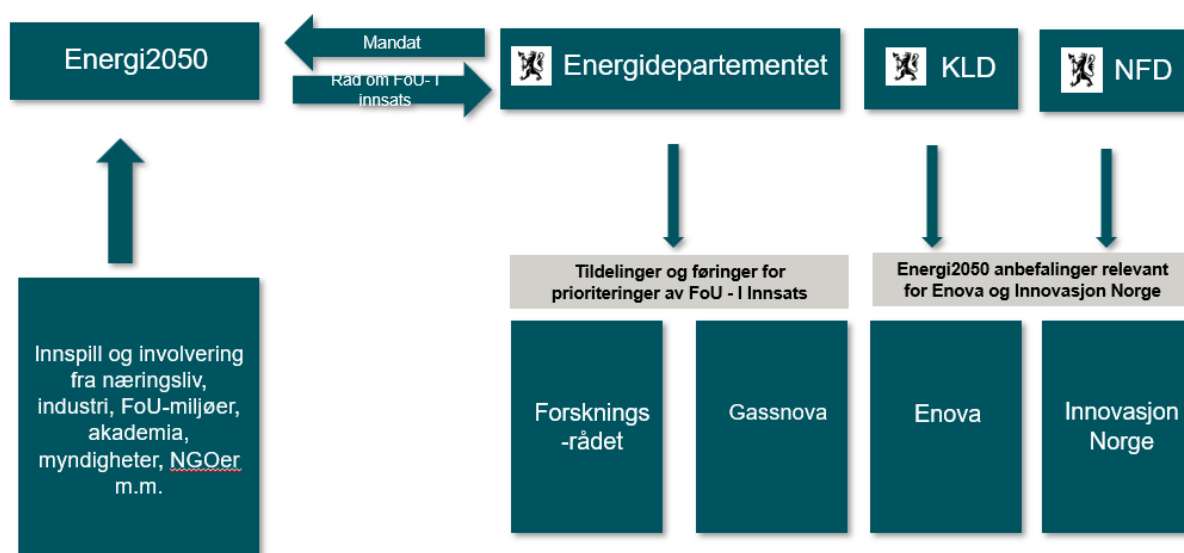
1.1 OM ENERGI2050 OG FORMÅL MED STRATEGIEN

Energi2050 er Norges nasjonale strategiorgan for forskning, utvikling, demonstrasjon og markedsintroduksjon på energiområdet. Organet er etablert av Energidepartementet for å utvikle en samlet nasjonal FoUI-strategi som ser utslippsfri energi, petroleum, CO₂-håndtering og havbunnsmineraler i sammenheng (se Figur 1). Strategien er retningsgivende for myndighetenes og næringslivets samlede innsats, og skal bidra til at forskning og innovasjon brukes mer målrettet for å styrke energisikkerhet, konkurransekraft, verdiskaping og omstilling mot lavutslippssamfunnet. Strategien støtter opp under myndighetenes overordnede mål for energipolitikken om å sikre høy verdiskaping gjennom effektiv og miljøvennlig forvaltning av energiressursene.

Behovet for en samlet strategi springer ut av at energiområdene i økende grad henger sammen. Kraftsystem, petroleumsvirksomhet, industri, transport, bygg, datasentre, havbaserte næringer og nye verdikjeder påvirker hverandre gjennom felles behov for areal, nett, kompetanse, kapital, teknologi, beredskap og markedsutvikling. Samtidig skjer omstillingen i en tid preget av geopolitisk usikkerhet, skjerpede klimamål, økt oppmerksomhet om natur og arealbruk, rask teknologiutvikling og økende krav til sikkerhet og robusthet. Strategien gir derfor et grunnlag for helhetlige prioriteringer på tvers av sektorer, verdikjeder og aktører.

Formålet med strategien er å gi et tydelig grunnlag for beslutninger om forsknings- og innovasjonsinnsats fram mot 2050. Strategien setter retning for offentlig støttet FoUI-innsats og skal samtidig påvirke, motivere og mobilisere industriens egen FoUI-innsats i samme retning. Strategiens verdi avhenger derfor av at prioriteringene omsettes i reelle satsinger, tilstrekkelige ressurser og tydelig oppfølging hos både myndigheter og næringsliv. Den synliggjør hvilke satsingsområder som er særlig viktige for Norge, hvor det er behov for langsiktig kompetansebygging, og hvordan virkemidler, forskningsmiljøer, næringsliv og myndigheter må trekke i samme retning. Den skal også bidra til å styrke internasjonalt samarbeid, særlig mot EU, og til å sikre at norsk FoUI-innsats gir høy samfunnsnytte og styrker Norges posisjon som energinasjon.

Strategien tydeliggjør også hvordan norsk energi- og petroleumsrelatert kompetanse kan videreutvikles og brukes i møte med nye samfunnsbehov. Norge har sterke forskningsmiljøer, en avansert leverandørindustri, betydelig erfaring fra krevende havområder, kompetanse på kraftsystemer og erfaring med regulering, sikkerhet og samspill mellom stat, næringsliv og kunnskapsmiljøer. Energi2050 skal bidra til at slike fortrinn videreutvikles, og at nye satsinger forankres i reelle behov i energisystemet og samfunnet.



Figur 1: Energi2050s rolle i det offentlige virkemiddelapparatet er å gi anbefalinger til myndigheter om strategisk retning og omfang på FoU-innsats innen energifeltet.

1.2 ORGANISERING AV ENERGI2050 OG STRATEGIARBEIDET

Energi2050 er organisert med et styre som har ansvar for å utarbeide, forankre og jevnlig oppdatere strategien. Styret sikrer at arbeidet dekker hele energiområdet, etablerer relevante undergrupper, innhenter beslutningsstøtte fra fagmiljøer og interessenter, og gir råd til bevilgende myndigheter og næringsliv om prioriteringer. Energidepartementet gir mandat og rammer for arbeidet, mens styret prioriterer, forankrer og anbefaler nasjonale FoU-satsinger. Et sekretariat støtter styret gjennom koordinering av prosess, kunnskapsgrunnlag, dialog, kommunikasjon, dokumentasjon og oppfølging av innspill.

Strategiarbeidet bygger på en bred kombinasjon av kunnskapsgrunnlag, analyser, dialogmøter og faglige prosesser. Energi2050 har etablert to ekspertgrupper for områder som krever særskilt fordypning og tverrfaglig vurdering: Energisikkerhet og Havbunnsmineraler.

Ekspertgruppene har gitt fordypet faglig beslutningsstøtte på utvalgte områder og bidratt med analyser, vurderinger og anbefalinger. Samtidig er strategien et samlet Energi2050-produkt der innspill fra ekspertgruppene er vurdert opp mot helheten i energiområdet, øvrige kunnskapsgrunnlag og behovene som har kommet fram gjennom bred involvering.

Andre temaområder er belyst gjennom åpne innspillmøter, strategiske arbeidsmøter, seminarer, konferanser og eksterne presentasjoner. Til sammen har om lag 1000 personer fra hele interessentbildet deltatt i prosessen. Deltakerne representerer blant annet kraftselskaper, nettselskaper, oljeselskaper, leverandørindustri, øvrig industri, forskningsinstitutter, universiteter, myndighetsorganer og virkemiddelaktører.

Denne brede involveringen er avgjørende fordi strategien både skal være faglig robust, industrielt relevant og praktisk anvendbar. Involveringen hever kvaliteten på innholdet ved å bringe inn erfaringer fra hele energisystemet, gjør prioriteringene mer relevante for industriens faktiske investerings- og teknologiutfordringer, motiverer bedrifter til egen FoU-innsats og stimulerer til samhandling mellom aktører som må lykkes sammen. Prosessen bidrar samtidig til felles forståelse av målkonflikter, avhengigheter og prioriteringer, og



tydeliggjort områder som krever nasjonal samordning, langsiktig satsing og styrket kunnskapsutvikling.

Strategiprosessen har vært utformet som en kombinasjon av strukturert analyse, ekspertbidrag og bred mobilisering. Kunnskapsgrunnlag og innspill fra møter, presentasjoner og dialoger er brukt til å identifisere gjennomgående behov og prioriteringer. Prosessen har samtidig lagt vekt på sammenhenger mellom sektorer som ofte behandles hver for seg, blant annet krafttilgang, nettutvikling, energieffektivisering, industriell omstilling, teknologiutvikling, petroleumsaktivitet, CO₂-håndtering og nye næringer til havs.

1.3 SAMARBEID OG GRENSEFLATER MED VIRKEMIDDELAPPARATET OG ANDRE FOUI-STRATEGIER

Energi2050 skal virke i et landskap med mange etablerte aktører, strategier og virkemidler. Strategiens gjennomslag avhenger derfor av godt samspill med virkemiddelapparatet, forsknings- og utdanningsinstitusjoner, næringsliv, myndigheter, direktorater, tilsyn, regionale aktører og internasjonale samarbeidsarenaer. Energi2050 skal ikke erstatte disse aktørenes roller, men bidra til å koble dem bedre sammen gjennom felles kunnskapsgrunnlag, tydelige prioriteringer og bedre koordinering av FoUI-innsats.

Grenseflatene mot virkemiddelapparatet er særlig viktige. Forskningsrådet, Innovasjon Norge, Enova, Siva, Eksfin, Gassnova og andre relevante aktører forvalter virkemidler som påvirker utvikling, demonstrasjon, skalering og markedsintroduksjon av teknologi. Energi2050 skal bidra med strategisk retning ved å peke på kunnskapsbehov, flaskehalser og områder der samordnet innsats gir størst effekt.

I denne sammenhengen må Energi2050s anbefalinger omsettes til praksis gjennom utlysninger, partnerskap, demonstrasjonsarenaer, piloter og kompetansetiltak. Strategien skal bidra til bedre kobling mellom tidlig forskning, anvendt utvikling, demonstrasjon, skalering og markedsintroduksjon. Den synliggjør hvor langsiktige forskningsløp, raskere teknologiopptak eller regulatoriske avklaringer er nødvendig.

Energi2050 har også viktige grenseflater mot tidligere og eksisterende strategiarbeid på energiområdet. Strategien skal bygge videre på etablert kunnskap og erfaring fra blant annet Energi21 og OG21, samtidig som den utvikler et bredere perspektiv der energisystemer, verdikjeder, sikkerhet, beredskap, naturhensyn, industriutvikling og internasjonalt samarbeid sees i sammenheng. På denne måten kan Energi2050 bidra til å redusere fragmentering og gi en mer samlet retning for innsatsen på tvers av tradisjonelle sektorgrenser.

Grenseflatene mot europeiske og internasjonale prosesser er også vesentlige. Norsk energiforskning og teknologiutvikling skjer i økende grad i samspill med EU-programmer, internasjonale markeder og globale verdikjeder. Energi2050 skal bidra til at norske prioriteringer er tydelige nok til å styrke deltakelse internasjonalt, samtidig som strategien tar utgangspunkt i norske fortrinn, samfunnsbehov og naturressurser.

Strategien er både et prioriteringsdokument og en samhandlingsarena. Den gjør det enklere å identifisere hvilke FoUI-behov som er nasjonalt viktige, hvilke aktører som bør mobiliseres, og hvor det er behov for forsterket samarbeid. Energi2050 skal følge med på å stimulere til implementering av strategien, og strategien skal oppdateres i tråd med endringer i teknologi, markeder, politikk, sikkerhetssituasjon og andre vesentlige rammebetingelser. Gjennom å samle bredden av energiområdet i én strategi bidrar Energi2050 til at Norge utvikler kunnskap, teknologi og løsninger som forener energisikkerhet, klima- og naturhensyn, konkurransekraft og bærekraftig verdiskaping fram mot 2050.



2 Trender og utviklingstrekk for energinasjonen Norge

2.1 NORGES KOMPARATIVE FORTRINN SOM ENERGINASJON

Norge er en energinasjon med sterke posisjoner innenfor flere områder av Energi2050s faglige mandat som dekker produksjon, overføring og bruk av utslippsfri energi, leting etter, utvinning og transport av petroleum, fangst, transport og lagring av CO₂, samt havbunnsmineralvirksomhet.

Norge er i en særstilling i europeisk sammenheng med en kraftforsyning dominert av regulerbar vannkraft, supplert av vindkraft og et lite, men voksende innslag av solkraft. Fossil energi utgjør likevel fortsatt nesten halvparten av den norske energiforsyningen (NVE, 2025a). Norge har også et særskilt utgangspunkt som en europeisk petroleumsprodusent med stabil produksjon siden årtusenskiftet, med større innslag av gass over tid. I samme tidsepoke har norsk sokkel utviklet seg til å bli en av verdens mest kostnadseffektive petroleumsprovinser med lave driftskostnader og klimagassutslipp per produserte fat. Samtidig er særlig lete- og investeringskostnader på den høyere enden i et internasjonalt perspektiv (Sokkeldirektoratet, 2026a).

Norge har lang tradisjon som energieksportør til det europeiske markedet, både med rør- og skipstransport for olje og gass og stadig flere mellomlandsforbindelser for kraftutveksling med Danmark, Nederland, Tyskland og Storbritannia. Norge er i gjennomsnitt en netto krafteksportør. Etter Russlands invasjon av Ukraina har Norge også blitt EUs største leverandør av gass og en av de største leverandørene av olje (European Council, 2026). Norsk kraftproduksjon møter økende etterspørsel i markedet, og på petroleumssiden er Europa i dag helt avhengig av norske leveranser. Denne posisjonen bygger på lang norsk erfaring med teknologiutvikling og industrialisering, støttet av sterke universiteter og forskningsmiljøer, noe som over tid har gitt en kunnskapsbasert eksportnæring. Sokkelen er samtidig moden og vil kreve videre utvikling og innovasjon for å opprettholde verdiskapingen, mens Norge må forberede seg på å utnytte kunnskapen derfra bredere i takt med at petroleumsvirksomheten avtar. Samtidig er det økende etterspørsel etter kritiske mineraler, i en periode der Europa ønsker å redusere sin avhengighet av kinesisk-dominerte verdikjeder. Dette styrker et potensielt marked for norske havbunnsmineraler.

På sluttbrukssiden preges det norske energisystemet av en høy elektrifiseringsgrad. Energiforbruket har økt særlig fra tjenesteyting og transport som har mer enn veiet opp for nedgang i industrien. Elektrifiseringen av sluttbruket forventes å vokse videre i årene som kommer. Norge har lang erfaring med å integrere fornybar kraft i sluttbrukersektorene som i økende grad vil skje i kombinasjon med digitale løsninger og styring. Digitalisering og styring er nødvendig for å holde kostnadene nede i driften av et stadig mer komplekst energi- og kraftsystem.

Komparative fortrinn i industri, kompetanse og forskningsmiljøer

Norges posisjon som energinasjon bygger på flere komparative fortrinn som er knyttet til den naturlige ressursbasen og industrielle og kompetansebaserte fortrinn. Disse fortrinnene gir imidlertid ikke automatisk konkurransekraft i fremtidens energimarkeder, men de utgjør muligheter som må bygges videre på, og er et viktig argument for målrettet FoUI-innsats innenfor de prioriterte områdene.



Innen kraft og nett har Norge ledende kompetansemiljøer innen vannkraft, fra utbygging i fjellanlegg til høytrykksløsninger og kostnadseffektiv prosjektering, samt innen kraftsystemer og nettplanlegging, understøttet av en høy elektrifiseringsgrad i samfunnet for øvrig.

Innen petroleum har norsk industri og forskningsmiljøer opparbeidet seg omfattende kompetanse innen undergrunnsforståelse, kostnadseffektiv boring og brønnteologi, offshore-operasjoner og storskala prosjektgjennomføring, og er understøttet av stabile rammevilkår og et velfungerende trepartssamarbeid mellom myndigheter, selskaper og ansatte om sikkerhet og helse. Lang erfaring med industrielle operasjoner offshore samt kunnskap om havrommet og undergrunnen styrker norsk konkurranseevne innenfor verdikjeder offshore som havvind, CO₂-håndtering og -lagring og havbunnsmineraler.

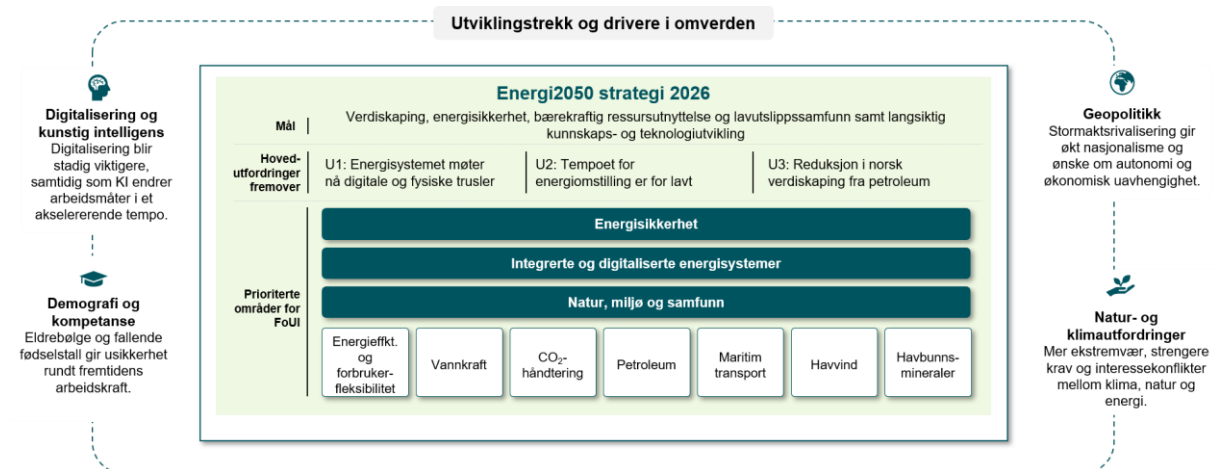
Innen maritim og prosessindustri bidrar den maritime næringen med kompetanse innen marine operasjoner, autonome fartøy og batteriteknologi, mens norske prosess- og materialteknologimiljøer har spisskompetanse innen blant annet CO₂-separasjon, elektrolyse og hydrogenhåndtering samt batterimaterialer.

På tvers av disse fagområdene står digitalisering frem som et gjennomgående satsingsområde for raskere og bedre beslutninger, fra undergrunnskartlegging til drift av kraft- og produksjonsanlegg, mens den norske arbeidslivsmodellen og erfaring med utforming av markedsdesign og rammevilkår for energisektoren utgjør ytterligere fortrinn som er relevante på tvers av energi- og mineralverdikjedene.

Samlet gir fortrinnene Norge et solid utgangspunkt for å videreutvikle energisystemet både på land og til havs for sikre og konkurransedyktige leveranser til industri og på lag med natur og samfunn.

2.2 UTVIKLINGSTREKK I OMVERDENEN

Den første Energi2050-strategien etableres i en tid der premissene for energipolitikken internasjonalt og nasjonalt er i rask endring og med større uforutsigbarhet. Siden de forrige OG21- og Energi21-strategiene, fra henholdsvis 2021 og 2022 har det skjedd betydelige endringer i omverdenen som påvirker utsiktene og rammene for utviklingen av energisystemet i Norge og Europa (se Figur 2).



Figur 2: Energi2050s strategi, omgitt av utviklingstrekkene og driverne i omverdenen

Utfordringsbildet og mulighetsrommet for energisystemet som forsknings- og innovasjonsstrategien skal bidra til å håndtere og utnytte, er definert av flere utviklingstrekk



som griper inn i hverandre: nødvendigheten av omstillingen mot lavutslippssamfunnet innen 2050, et stort kraft- og nettbehov som møter økt konfliktnivå og manglende sosial legitimitet, produksjonsfallet på sokkelen og behovet for nye energinæring, et mer alvorlig trusselbilde mot energisystemet, og sårbare verdikjeder i Norge og Europa, samtidig som digitalisering og kunstig intelligens utvikler seg i en fart det er vanskelig å følge.

Disse utviklingstrekkene kan oppsummeres som et energikvadrilemma mellom klima, natur, energisikkerhet og kostnader. Tidligere ble klima og natur gjerne sett under ett i energipolitikken, som to hensyn som trakk i samme retning. Det stemmer ikke lenger. Utbygging av fornybar kraft, nett og mineralutvinning kommer i økende grad i konflikt med naturhensyn, og det gjør at klima og natur nå må behandles som to selvstendige og til dels motstridende hensyn ved siden av energisikkerhet og kostnader. Samtidig har Russlands krig i Ukraina og skjerpet rivalisering mellom stormaktene gjort energisikkerhet langt viktigere enn før. Til sammen betyr dette at avveiningene i energipolitikken er blitt vanskeligere, og at de vil prege utviklingen av energisystemet framover.

2.2.1 Trusselbildet skjerpes, energisystemet må kunne beskyttes

Lang fredstid har gjort oss sårbare for ondsinnede handlinger. Energiinfrastruktur utsettes for målrettede angrep i åpne konflikter og som del av hybrid krigføring. Norske myndigheter har vurdert den nasjonale energiforsyningen, både offshore og på land, som utsatte for hybride virkemidler som etterretning, cyberangrep, påvirkningsoperasjoner og fysisk sabotasje. Som Europas viktigste gassleverandør og med et stadig mer integrert kraftsystem blir Norge mer eksponert og får et økt ansvar. Digitaliseringen og sektorkoblingen av energisystemet utvider samtidig angrepsflaten fra fysiske anlegg til cyberanlegg. Systemet er dimensjonert for ekstremvær, men etter lengre fredstid ikke nødvendigvis mot villedede handlinger. Sårbarheten forsterkes av strategiske avhengigheter til utenlandske leverandører av programvare, digitale komponenter, KI-plattformer og skytjenester.

Energi er blitt et aktivt virkemiddel i geoøkonomisk maktutøvelse. Russlands krigføring i Ukraina, tilspisset rivalisering mellom USA og Kina og gjentatte sabotasjeaksjoner mot energiinfrastruktur, som angrepet på Nord Stream-gassrørledningene i 2022, har vist hvor utsatt energisystemet er (PST, 2026). Maktbalansen mellom stormaktene forventes i stor grad å bestå de neste ti til tjue årene, og energi vil fortsette å være et strategisk gode snarere enn bare en handelsvare. Krittisk energiinfrastruktur er samtidig tett sammenkoblet på tvers av domener. Elektrifisering av sokkelen kobler petroleumsproduksjonen tettere til kraftnettet, mens olje- og gassinfrastrukturen understøtter kraftforsyningen gjennom gassturbiner og reservekraft. Elektrifisering og datasentre øker dessuten betydningen av kraftsystemet som krittisk infrastruktur. Bortfall i ett ledd kan dermed forplante seg i hele systemet, og nasjonal energiforsyning. Både eget bruk og leveranse til allierte forutsetter et helhetlig sikkerhetsperspektiv på tvers av kraft- og petroleumssektoren.

Energisikkerhet er derfor i ferd med å bli en av de mest sentrale utfordringene for Norge, og beveger seg fra en snever forståelse av forsyningssikkerhet til et bredere spørsmål om nasjonal sikkerhet og samfunnets samlede motstandskraft. Energisystemet må dimensjoneres for et bredt krisespekter – fra enkeltstående hendelser og naturkatastrofer til hybride angrep og væpnet konflikt – med økt vekt på robusthet, redundans og gjenopprettingsevne. I et totalforsvarsperspektiv skal energisystemet også ivareta energibehovene til militære aktører på land og til havs. Klimaendringer forsterker bildet gjennom mer ekstremvær, og alt dette skal håndteres samtidig som energiomstillingen gjennomføres sikkert og effektivt.



2.2.2 Sårbare verdikjeder kan forsinke omstillingen i Norge og Europa

Europeiske land og bedrifter har de siste årene erfart kostnadene ved energi-, teknologi-, og ressursavhengighet av enkeltland som kan brukes som politisk pressmiddel. Kritiske mineraler, solceller, batterier, elbiler og elkraftelektronikk domineres av et fåtall leverandørland. Det er økende etterspørsel etter mineraler samtidig med at Europa ønsker å redusere sin avhengighet av kinesisk-dominerte verdikjeder hvor kritiske mineraler inngår. Det styrker et potensielt marked for blant annet norske havbunnsmineraler. EU ønsker å håndtere denne risikoen gjennom mål og virkemidler for økt egen utvinning, prosessering og resirkulering av kritiske råvarer samt produksjon av lav- og nullutslippsteknologier. Økt usikkerhet, begrenset tilgang på varer og tjenester samt sårbare verdikjeder kan forsinke utbyggingen av ny energiproduksjon, nett og lagring, samt svekke beredskapsevnen på energiområdet. Norge har forekomster av viktige mineraler på havbunnen som på sikt kan bidra til mer autonome og robuste europeiske verdikjeder og er både et sikkerhetspolitisk anliggende og en næringsmulighet.

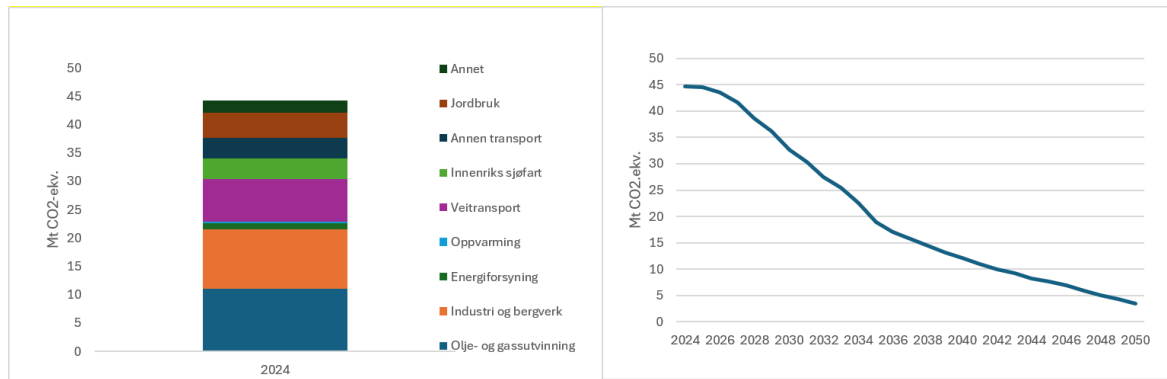
Energisikkerhet handler dermed i økende grad også om strategisk autonomi og teknologisk resiliens. Tilgang til kritiske råvarer, komponenter, digitale løsninger, KI og nødvendig kompetanse blir stadig viktigere for å sikre robust utvikling og drift av energisystemet, og konsentrerte forsyningskjeder representerer en ny sårbarhet som må inngå i vurderingen av norsk energisikkerhet.

2.2.3 Lavutslippssamfunnet i 2050 krever omstilling av hele energiområdet

Norge har lovfestet et klimamål om lavutslippssamfunnet i 2050 som innebærer en utslippsreduksjon på 90-95 % sammenlignet med 1990. Klimamålet innebærer en bred samfunnsomstilling der husholdninger, transport, næring og industri skal over på utslippsfrie energibærere, samtidig som energien skal være tilgjengelig, konkurransedyktig og sikker. Figur 3 viser at 99 % av utslippene i 2024 var knyttet til bruk av fossile energivarer i ulike sektorer, som må erstattes med lav- og nullutslippsalternativer for å nå målet om lavutslippssamfunnet i 2050.

Omstillingen treffer energiverdikjedene i Energi2050s mandat fra utslippsfri kraft-, varme- og drivstoffproduksjon, via CO₂-håndtering og hydrogen, til energieffektive sluttbrukere og klimavennlig transport. Utviklingen mot lavutslippssamfunnet danner den langsiktige rammen som de øvrige utfordringene må vurderes innenfor.

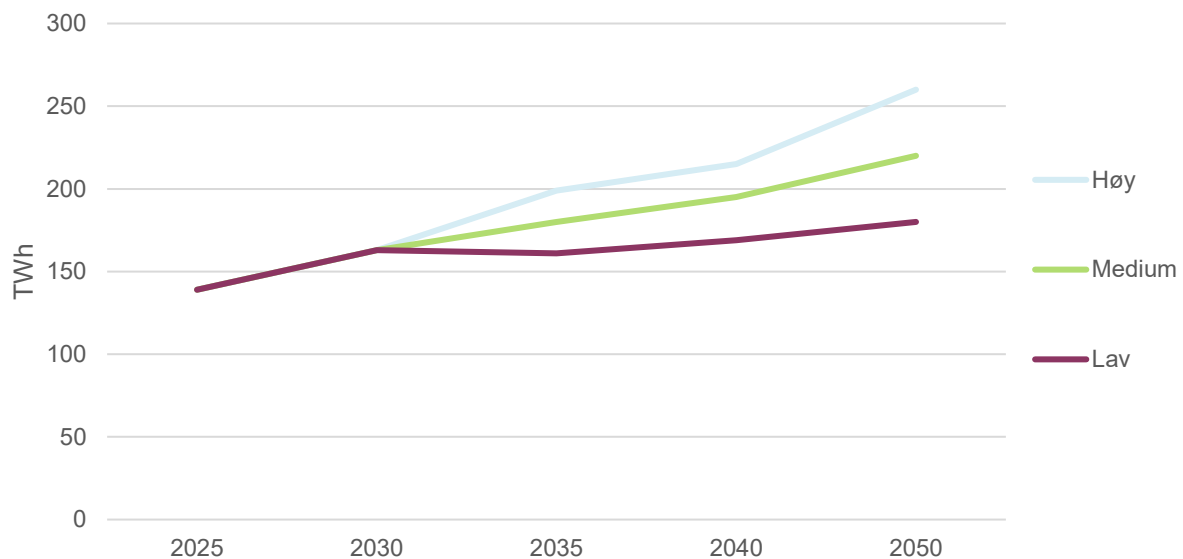
Både globalt og i Norge går omstillingen for langsomt til å være i tråd med Parisavtalens mål. FNs miljøprogram anslår at full gjennomføring av landenes klimaplaner vil gi en global oppvarming på 2,3–2,5 °C, godt over målet om å holde oppvarmingen godt under 2 °C og fortsette arbeidet for å begrense den til 1,5 °C. I Norge viser regjeringens klimastatus og -plan at det fortsatt er et gjenstående utslippsgap mot 2030-målet under klimasamarbeidet med EU, selv med vedtatt og planlagt politikk. Dette gapet illustrerer at Norge og verden ligger dårlig an til å nå klimamålene med dagens virkemidler og teknologier, og understreker behovet for at mange av teknologiene som omtales i denne strategien tas i bruk i stort omfang og i raskere tempo enn i dag.



Figur 3: Utslipp i 2024 fordelt på sektor (til venstre) og Miljødirektoratets hovedbane mot lavutslippssamfunnet i 2050 (til høyre)

2.2.4 Kraftbehovet vokser raskere enn utbygging av produksjon og nett

Klimaomstilling med elektrifisering og utvikling av ny næringsvirksomhet kan gi et betydelig og voksende kraftbehov. Statnett anslår at det norske kraftforbruket kan øke fra om lag 140 TWh til mellom 180 og 260 TWh i 2050 (se Figur 4). Energibalansen ventes å strammes til allerede i inneværende tiår. Dette forutsetter at planlagte prosjekter gjennomføres. Så langt har veksten gått tregere enn ventet, og elektrisitetsforbruket har vært tilnærmet uendret det siste tiåret. Utbyggingen av ny produksjon og nett går samtidig vesentlig saktere enn behovsveksten tilsier, og tiden fra konsesjonssøknad til kraft i nettet kan i dag overstige et tiår.



Figur 4: Scenarier for kraftforbruk i Norge mot 2050 (Statnett, 2025)

Ny kraftproduksjon er en viktig forutsetning for både energisikkerhet og omstilling. Tilgang på rikelig, ren og rimelig kraft har vært et av Norges viktigste konkurransefortrinn og er en forutsetning for elektrifisering, ny industri og for at Norge skal kunne være en robust energipartner for Europa. I dag står utbyggingen nærmest stille. I de fire første månedene av 2026 ble det satt i drift bare 30 MW og 64 GWh ny kraftproduksjon, og NVE beskriver dette som del av en større trend der lite ny produksjon er satt i drift de siste årene. Samtidig har 280 prosjekter alle nødvendige tillatelser uten at utbyggingen er startet (NVE, 2026a). Utbyggingen av vindkraft på land har falt kraftig, havvind er forsinket, og potensialet for ny vannkraft er begrenset. Uten ny produksjon risikerer Norge en strammere kraftbalanse,



høyere priser og at elektrifiseringsprosjekter og ny næringsvirksomhet utsettes eller skrinlegges, slik vi allerede har sett for elektrifisering av sokkelen.

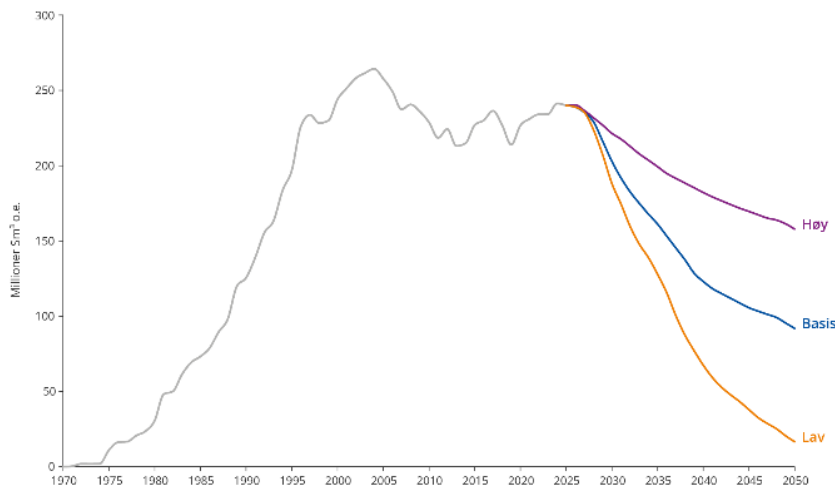
Nettkapasitet er i mange områder blitt en begrensende faktor for ny industri og elektrifisering. Forespørslene om nettilknytning overstiger i mange områder den tilgjengelige kapasiteten, og køen av tilknytningssaker vokser. Det er behov for mer effektiv utnyttelse av det eksisterende nettet med fleksibel tilknytning, forbrukerfleksibilitet, digitalisering og bedre utnyttelse av overføringskapasiteten som tiltak på kort sikt, i tillegg til ny utbygging.

Videre er ikke barrierene for utbygging nødvendigvis teknologiske. Erfaringer fra vindkraft på land viser at kraftprosjekter kan miste oppslutning når arealbruk, naturinngrep og fordeling av verdier og ulemper oppleves som urimelige. Uten sosial legitimitet risikerer lønnsomme prosjekter å bli forsinket eller skrinlagt. Kunnskap om naturvirkninger, arealbruk og sameksistens, bedre beslutningsprosesser og rammevilkår som oppleves som rettferdige, er en sentral del av utfordringsbildet.

2.2.5 En moden sokkel krever innsats for å motvirke produksjonsfall og for å utvikle ny næring

Petroleumsvirksomheten er Norges største næring og en viktig bærebjelke for norsk verdiskaping, eksportinntekter, sysselsetting og europeisk energisikkerhet. Samtidig er norsk sokkel i en tydelig modningsfase. Produksjonen ventes å avta fram mot 2050 etter hvert som ressursgrunnlaget utnyttes, og Søkeldirektoratets basisbane viser en reduksjon på over 60 prosent mot 2050 (se Figur 5). Investeringene ventes også å avta gradvis etter 2030 når store utbyggingsprosjekter ferdigstilles. Dermed er utfordringen ikke først og fremst manglende markedsetterspørsel, men at norsk sokkel blir mer ressurs-, kostnads- og infrastrukturbegrenset.

Aktivitetsfallet vil allerede de nærmeste årene kunne treffe leverandørindustrien og gjøre det mer krevende å opprettholde arbeidsplasser og en kompetansebase bygget opp gjennom femti år. Omsetningen i leverandørindustrien knyttet til petroleumsnæringen var 497 mrd. kroner i 2024, mens omsetningen knyttet til fornybart, hydrogen og CCS til sammen var 108 mrd. kroner (Multiconsult et al., 2025). Fallende aktivitet kan derfor svekke fagmiljøer og leverandørkapasitet før nye energi- og havnæringer er modne nok til å ta over. Samtidig har kompetansen fra sokkelen stor overføringsverdi til CO₂-lagring, havvind, hydrogen, havbunnsmineraler og maritime lavutslippsløsninger, forutsatt at nye anvendelser utvikles i tide.



Figur 5: Tre mulighetsbilder for produksjonen av olje og gass mot 2050 (Sokkeldirektoratet, 2026a)

Behovet for å dempe den bratte produksjonsnedgangen på sokkelen er viktig av flere grunner. Effektiv ressursutnyttelse med lave utslipp fra eksisterende felt og infrastruktur bidrar til europeisk energisikkerhet i en periode med fortsatt importbehov, samtidig som det opprettholder norsk verdiskaping. Mulighetsrommet er tidskritisk: Dersom aktivitet, kompetanse og leverandørkapasitet bygges ned for raskt, kan Norge både miste verdier fra gjenværende ressurser og svekke grunnlaget for nye havbaserte energi- og mineralnæringer.

Norsk sokkel har fortsatt betydelige gjenværende ressurser, men de er mer krevende å realisere enn tidligere. Sokkeldirektoratet anslår at om lag 6,8 av totalt 15,7 mrd. Sm³ o.e. ennå ikke er produsert. Om lag halvparten er reserver og ressurser i eksisterende felt og funn, mens resten er uoppdagede ressurser, særlig i Barentshavet og delvis i områder som ikke er åpnet for petroleumsvirksomhet (Sokkeldirektoratet, 2026a, 2026b). Mulighetsbildene for produksjonen begynner å sprike allerede mot slutten av 2020-tallet, og beslutninger om leting, arealtilgang, teknologi og investeringer de nærmeste årene får derfor stor betydning for produksjonsnivå, verdiskaping og leverandøraktivitet fram mot 2050.

Ressursbildet blir samtidig mer krevende. Letingen skjer i stor grad i godt utforskede områder der funnene ofte er små, og uten større funn kan produksjonsfallet akselerere etter 2030. De fleste funn som ennå ikke er besluttet utbygd, er små og avhengige av å knyttes til eksisterende infrastruktur. Denne infrastrukturen er aldrende, og når produksjonen på vertsfeltene faller, øker enhetskostnadene. Det haster derfor å realisere små og marginale funn før vertsinfrastruktur stenges ned. Dette krever teknologi som gjør flere ressurser lønnsomme, bedre bruk av eksisterende infrastruktur og at produksjons- og infrastrukturtiløsninger i økende grad vurderes på områdenivå, også på tvers av lisensgrenser.

2.2.6 Norge må håndtere et generasjonsskifte i energikompentansen samtidig som KI endrer hvordan vi jobber og systemet driftes

Energiomstillingen skal gjennomføres samtidig som befolkningen i Europa blir eldre og arbeidsstyrken vokser saktere. Tilgangen på tilstrekkelig kvalifisert arbeidskraft kan fremover bli avgjørende for tempo i omstillingen av energisystemet og verdiskapingen fra fremtidens energi- og mineralnæringer.



På sokkelen og i forskningsmiljøene går mange erfarne ansatte av med pensjon og tar med seg kunnskap bygget opp over tiår. På land kan mangel på fagarbeidere og ingeniører bremse netttutbygging og elektrifisering. Samtidig som det er behov for å bygge arbeidskapasitet og domenekunnskap, blir det også stadig viktigere å koble denne kunnskapen med kunstig intelligens som kan utløse nye innsikter og effektivisere prosesser. Eksempelvis kan KI brukes i driftssentraler og nettplanlegging til å forutsi last, oppdage feil tidlig og utnytte kapasiteten i eksisterende nett. Offshore kan kunstig intelligens og digital infrastruktur muliggjøre bedre undergrunnsforståelse, effektiv leting og boring samt lavere vedlikeholdskostnader. Teknologiutvikling og arbeidskraftbehov må derfor ses i sammenheng: digitalisering og effektivisering av prosesser er ett av flere verktøy som kan bidra til å møte lavere tilgang på kvalifisert arbeidskraft.

Norge har et solid utgangspunkt med høy digital kompetanse og lang industriell erfaring. Samtidig går utviklingen innen KI svært raskt og ledende nasjoner og aktører kan hente ut store gevinster og sette begrensninger for utenforstående av hensyn til strategisk autonomi.

2.3 FOUI KAN SPILLE EN ROLLE FOR Å HÅNDTERE UTFORDRINGER OG GRIPE MULIGHETENE I OMVERDENEN

Norge står overfor flere store utfordringer i utviklingen av energisystemet både de neste årene og tiårene. Utviklingstrekkene i omverden går til dels raskere enn vi greier å reagere: trusselbildet skjerpes og et endret verdensbilde innebærer at vi må gjøre større tiltak for å oppnå et sikkert og pålitelig energisystem og kraftbehovet vokser raskere enn utbyggingen av produksjon og nett. Samtidig trenger vi tilgang på fornybar kraft, varme og drivstoff for å nå målet om lavutslippssamfunnet og vi må utvikle og omstille petroleumsvirksomheten i en modningsfase, også for å ivareta energikompetansen i møte med et generasjons- og bransjeskifte. Uten tilstrekkelig handling vil disse utviklingstrekkene over tid kunne svekke Norges evne til å håndtere sårbarheter, gjennomføre omstillingen og utnytte nye industrielle muligheter for verdiskaping av energi og mineralnæringene.

Forskning, utvikling og innovasjon (FoUI) spiller en viktig rolle for å møte de nevnte utfordringene. Norge har også flere industrielle og kunnskapsbaserte komparative fortrinn som et solid utgangspunkt for å realisere mulighetene for en konkurransedyktig, bærekraftig og pålitelig energinæring. Effektene av FoUI-innsatsen for å løse utfordringene og gripe mulighetene avhenger av at initiativer igangsettes nå, og det haster. Det offentlige har et særlig ansvar for grunnleggende forskning og relevant utdanning, områder næringslivet i mindre grad dekker selv, og eventuelle kutt i offentlige bevilgninger vil derfor ramme bredere enn i mer anvendt og næringsvilk nær FoUI. Kunnskap, teknologi og løsninger som skal være klare til bruk i dag eller om ti eller tjue år, kan ha ulike utviklingsløp som krever tiltak nå om man skal sikre en utvikling i tråd med Energi2050s mandat. Forsinket handling kan begrense handlingsrommet for utviklingen av energisystemet mot 2050.

I lys av utviklingstrekkene i omverden som treffer energisystemet og dagens perspektiver på utviklingen av energisystemet, har Energi2050 identifisert følgende tre hovedutfordringer som skal svares ut i denne strategien:

- Utfordring 1: Energisystemet, bygget for fredstid, møter nå digitale og fysiske trusler.
- Utfordring 2: Tempoet for energiomstilling er for lavt i forhold til nasjonale klimaambisjoner og ny næringsutvikling.
- Utfordring 3: Reduksjon i norsk verdiskaping etter ventet nedgang i petroleumsvirksomheten.



Disse tre utfordringene danner rammen for Energi2050s prioritering av forsknings- og innovasjonsinnsatsen. En tydelig opptrapping av FoUI-innsatsen vil bidra til at Norge har de løsningene, et sterkt kompetansegrunnlag og de næringene som skal bære energinasjonen mot 2050.



3 Prioriterte forsknings- og innovasjonsområder

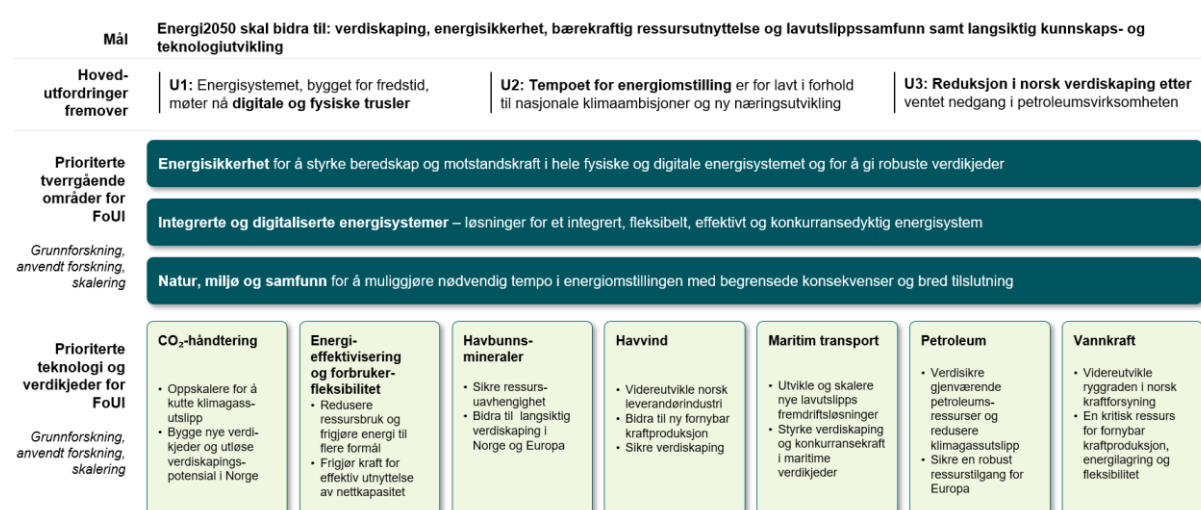
3.1 ENERGI2050S PRIORITERING AV FORSKNINGS- OG INNOVASJONSINNSATSEN

Energi2050-strategien skal være retningsgivende for myndighetenes og næringslivets samlede forsknings- og innovasjonsinnsats på hele energiområdet, inkludert havbunnsmineraler. Strategien skal bidra til å styrke sikkerheten, konkurransekraften og verdiskapingen i energisystemet i omstillingen mot lavutslippssamfunnet i 2050 og bidra til langsiktig kunnskaps- og teknologiutvikling.

Årets Energi2050-strategi er den første av sitt slag, men bygger videre på OG21- og Energi21-strategiene som er videreutviklet over flere år og revisjoner. Prioriteringen av forsknings- og innovasjonsområder er begrunnet i hvordan hvert område bidrar til å nå målene i mandatet, til å møte de tre aktuelle utfordringene energiområdet møter beskrevet i kapittel 2 og en vurdering av i hvilken grad særlig forskning og innovasjon er avgjørende for å overkomme utfordringene eller utløse mulighetene. En prioritering av et område innebærer at forsknings- og innovasjonshøyden er betydelig og at innsatsen i form av midler og aktivitet bør styrkes relativt til andre områder innenfor Energi2050s mandat. Ansvaret for å styrke innsatsen ligger hos myndighetene, Energidepartementet med andre departementer med overlappende ansvar og samarbeid, forskningsmiljøene og industrien.

Strategiarbeidet bygger på en kombinasjon av kunnskapsgrunnlag og analyser, omfattende dialogmøter med og innspill fra representanter fra industrien, akademien og forskningsinstitutter og jevnlig arbeids- og styremøter med Energi2050-styret gjennom 2025 og 2026. Strategien er forankret i Energi2050-styret som består av representanter for hele energiområdet og havbunnsmineraler fra industrien, akademien, forskningsinstituttene og direktoratene. En nærmere beskrivelse av metodikk og prosess for valg av de strategiske prioriteringene finnes i kapittel 6.4.

Energi2050 anbefaler at forsknings- og innovasjonsinnsatsen rettes mot følgende områder:



Figur 6: Energi2050s satsningsområder



De prioriterte forsknings- og innovasjonsområdene i Energi2050 utgjør en portefølje, der hvert område har et selvstendig bidrag og potensial til måloppnåelse og som vil kunne bidra til Energi2050s mål utover i tid. I tillegg vil de prioriterte områdene og den samlede porteføljen dra nytte av kunnskapsmessige og industrielle synergier.

Energi2050-strategien fra 2026 består av tre tverrgående prioriteringer som er avgjørende for utviklingen av hele energisystemet: energisikkerhet, integrerte og digitaliserte energisystemer samt natur, miljø og samfunn. Videre består porteføljen av sju verdikjede- og teknologiområder som særlig støtter opp om videreutvikling og optimal utnyttelse av eksisterende kraftinfrastruktur på kortere sikt og utvikling av nye lav- og nullutslipps energibærere og en opsjon for utvikling av mineralverdikjeder. Både prioriteringene og teknologiområdene bygger på dagens omverdensanalyse, og hele porteføljen må forventes å oppdateres i takt med utviklingen fram mot 2050. Samlet dekker prioriteringene motstandsdyktigheten i systemet som skal driftes, tempoet i omstillingen som skal gjennomføres, næringsgrunnlaget som skal videreutvikles, og forventningen fra samfunnet om en bærekraftig utvikling.

3.1.1 Tverrgående satsinger for å møte FoUI-behov på tvers av energisystemet

Energi2050 løfter i strategien tre fagområder som er spesielt sentrale for å møte et mer komplekst og sammensatt energisystem i omstilling mot flere energibærere med nye egenskaper, tettere sammenkobling av fysiske og digitale løsninger, og som skal operere innenfor bredere rammer for samfunnsutvikling.

Energisikkerhet

Energisikkerhet er viktig for å styrke beredskap og motstandskraft i hele energisystemet og for å sikre verdikjeder i en ny trusselsituasjon. Rammene og betingelsene for energisystemet er fundamentalt endret med et skjerpet trusselbilde, geopolitisk rivalisering, klimaendringer, digitalisering og kunstig intelligens i rask utvikling gir nye sårbarheter. Erfaringene fra Russlands krig mot Ukraina viser hvor viktig en stabil energiforsyning er for et lands motstands- og forsvarsevne ettersom samfunnet blir stadig mer avhengig av en stabil energiforsyning.

Energisikkerhet i den nye trusselsituasjonen er et varig og kritisk premiss for utviklingen av energisystemet og Energi2050s mandat. Målrettet FoUI i Norge og sammen med våre allierte, må bidra til å gi et mer motstandsdyktig energisystem og redusere sårbarheter i kritisk infrastruktur og verdikjeder, samt redusere strategiske avhengigheter til teknologier, komponenter og råvarer. Et motstandsdyktig energisystem er også nødvendig for å trygge energiforsyningen til næringer og områder med høy strategiske verdi for Norge, og våre alliertes økonomiske sikkerhet. Det er nødvendig å starte den nasjonale satsingen nå, som et supplement til – ikke en erstatning for – den ordinære energiforskningen, og med ressurser som er dimensjonert i tråd med ambisjonene.

Integrerte og digitaliserte energisystemer

Integrerte og digitaliserte energisystemer handler om å finne løsninger for at et mer sammenkoblet og komplekst energisystem kan forbli et effektivt, fleksibelt og konkurransedyktig energisystem. Forskningsområdet omfatter alle komponenter, både fysiske, digitale og markedsmessige som inngår i energisystemet.

Et motstandsdyktig og sammenhengende system er en forutsetning for å ta i bruk ny fornybar kraft raskt nok til å nå klimaambisjonene. Det er behov for FoUI som styrker



systemstyring og utnyttelse av infrastruktur på tvers av energiverdikjedene. Integrerte energisystemer vektlegger FOUI-behov i den lavere del av krisespekteret¹, og er særlig viktig for å sikre en kostnadseffektiv og sikker overgang til et lavutslippssystem. Satsingsområdet er tett koblet til energisikkerhet som særlig ser på FOUI-behovet knyttet til økt sårbarhet i den øvre del av krisespekteret.

Natur, miljø og samfunn

FoUI-området «Natur, miljø og samfunn» er vesentlig for å muliggjøre et tilstrekkelig tempo i energiomstillingen på en måte som begrenser konsekvensene for natur og miljø, sikrer bred tilslutning i befolkningen og ivaretar minoritetsrettigheter. Sosial legitimitet og bærekraftig arealbruk er en forutsetning for å realisere ny og videreutvikle eksisterende energi-infrastruktur, og for å etablere ny industri og næringsvirksomhet. Sentrale FoUI-behov er miljødesign, rammeverk for konsekvensvurderinger og rettferdige prosesser som reduserer konflikt og forsinkelser.

3.1.2 Teknologisatsinger med stort potensial for måloppnåelse med FoUI

Energi2050-strategien løfter, i tillegg til de tre tverrgående områdene, sju spesifikke verdikjede- og teknologiområder. Områdene er valgt fordi de har stort potensial for verdiskaping, energisikkerhet eller pålitelige energileveranser, samtidig som det er et betydelig FoUI-behov for å overkomme barrierene de står overfor. Norge vurderes også å ha særlig gjennomføringsevne til å ta eller opprettholde ledende posisjoner innenfor FoUI og industri på disse områdene. Områdene er presentert i alfabetisk rekkefølge.

CO₂-håndtering

CO₂-håndtering er avgjørende for å nå nasjonale og internasjonale klimaambisjoner, fordi verdikjeden muliggjør utslippsreduksjoner i sektorer og prosesser som er vanskelige å elektrifisere. Området bygger videre på kompetanse og industriell erfaring fra sokkelen, prosessindustrien og avfallsbransjen, og har potensial til ny industriell verdiskaping i årene som kommer. Det er behov for FoUI som reduserer kostnader og kvalifiserer teknologi i hele verdikjeden fra fangst til lagring, og som muliggjør oppskalering.

Energieffektivisering og forbrukerfleksibilitet

Energieffektivisering og forbrukerfleksibilitet er viktig for å utnytte både energien og selve energiinfrastrukturen enda mer effektivt. Energieffektivisering, fleksibilitet og bruk av riktig energibærer til riktig formål kan redusere energibruk og effektopper, frigjøre kraft og nettkapasitet og gjøre det mulig å utnytte eksisterende infrastruktur mer kostnadseffektivt. Det er behov for FoUI som utvikler teknologi, markedsmodeller og løsninger som gjør det enklere og mer lønnsomt å flytte, redusere og tilpasse energibruken.

Havbunnsmineraler

Havbunnsmineraler prioriteres fordi det er behov for å styrke kunnskapsgrunnlaget om mineralressursene og miljøsårbarhetene på norsk sokkel. Ressursene kan styrke europeisk forsyningssikkerhet for kritiske mineraler og på lengre sikt gi ny industriell verdiskaping basert på eksisterende offshore- og maritim kompetanse. Samtidig er dyphavsøkosystemer mindre kartlagt og mulig påvirkning fra fysiske inngrep må forstås bedre. Det er også behov for FoUI som utvikler forståelse, rammeverk og teknologi for å begrense natur- og miljøpåvirkninger ved en eventuell utvinning.

¹ Se kapittel 3.2 for en nærmere omtale av krisespekteret.



Havvind

Havvind prioriteres fordi Norge har gode naturgitte forhold og overførbar kompetanse fra havbaserte næringer. Det gir grunnlag for å videreutvikle en eksportrettet leverandørindustri, samtidig som havvind har potensial for et vesentlig energibidrag til energiomstillingen. Det er behov for FoUI som reduserer kostnadene for havvind og videreutvikler norsk leverandørindustri.

Klimavennlig maritim transport

Klimavennlig maritim transport prioriteres fordi Norge har betydelig maritim virksomhet med stort potensial for avkarbonisering, og en komplett, konkurransedyktig verdikjede med lang industriell erfaring å bygge videre på. Området kan samtidig støtte utviklingen av nye offshore energi- og mineralverdikjeder med lav- og nullutslippsløsninger. Det er behov for FoUI innen nye fremdriftssystemer med lave utslipp og havneinfrastruktur.

Petroleum

Petroleumsvirksomheten er en bærebjelke i norsk verdiskaping og i europeisk energisikkerhet, samtidig som sokkelen modnes og produksjonen ventes å avta. Ressursbasen er mer kompleks enn tidligere, funnene blir mindre, og aldrende infrastruktur gjør det stadig mer krevende å hente ut mer fra eksisterende felt for å motvirke produksjonsfall. En styrket FoUI-innsats de nærmeste årene kan bidra til å gjøre flere ressurser på sokkelen konkurransedyktige å utvinne, og til å redusere kostnader og klimagassutslipp fra eksisterende og nye felt. Området bidrar dermed til å sikre verdien av gjenværende petroleumssressurser for Norge, og til stabile leveranser fra norsk sokkel som styrker Europas energisikkerhet på veien mot klimanøytralitet i 2050.

Vannkraft

Vannkraft er ryggraden i norsk kraftforsyning og en kritisk ressurs for fornybar kraftproduksjon, energilagring og fleksibilitet. Det er ingen andre land i Europa hvor vannkraften spiller en like viktig rolle i kraftforsyningen. Med sine systemtekniske egenskaper er den samtidig en av Norges viktigste beredskapsressurser. Det er behov for FoUI som videreutvikler vannkraften, øker verdien av eksisterende ressurser og tilpasser vannkraftsystemet til effektiv og sikker drift i framtidens energisystem.



3.1.3 Porteføljen av prioriterte forsknings- og innovasjonsområder svarer ut hovedutfordringene og kan muliggjøre synergier

Tabellen nedenfor oppsummerer særlige bidrag hvert av de prioriterte forsknings- og innovasjonsområdene bidrar mest til. Områdene kan bidra til én eller flere av utfordringene, og markeringene angir hovedbidrag, og er ikke en avgrensning av områdets betydning.

Prioritert forsknings- og innovasjonsområde	Energisystemet møter nå digitale og fysiske trusler	Tempoet for energiomstilling er for lavt	Reduksjon i norsk verdiskaping fra petroleum
Energisikkerhet	•		
Integrerte og digitaliserte energisystemer	•	•	
Natur, miljø og samfunn		•	
CO ₂ -håndtering		•	•
Energieffektivisering og forbrukerfleksibilitet	•	•	
Havbunnsmineraler	•		•
Havvind		•	•
Klimavennlig maritim transport		•	•
Petroleum	•		•
Vannkraft	•	•	

Tabellen viser at ingen av de ti prioriterte områdene alene svarer ut alle tre hovedutfordringene. De fleste områdene bidrar likevel til mer enn én utfordring samtidig, noe som viser at porteføljen i stor grad er satt sammen av områder som løser flere problemer på én gang, fremfor områder med et smalt og isolert nedslagsfelt. Det er nettopp dette som gjør en samlet portefølje mer robust enn enkeltsatsinger: energisikkerhet, tempoet i omstillingen og fallende verdiskaping fra petroleum er utfordringer av svært ulik karakter, og få enkelttiltak vil kunne løse alle tre alene.

Sammensetningen av områder som utfyller hverandre på tvers av disse utfordringene reduserer sårbarheten for at ett område ikke leverer som forventet, samtidig som porteføljen samlet dekker bredden i mandatet. Områdene varierer også i tid og industrielt utgangspunkt. Noen representerer kortsiktige tiltak bygget på en industriell posisjon Norge allerede har i dag, mens andre er mer langsiktige og peker mot muligheter som ennå må bygges. Denne spredningen i modenhet og utgangspunkt er en styrke ved porteføljen, og sikrer bidrag både nå og videre fram mot 2050. Porteføljens bredde, ikke enkeltområdene alene, gjør den egnet til å møte Energi2050s mandat.



3.2 ENERGISIKKERHET

Energisikkerhet er en forutsetning for å realisere alle Energi2050s mål i et sammensatt trusselbilde. Uten et motstandsdyktig og pålitelig energisystem svekkes både norsk verdiskaping, evnen til å ivareta sikker energiforsyning, og mulighetene for en bærekraftig omstilling mot et lavutslippssamfunn innen 2050.

En styrket FoUI-satsing på energisikkerhet retter seg mot hovedutfordringen knyttet til at det fysiske og digitale energisystemet, bygget for fredstid, møter et sammensatt trusselbilde, og vil bidra til å:

- Styrke sikkerhet, konkurransekraft og verdiskaping i hele energinæringen i et sammensatt trusselbilde, og trygge Norges rolle som stabil energileverandør til Europa og allierte.
- Sikre langsiktig kunnskaps- og teknologiutvikling som gjør energisystemet i stand til å levere sikker og effektiv energiforsyning gjennom en periode med rask omstilling og et vesentlig skjerpet trusselbilde.

Norge har et sterkt utgangspunkt som en stabil og demokratisk energileverandør med en sentral posisjon i det nordiske og europeiske energisystemet. Norge dekker i dag om lag en tredjedel av Europas og Storbritannias gassforbruk (Gassco, 2025), har kraftforbindelser til seks land og et bredt industrielt og kompetansemessig fundament på tvers av kraft-, petroleums- og fornybarnæringen. Dette gir Norge et komparativt fortrinn til å utvikle løsninger som også kan styrke energisikkerheten hos allierte og partnerland.

Samtidig viser en kartlegging at bare 11 av om lag 480 pågående forsknings- og innovasjonsprosjekter på energi- og petroleumsområdet ser på energisikkerhet direkte (Energi2050, 2026a), noe som tyder på at dagens innsats i liten grad reflekterer alvorret i trusselbildet. En styrket FoUI-satsing kan derfor utløse betydelig måloppnåelse gjennom en umoden verdikjede for sikkerhetsrettede energiløsninger, kostnadseffektive fellesløsninger og bedre utnyttelse av eksisterende ressurser og infrastruktur.

Energisikkerhet er ett av tre tverrgående satsingsområder i Energi2050-strategien, sammen med «Integrerte energisystemer» og «Natur, miljø og samfunn». Fremdrift på disse områdene forutsetter en helhetlig tilnærming, der kunnskaps- og teknologiutviklingen ses i sammenheng. Det henvises til kap. 3.3 og 3.4.

Utfordringsbildet for energisikkerheten er beskrevet i kapittel 2.2.1 og 2.2.2: et vesentlig skjerpet sikkerhetspolitisk trusselbilde der energi brukes som maktmiddel, tett sammenkobling mellom kraftsystemet og olje- og gassinfrastrukturen, strategiske avhengigheter i forsyningskjeder for kritiske innsatsfaktorer, og nye digitale sårbarheter. Dette delkapitlet beskriver hvordan energisikkerhet må forstås langs krisespekteret, hvilke barrierer som må overkommes, og hvilke forsknings- og innovasjonsbehov som følger av dette.

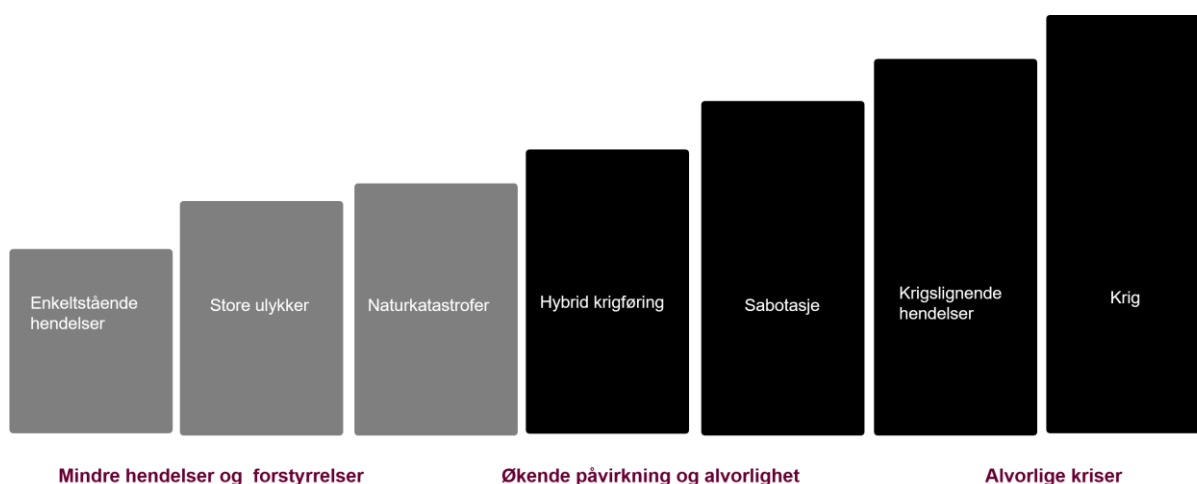
3.2.1 Energisikkerhet som en forutsetning for Energi2050s måloppnåelse

Energisikkerhet omfatter det fysiske og digitale energisystemets evne til å sikre kontinuerlig tilgang til energi med tilstrekkelig kvalitet, kapasitet og økonomisk bærekraft, både under normale driftsforhold og ved ekstraordinære hendelser. Området strekker seg over hele energiverdikjeden, fra mineraler, råvarer og komponenter til kraftproduksjon, kraftnett og petroleumsvirksomhet og til lagring, hydrogen og andre energibærere. Deler av det norske fysiske og digitale energisystemet, særlig innen vannkraft og kraftoverføring, er allerede bygget med krav til beredskap og sikring. Samtidig er den øvrige forsknings- og



innovasjonsporteføljen i begrenset grad innrettet mot det alvorlige trusselbildet beskrevet i kapittel 2.2.1, og fagfeltet fremstår derfor som umodent sett i forhold til utfordringens omfang.

Energisikkerhet må forstås langs et bredt krisespekter (også omtalt som krisepyramiden), som spenner fra fred, via sikkerhetspolitisk krise, til væpnet konflikt – fra enkeltstående hendelser og store ulykker, via naturkatastrofer, til hybrid krigføring, sabotasje og krigslignende handlinger (se Figur 7). Deler av dagens energiinfrastruktur, særlig innen vannkraft og kraftoverføring, er bygget med krav til beredskap også høyt i dette spekteret. Energisikkerhet handler imidlertid i økende grad om de øvre og mest alvorlige delene av krisespekteret – evnen til å opprettholde og gjenopprette energiforsyningen under sikkerhetspolitiske kriser, hybride angrep og væpnet konflikt, ikke bare ved ordinære driftsforstyrrelser. Forsknings- og innovasjonsbehovet øker i omfang og kompleksitet jo høyere man beveger seg i krisespekteret.



Figur 7: Krisespekteret fra mindre hendelser til alvorlige kriser

Styrket energisikkerhet forutsetter et systemperspektiv som ser kraftsystem, petroleumsvirksomhet og andre energibærere i sammenheng. De følgende avsnittene beskriver barrierene som må overkommes for å styrke energisikkerheten.

Barrierer for styrket energisikkerhet

De viktigste barrierene for styrket energisikkerhet er at dagens forsknings- og innovasjonsportefølje i begrenset grad reflekterer det alvorlige trusselbildet, at overgangen fra prototyp til marked er svak i en umoden verdikjede for sikkerhetsrettede energiløsninger, og at kompetanse og gjennomføringskapasitet er en knapphetsfaktor i konkurranse med andre sektorer og land. Forsknings- og innovasjonsbehovet øker i omfang og kompleksitet jo høyere man beveger seg i krisespekteret, mens dagens energiinfrastruktur i hovedsak er utviklet for normalsituasjoner.

Barrierene kan struktureres rundt fire gjensidig avhengige dimensjoner, som til sammen beskriver hva som må på plass for å styrke energisikkerheten.

Geopolitisk og strategisk kontekst – eksterne risikofaktorer

Denne dimensjonen dekker de eksterne risikofaktorene som påvirker det fysiske og digitale energisystemet og energimarkedene, herunder stormaktsrivalisering, geopolitisk fragmentering, klimaendringer og tilgang til energiressurser, kritiske mineraler, materialer og komponenter. Energi- og ressursmarkedene preges av økt fragmentering og svekket



internasjonalt samarbeid, og rivaliseringen mellom USA og Kina driver et skifte fra multilaterale energimarkeder til bilaterale og blokkbaserte løsninger, mens verdikjedene for mange kritiske råvarer er konsentrert hos land som bruker dem som strategiske virkemidler. Dette svekker forutsigbarheten i globale energimarkeder og øker risikoen for avbrudd i forsyningskjeder, prissvingninger og politisk betingede restriksjoner. For en liten, åpen økonomi som Norge gir det økt sårbarhet knyttet til import-, teknologi- og innsatsfaktoravhengighet, og økte krav til nasjonal beredskap og diversifisering av forsyningskjeder.

Markedsmessige og institusjonelle rammer – styring

Denne dimensjonen omfatter styringssystemene som forsterker eller reduserer energisikkerheten: markedsdesign og regulering, juridisk og regulatorisk rammeverk for å beskytte norske energi- og havressurser, organisering og ansvarsfordeling mellom aktører, og sivil-militær samhandling. Dagens markedsdesign og regulatoriske rammeverk er utviklet i en periode preget av fred og stabilitet, og er primært innrettet mot effektiv ressursutnyttelse og konkurranse snarere enn motstandsdyktighet under kriser og krig, mens organisering og samordningsmekanismer i stor grad er utviklet for å håndtere avgrensede hendelser og er mindre tilpasset et sammensatt og vedvarende trusselbilde. Svake insentiver for robusthet kan derfor føre til at aktører prioriterer kortsiktig lønnsomhet fremfor systemrobusthet, noe som øker risikoen for strømbrydd og et mer sårbart energisystem, mens mangelfull organisering og informasjonsdeling kan gi fragmentert håndtering av hendelser, forsinket respons og økt risiko for at hendelser eskalerer før tiltak iverksettes.

Teknisk og operasjonelt robust energisystem – gjennomføring

Denne dimensjonen omhandler det fysiske og digitale energisystemets operative evne til å forebygge, motstå, håndtere og gjenopprette etter forstyrrelser og kriser – i infrastruktur og i operative prosedyrer. Underpunktene følger beredskapssyklusens logikk: risiko og sårbarhet må kartlegges før systemet kan dimensjoneres riktig, infrastrukturen må beskyttes mot kjente og fremvoksende trusler, avvik og angrep må oppdages tidlig nok til at handlingsrommet bevares, og sektoren må ha kapasitet til å respondere og gjenopprette når forebyggende tiltak likevel svikter.

1. Risiko og sårbarheter (kartlegging)

Temaet dekker felles kunnskapsgrunnlag for risiko- og sårbarhetsanalyser, situasjonsforståelse og kaskadeeffekter mellom energibærere og infrastrukturer. Sterkere integrasjon mellom energibærere og infrastrukturer gir flere grenseflater og avhengigheter, og risiko ved vilde handlinger er langt mindre kartlagt enn risiko for naturhendelser og tekniske feil. Et mangelfullt kunnskapsgrunnlag svekker derfor evnen til å dimensjonere systemet riktig og gjør det vanskeligere å fange opp sammensatte trusler før de utvikler seg til hendelser som krever håndtering.

2. Robust systemdesign (dimensjonering)

Dette handler om å utvikle energisystemet gjennom en helhetlig tilnærming som sikrer tilgjengelighet, kapasitet, fleksibilitet og robusthet, dimensjonert for hendelser i krisespekteret og for å ivareta energibehovene til militære aktører på land og til havs ved konflikt. Økende systemkompleksitet, klimarelaterte påvirkninger og et mer sammensatt geopolitisk risikobilde forsterker behovet for å legge energisikkerhet til grunn for planlegging og dimensjonering. Et utilstrekkelig dimensjonert system representerer derfor ikke bare en teknisk og økonomisk risiko, men også en sikkerhetspolitisk sårbarhet, der manglende leveranseevne til militære formål kan svekke nasjonal og alliert beredskap og totalforsvarsevnen.



3. Beskytte fysisk og digital infrastruktur (beskyttelse)

Dette omfatter sikring av infrastruktur mot fysiske trusler offshore og på land, lokal motstandsdyktighet og redundans gjennom øydrift og distribuerte løsninger, samt beskyttelse av digitale avhengigheter i energisektorens IT- og OT-systemer. Sårbarheten forsterkes av begrenset nasjonal tilgang på kritiske reservedeler og reparasjonskapasitet for sentrale komponenter, der lange globale leveransetider og få alternative leverandører kan forsinke gjenoppretting etter alvorlige hendelser. Infrastruktur og installasjoner er spredt over store geografiske områder til lands og til havs, og økt digitalisering og avhengighet av utenlandske leverandører av digital infrastruktur gir nye angrepsflater. Utilstrekkelig beskyttet infrastruktur, kombinert med svak reservedels- og reparasjonsberedskap, øker dermed sannsynligheten for at enkelthendelser gir langvarige avbrudd og sprer seg til andre samfunnskritiske funksjoner gjennom kaskadeeffekter.

4. Overvåking, deteksjon og varsling (deteksjon)

Temaet dekker kontinuerlig innsyn i tilstanden til fysiske og digitale komponenter, og evnen til å oppdage avvik og varsle relevante aktører raskt og informativt nok til å bevare handlingsrommet. Integrasjonen mellom overvåkingsløsninger i IT- og OT-miljøer er ofte utilstrekkelig, hendelsesdata fra ulike systemer korreleres i for liten grad, og kapasiteten til kontinuerlig analyse og oppfølging av alarmer er begrenset. Mangelfull deteksjon og overvåking kan derfor la tekniske feil og digitale angrep forbli uoppdaget over lengre tid, noe som øker risikoen for driftsforstyrrelser og reduserer evnen til å håndtere hendelser på et tidlig stadium.

5. Operativ krisehåndtering og gjenoppretting (respons)

Dette omfatter reparasjonsberedskap, svartstart, lastprioritering, øydrift, beredskapslagre og logistikk – både sikker drift under en hendelse og gjenoppretting etter hendelsen. Selv med omfattende forebyggende tiltak kan alvorlige hendelser føre til bortfall av energiforsyning eller betydelig skade på infrastruktur, og krever evne til å begrense konsekvensene og gjenopprette forsyningen raskest mulig. Mangelfull beredskap og gjenopprettingsevne kan gi langvarige avbrudd i energiforsyningen, økt sannsynlighet for kaskadeeffekter i andre samfunnskritiske sektorer, og forsinket normalisering etter en krise.

Kompetanse og kapasitet – gjennomføringsevne

Denne dimensjonen dreier seg om kompetansen og kapasiteten som er nødvendig for å gjennomføre og realisere FoUI-innsatsen for styrket energisikkerhet – en bred og tverrfaglig kompetansebase innen teknisk energikompetanse, digital sikkerhet, beredskap og krisehåndtering, samt regelverk og styring. Det er behov for teknisk kompetanse innen energisystemer og kritisk infrastruktur, digital- og cybersikkerhetskompetanse, økonomisk og regulatorisk kompetanse, samt geopolitisk og strategisk kompetanse, og for at disse fagområdene ses i sammenheng ettersom kompleksiteten i energisystemet øker. Uten tilstrekkelig kompetanse og kapasitet svekkes evnen til å utvikle, drifte og sikre energisystemet, noe som øker sårbarheten for tekniske feil, digitale angrep og andre uønskede hendelser, og som kan få alvorlige konsekvenser for samfunnssikkerheten.

3.2.2 Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov

For å møte disse barrierene bør Norge prioritere FoUI-tiltak innen tre faser av innovasjonsløpet:



Forskning, utvikling og innovasjon

- Etablere en egen nasjonal FoUI-satsing på energisikkerhet, som et supplement til den ordinære energiforskningen.
- Etablere forsknings- og innovasjonssentre for energisikkerhet som dekker geopolitisk og strategisk kontekst, markedsmessige og institusjonelle rammer, teknisk og operasjonell robusthet, samt kompetanse og kapasitet, i tillegg til et nasjonalt fagmiljø for scenarioanalyse, stresstesting og situasjonsforståelse.
- Styrke grunnforskning og kunnskapsutvikling på kritiske materialer, forsyningskjeder, samfunnsmessig motstandskraft, systemrisiko og kaskadeeffekter mellom kritiske infrastrukturer.
- Utvikle teknologi for motstandsdyktige energi- og kraftsystemer, herunder løsninger for svartstart, lokal energiresiliens og fleksibilitet mellom lokale og overordnede systemer.
- Styrke forsknings- og innovasjonssinnsatsen på digital sikkerhet i energisystemene, herunder cybersikkerhet, industrielle kontrollsystemer og sikker bruk av kunstig intelligens og energisystemets strategiske avhengighet til utenlandske digitale løsninger og kritisk programvare.
- Integrere energisikkerhet i forskningen på nasjonal sikkerhet og totalforsvar, i skjæringspunktet mellom energi, samfunnssikkerhet, forsvar og digital sikkerhet.
- Redusere strategiske avhengigheter i kritiske forsyningskjeder gjennom økt kunnskap om diversifisering, substitusjon og nasjonal eller nordisk produksjonskapasitet.
- Etablere nasjonale analyse-, modell- og scenariokapasiteter som kan understøtte forskning, planlegging, øvelser og beslutningsstøtte.
- Etablere følgeforskning og læringsmekanismer som evaluerer effekten av virkemidlene og bidrar til løpende justering av prioriteringer.

Skalering

- Gjennomføre innovasjons- og demonstrasjonsprosjekter i realistiske drifts- og beredskapsmiljøer, i tett samarbeid med næringslivet, slik at løsninger kan testes og tas i bruk.
- Bygge test- og demonstrasjonsarenaer for energisikkerhet, herunder laboratorier, simuleringsplattformer og infrastruktur for digitale tvillinger, dimensjonert for akademisk, industri og forsvarssektoren.
- Sikre riktig dimensjonert leveranse- og gjennomføringskapasitet, slik at forskning, utvikling og innovasjon kan omsettes til operative løsninger, drift, vedlikehold og beredskap.
- Stimulere til forskning, innovasjon og næringsutvikling om sikkerhetsrettede energiløsninger, for eksempel robust kraftinfrastruktur, cybersikkerhet for energisystemer og dobbeltbruksteknologi for sivil og militær beredskap, som gir produkter, tjenester og teknologier med grunnlag for verdiskaping og eksport.
- Fremme samarbeidsarenaer der myndigheter, akademisk, næringsliv og beredskapsaktører kan identifisere nye muligheter for innovasjon og næringsutvikling innen energisikkerhet.
- Gi forsknings- og innovasjonssentrene et eksplisitt mandat til å bidra til industriutvikling, eksportmuligheter og styrket nasjonal konkurransekraft, noe som krever samhandling på tvers av virkemiddelapparatet.
- Etablere en tydelig styringsmodell for skaleringsarbeidet, med definert ansvar for prioritering, ressursallokering og oppfølging på tvers av forsknings-, industri- og beredskapsaktører.



Utdanning og kompetanse

- Styrke kompetansebyggingen innen energisikkerhet gjennom langsiktige utdannings- og kompetanseprogrammer som kobler energi, sikkerhet, beredskap, digitalisering og forsvar.
- Integrere energisikkerhet som tema i utdanningsprogrammer på universitets- og høyskolenivå, inkludert etter- og videreutdanning for yrkesaktive.
- Etablere tverrfaglige utdanningsløp innen energisikkerhet som er fleksible og tilgjengelige også for personer uten tradisjonell energifaglig bakgrunn.
- Styrke rekrutteringen til realfaglige og teknologiske utdanninger som er sentrale for fremtidens energisystem.
- Integrere grunnleggende forståelse av energisystemets sårbarheter og beredskapsutfordringer i allmennutdanning og folkeopplysning, for å styrke samfunnets samlede motstandsdyktighet.
- Etablere eller videreutvikle kompetansemiljøer med særskilt ansvar for energisikkerhet, tett koblet til universitets- og høyskolesektoren.
- Utvikle en nasjonal scenarioplattform for energisikkerhet til bruk i forskning, utdanning, lederutvikling, øvelser og strategisk planlegging.
- Styrke kompetansen om hvordan energisikkerhet kan bygges og operasjonaliseres i praksis, inkludert robuste energisystemer, forsyningskjeder og beredskapsløsninger.

To tiltak er gjennomgående og støtter opp under alle tre kategoriene, snarere enn å høre til én av dem: styrket internasjonalt samarbeid med NATO, EU og nordiske land om kunnskap, teknologi og beredskapsløsninger, og en koordinert FoUI-satsing mellom Energidepartementet, Justis- og beredskapsdepartementet, Forsvarsdepartementet, Nærings- og fiskeridepartementet og Kunnskapsdepartementet.

Det anbefales en kraftfull og målrettet FoUI-satsing som kombinerer tidskritiske tiltak med langsiktige investeringer i kunnskap, teknologi, kompetanse og gjennomføringsevne. Begrunnelsen er at trusselbildet utvikler seg raskere enn dagens kunnskaps- og teknologiutvikling, samtidig som ledetidene for kompetansebygging og strukturelle løsninger ofte er et tiår eller mer.

Det er derfor nødvendig å starte den nasjonale satsingen nå, som et supplement til – ikke en erstatning for – den ordinære energiforskningen, og med ressurser som er dimensjonert i tråd med ambisjonene. Satsingen bør bygge på et tett samspill mellom myndigheter, næringsliv, forskningsmiljøer, beredskapsaktører og forsvarssektoren, og omfatte både fysisk og digital infrastruktur.

3.3 INTEGRERTE OG DIGITALISERTE ENERGISYSTEMER

Integrerte og digitaliserte energisystemer omfatter all energirelatert infrastruktur på land og til havs, og spillet mellom elektrisitet, varme og kjemiske energibærere. Området dekker både de fysiske og de digitale komponentene, samt reguleringen og markedene som koordinerer energisystemet (se Figur 8). Endringer i omverdenen stiller nye krav til dagens infrastruktur og markeder, og skaper nye muligheter og utfordringer som krever FoUI.

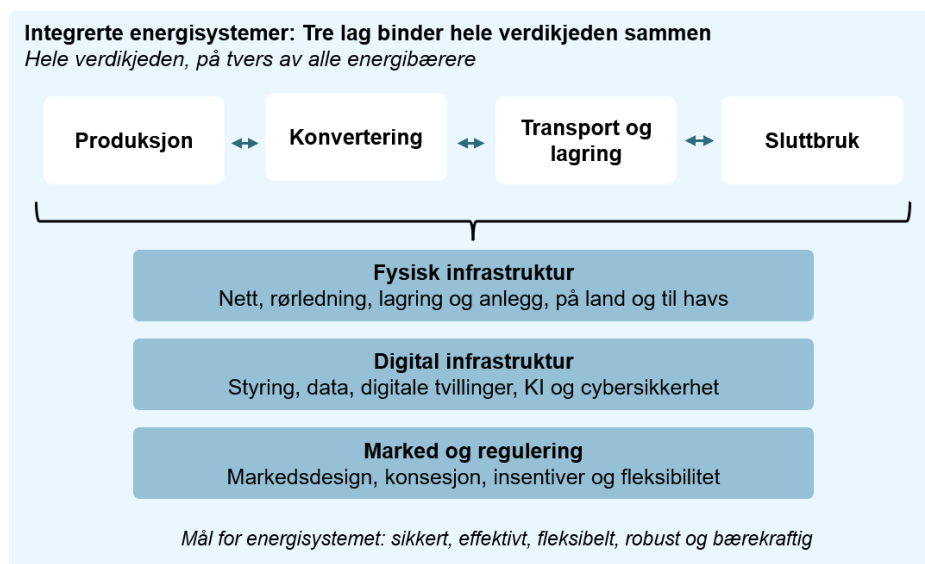
Forbruket elektrifiseres, produksjonen blir mer væravhengig, og knapphet på nettkapasitet begrenser både ny industri og ny kraftproduksjon. Konfliktnivået rundt nye anlegg og ledninger øker, og planprosessene tar lengre tid. Samtidig blir energisystemet tettere koblet til andre samfunnskritiske funksjoner, og digitale styringssystemer gjør forsyningen mer utsatt for både digitale og fysiske trusler. Europeisk regelverk og tettere markedskobling setter i økende grad rammene for hvordan det norske systemet planlegges og driftes.



Det viktigste bidraget fra integrerte energisystemer framover er å utnytte og frigjøre kapasitet i infrastrukturen som allerede er bygget, slik at ny produksjon og nytt forbruk kan kobles til raskere og med mindre naturinngrep. Området leverer på Energi2050s målsetning ved å holde forsyningen sikker når avhengighetene mellom sektorene øker, og ved å gjøre omstillingen rimeligere for samfunnet. Norge har en sterk kompetansebase å bygge på, med tidlig utvikling av markedsbasert systemdrift og utbygd offshore-infrastruktur for kraft og gass. Videre styrket FoUI er vesentlig for å realisere gevinstene i grenseflatene mellom sektorer og aktører, samt å utvikle løsninger for å håndtere voksende systemutfordringer.

Satsing på integrerte energisystemer bidrar til å

- Styrke energisikkerheten ved å gjøre energisystemet mer motstandsdyktig, med sikrere komponenter og mobilisering av flere energibærere, lokal produksjon, lagring og sluttbrukere.
- Øke tempoet i energiomstillingen gjennom å utnytte eksisterende nettinfrastruktur bedre, slik at fornybar produksjon og nytt kraftforbruk kan realiseres raskere.
- Sikre økonomisk vekst og arbeidsplasser gjennom å videreutvikle norsk kompetanse innen systemdrift, komponenter og digitale energitjenester for et voksende internasjonalt marked.



Figur 8: Illustrasjon av systemintegrasjon

3.3.1 Integrerte og digitaliserte energisystemer som en forutsetning for måloppnåelse

Integrerte og digitaliserte energisystemer er en forutsetning for energiomstillingen

Forsknings- og innovasjonsinnsats innen integrerte energisystemer er helt avgjørende for en helhetlig og kostnadseffektiv utvikling av fremtidens klimavennlige energisystem. Ved å analysere produksjon, lagring, distribusjon og bruk av energi på tvers av sektorer og energibærere i sammenheng, oppnås økt fleksibilitet, bedre ressursutnyttelse og høyere verdiskaping. Dette legger grunnlaget for et energisystem som styrker energisikkerheten, bidrar til bærekraftig ressursutnyttelse, skaper nye muligheter for verdiskaping og understøtter omstillingen til et lavutslippssamfunn.

Norge står foran en omfattende omstilling av energisystemet, samtidig blir energisystemet



stadig mer komplekst, integrert og mer kritisk for samfunnets funksjoner. Det er økende sektorkobling, noe som igjen bidrar til flere avhengigheter, sårbarheter og større konsekvenser ved svikt og forstyrrelser i energiforsyningen.

Energiomstillingen krever økt tilgang til kraft og nettkapasitet, tettere samspill mellom ulike energibærere, betydelige investeringer i ny infrastruktur og raskere teknologiutvikling. Samtidig skjer dette i en ny virkelighet preget av et vedvarende alvorlig trusselbilde, skjerpet konkurranse om teknologi, kompetanse og kapital. Digitalisering og økt bruk av kunstig intelligens endrer også rammebetingelsene for sektoren.

Denne utviklingen innebærer økende kostnader og risiko i mange prosjekter, samtidig som presset på lønnsomhet og avkastning er betydelig. Strammere marginer, høyere kapitalkostnader og sterk konkurranse om ressurser gjør det mer krevende å realisere prosjekter på en økonomisk bærekraftig måte. I tillegg kommer et forsterket konfliktnivå knyttet til utbygging av energianlegg og konsekvenser for natur- og arealressurser, noe som igjen gir økt usikkerhet, lengre planprosesser og høyere gjennomføringskostnader.

For å møte disse utfordringene er det behov for kunnskaps- og teknologiutvikling som bidrar til mer effektiv utnyttelse av eksisterende energiinfrastruktur, raskere integrasjon av ny produksjon og et tettere samspill mellom energisystemet og forbrukerne. Tiltakene er nødvendige for forsyningssikkerheten, den samfunnsøkonomiske lønnsomheten og for å redusere behovet for nye investeringer og arealinngrep. Betydningen av integrerte energisystemer kommer særlig til uttrykk gjennom bidrag til å løse tre sentrale utfordringer i utviklingen av et sikkert, bærekraftig og konkurransedyktig energisystem:

Energisystemet møter vedvarende alvorlige fysiske og digitale trusler

Energisystemet møter økende digitale, fysiske og klimarelaterte trusler samt større avhengighet mellom kritiske samfunnsfunksjoner og forsyningskjeder. Integrerte energisystemer kan styrke robustheten gjennom:

- Økt fleksibilitet, flere energibærere og bedre samspill mellom sentrale og desentrale energiløsninger.
Dersom én del av systemet svikter, kan energi leveres gjennom alternative energikilder, lagring eller lokal produksjon. Dette bidrar til økt forsyningssikkerhet, beredskap og motstandskraft.

Tempoet for energiomstillingen er for lavt

Energiomstillingen krever rask utbygging av fornybar produksjonskapasitet og overføringskapasitet. Samtidig er det økende konfliktnivå knyttet til natur- og miljøkonsekvenser i forbindelse med etablering og bygging av energiinfrastruktur. Integrerte energisystemer kan bidra til økt tempo for energiomstillingen gjennom:

- Effektiv utnyttelse av eksisterende energiinfrastruktur og helhetlig samspill mellom energisystemet, transportsektoren, bygg og industri.
- Fleksibilitet, energilagring og sektorintegrasjon kan redusere investeringer i ny infrastruktur, legge til rette for raskere integrasjon av ny produksjon og bidra til mer effektiv bruk av energiresursene. Dette kan redusere kostnader, begrense naturinngrep og akselerere utslippsreduksjoner.
- Forståelse av sosial legitimitet, forbrukeradferd og insentiver kan bidra til raskere implementering av nye energiløsninger, økt deltakelse i fleksibilitetsmarkeder og redusert motstand mot nødvendig utbygging.



Skape ny verdiskaping og konkurransekraft i lavutslippssamfunnet

Omstillingen av energisystemet og utvikling av integrerte energisystemer kan legge til rette for nye markeder og verdikjeder. Eksempler på dette er:

- Teknologiutvikling innen blant annet havvind, hydrogen, energilagring, fleksibilitetstjenester, digitale energitjenester og smart energistyring. Teknologi, kompetanse og erfaring fra etablerte energinæringene som f.eks. petroleumssektoren videreutvikles og tas i bruk i nye markeder. Dette styrker grunnlaget for verdiskaping, eksport og sysselsetting, og bidrar til å opprettholde norsk konkurransekraft i overgangen til et lavutslippssamfunn.

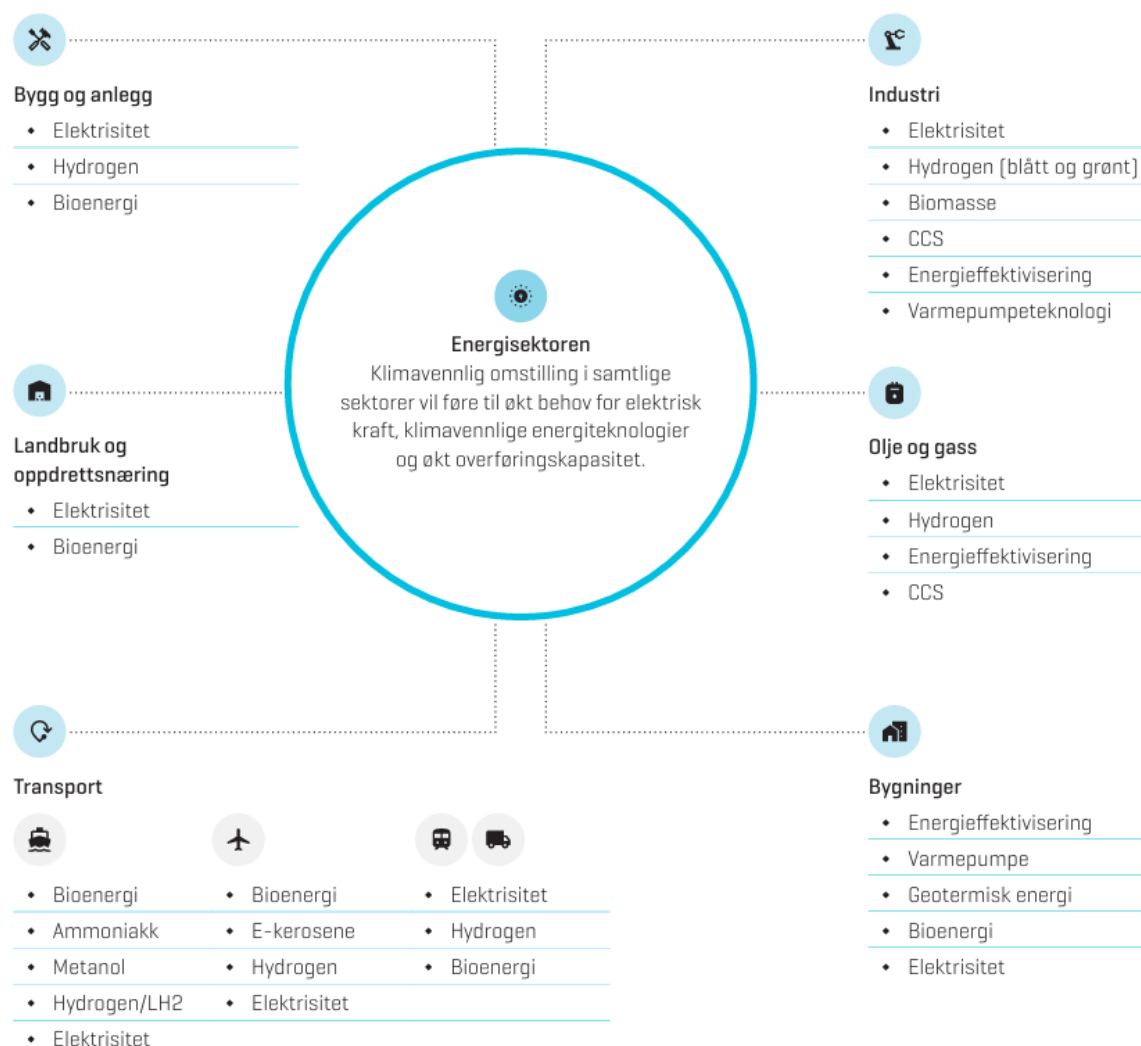
Fra sektorer til ett sammenhengende energisystem

Fremtidens energisystem kan ikke utvikles gjennom enkeltsektorer eller enkeltteknologier alene. Verdien oppstår i samspillet mellom dem. Elektrisitet vil være en sentral energibærer, men systemet vil også omfatte hydrogen, termisk energi, biodrivstoff, energilagring og CO₂-håndtering. Samspillet mellom disse energibærerne, sammen med industri, transport og annen sluttbruk, vil være avgjørende for både ressursutnyttelse, forsyningssikkerhet og omstillingstakt.

Et særlig norsk fortrinn er *muligheten til å utvikle sammenhengende energi- og infrastruktursystemer på tvers av land og norsk sokkel*. Energiinfrastruktur (kraft & termisk), energilagring, industri og energimarkeder på land vil i økende grad henge sammen med petroleumsinstallasjoner, havvind, hydrogenproduksjon, CO₂-transport og -lagring og annen offshore infrastruktur.

Overgangen fra sektorielle energiløsninger til integrerte energisystemer krever betydelig kunnskapsutvikling på tvers av energi-, teknologi-, markeds- og samfunnsfag. FoUI vil være avgjørende for å forstå hvordan nye teknologier, energibærere og infrastrukturer virker sammen på systemnivå, og hvordan denne kompleksiteten kan omsettes til verdiskaping, bærekraft og forsyningssikkerhet.

Utviklingen av integrerte energisystemer handler også om samspillet mellom energisystemet og samfunnet. Energisystemet blir tettere koblet til andre samfunnskritiske funksjoner og avhengigheter mellom sektorer øker. Det er behov for en helhetlig utvikling av fremtidens integrerte energisystem, der teknologiske, økonomiske, sikkerhetsmessige og samfunnsmessige hensyn ses i sammenheng (se Figur 9).



Figur 9: Et energisystem med økende kompleksitet og grenseflater.

Et energisystem med økende kompleksitet og grenseflater

Energisystemet mot 2050 vil være betydelig mer sammensatt enn dagens system. På land skal kraftsystemet understøtte elektrifisering av industri, transport, bygg og nye næringer. Dette stiller økte krav til kapasitet, fleksibilitet, systembalanse og stabil drift i kraftsystemet, og til samspillet mellom transmisjonsnett, distribusjonsnett, produksjon, lagring og forbruk. Samtidig skal varme, kjøling, energilagring og fleksibelt forbruk bidra til å redusere effektbelastningen og utnytte infrastrukturen mer effektivt.

På norsk sokkel vil integrasjonen mellom havvind, petroleumsinstallasjoner, hydrogenproduksjon, CO₂-transport og lagring, offshore kraftnett og landbasert energiinfrastruktur skape nye avhengigheter og stille krav til nye systemløsninger.

Utviklingen innebærer at energisystemet i økende grad må analyseres og optimaliseres som et *samlet fysisk og digitalt system*, der beslutninger i én del av systemet får konsekvenser for andre deler. Dette stiller nye krav til modellering, analyseverktøy, sanntidsstyring og beslutningsstøtte for både investeringer og drift.



Mot 2050 vil energisystemet trolig være fundamentalt forskjellig fra dagens system med:

- Høy grad av autonom og datadrevet drift
- Omfattende bruk av kunstig intelligens for planlegging og optimalisering
- Millioner av fleksible ressurser som aktivt deltar i energisystemet
- Tettere koblinger mellom kraft, varme, hydrogen og CO₂-håndtering
- Integrerte markeder for energi, fleksibilitet, lagring og systemtjenester
- Sterkere sammenkobling mellom landbaserte og offshore energisystemer
- Økt betydning av cybersikkerhet og energisikkerhet som integrerte designkriterier
- Utstrakt bruk av digitale tvillinger og sanntidssimuleringer

Fleksibilitet og energilagring som systemressurser

Økende elektrifisering, mer væravhengig kraftproduksjon og knapphet på nettkapasitet gjør *fleksibilitet og energilagring til sentrale ressurser* i fremtidens energisystem. Produksjon, forbruk, energilagring og sektorkoblinger kan frigjøre fleksibilitet, mens energilagring muliggjør bedre balanse mellom produksjon og forbruk over ulike tidsskalaer. Samlet bidrar disse ressursene til bedre utnyttelse av eksisterende infrastruktur, redusert behov for nettutbygging og økt robusthet i energisystemet.

Fleksibilitet og energilagring vil være avgjørende for å realisere energiomstillingen med lavest mulig kostnad og minst mulig belastning på natur og arealer. Bedre utnyttelse av eksisterende energiressurser, energilagring og fleksibilitet kan også bidra til å redusere behovet for ny energi- og nettinfrastruktur. Dette kan begrense arealbeslag og redusere konflikter knyttet til natur og lokalsamfunn. Utviklingen av integrerte energisystemer bør legge til rette for løsninger som kombinerer høy systemverdi med lavest mulig samlet belastning på natur og miljø.

Omformerbaserte energisystemer og systemstabilitet

Det nordiske kraftsystemet er bygget opp rundt synkrongeneratorer, særlig i vannkraften. Dette bidrar med naturlig stabiliserende egenskaper i form av treghet, spenningsstøtte og frekvensregulering. Energiomstillingen fører imidlertid til økt bruk av teknologier som kobles til kraftnettet gjennom elektroniske omformere i stedet for direkte via en synkrongenerator. Dette inkluderer blant annet solkraft, vindkraft, batterier og likestrømsforbindelser. Disse teknologiene er viktige for utviklingen av integrerte energisystemer og muliggjør effektiv integrasjon av fornybar energi på tvers av sektorer og energibærere. Samtidig fører dette til utfordringer for systemstabiliteten, da disse teknologiene ikke bidrar med de samme stabiliserende egenskapene.

Etter hvert som andelen omformerbaserte løsninger øker, oppstår nye utfordringer knyttet til frekvensstabilitet, spenningsstabilitet og håndtering av forstyrrelser. Dette utfordrer dagens analyseverktøy, modeller og metoder for planlegging og drift av kraftsystemet.

Forsknings- og innovasjonsinnsats er nødvendig for å utvikle teknologi, kontrollsystemer og analyseverktøy som sikrer stabil drift av fremtidens integrerte energisystemer. Dette vil være viktig for forsyningssikkerheten, effektiv integrasjon av ny energiproduksjon og utviklingen av et sikkert energisystem med høy verdiskaping og konkurransekraft.



Digitalisering og kunstig intelligens i integrerte energisystemer

Energisystemene nasjonalt og internasjonalt blir stadig mer komplekse gjennom økt integrasjon mellom energibærere, sektorer, markeder og teknologier på både produksjons- og forbrukssiden. Dette stiller økte krav til overvåking, styring og koordinering av energisystemet, samt evnen til å integrere nye teknologier på en effektiv og sikker måte. Automatisert overvåking og drift vil være stadig viktigere for å sikre forsyningssikkerhet, effektiv ressursutnyttelse og kostnadseffektiv systemutvikling.

Digitalisering er derfor et sentralt teknologiområde for utviklingen av integrerte energisystemer. Digitale løsninger og data blir i økende grad strategiske ressurser på linje med fysisk energiinfrastruktur. Evnen til å etablere felles datamodeller, sikre datakvalitet og legge til rette for trygg datadeling vil ha stor betydning for innovasjon, effektiv drift og utvikling av nye tjenester og forretningsmodeller.

Gjennom bruk av sensorer, dataanalyse, digitale tvillinger og kunstig intelligens kan energisystemet overvåkes, styres og optimaliseres mer presist enn tidligere. Økt tilgang til sanntidsdata gir bedre innsikt i tilstanden til anlegg, nett og komponenter, samtidig som feil og avvik kan identifiseres tidligere. Dette åpner for mer prediktivt og tilstandsbasert vedlikehold, som kan redusere kostnader, forlenge levetiden på kritisk infrastruktur og redusere risikoen for driftsstans.

Kunstig intelligens forventes å få økende betydning i fremtidens energisystemer. Teknologien kan bidra til bedre prognoser, mer effektiv ressursutnyttelse, automatisert styring og beslutningsstøtte i sanntid. Dette kan styrke fleksibiliteten i energisystemet, legge til rette for raskere integrasjon av ny energiproduksjon og bidra til bedre utnyttelse av eksisterende energi- og nettinfrastruktur. Samtidig er det behov for forskning og innovasjon knyttet til hvordan kunstig intelligens kan brukes på en sikker, robust og pålitelig måte i kritisk energiinfrastruktur.

Digitalisering har gjennom flere tiår vært en viktig drivkraft for produktivitsutvikling, sikker drift og teknologiutvikling på norsk sokkel. Fremover vil digitalisering og kunstig intelligens spille en sentral rolle i utviklingen av integrerte energisystemer til havs, der havvind, petroleumsinfrastruktur, hydrogen, CO₂-håndtering og andre energiløsninger kobles sammen. Dette kan bidra til mer effektiv ressursutnyttelse, lavere kostnader, økt verdiskaping og styrket internasjonal konkurransekraft for norsk næringsliv.

Effektiv digitalisering forutsetter samtidig koordinert innsats innen teknologiutvikling, tilgang til kvalitetsdata og utvikling av nødvendig kompetanse og organisatorisk kapasitet. Den økte digitale avhengigheten innebærer også nye sårbarheter. Digitalisering og kunstig intelligens må derfor utvikles i samspill med forskning og innovasjon innen energisikkerhet, cybersikkerhet og robusthet for å sikre et trygt og pålitelig energisystem.



Positive effekter ved bruk av digitale muliggjørende teknologier:

- Bedre overvåking og sanntidsinnsikt i energisystemet
- Tidlig identifisering av feil, avvik og sårbarheter
- Mer effektiv tilstandsbasert drift og vedlikehold
- Reduserte drifts- og vedlikeholdskostnader
- Forlenget levetid på kritisk infrastruktur og komponenter
- Økt regularitet, motstandsdyktighet og forsyningssikkerhet
- Bedre utnyttelse av eksisterende energi- og nettinfrastruktur
- Mer effektiv samordning av produksjon, lagring og forbruk
- Støtte for automatisering, fleksibilitet og nye energitjenester
- Økt verdiskaping gjennom smartere og mer effektive energisystemer

Energimarkeder og regulering som en forutsetning for integrerte energisystemer

Utviklingen av integrerte energisystemer forutsetter markeder og reguleringer som understøtter effektiv samhandling mellom energibærere, infrastrukturer, sektorer og aktører. Etter hvert som energisystemet blir mer komplekst, øker også behovet for markedsdesign og rammebetingelser som stimulerer til investeringer, innovasjon og effektiv ressursutnyttelse.

Forsknings- og innovasjonsinnsats innen energimarkeder og regulering er derfor en sentral del av satsingen på integrerte energisystemer. Kunnskapsutviklingen må bidra til bedre forståelse av hvordan markeder, reguleringer og virkemidler kan utformes for å legge til rette for fleksibilitet, sektorkobling, energilagring og raskere integrasjon av ny produksjon (kraft og termisk energi). Det er også behov for kunnskap om hvordan eksisterende energinfrastruktur og ressurser kan utnyttes mer effektivt gjennom riktige økonomiske insentiver og markedsmekanismer.

Økt elektrifisering, større innslag av væravhengig kraftproduksjon og en tettere kobling mellom energisektorer skaper behov for nye markeder for fleksibilitet, systemtjenester og energilagring. Samtidig må regelverk og markedsløsninger balansere hensyn til forsyningssikkerhet, konkurransekraft, samfunnsøkonomisk effektivitet og legitimitet. Dette krever tverrfaglig kunnskap som kombinerer teknologi, samfunnsøkonomi, juss og samfunnsvitenskap.

Norge har gjennom flere tiår vært en pådriver for utviklingen av markedsbaserte energiløsninger og har sterke fagmiljøer innen energiøkonomi, markedsdesign og regulering. En målrettet satsing på forskning og innovasjon kan videreutvikle denne posisjonen og bidra til utvikling av nye markedsløsninger, tjenester og forretningsmodeller med internasjonalt potensial. Samtidig kan kunnskapen bidra til å redusere risiko i energiomstillingen, utløse nødvendige investeringer og styrke verdiskapingen fra både eksisterende og nye energinæringer. En slik satsing vil bidra til at teknologiske muligheter kan omsettes til lønnsomme investeringer og kommersielle løsninger, og styrke Norges evne til å skape verdier, arbeidsplasser og konkurransekraft i fremtidens integrerte energisystem.

Verdiskapings- og markedsmuligheter for Norge

Utviklingen av fremtidens integrerte energisystemer er ikke bare en nødvendig forutsetning for energiomstillingen, men har også stor betydning for fremtidig nasjonal verdiskaping. Etterspørselen etter løsninger som kan bidra til sikker, effektiv og fleksibel drift av stadig mer komplekse energisystemer forventes å øke betydelig internasjonalt.

Norge har sterke fortrinn for utvikling av integrerte energisystemer både på land og på norsk sokkel. Gjennom flere tiår har norske aktører bygget opp verdensledende kompetanse innen



kraftsystemdrift, vannkraftbasert balansering, markedsbasert systemstyring, energiplanlegging og effektiv integrasjon mellom produksjon, overføring og forbruk. Samtidig har Norge sterke forsknings- og industrimiljøer innen kraftelektronikk, digitalisering, automatisering, sensorteknologi og offshore energisystemer.

På sokkelen bygger fortrinnene på verdensledende offshore- og subseakompetanse, omfattende energiinfrastruktur og lang erfaring med drift av komplekse energisystemer. Forsknings- og innovasjonsinnsatsen innen integrerte energisystemer skal bidra til å videreutvikle disse styrkene gjennom ny kunnskap, teknologi og løsninger som kobler sammen energibærere, sektorer og infrastrukturer på land og til havs.

Forskning og innovasjonsinnsats innen integrerte energisystemer bidrar ikke kun til et mer effektivt og sikkert energisystem i Norge, men styrker også grunnlaget for utvikling av kunnskapsintensive tjenester, teknologiutvikling og leverandørindustri. På samme måte som Norge har bygget en sterk internasjonal posisjon innen vannkraft, offshoreteknologi og petroleumsrelaterte tjenester, kan kompetanse og løsninger for integrerte energisystemer bli et viktig grunnlag for fremtidig verdiskaping i energiomstillingen.

3.3.2 Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov

Integrerte energisystemer krever at energibærere, infrastrukturer og sektorer planlegges, utvikles og driftes i sammenheng. Kunnskapsgrunnlaget, metodene og verktøyene er imidlertid i stor grad utviklet for enkeltsystemer, mens gevinstene ved integrasjon oppstår i grensesnittene mellom dem. Det gjelder mellom kraft, varme, hydrogen, naturgass, bioenergi og CO₂-infrastruktur, mellom energisystemene på land og til havs, og mellom produksjon, lagring, nett og fleksibelt forbruk. Forsknings- og innovasjonsinnsatsen må derfor utvikle kunnskap, metoder og løsninger som muliggjør effektivt samspill mellom energibærere, infrastrukturer, sektorer og sluttbrukere, og som bidrar til best mulig utnyttelse av energiressursene og den infrastrukturen som allerede finnes.

Samtidig endres de tekniske forutsetningene for drift av energisystemet. Et mer omformerbasert kraftsystem med redusert systemtregghet stiller nye krav til frekvens- og spenningsstabilitet, systemtjenester og avanserte kontrollteknologier, og utbygging til havs forutsetter teknologi for HVDC, offshore omformerstasjoner, subsea kraftinfrastruktur og maskede nettstrukturer. Det er behov for teknologi og systemforståelse som sikrer sikker og effektiv drift av fremtidens energiinfrastruktur på land og til havs, og for standardisering, modulære løsninger og interoperabilitet som gjør at komponenter og delsystemer kan settes sammen på tvers av leverandører og prosjekter.

Digitalisering, data og kunstig intelligens er en forutsetning for å håndtere den økende kompleksiteten. Digitale løsninger kan styrke overvåking, styring, analyse og beslutningsstøtte i drift og utvikling av energisystemet, men forutsetter datakvalitet, standardiserte grensesnitt og avklarte rammer for dataeierskap og datadeling mellom energiselskaper, leverandører, myndigheter og sluttbrukere. Den økte digitale avhengigheten innebærer også nye sårbarheter, og innsatsen må derfor utvikles i samspill med forskning og innovasjon innen energisikkerhet og cybersikkerhet.

Utviklingen av energisystemet krever fremtidsrettede markedsdesign og regulering som ser sektorer og geografiske nivåer i sammenheng, og balanserer langsiktig systemutvikling og kortsiktig systemdynamikk. Det er behov for modeller som bidrar til et stabilt og forsyningssikkert integrert energisystem, og for kunnskap og rammeverk som understøtter samfunnsøkonomisk effektive investeringer, utløser fleksibilitet, energilagring og systemtjenester, og gir riktige investeringssignaler for produksjon, nett og energiinfrastruktur.



For å møte disse behovene bør Norge prioritere FoUI-aktiviteter innen:

Integrasjon mellom energibærere, infrastrukturer og sluttbrukere

- Koordinering mellom kraft, fornybar varme, hydrogen, naturgass, biogass og CO₂-infrastruktur i planlegging og drift.
- Sektorkobling mellom kraftsystemet, industri, bygg, transport og offshore energisystemer.
- Utløsning av fleksibilitet gjennom teknologi, markeds mekanismer og nye forretningsmodeller.
- Optimal kombinasjon av regulerbar vannkraft, pumpekraft, batterier, termiske energilagre og industriell fleksibilitet.
- Integrasjon av distribuert energiproduksjon, energilagring og aktive sluttbrukere, herunder bygg, industri og transport
- Forbrukeradferd, insentiver og legitimitet
- Samspill mellom energisystemer på land og til havs.
- Konsepter for integrerte offshore energisystemer der havvind, petroleum, hydrogen og CO₂-håndtering ses i sammenheng.

Energiinfrastruktur og omformerbaserte energisystemer

- Fremtidens kraftnett på land og til havs.
- Offshore energiøyer og maskede nettstrukturer.
- HVDC-teknologi, offshore omformerstasjoner og DC-koblingsanlegg.
- Subsea kraftinfrastruktur og energisystemer.
- Standardisering, modulære løsninger og interoperabilitet.
- Omformerbaserte energisystemer og konsekvenser for systemstabilitet.
- Frekvensstabilitet, spenningsstabilitet og systemtjenester i energisystemer med redusert systemtregghet.
- «Grid-forming»- og andre avanserte kontrollteknologier.
- Teknologi for konvertering mellom energibærere og energiformer.
- Integrasjon mellom produksjon, lagring, nett og fleksible ressurser.
- Utvikling, kvalifisering og integrasjon av sentrale komponenter og teknologier for energiinfrastruktur på land og til havs.

Digitalisering, data og kunstig intelligens

- Kunstig intelligens for drift, optimalisering og beslutningsstøtte.
- Prediktivt vedlikehold og tilstandsbasert drift.
- Sensorer, overvåkingssystemer og sanntidsanalyse.
- Digitale tvillinger for energiinfrastruktur og integrerte energisystemer.
- Automatisering og autonom drift av energisystemer.
- Datakvalitet, datamodeller og referansearkitekturer.
- Datadeling mellom energiselskaper, leverandører, myndigheter og sluttbrukere.
- Dataeierskap, tilgang til data og standardiserte grensesnitt.
- Edge computing og distribuert prosessering.
- Digitale plattformer som understøtter samhandling mellom aktører og sektorer.

Analyseverktøy, markeder og regulering

- Energisystemmodeller som kobler energibærere, sektorer og geografiske nivåer.
- Simuleringsverktøy som beskriver både langsiktig utvikling og kortsiktig systemdynamikk.
- Modeller for omformerbaserte energisystemer og hurtige dynamiske fenomener.
- Analyse av norske og europeiske energisystemer i sammenheng.

Markedsdesign og regulering

- Markedsdesign for fleksibilitet, energilagring og systemtjenester.



- Investeringssignaler for produksjon, nett og energiinfrastruktur.
- Regulering som understøtter sektorkobling og integrerte energisystemer.
- Samspill mellom norske og europeiske energimarkeder.
- Nye forretningsmodeller og markedsløsninger.
- Juridiske og samfunnsøkonomiske problemstillinger knyttet til energiomstillingen.
- Beslutningsstøtte for nettutvikling, arealbruk og naturhensyn.

Energi2050 anbefaler at disse FoUI-behovene møtes gjennom tiltak og virkemidler beskrevet i kapittel 4.



3.4 NATUR, MILJØ OG SAMFUNN

Samspillet mellom energisystemet, natur, miljø og samfunn er et flerfaglig kunnskapsfelt som binder natur-, samfunns- og teknologiforskning sammen. Området dekker arealbruk og økosystempåvirkning, miljødesign og naturrestaurering, urfolks rettigheter, fordelingen av kostnader og gevinster ved omstillingen, og de juridiske og institusjonelle rammene rundt avveiningene.

Klimamålene forutsetter mer fornybar kraftproduksjon og mer nettkapasitet, mens nedbyggingen av natur er satt på den politiske dagsordenen og verdien av gjenværende natur øker. Europeisk regelverk stiller krav til naturrestaurering og til kartlegging av arealer for fornybar energi, rettferdig omstilling er løftet inn som premiss i norsk klima- og energipolitikk, og prisen på energi er blitt et politisk stridsspørsmål. Oppslutningen om vindkraftutbygging har falt, og debatten om strømpriser, eierskap og naturinngrep er blitt mer polarisert.

Energiomstillingen forutsetter nye løsninger som kan redusere konfliktene mellom energibehov, naturhensyn og øvrige samfunnsinteresser. Slike løsninger krever blant annet kunnskap om økosystemenes tåleevne, miljødesign av energianlegg, metoder for å måle og verdsette natur, og beslutningsprosesser som berørte parter opplever som rettferdige. Samtidig vokser det fram et marked for slike løsninger: kunnskap, metoder og teknologi som gjør avveiningene mellom ulike hensyn etterprøvbare.

Styrket satsing på natur, miljø og samfunn vil bidra til å

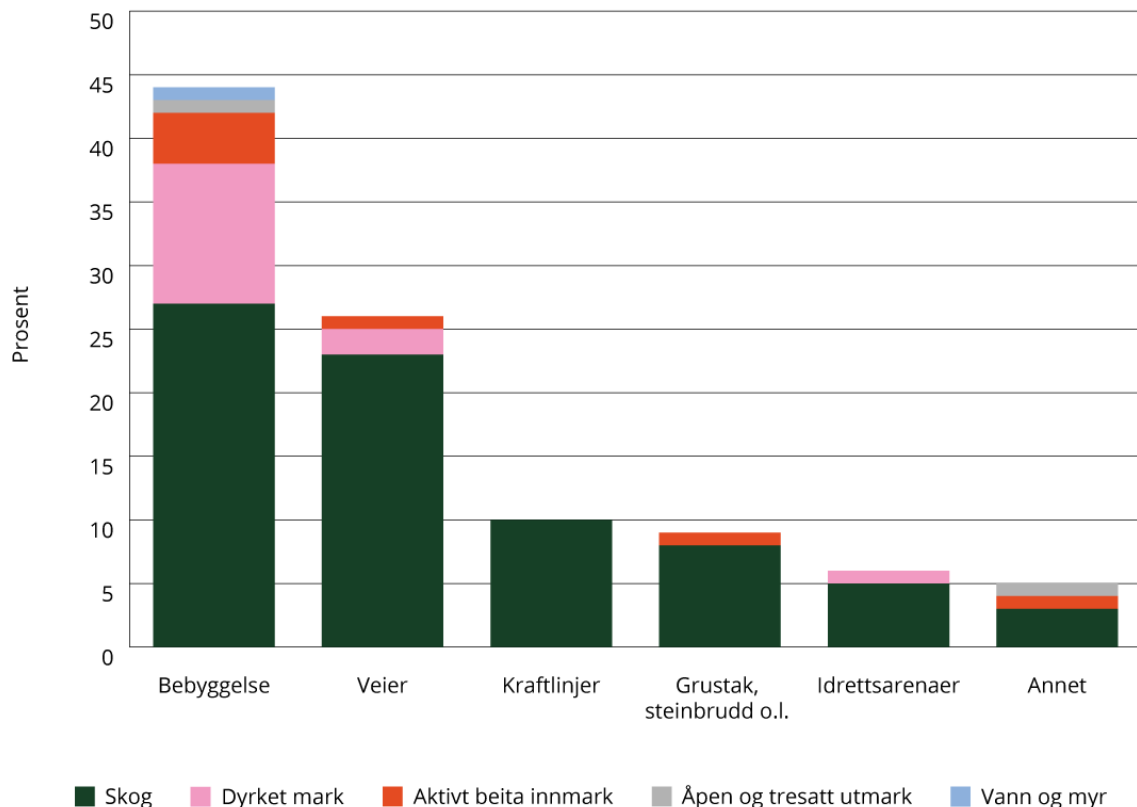
- Øke tempoet i energiomstillingen gjennom å begrense naturpåvirkningen fra utbygging og styrke legitimiteten til beslutningene som tas.

3.4.1 Natur, miljø og samfunn er en forutsetning for måloppnåelse

Kraftbehovet vokser samtidig som naturarealet bygges ned

Norge står overfor to mål som er krevende å forene. Miljødirektoratets tiltaksanalyse (2026) anslår at klimatiltakene gir et økt kraftbehov på mellom 55 og 96 TWh i 2050. På toppen av dette kommer andre formål ny kraft skal brukes til. Samtidig har regjeringen satt et nasjonalt mål om å begrense nedbyggingen av særlig viktige naturarealer som Norges bidrag til mål 1 i naturavtalen om å bringe tapet av arealer med stor betydning for naturmangfold nær null innen 2030 (Klima- og miljødepartementet, 2024).

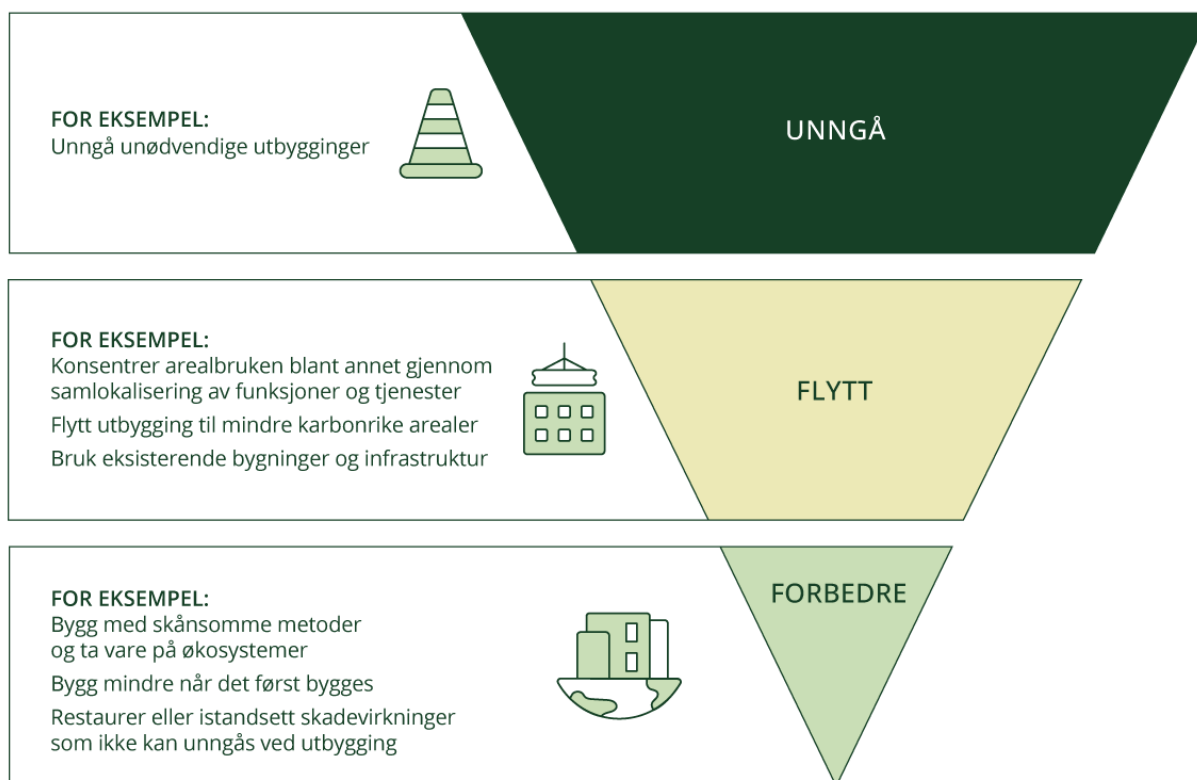
I perioden 1990–2019 ble om lag 50 km² natur fysisk nedbygd årlig, der ny bebyggelse og veier sto for rundt 70 prosent og kraftlinjer for om lag 10 prosent, illustrert i Figur 10 (Søgaard et al., 2021). Fremover viser Miljødirektoratets kartgrunnlag fra 2024 totalt planlagt utbygging av alle slag på rundt 4 000 km² nye arealer, der om lag 90 prosent er natur, mot et eksisterende bebygd areal på cirka 5 600 km² (Klima- og miljødepartementet, 2025).



Figur 10: Nedbygget areal 1990–2019 fordelt på opprinnelig arealkategori og type nedbygging (Søgaard et al., 2021)

Arealpåvirkning er mer enn det fysiske fotavtrykket. For eksempelvis vindkraft skiller NVE mellom direkte fysiske inngrep, direkte påvirket areal, nærområdet og visuelt influensområde. Vindkraft produserer ca. 16 TWh årlig og har til sammen et fysisk fotavtrykk på ca. 20 km². Det direkte påvirkede arealet er imidlertid større, med om lag 600 km². Estimater for det visuelle influensområdet, det totale arealet der vindturbinene kan være synlige fra, spenner fra 8 066–54 078 km². I drøftelser om arealbruk er det derfor vesentlig med sammenliknbare mål.

I Klimamelding 2035 legges tiltaksrammeverket unngå – flytt – forbedre til grunn også for arealbruk: unngå unødvendig utbygging, flytt det som må bygges til mindre verdifulle og helst allerede bebygde arealer, og forbedre resten gjennom skånsomme metoder og restaurering (se Figur 11). I relasjon til klimagassutslipp ved nedbygging av natur pålegger de statlige planretningslinjene for klima og energi planmyndigheten å vurdere om tiltak med negativ klimaeffekt kan unngås, flyttes eller forbedres, og å ha oversikt over betydelige karbonlagre på land og i sjø (Klima- og miljødepartementet, 2025).



Figur 11: Tiltaksrammeverket Unngå – Flytte – Forbedre for forvaltning av arealer, her i relasjon til utslipp fra arealbruksendringer (Klima- og miljødepartementet, 2025).

Regjeringens planføringer innebærer også at enkelte utbyggingsformål gis særskilt vekt i arealkonflikter. I handlingsplanen for naturmangfold pekes fornybar kraftproduksjon, kraftledninger, samfunnskritisk digital infrastruktur og forsvarsformål ut som nasjonalt prioriterte formål (Klima- og miljødepartementet, 2024). Tilsvarende prioriteringer er reflektert i de statlige planretningslinjene for arealbruk og mobilitet (Kommunal- og distriktsdepartementet, 2025). Disse føringene gjør det desto viktigere å ivareta natur, miljø og samfunnshensyn i energiprosjekter for å sikre legitimitet.

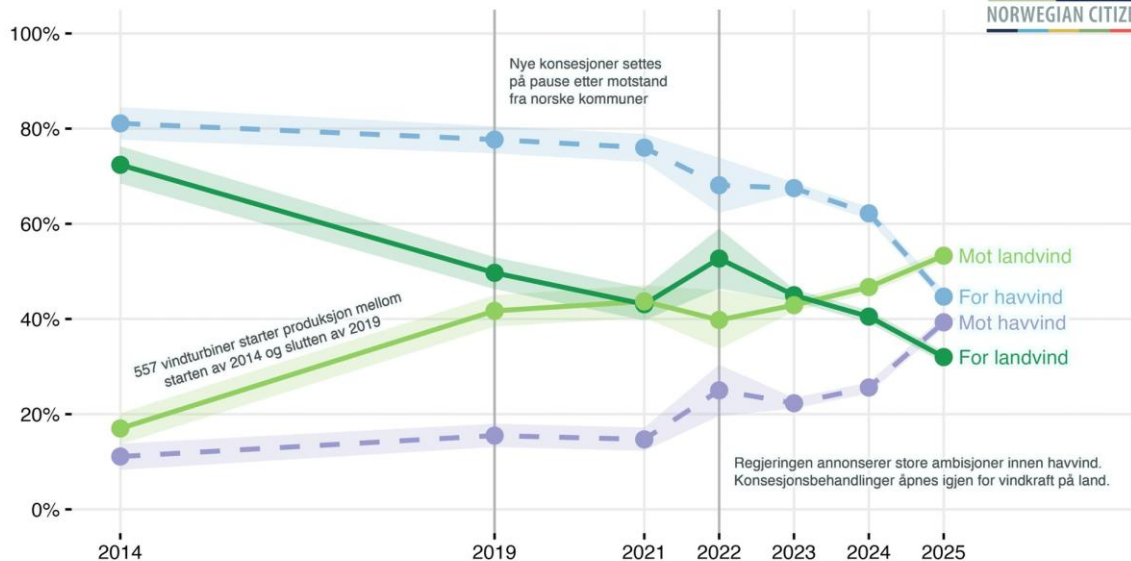
Fallende oppslutning til fornybar energi har bremset kraftutbyggingen

Målinger fra Norsk medborgerpanel viser at støtten til landbasert vindkraft har falt fra over 70 prosent i 2014 til om lag 32 prosent i 2025, og støtten til havvind fra over 80 prosent til om lag 42 prosent i samme periode (se Figur 12) (Norsk medborgerpanel/SANE-Clim, 2025). Med et høyt konfliktnivå ble konsesjonsbehandlingen av vindkraft på land stanset i april 2019 (NVE, 2025b), og fra 1. juli 2023 må kommunen vedta en områderegulering før det kan gis konsesjon etter energiloven (Kommunal- og distriktsdepartementet, 2025). Endringene har medført at ingen nye konsesjoner til ordinære vindkraftprosjekter er gitt i perioden 2020–2026.



Holdninger til utbygging av vindkraft i Norge over tid

Enig/uenig: Det bør bygges ut mer vindkraft [på land/til havs] i Norge.



Figur 12: Holdninger til utbygging av vindkraft i Norge over tid (Norsk medborgerpanel/SANE-Clim, 2025)

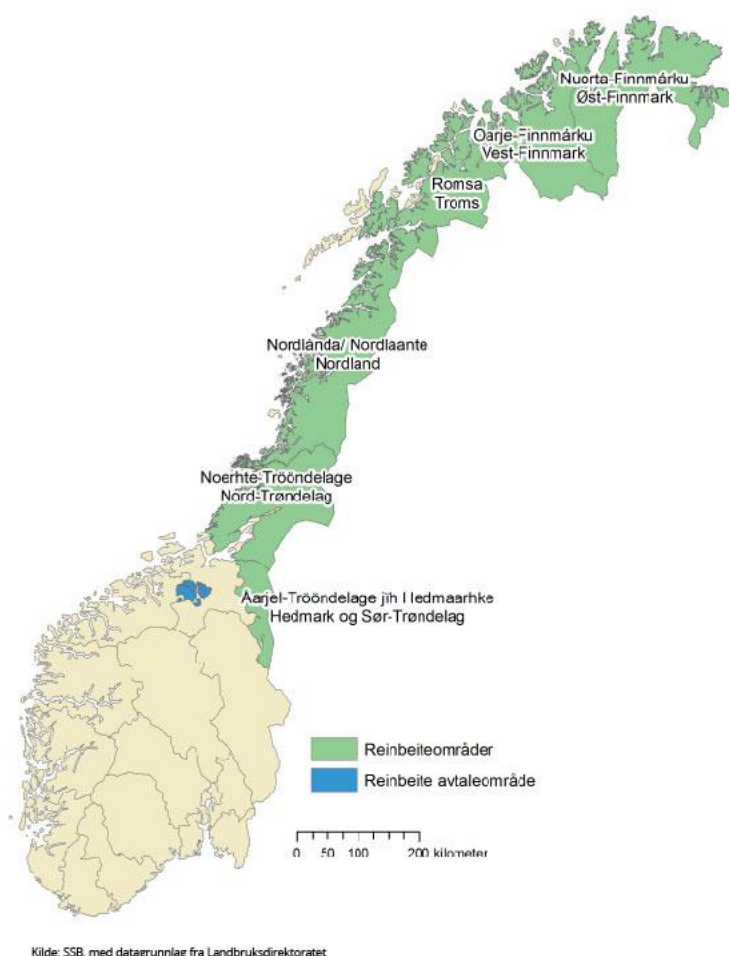
Regjeringen la i august 2026 fram en tiltakspakke for raskere utbygging av kraft og nett som endrer rammene for disse prosessene om pakken blir vedtatt. Kommunenes rett til å si ja eller nei til vindkraft skal lovfestes, mens kravet om å vedta reguleringsplan før konsesjon faller bort og regelverket for vindkraft flyttes ut av plan- og bygningsloven til en egen lov. Konsesjonsmyndigheten samles hos NVE, utredningskravene forenkles, innsigelsesordningen endres, og det innføres en frist på to år for konsesjonsbehandling av større nett- og produksjonssaker. Vertskommunene skal dessuten få inntekter fra byggestart gjennom at staten forskutterer produksjonsavgiften, mens Sametinget beholder sin innsigelsesrett (Statsministerens kontor, 2026). Når utredninger skal gå raskere og kommunene skal få et kunnskapsgrunnlag å ta stilling til, blir kvaliteten på kunnskapsgrunnlaget mer avgjørende for legitimitet og utfall enn før.

Urfolksrettigheter setter rettslige rammer for kraftutbygging

Fosen-dommen fra 2021 markerte et skifte i hvordan urfolksinteresser vektlegges ved kraftutbygging. Høyesterett kom i storkammer enstemmig frem til at konsesjons- og ekspropriasjonsvedtakene for vindkraftverkene Storheia og Roan på Fosen var ugyldige, fordi utbyggingen krenker reindriftssamenes rett til kulturutøvelse etter FNs konvensjon om sivile og politiske rettigheter artikkel 27. Det var første gang et inngrep ble funnet å krenke artikkel 27, som er en terskelbestemmelse der vesentlige negative konsekvenser for kulturutøvelsen ikke kan veies mot andre samfunns- og energihensyn, og der den samlede belastningen av tidligere og planlagte inngrep er avgjørende (Høyesterett, 2021). Samiske rettighetshavere har ikke en generell vetorett mot inngrep, men konsultasjonsplikten og vernet etter SP artikkel 27 setter rettslige grenser for hvilke inngrep som kan tillates.



Reinbeiteområder i samisk reindrift



Figur 13: Reinbeiteområder i samisk reindrift (Engelien et al., 2020)

Reinbeiteområdene hvor det drives samisk reindrift dekker ca. 40 prosent av landarealet i Norge, målt i bruttoareal (se Figur 13). 89 prosent av dette er påvirket av bygninger og infrastruktur (Engelien et al., 2020). Samtidig har distrikter ulik tåleevne for både arealinngrep og klimaendringer. Disse forholdene må komme inn i konsekvensutredningene og håndteres samordnet med øvrige arealhensyn.

3.4.2 Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov

Behovene spenner fra økosystemforskning til samfunnsvitenskap og jus, og dekker sosial legitimitet, arealbruk og sameksistens, naturpåvirkning, regulerings- og planprosesser som balanserer ulike hensyn, urfolk og kultur, og sikkerhet i arbeidslivet. Fellesnevneren er kunnskap som gjør forvaltningen i stand til å beslutte på grunnlag av samlet påvirkning, og løsninger som bygger legitimitet parallelt med utbygging. Et gjennomgående spørsmål på tvers av disse behovene er hvordan avveiningen mellom bruk og vern bør gjøres, og hvilke kriterier som bør ligge til grunn når ulike hensyn ikke kan ivaretas fullt ut samtidig.



For å møte disse behovene bør Norge prioritere FoUI-aktiviteter innen:

Sumvirkninger, samlet belastning og økosystemforståelse

- Virkninger av ulike energiteknologier på økosystemtjenester, og sameksistens med andre aktiviteter som fiskeri, friluftsliv, reindrift, tareoppdrett, skipsfart, byutvikling osv.
- Kumulative effekter av gjentatte forstyrrelser, økosystemers tåleevne og terskelverdier før funksjoner svekkes.
- Skillet mellom lokale og storskala effekter for arter med store leveområder, som villrein, sjøfugl og marine toppredatorer.
- Kostnadseffektiv miljøovervåking i stor skala med sensorteknologi, autonome plattformer, fjernmåling og kunstig intelligens.

Miljødesign, tiltakshierarki, naturrestaurering og sameksistens

- Naturinkluderende konsepter, materialvalg og optimal plassering innenfor tildelte arealer.
- Flerbruksløsninger der flere næringer deler areal, og barrierene slike løsninger møter.
- Kost-nytte-analyser, virkningstid og målbarhet for restaurerings- og kompensasjonstiltak, inkludert tiltak ved oppgradering av eksisterende anlegg.
- Standardiserte og etterprøvbare mål for arealpåvirkning som muliggjør sammenligning på tvers av prosjekter, teknologier og tid.

Sosial legitimitet, holdninger og demokratiske beslutningsprosesser

- Effektive tiltak og løsninger for å bygge legitimitet og oppslutning om energiomstillingen.
- Prioriteringer i befolkning, forvaltning og politikk i avveininger mellom helse, økonomi, miljø og energi, og hvordan de endres over tid.
- Sammenhengen mellom eierskaps-, kompensasjons- og fordelingsmodeller og lokal og nasjonal legitimitet.
- Medie- og kommunikasjonsmønstre, faktagrunnlag og mekanismene bak polarisering av energidebatten.
- Komparativ forskning på tvers av land, sektorer og tidsperioder, inkludert hvorfor støtten til fornybar energi har falt sterkere i Norge enn i andre europeiske land, og lærdommer fra vannkraftens historiske holdningsskifter.

Urfolksperspektiver, makt og kunnskapsproduksjon

- Metoder for samproduksjon av kunnskap mellom forskere, forvaltning, næring, lokalsamfunn og urfolk.
- Samlet belastning på reindriften fra anlegg, kraftoverføring og tilhørende infrastruktur, med differensiering etter områdenes tåleevne.
- Forholdet mellom kommunal autonomi og nasjonale forpliktelser overfor urfolk, klima og natur.

Verdsetting av natur, juridiske rammer og adaptiv forvaltning

- Standardiserte metoder for å verdsette natur og naturvirkninger og veie dem mot samfunnsnyttene av energiproduksjon.
- Verdsettingsmetoder som omfatter helse, identitet og tilknytning til omgivelsene, fordelingsvirkninger på tvers av generasjoner og geografi, og livsløpsanalyser med flere indikatorer enn klima og natur.

Datafangst og digitale verktøy

- Felles datagrunnlag og forskningsinfrastruktur for natur- og samfunnsdata.
- Systemtilnærminger som modellerer natur og samfunn i sammenheng.



Helse, miljø og sikkerhet

- Arbeidsmiljø og sikkerhet knyttet til produksjon, lagring og bruk av nye energibærere.

Energi2050 anbefaler at disse FoUI-behovene møtes gjennom tiltak og virkemidler beskrevet i kapittel 4.

3.5 CO₂-HÅNDTERING

CO₂-håndtering omfatter fangst, transport og permanent geologisk lagring av CO₂, samt karbonfjerning gjennom løsninger som BECCS og direkte luftfangst. Området er avgjørende for utslippskutt i industri, avfallsforbrenning og andre utslippskilder der direkte elektrifisering eller energieffektivisering ikke er tilstrekkelig. CO₂-håndtering er derfor både et nødvendig klimatiltak og en mulig ny industri for Norge.

Utviklingen går fra teknologiutvikling og enkeltstående demonstrasjonsprosjekter til industriell oppskalering. Europa bygger nå regelverk, marked og infrastruktur for grensekryssende CO₂-verdikjeder, mens fangstprosjekter, transportløsninger og lagringslisenser modnes i ulikt tempo. For Norge betyr dette at sokkelens lagringspotensial først får verdi dersom fangst, transport, lagring, marked og regulering utvikles som én samlet verdikjede.

Norge har særskilte komparative fortrinn gjennom lang driftserfaring med offshore CO₂-lagring, petroleumsrelatert undergrunns- og brønnkompetanse, maritim transportkompetanse, prosessindustri og langsiktige FoUI-satsinger. Den strategiske oppgaven fremover er å bruke erfaringene fra Langskip til å redusere kostnader, kvalifisere nye lagre, utvikle markeder for transport og lagring, og bygge kompetanse som gjør CO₂-håndtering til både et klimatiltak og en europeisk industrimulighet.

Satsing på CO₂-håndtering bidrar til å

- Sikre fremtidig verdiskaping og arbeidsplasser gjennom å bygge en lagrings- og leverandørnæring som tilbyr transport, lagring og teknologi til europeiske kunder.
- Sikre karbonfjerning og nødvendige utslippskutt fra industri og avfallsforbrenning der elektrifisering og bytte av innsatsfaktorer ikke strekker til.

3.5.1 Markedsmuligheter og komparative fortrinn

Storskala CO₂-håndtering kreves for å nå klimamålene og markedet er i startgropen

CO₂-håndtering er nødvendig for å kutte utslipp fra industri og avfallsforbrenning og for å fjerne CO₂ fra atmosfæren gjennom varig karbonfjerning. Globalt er markedet fortsatt umodent, men i rask utvikling. Global CCS Institute rapporterer om 77 anlegg i drift og 47 under bygging sommeren 2025 (se Figur 14). Den samlede anleggskapasiteten for disse prosjektene er på 513 Mt CO₂ per år (Global CCS Institute, 2025). Til sammenligning peker det internasjonale energibyrået (IEA) på et behov for CO₂-fangstkapasitet på over 6 000 Mt i 2050 for at utviklingen skal være i tråd med målet om netto nullutslipp 2050 (International Energy Agency [IEA], 2023a).



Figur 14: Status på utvikling av kommersielle CCS-anlegg globalt sommeren 2025 (Global CCS Institute, 2025)

EU har satt mål om netto 90 % utslippsreduksjon i 2040 og netto nullutslipp i 2050, og jobber nå med å lansere regelverk og virkemidler for utvikling av CO₂-håndteringsverdikjeder. EUs strategi for industriell karbonhåndtering peker mot et behov for fangst på om lag 450 Mt CO₂ per år i 2050 (European Commission, 2024). I tillegg forplikter Net-Zero Industry Act blant annet olje- og gassprodusenter til å bidra til 50 Mt CO₂ per år i injeksjonskapasitet i EU innen 2030 (European Commission, 2023). Tilgangen på kostnadseffektiv og grensekryssende transport og lagring er i dag en strategisk knapphetsfaktor i europeisk klimapolitikk med stort behov for utvikling nå og de kommende årene.

For Norge innebærer CO₂-håndteringsverdikjeder et mulighetsrom der CO₂-håndtering kan kutte nasjonale utslipp i sektorer med få alternativer og samtidig åpne for et europeisk marked for norske transport-, lagrings- og teknologitjenester. Miljødirektoratet peker på karbonfangst og -lagring som et av de viktigste tiltakene for å redusere utslipp fra norsk industri og avfallsforbrenning mot 2035. Direktoratet fremhever også at karbonfjerning fra biogene utslipp og direkte luftfangst krever egne incentiver og markedsrammer (Miljødirektoratet, 2025b, 2026b). For utvikling og anvendelse av CO₂-infrastruktur i Norge har man en ytterligere kostnadsdriver i små og spredte utslippspunkter. Modulær og standardisert småskala CCS, tilpasset nettopp slike utslippspunkter, kan derfor bli en egen innovasjons- og lønnsomhetsmulighet.

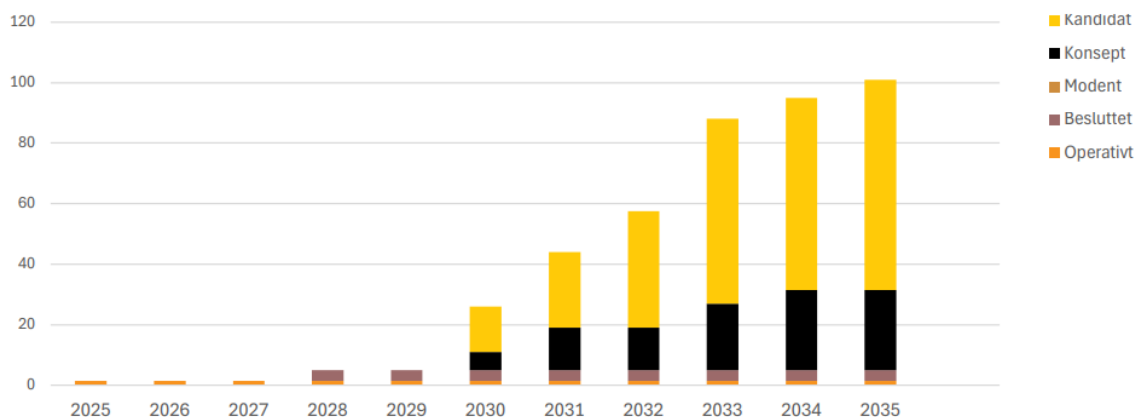
Norsk sokkel kan bli en sentral lagringsressurs for europeiske industriutslipp

I et europeisk marked for CO₂-håndtering har norsk sokkel et særlig fortrinn innen permanent lagring av CO₂. Sokkeldirektoratet anslår et teoretisk lagringspotensial på over 80 Gt CO₂ på



norsk kontinentalsokkel, hvorav majoriteten er lokalisert i Nordsjøen (Sokkeldirektoratet, 2024a). Lagringspotensialet er hovedsakelig knyttet til dype saline akviferer og tømte petroleumsfelt. Disse naturlige og industrielle forutsetningene gir grunnlag for en ny lagringsindustri, men bare dersom lagrene kvalifiseres, overvåkes og kobles til utslippskilder gjennom kommersielle transport- og lagringsmodeller.

Norge har også et viktig erfaringsfortrinn med offshore CO₂-injeksjon og lagring på Sleipner siden 1996 og Snøhvit siden 2008. Videre har Northern Lights etablert kommersiell transport og lagring av CO₂ som tjeneste på tvers av landegrenser med første injeksjon i 2025. Første fase har kapasitet på 1,5 Mt CO₂ per år. Selskapet har tatt en investeringsbeslutning om å øke kapasiteten til minst 5 Mt CO₂ per år fra 2028 (Northern Lights JV, 2026).



Figur 15: Prognose for realiserbar injeksjonskapasitet (Mt per år) i planlagte lisenser for CO₂-lagring på norsk sokkel (KonKraft, 2026a).

Siden 2018 er det tildelt flere tillatelser for CO₂-lagring på norsk sokkel. KonKraft anslår at planlagte prosjekter har et injeksjonskapasitetspotensial på over 20 Mt mot 2030 og mot 100 Mt i 2035 dersom markedet materialiserer seg og prosjektene modnes (se Figur 15). Utfordringen er at mange prosjekter fortsatt er på lavere modenhetsnivå enn Northern Lights. Fremover blir læringsoverføring, standardisering, deling av data og bedre virkemidler for førstegangsanlegg viktig for å unngå at Norge mister tempo i et marked der også Storbritannia, Nederland og Danmark bygger posisjoner.

Langskip gir Norge et forsprang, men kostnader og markedsrammer avgjør tempoet

Langskip-prosjektet er grunninvesteringen som skal redusere risiko og kostnader for kommende prosjekter. Prosjektet omfatter fangst fra sementproduksjon i Brevik og avfallsforbrenning i Oslo, skipstransport til mottaksanlegg i Øygarden, rørtransport til injeksjonsbrønn og permanent lagring. Ved investeringsbeslutningen var totalkostnaden anslått til om lag 25 mrd. kroner, inkludert investeringer og ti års drift (Gassnova, 2025). Langskip viser at en full verdikjede kan realiseres, men også at kostnadsnivå, kontraktsmodeller, risikodeling og etterspørsel etter transport- og lagringstjenester er avgjørende for videre oppskalering.

Kostnadsbildet for CO₂-håndtering i Norge er fortsatt preget av at prosjektene er tidlig i sin utvikling. Investeringskostnadene for Langskip økte med om lag 19 prosent fra 2020 til 2024, i stor grad drevet av pandemien, krigen i Ukraina og påfølgende pris- og tilgangsutfordringer for arbeidskraft og materialer (Gassnova, 2025). Størst potensial for kostnadsreduksjon ligger i fangst, kompresjon og mellomlagring. Leverandørmarkedet her er fremdeles umodent



og bygger i stor grad på førstegangsløsninger overført fra offshore olje- og gassindustri, løsninger som har vist seg unødvendig dyre for landbasert industri. Mangelfull innkjøpskompetanse hos byggherrer forsterker kostnadsbildet ytterligere. Det samme gjør et regelverk som ennå ikke er modent, særlig knyttet til langsiktig ansvar for overvåking og lekkasjehåndtering ved lagring. Det er i stor grad disse forholdene, snarere enn selve teknologien for permanent lagring, som avgjør tempoet i videre oppskalering av norske CO₂-håndteringsprosjekter.

Det norske verdiskapingspotensialet ligger i hele verdikjeden. Norske aktører kan levere fangstteknologi, prosessdesign, CO₂-skip, terminaler, brønner, overvåkingsløsninger og driftstjenester. Omsetningen i den norske leverandørnæringen til CO₂-håndtering var 4,5 mrd. kroner i 2024 (Multiconsult et al., 2025). Et mulig europeisk CO₂-rørsystem mot Nordsjøen kan styrke koblingen mellom industrielle utslippsklynger og norske lagre, men verdien for Norge avhenger av at norske miljøer tar posisjoner i standarder, infrastruktur, kontraktsmodeller og teknologikvalifisering. Erfaringene innen overvåking, brønnintegritet og maritim logistikk gir Norge en posisjon som få andre europeiske land har.

3.5.2 Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov

Forsknings- og innovasjonsbehovene har gått fra utvikling av enkeltteknologier til oppskalering, kostnadsreduksjon og industrialisering av en samlet verdikjede. Dette gjelder både storskala prosjekter og modulære, småskala løsninger tilpasset mindre og spredte utslippskilder. Behovene dekker fangst på en bredde av utslippskilder, transport- og lagringsinfrastruktur, industriell karbonfjerning og markeds- og reguleringsmodeller. I tillegg dekker de avgrenset bruk av CO₂, der karbon bindes varig eller inngår i nullutslippsverdikjeder. Digitalisering, sikkerhet og samfunnsaksept går på tvers av hele verdikjeden.

Fangstteknologier: kostnadsreduksjon og tilpasning til industrielle prosesser

- Videreutvikle aminbasert fangst med lavere energiforbruk, redusert degradering av løsemidler og bedre tilpasning til varierende røykgassammensetning.
- Modne neste generasjons fangstteknologier, som faste sorbenter, membraner, kalsiumlooping og oxyfuel, tilpasset sement-, kalk- og prosessindustri.
- Redusere fangstkostnader gjennom bedre prosessintegrasjon, lavere energibruk, standardiserte løsninger og læring på tvers av industrielle anvendelser.
- Utvikle fangstløsninger for hydrogenproduksjon, raffineri, jern- og stålproduksjon og kraft- og varmeproduksjon i industriell skala.
- Videreutvikle modulære, prefabrikkerte og standardiserte fangstanlegg for mellomstore og distribuerte utslippspunkter.
- Utvikle fangst om bord på skip som fremvoksende anvendelse i maritim sektor, der sikkerhet, energibruk og driftsintegrasjon må dokumenteres.

Transport, infrastruktur og knutepunkter: kostnadsreduksjon i hele verdikjeden

- Utvikle storskala CO₂-skipstransport med vekt på fartøydesign, lasthåndtering, sikkerhetssystemer og integrasjon med terminaler.
- Utvikle rør- og transportsystemer for CO₂ i flytende og overkritisk fase, inkludert materialvalg, korrosjonsbestandighet og håndtering av urenheter.
- Styrke kunnskapen om strømningsutfordringer i CO₂-transport, herunder faseoppførsel, énfase- og flerfasestrømning, transiente driftsforhold, trykkavlastning og strømningssikring, og sikre pålitelig måling når sammensetningen i CO₂-strømmen varierer.



- Styrke kunnskapsgrunnlaget for urenhetsspesifikasjoner, herunder hvordan ulike CO₂-strømmer påvirker materialvalg, sikkerhet, måling, transport, injeksjon og lagringsintegritet.
- Standardisere CO₂-spesifikasjoner, tekniske grensesnitt og sikkerhetskrav for grensekryssende transport, slik at ulike utslippskilder kan kobles til felles infrastruktur uten unødvendig kostnadsøkning.
- Utvikle mellomager og knutepunkter som kan koble utslippspunkter med varierende fangstprofiler til felles transport- og lagringskapasitet.

Geologisk lagring, kvalifisering og langtidsovervåking

- Karakterisere og modellere nye og eksisterende reservoarer, inkludert tømte petroleumsfelt, for storskala injeksjon, med bedre forståelse av reservoaregenskaper, trykkutvikling og usikkerhet over tid.
- Videreutvikle måling, overvåking og verifisering av lagringsintegritet over tiår, herunder brønnintegritet, brønnstengning, lekkasjedeteksjon og indusert seismisitet.
- Kvalifisere og vurdere gjenbruk av eksisterende infrastruktur fra petroleumsvirksomhet til CO₂-lagring, inkludert brønner, rørledninger og undervannsutstyr.
- Utvikle kunnskap om sameksistens mellom CO₂-transport og -lagre og annen havromsvirksomhet, inkludert fiskeri, havvind og petroleum.
- Utvikle kunnskap om hvilke tekniske, regulatoriske og kommersielle krav som må oppfylles for at Norge skal være en attraktiv og konkurransedyktig lagringsdestinasjon for europeiske utslippsaktører.

Karbonfjerning og CO₂-bruk med dokumentert klimaeffekt

- Integrere CO₂-fangst i bioenergi- og avfallsforbrenningsanlegg med dokumenterte netto-negative effekter over livsløpet.
- Utvikle direkte luftfangst med lavere energi- og regenereringsbehov, koblet til fornybar kraft, spillvarme eller annen lavutslipp energi.
- Vurdere mineralisering i basalt, industriavfall, byggematerialer og lavkarbonsement som permanent karbonbinding, der klimaeffekt og ressursbruk kan dokumenteres.
- Utvikle syntetiske drivstoff og kjemiske produkter basert på CO₂ og lavutslippshydrogen, og avklare hvilke av disse som faktisk gir dokumentert utslippsreduksjon over livsløpet, uten å svekke prioriteringen av permanent geologisk lagring.
- Utvikle metoder for måling, rapportering og verifisering, samt markedsdesign og forretningsmodeller som kan understøtte et marked for høyverdig og varig karbonfjerning.

Marked, regulering, sikkerhet og samfunn

- Utvikle forretnings- og tariffmodeller for grensekryssende CO₂-verdikjeder med åpen tilgang til rør, terminaler og lagre.
- Utvikle juridisk og regulatorisk kunnskap om tillatelsesprosesser, ansvar, overvåking i post-injeksjonsfasen og eksport av CO₂ over landegrenser.
- Analysere hvilke incentiver, støtteordninger og markedsrammer som må til for at industrien skal investere i fangstanlegg og inngå langsiktige avtaler om transport og lagring.
- Analysere samspill mellom CO₂-håndtering og hydrogenproduksjon fra naturgass der hydrogen inngår i industrielle prosesser, samtidig som markedet for storskala blått hydrogen vurderes kritisk.
- Utvikle risiko- og beredskapsanalyser for grensekryssende CO₂-infrastruktur, inkludert rør, skip, terminaler, injeksjonsbrønner og lagre.



- Styrke kunnskap om samfunnsaksept, risikokommunikasjon og lokal forankring av lagrings- og transportprosjekter.

Digitalisering og datadrevne verktøy

- Utvikle digitale tvillinger som dekker verdikjeden fra utslippspunkt til injeksjon, med sanntidsovervåking og prediktivt vedlikehold.
- Bruke kunstig intelligens og dataforvaltning til overvåking, optimalisering og deling av data i verdikjeden.
- Utvikle felles datastandarder, sikker datadeling og tydelige rammer for immaterielle rettigheter mellom utslippseiere, transportører, lagereiere og myndigheter.

Energi2050 anbefaler at disse FoUI-behovene møtes gjennom tiltak og virkemidler beskrevet i kapittel 4.

3.6 ENERGIEFFEKTIVISERING OG FORBRUKERFLEKSIBILITET

Energieffektivisering og forbrukerfleksibilitet omfatter tiltak som reduserer energibruken per produsert enhet eller per kvadratmeter, som sørger for bruk av riktig energibærer til riktig formål, og som flytter forbruk i tid eller reduserer effektuttaket når systemet er anstrengt. Sluttbrukerne er en sammensatt gruppe som inkluderer kraftkrevende industri, datasentre, husholdninger og tjenesteytende næringer. Teknologisk er området modent i den forstand at en stor andel av komponentene allerede selges kommersielt. Blant annet er varmepumper, termiske lagre, styringssystemer, smarte målere og aggregatorplattformer allerede utbredt. Samtidig utvikles det fortsatt ny teknologi som kan øke effektiviteten ytterligere. Forretningsmodellene, markedsadgangen og driftspraksisen er derimot umodne, og utnyttelsen ligger under det tekniske potensialet.

Bygningsmassen er en viktig del av dette bildet, med et energiperspektiv som går utover selve driften av ferdige bygg. Ombruk av materialer og dyprenovering bidrar til effektiv energibruk, siden det unngår energien som ellers går med til å produsere nye materialer og reise nybygg. Holdbare materialer med lang levetid virker på samme måte, ved å redusere behovet for ny produksjon over tid. Digitalisering bidrar også, siden digitale verktøy gjør det enklere å planlegge og gjennomføre denne typen løsninger i stor skala. Den bredere industripolitiske utviklingen av bygg- og anleggsnæringen, som industrialisering av byggeprosesser, sirkulær forretningsutvikling og oppbygging av arbeidskraft for nye byggemetoder, faller utenfor Energi2050s mandat, men nevnes her der den har en direkte kobling til energibruk.

Rammene for området påvirkes av endringer i europeisk og nasjonalt regelverk. EU strammer inn regelverket for energieffektivitet og for bygningers energiytelse. Dette gir norske myndigheter nye krav å innfri, men skaper samtidig et større marked i Europa for norske leverandører av energieffektiviseringsløsninger. Nasjonalt trekker utviklingen delvis motsatt vei. Prissignalene til husholdningene er dempet gjennom en statlig fastprisordning for strøm, og støtteordningene for energitiltak i bygg er strammet inn. Samtidig legger nye forbrukere, særlig datasentre, beslag på nettkapasitet raskere enn nettet bygges ut.

Sluttbrukerne kan bli en aktiv del av systemdriften ved å tilby fleksibilitet gjennom styring av forbruk, lagring og lokal produksjon. Fleksibilitet må dermed tilfredsstille de samme kravene til pålitelighet og sikkerhet som annen systemdrift. Varme får samtidig en tydeligere plass ved siden av strøm, gjennom varmepumper, spillvarme og termisk lagring, slik at riktig energibærer i større grad brukes til riktig formål. Dermed kan elektrisitet i større grad brukes



der det ikke finnes andre løsninger. I tillegg bidrar renovering og holdbare materialer til at energibehovet i eksisterende bygg blir lavere i utgangspunktet.

Til sammen gjør dette energieffektivisering og forbrukerfleksibilitet stadig viktigere for det norske energisystemet. Satsing på energieffektivisering og forbrukerfleksibilitet bidrar til å

- Styrke energisikkerheten gjennom å redusere effektuttaket i de timene systemet er mest anstrengt.
- Øke tempoet i energiomstillingen gjennom å frigjøre kraft til elektrifisering uten nye arealinngrep.

3.6.1 Markedsmuligheter og komparative fortrinn

Energieffektivisering og fleksibilitet kan frigjøre kapasitet for nye formål

Forbruket vokser raskere enn nettet bygges ut, og skaper økende press på nettkapasiteten. Datasentre er et tydelig eksempel, siden de er den raskest voksende forbruksgruppen i Norge (NVE, 2026b). Andre store forbrukere, som kraftkrevende industri, møter lignende utfordringer. Mange industribedrifter som ønsker å elektrifisere og kutte utslipp, venter også på nettkapasitet som nettet ennå ikke er dimensjonert for.

Samtidig kan disse sluttbrukerne selv bidra med betydelig frigjort kapasitet, gjennom egen energieffektivisering, fleksibilitet og bedre utnyttelse av overskuddsvarme. Dette kan frigjøre kapasitet raskere enn nett og ny produksjon kan bygges, øke effektiviteten i kraftsystemet, og levere kapasitet til nettet til en betydelig lavere kostnad enn ny kapasitet (Nærings- og fiskeridepartementet, 2023; IEA, 2025a). Det norske behovet skiller seg likevel fra det globale. Vannkraften dekker mesteparten av den kortsiktige systembalanseringen her, så forbrukerfleksibilitet trengs først og fremst for å avlaste kapasitetsgrensene i distribusjons- og regionalnettet (DNV, 2025).

Bygningsmassen har infrastrukturen for fleksibilitet, men prissignaler og markedsadgang er svekket

Bygg, både boliger og yrkesbygg, står for nesten halvparten av Norges samlede strømforbruk. Omtrent 80 prosent av strømb Bruken i bygg går til oppvarming av rom og vann (NVE, 2026c). Strengere krav til nybygg, etterisolering og oppgradering av eldre bygningsmasse ventes å bidra til redusert energibruk framover, sammen med mer energieffektive apparater (NVE, 2026c). I tillegg blir alternative oppvarmingsmetoder mer utbredt. Varmepumper blir i økende grad tatt i bruk som alternativ til direkte elektrisk oppvarming, siden de utnytter strømmen langt mer effektivt. De er i dag svært utbredt her i landet. Norge har flest varmepumper per husstand i Europa (Novap, 2025). Dette bidrar både til energieffektivisering og til fleksibilitetspotensialet i kraftsystemet.

Norge har to nasjonale mål for energieffektivisering. Det ene gjelder energiintensiteten i fastlandsøkonomien, altså hvor mye energi som brukes per krone som skapes i økonomien. Denne er redusert med 13 prosent, mot et mål om 30 prosent innen 2030 (NVE, 2025a). Det andre målet er å redusere strømforbruket i bygningsmassen med 10 TWh fra 2015-nivå (NVE, 2026c). Utviklingen på begge mål ligger klart bak 2030-ambisjonene. Kravene strammes samtidig inn fra EU-hold, der det reviderte bygningsenergidirektivet krever lavere gjennomsnittlig energibruk i boligmassen innen 2030. Norge har imidlertid ikke avgjort om direktivet skal tas inn i EØS-avtalen (ED, 2026a).

Prissignalet som skal utløse fleksibilitet hos husholdninger er svekket. Smarte målere dekker omtrent alle målepunktene, men andelen kunder med dynamiske prisavtaler falt betydelig etter at Norgespris ble innført i oktober 2025. Ordningen gir husholdninger en fast strømpris,



og skjermer dem dermed mot varierende priser, men den fjerner samtidig den økonomiske motivasjonen til å flytte forbruket til billigere timer (NVE, 2026d).

Tilgangen til Statnetts reservemarkeder, som brukes til å holde kraftsystemet i balanse fra time til time, åpnes gradvis for små og aggregerte ressurser. Statnett har lagt en trinnvis plan der kravene til minste budstørrelse senkes og flere ressurser kan delta samlet. Full åpning for uavhengig aggregering er ventet mot slutten av tiåret. Foreløpig er tilgangen likevel begrenset (Statnett, 2026).

Potensialet for varmeutnyttelse i industrien er betydelig, men bare en del av den er anvendbar i dag

De største norske industribedriftene vurderer potensialet for ytterligere prosessforbedringer som begrenset innenfor dagens teknologi, men flere av dem utvikler ny teknologi for å effektivisere prosessene videre (Oslo Economics & SINTEF, 2022). Overskuddsvarme er en ytterligere kilde til besparelser, men bare en del av den kan utnyttes med dagens teknologi og infrastruktur. Det tekniske potensialet er anslått til om lag 20 TWh. Dette er varme som kan bidra til å redusere kraftbehovet i andre næringer (Oslo Economics & SINTEF, 2022). Den viktigste barrieren er likevel at det sjelden finnes avtakere der varmen er tilgjengelig.

Industrien står for mesteparten av veksten i globalt energiforbruk, og forbedringstakten i industriens energieffektivisering har flatet kraftig ut de siste årene (IEA, 2025b). Elektrisitet dekker i dag bare en liten del av industriens varmebehov. Varmepumper kan i prinsippet dekke en betydelig andel av dette behovet, særlig i lettere industri, men er fortsatt vesentlig dyrere å investere i enn tradisjonelle kull- og gasskjeler (IEA, 2026a).

Markedet for industrielle varmepumper er fortsatt lite og umodent (IEA, 2026a), og teknologien er ennå ikke konkurransedyktig for de høyeste temperaturene som brukes i industrien, over 150 grader (Oslo Economics & SINTEF, 2022). Norske forsknings- og leverandørmiljøer har likevel vist at de kan ta internasjonale posisjoner på dette feltet, blant annet innen naturlige kuldemedier i varmepumper. Det er muligheter for å ta tilsvarende posisjoner også innen høytemperaturvarmepumper, varmevekslere og termisk lagring for industrien.

3.6.2 Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov

Barrierene for energieffektivisering og forbrukerfleksibilitet er bare delvis teknologiske. En stor andel av komponentene finnes allerede, men de tas ikke i bruk i stor skala. Det er fremdeles behov for å utvikle bedre og nye komponenter og løsninger. Den manglende bruken skyldes flere sammensatte forhold. Mange bygg og installasjoner mangler styringssystemer som kan svare på pris- eller systemsignaler, dels fordi inntektene ved å installere dem er for lave til å forsvare kostnaden. Samtidig er betalingsviljen for fleksibilitet lav, og bruk av sanntidsdata til styring reiser spørsmål om personvern og cybersikkerhet (THEMA, 2025a). Fleksibiliteten er dessuten minst tilgjengelig når systemet trenger den mest, på de kaldeste vinterdagene, da forbruket er lite elastisk. I industrien er fleksibiliteten i stor grad latent, i termisk treghet i ovner, kjeler og mellomlagre, men den er ikke kartlagt, og nedskalering av produksjonen koster.

For å møte disse barrierene bør Norge prioritere FoUI-aktiviteter innen:

Samordning og utnyttelse av distribuert fleksibilitet og overskuddsressurser

- Metoder for å samle, overvåke og styre fleksibilitet fra mange små ressurser for å sikre at den kan tas i bruk som en operativ systemfunksjon.
- Utvikling av forklarbare og verifiserbare modeller for lastprognoser og prediktiv styring.
- Løsninger for toveis lading og aggregering av lagringskapasitet i elbilparken, samt øke kunnskap om hvordan slik drift påvirker batterilevetiden.



- Kunnskap om hvordan forbruksfleksibilitet kan gjenopprette nett- og systemdrift i avgrensede områder i beredskapssituasjoner.
- Samlokalisering og næringsparker på tvers av industrier, som gir avtakere for overskuddsvarme, sidestrømmer og frigitt fleksibilitet.

Energioppgradering og valg av energibærer i bygningsmassen

- Industrialiserte og kostnadseffektive arbeidsmetoder for energioppgradering av bygningen.
- Metoder for å avgjøre hvilken energibærer som bør dekke hvilket formål, og for konvertering til vannbåren varme.
- Kunnskap om samspillet mellom passive tiltak, varmepumper og effektstyring i samme bygg.
- Kunnskap om hvor mye energi ombruk av bygningsmaterialer og dyprenovering sparer sammenlignet med nybygg.
- Digitale verktøy for å planlegge og gjennomføre energieffektive ombruks- og renoveringsløsninger i stor skala.

Sluttbrukeratferd, roller og virkemiddelutforming

- Kunnskap om hvilken styring ulike brukergrupper er villige til å gi fra seg, og hvorfor.
- Utredning av hvilke roller lokal samordning av effektuttak krever, og hvor ansvaret hører hjemme.
- Analyser av gapet mellom samfunnsøkonomisk og bedriftsøkonomisk lønnsomhet ved industriell fleksibilitet.

Energieffektiv og fleksibel datasenterdrift

- Løsninger for å flytte databehandling og kjølebehov til andre tidspunkter eller andre steder.
- Teknologi som hever temperaturen på overskuddsvarme fra datasentre til et nivå varmekunder kan bruke.
- Analyser av hvordan lokalisering og regulering av datasentre påvirker energi- og arealbruk lokalt.

Industriell varmeutnyttelse, prosessteknologi og termisk lagring

- Utvikling av prosessteknologi som senker energibruken per produsert enhet ut over det dagens anlegg gir rom for.
- Høytemperaturvarmepumper og rimeligere varmevekslere for oppgradering av lavtemperert overskuddsvarme.
- Termisk energilagring på time-, døgn- og sesongbasis, blant annet med faseendringsmaterialer og lagring i berggrunn.
- Energieffektiv kjøling og fjernvarme med lavere driftstemperatur, som dekker både varme- og kjølebehov i samme område.
- Metoder for å kvantifisere fleksibilitet i industrielle prosesser som kan aktiveres uten produksjonstap.

Digital grunnmur, datakvalitet og cybersikkerhet

- Felles datamodeller og åpne grensesnitt som gjør fleksibilitetsløsninger uavhengige av leverandør.
- Metoder for å sikre datakvalitet og sporbarhet i måle-, styrings- og kommunikasjonssystemer.
- Sikkerhetsarkitektur fra enhet til marked, med vekt på nasjonal kontroll over energidata.



Energi2050 anbefaler at disse FoU-behovene møtes gjennom tiltak og virkemidler beskrevet i kapittel 4.

3.7 HAVBUNNSMINERALER

Havbunnsmineraler omfatter kartlegging, undersøkelse, eventuell utvinning, håndtering og videre verdikjedeutvikling for polymetalliske mineralforekomster på havbunnen. På norsk sokkel gjelder dette særlig sulfider, manganskorper og metallholdig leire. Området er i en utviklingsfase, der ressursgrunnlaget er lovende, men der kunnskapen fortsatt er utilstrekkelig til å fastslå hva som kan utvinnes teknisk, økonomisk og miljømessig forsvarlig. Denne kunnskapen vil både kunne styrkes gjennom lisensarbeid og forskningsprosjekter. Energi2050 har en egen ekspertgruppe på havbunnsmineraler. Den videre beskrivelsen av området er basert på ekspertgrupperapporten som ble publisert i 2026 (Energi2050, 2026b).

Rammene rundt området er i rask endring. Kritiske råvarer har fått økt strategisk betydning i Europa, samtidig som miljøkrav, forventninger til dokumentasjon og internasjonal skepsis til havbunnsmineralvirksomhet gjør at legitimitet blir en avgjørende gjennomføringsbetingelse. For Norge innebærer dette at videre utvikling må skje stegvis, transparent og kunnskapsbasert, med tydelige krav til datainnsamling, risikostyring og miljøovervåking.

Utviklingen bør derfor rettes mot å modne en mulig norsk og europeisk verdikjede der ressurskartlegging, miljøforståelse, teknologiutvikling, prosessering, sikker drift, sporbarhet og samfunnsdialog utvikles parallelt. Målet er å styrke beslutningsgrunnlaget og utvikle en innovasjonsplattform som gjør det mulig å styrke kunnskapsgrunnlaget om hvordan havbunnsmineraler kan bidra til lavutslippssamfunnet, forsyningssikkerhet og bærekraftig verdiskaping.

- Styrker energisikkerhet og europeisk strategisk autonomi gjennom mulig framtidig tilgang på kritiske råvarer.
- Gir Norge mulighet til å utvikle en ny havromsnæring basert på offshorekompetanse, undergrunnsforståelse, maritim kompetanse og teknologi, prosessindustri og avansert teknologi.
- Bygger langsiktig kunnskap og teknologi for bærekraftig ressursutnyttelse, miljøstyring og sikker drift i dyphavet.

3.7.1 Markedsmuligheter og komparative fortrinn

Kritiske råvarer er blitt en strategisk knapphetsfaktor

Den globale etterspørselen etter kritiske råvarer øker som følge av energiomstilling, elektrifisering, digitalisering og forsvarsrelaterte behov. Kobber, kobolt, litium, nikkel, mangan og sjeldne jordarter er nødvendige innsatsfaktorer i kraftnett, batterier, elbiler, havvind, elkraftelektronikk og annen strategisk teknologi. IEA peker på betydelig vekst i etterspørselen etter flere slike råvarer frem mot 2040, og særlig kobber trekkes frem som en mulig flaskehals der resirkulering vil bidra, men ikke alene dekke behovet (IEA, 2025a). Dette gjør tilgang til nye, ansvarlige råvarekilder viktig for tempoet i energiomstillingen.

Samtidig er verdikjedene for mange kritiske råvarer sterkt konsentrert. Kina dominerer store deler av prosessering og videreforedling for flere mineraler som er sentrale i grønn teknologi, og Europa er derfor sårbart for leveranseavbrudd, prisvolatilitet og geopolitisk press. EUs Critical Raw Materials Act setter mål om økt egen utvinning, prosessering og resirkulering, men Europa vil fortsatt være avhengig av import og nye ressurskilder i lang tid (European



Parliament & Council of the European Union, 2024). Kritiske råvarer er dermed et beredskaps- og industripolitisk spørsmål, ikke bare et ordinært råvaremarked.

Norsk sokkel kan gi et nytt bidrag til europeiske verdikjeder

Norge har betydelige tilstedeværende havbunnsmineralressurser på kontinentalsokkelen. Sokkeldirektoratets ressursvurdering anslår blant annet om lag 38,1 millioner tonn kobber, 45,0 millioner tonn sink og 1,0 million tonn kobolt i sulfidforekomster, samt om lag 3,1 millioner tonn kobolt og 185 millioner tonn mangan i manganskorper (Sokkeldirektoratet, 2023). Tallene må tolkes med varsomhet: de beskriver tilstedeværende ressurser, ikke kommersielt utvinnbare reserver. Usikkerheten er stor fordi datadekningen fortsatt er begrenset, og fordi utvinnbarhet avhenger av teknologi, prosjektøkonomi, miljøkrav og regulatoriske rammer.

Nyere funn av sulfidforekomster, blant annet Deep Insight, Grøntua og Gygra, styrker indikasjonene på et betydelig ressursmessig potensial. Prøver fra lokalt undersøkte deler av Gygra-funnet viste et gjennomsnitt på om lag 8 vektprosent kobber, mens Grøntua viste et gjennomsnitt på om lag 6 vektprosent kobber (Energi2050, 2026b). Høye metallkonsentrasjoner kan redusere behovet for uttak av malm per produsert metallenhet, senke energibruk i prosessering og begrense mengden restmasser. Samtidig kreves videre geologisk karakterisering, prøvetaking og avgrensning før forekomstene kan vurderes som drivverdige.

Utviklingen av en havbunnsmineralnæring kan skape betydelig verdiskaping gjennom hele verdikjeden, inkludert teknologiutvikling, maritime tjenester, overvåking, prosessering og eksport av kompetanse og løsninger.

Norge har industrielle og regulatoriske fortrinn, men markedet krever dokumentasjon

Norges viktigste fortrinn ligger ikke bare i ressursene, men i kombinasjonen av havromskompetanse, undergrunnsforståelse, leverandørindustri, prosessindustri, maritim teknologi, digitalisering, sikkerhetskultur og regulatorisk erfaring. Kompetanse fra petroleum, havvind, maritim sektor og prosessindustri kan brukes til kartlegging, fjernstyrte og autonome operasjoner, systemintegrasjon, logistikk, prosessering og risikostyring. Norge har også erfaring med å utvikle regelverk og forvaltningsregimer for krevende offshorevirksomhet, noe som kan gi troverdighet dersom utviklingen skjer transparent og med strenge krav til miljø, sikkerhet og datadeling.

Markedsmulighetene avhenger likevel av om havbunnsmineraler kan dokumenteres som et ansvarlig supplement til landbasert utvinning, resirkulering og sirkulære løsninger. Europeiske kunder, finansmiljøer og myndigheter vil stille krav til sporbarhet, miljødata, aktsomhet, sikkerhet og etterlevelse. Produkter fra en eventuell norsk verdikjede må derfor kunne dokumentere lav miljøpåvirkning, høy ressursutnyttelse og god styring av risiko gjennom hele verdikjeden. Uten slike data øker risikoen for politiske omkamper, svak legitimitet og redusert investeringsvilje. Dette understrekes av IEA (2026b) som anbefaler at Norge bør videreføre havbunnsmineralaktivitet gjennom utforskningsfasen med strenge miljøkrav.

Politisk forutsigbarhet og samfunnslegitimitet avgjør gjennomføringsevnen

Stortinget åpnet i 2024 områder på norsk kontinentalsokkel for mineralvirksomhet, men den første lisensrunden er utsatt. Ekspertgruppen peker på at slike utsettelser skaper usikkerhet for industri og FoU-miljøer, fordi investeringer i teknologi, datainnsamling, miljøovervåking og kompetanse forutsetter forutsigbare rammer (Energi2050, 2026a). En første lisensrunde vil være en viktig mekanisme for å mobilisere kapital, industriell kapasitet og forskningsinnsats,



samtidig som den kan gjennomføres trinnvis og med tydelige kunnskapskrav. Manglende framdrift innebærer også risiko. Langvarig usikkerhet kan føre til redusert investeringsvilje, tap av kompetanse og svekket internasjonal konkurransekraft for norske aktører.

Samfunnslegitimitet blir en like viktig gjennomføringsbetingelse som teknologi og økonomi. Dyphavsøkosystemer er mindre kartlagt, enkelte naturtyper kan ha lang restitusjonstid, og mulig påvirkning fra fysisk inngrep, partikkelspredning, støy og lys må forstås bedre, og da i tett samarbeid med teknologileverandørene (OSPAR Commission, 2021; Olje- og energidepartementet, 2023a). Det er derfor behov for tidlig dialog, uavhengig kunnskapsbygging, åpne data og et forvaltningsregime som kan justere eller stanse aktivitet dersom ny kunnskap tilsier det. En slik tilnærming kan redusere konflikt, styrke tillit og gjøre det mulig å ta bedre beslutninger om videre utvikling.

3.7.2 Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov

De viktigste barrierene for havbunnsmineraler er usikkerhet om ressursgrunnlaget, begrenset kunnskap om dyphavsmiljøet, umoden teknologi, uavklarte verdikjeder, krevende sikkerhets- og beredskapsforhold og svak forutsigbarhet i politiske og regulatoriske rammer. For å møte disse barrierene bør Norge prioritere FoUI-aktiviteter innen:

Ressursgrunnlaget

- Fortsette kartlegging av ressurser.
- Øke geologisk forståelse og styrke kunnskapen om ressursgrunnlaget.
- Forstå prospektivitet og avgrense tidligere funn og nye områder gjennom lisensarbeid.
- Videreutvikle metoder og teknologi for ressurskartlegging, prøvetaking og estimering, inkludert usikkerhetskvantifisering.
- Styrke mineralkarakterisering og vurdering av prosesserbarhet som grunnlag for mulig ressursutnyttelse.

Miljø

- Etablere systematisk metodikk for helhetlig miljøstyring langs hele verdikjeden fra kartlegging, via eventuell utvinning og prosessering, til håndtering av overskuddsmasser.
- Etablere og tilpasse standarder for baseline-data, indikatorer, sensorer og overvåkingsprogram som dokumenterer påvirkning og støtter adaptiv forvaltning.
- Fortsette miljøkartleggingen av dyphavet og utføre regionale baseline-studier.
- Utvikle og standardisere metodikk for kartlegging og klassifisering av dyphavsnaturtyper og bentiske økosystemer.
- Kartlegge habitatdannende arter, sårbare marine økosystemer og økologisk konektivitet mellom forekomster og referanseområder.
- Utvikle prediktive habitatmodeller og indikatorer for økologisk tilstand og restitusjon etter fysisk påvirkning.

Teknologi og utvinningsmetodikk

- Utvikle og videreutvikle teknologikonsepter og metodikk som styrker kunnskap om ressursgrunnlag, økonomisk lønnsomhet og miljømessig ansvarlighet.
- Utvikle, videreutvikle og kvalifisere konsepter for autonome, parallelle og adaptive operasjoner.
- Videreutvikle konsepter for produksjon, håndtering og verdikjedeutvikling.



- Videreutvikle drifts- og utvinningsteknologi som tar hensyn til ressursenes beskaffenhet, regionalt klima, logistikk, avstander og miljøkrav.
- Utnytte KI og digital teknologi i datafangst, tolkning, arbeidsprosesser og beslutningsstøtte for både ressurs- og miljøforståelse.

Prosessering og ressursutnyttelse

- Utvikle konsepter for god ressursutnyttelse som samtidig minimerer miljøpåvirkning gjennom verdikjeden.
- Gjennomføre innledende prosesseringstester og småskala prosessering som grunnlag for videre pilotering.
- Effektivisere mineral karakterisering som grunnlag for prosessering og høy ressursutnyttelse.
- Skalere prosessering og utvikle løsninger som kan håndtere variasjon i mineralogi og metallinnhold.
- Utvikle løsninger som skaper verdi av sideprodukter og reduserer behovet for deponering eller annen håndtering av restmasser.

Sikkerhet og beredskap

- Utvikle metodikk for risiko-, sikkerhets- og beredskapsvurderinger.
- Gjennomføre innledende regionale risiko- og beredskapsanalyser.
- Utvikle sikkerhets- og beredskapsløsninger for områder som eventuelt lyses ut for lisenstildeling.
- Videreutvikle barrierestyring, beredskap, fjernstyrte operasjoner og håndtering av lange responstider i krevende havområder.
- Integrere digital sikkerhet og sikring av kritiske systemer og data i teknologi- og operasjonsutviklingen (Havindustritilsynet, 2026a).

Samfunn, legitimitet og rammebetingelser

- Videreutvikle datadeling og transparens som bygger på etablert praksis på norsk sokkel.
- Evaluere rammebetingelser som kan stimulere til samfunns- og bedriftsøkonomisk lønnsom havbunnsmineralvirksomhet.
- Styrke kunnskap om samfunn, omstillingsprosesser, involvering, kultur, verdier og holdninger.
- Utvikle kunnskap om politikk, forvaltning, prosesser, lovgivning og reguleringer.
- Vurdere økonomi, virkemidler og markedsdokumentasjon som kan støtte legitimitet, sporbarhet og ansvarlig verdikjedeutvikling.

Behovene må forstås langs en tidsakse. På kort sikt er det mest tidskritisk å styrke kunnskapsgrunnlaget gjennom ressurs- og miljøkartlegging, metodeutvikling, datadeling, innledende prosesseringstester, risikovurderinger og samfunnsdialog. På mellomlang sikt bør FoUI i større grad støtte kvalifisering av sammenhengende verdikjeder, inkludert teknologiutvikling, lokale baseline-studier, kontinuerlig miljøovervåking, prosessering, sikkerhets- og beredskapsløsninger og internasjonalt samarbeid. På lang sikt blir god miljøforvaltning, vurdering av kumulative effekter, sporbarhet, markedsdokumentasjon, optimalisering av teknologi og prosessering samt beredskap for industriell drift avgjørende.

Energi2050 anbefaler at FoUI-behovene for havbunnsmineraler følges opp gjennom de tverrgående tiltakene og virkemidlene som beskrives i kapittel 4, med særlig vekt på samordnet kunnskapsbygging, åpen datadeling, trinnvis teknologiutvikling, miljø- og ressurskartlegging, kompetansebygging og internasjonalt samarbeid om kritiske råvarer.



3.8 HAVVIND

Havvind omfatter kraftproduksjon fra vindturbiner til havs og den tilhørende verdikjeden, fra kartlegging av ressurser og naturforhold, til drift, vedlikehold og dekommisjonering. Området inkluderer et kommersielt modent og et førkommersielt teknologispør. Bunnfast havvind bygges ut i stor skala internasjonalt. Flytende havvind har få anlegg i drift, høyere kostnader og et lite standardisert teknologibilde. Skillet er avgjørende i norsk sammenheng, fordi vandypet i store deler av norske havområder utelukker bunnfaste løsninger.

Rammevilkårene for havvind endres på flere fronter samtidig. Høye investeringskostnader og økte finansieringskostnader har vært en hovedårsak til at utbyggingen har stoppet opp internasjonalt de siste årene, forsterket av høy inflasjon i leverandørkjeden. Auksjoner er avlyst eller har gått uten bud i flere europeiske markeder, og forsyningskjedene hviler på få leverandører i få land. Behovet for ny kraft er samtidig uendret, og utviklingen går mot større turbiner, lengre avstand til land og dypere vann, og mot serieproduksjon i en næring der anleggene i dag bygges enkeltvis. Utbyggingstakten i Norge bestemmes nå av arealtildelinger, konsesjonsfrister og støtteordninger mer enn av teknologien.

Havvindens viktigste bidrag framover er økt kraftproduksjon, i en periode der kraftoverskuddet svekkes. Området leverer på Energi2050s målsetning ved å styrke forsyningssikkerheten og legge grunnlag for en eksportnæring som kan erstatte aktivitet og arbeidsplasser når petroleumsvirksomheten avtar. Fortrinnene inkluderer gode vindforhold og dype havområder som egner seg for flytende havvind, samt sterke maritime fagmiljøer med erfaring fra krevende operasjoner til havs. Kompetanse- og teknologioverføring fra olje og gass er dermed en reell fordel, men den har også en bakside. Kostnadsnivået i oljenæringen er bygget opp rundt en lønnsomhet havvind ikke har, og næringen sliter med å bære de samme kostnadene. Forskning er nødvendig for å få ned kostnadene og utvikle verdikjeden samlet.

Satsing på havvind bidrar til å

- Øke tempoet i energiomstillingen gjennom å gjøre store fornybare kraftmengder tilgjengelige for elektrifisering av transport, industri og petroleumsvirksomhet, og for kraftforsyningen i Europa.
- Sikre økonomisk vekst og arbeidsplasser gjennom å videreutvikle en leverandørindustri med etablerte posisjoner innen marine operasjoner, flytende konstruksjoner og elektrisk infrastruktur.

3.8.1 Markedsmuligheter og komparative fortrinn

Veksten i det globale havvindmarkedet skjer i Kina, og verdikjeden hviler på få leverandører

I 2025 ble det installert 9,3 GW ny havvindkapasitet globalt (se Figur 16). Globalt nådde total installert havvindkapasitet 92,5 GW (se **Error! Reference source not found.**). Veksten er i økende grad drevet av Kina. Europeisk utbygging falt til det laveste nivået siden 2016 (GWEC, 2026). Nordsjølandene, Norge inkludert, har likevel en felles ambisjon om å bygge ut 300 GW havvind innen 2050 (Nordsjølandenes energiministre, 2026).

Verdikjeden for havvind er konsentrert. Kina sto i 2024 for om lag 70 prosent av den globale produksjonskapasiteten for maskinhus og blader (IEA, 2026a), og for nær 95 prosent av produksjonen av permanentmagneter (IEA, 2026a). Havvindturbiner bruker nesten utelukkende permanentmagnetgeneratorer, og IEA peker på magnetene og de sjeldne



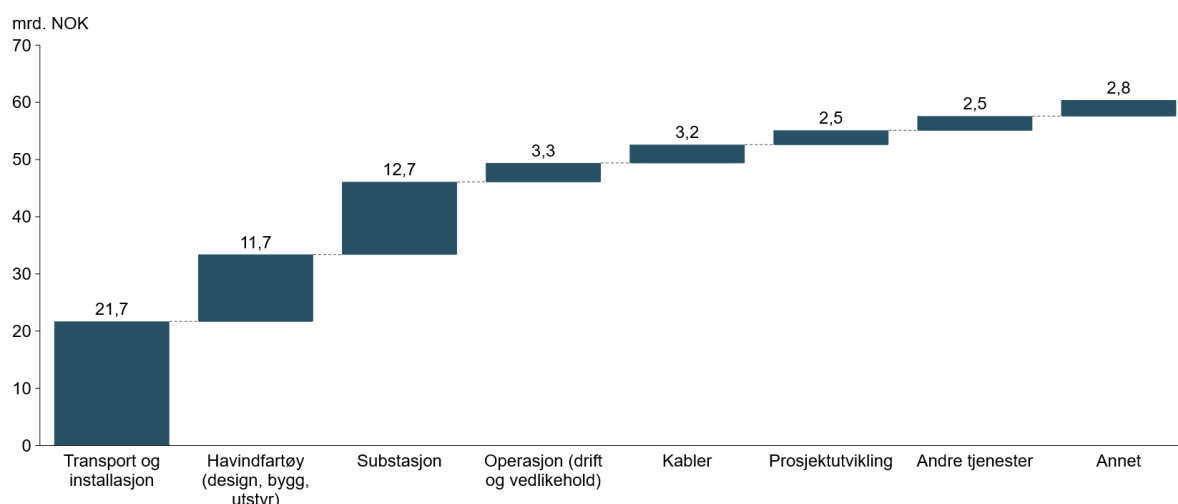
jordartene i dem som den mest akutte forsyningsrisikoen for vindturbinindustrien (IEA, 2026b).

Norsk leverandørindustri har vokst til 60 mrd. kroner uten et hjemmemarked

Norsk leverandørindustri til havvind har hatt betydelig vekst de siste årene, og omsatte for 60,3 mrd. kroner i 2024 (Multiconsult et al., 2025). Veksten har i hovedsak kommet fra internasjonale markeder, og bare 16 prosent av omsetningen kom fra det norske markedet. Næringen er likevel en viktig arbeidsgiver her hjemme. Den sysselsatte 7 200 årsverk i 2024 (Multiconsult et al., 2025).

De norske leverandørene til havvind er ujevnt fordelt langs verdikjeden. Transport, installasjon og bygging av havvindfartøy utgjør over halvparten av omsetningen, og transformatorstasjoner og kabler ytterligere en fjerdedel, som vist i Figur 18. Andre tjenester, i stor grad rådgivningstjenester, står for rundt 5 prosent, og de resterende segmentene, blant annet flytende understell, bunnfaste fundamenter, havner og dekommisjonering, står samlet for rundt 5 prosent (Norsk Industri & HavvindNO, 2026). Omsetningen er også

Figur 16: Nye offshore vindinstallasjoner fordelt på land i 2025 (GW) (GWEC, 2026)



Figur 17: Omsetning i leverandørkjeden for havvind fordelt på segmenter, 2024 (mrd. NOK) (Norsk Industri & HavvindNO, 2026).

konsentrert hos noen få selskaper. Av over 550 leverandører står de ti største for tre fjerdedeler av omsetningen (Norsk Industri & HavvindNO, 2026).

Flytende teknologi er nødvendig for utbygging av havvind på norske arealer, men kostnadsnivået er høyt

Bunnfast havvind egner seg ned til om lag 60–70 meters havdyp. I norske farvann øker vanddybden raskt rett utenfor kysten, i motsetning til i land som Danmark, Tyskland og Storbritannia. Dette betyr at det aller meste av det utnyttbare vindpotensialet i Norge krever flytende teknologi. NVE har vurdert 20 havvindområder i Norge. De fleste av disse områdene ligger på dyp over 70 meter og krever dermed flytende løsninger (Enova, 2025a).

Ved utgangen av 2025 hadde Norge om lag 100 MW operativ havvindkapasitet, utelukkende flytende. Dette gjør landet til verdens største marked for flytende havvind i drift, og har gitt viktig driftserfaring fra flytende anlegg under krevende forhold i Nordsjøen (ED, 2026b).



Kostnadsnivået for flytende havvind er høyt. NVEs kostnadsanslag anslår levetidskostnaden til over 150 øre/kWh i 2024-kroner (NVE, 2025c). Enova venter likevel betydelige kostnadsreduksjoner framover, særlig knyttet til flyteren selv, uttauing og tilkobling, samt prosjektutviklingskostnader (Enova, 2025a). Det er likevel usikkert om kostnadene kan komme langt nok ned til at flytende havvind blir lønnsomt nok til å nå de ambisjonene Norge har satt for teknologien.

Hjemmemarkedet preges av regulatorisk usikkerhet, og kunnskapen om natur og sikkerhet er mangelfull

NVEs langsiktige analyse anslår at havvind kan bidra med 17 TWh ny produksjon fram mot 2050 (NVE, 2025c). For å nå dette kreves det betydelig utbygging, og den norske ambisjonen er å tildele areal for 30 GW havvind innen 2040 (Nærings- og fiskeridepartementet & Energidepartementet, 2025). NVE har konsekvensutredet 18 av 20 aktuelle områder for havvind i Norge, og noen peker seg ut med både bedre tekniske og økonomiske forutsetninger og mer begrensede konsekvenser samlet sett. Disse er Vestavind C og de tre områdene Sørvest B, Sørvest C og Sørvest D (NVE, 2025d).

To områder er tildelt så langt, Sørlige Nordsjø II (bunnfast) og Utsira Nord (flytende). Tildelingen gir utbygger en tidsavgrenset rett til å utrede området og søke konsesjon. Begge prosjektene er forsinket. Fristen for konsesjonssøknad i Sørlige Nordsjø II er forlenget til oktober 2027 (Energidepartementet, 2026b), og Stortinget vedtok i juni 2026 at støtteordningen for Utsira Nord skal kvalitetssikres eksternt før staten inngår forpliktelser (Stortinget, 2026b). Forsinkelsene kommer i tillegg til den kostnadsveksten som preger havvindnæringen internasjonalt. Med en ledetid på 8 til 12 år per prosjekt (NHO, 2025) vil havvind uansett ikke bidra til kraftbalansen før etter 2030.

NVE understreker at kunnskapen om konsekvensene for naturmangfold er mangelfull (NVE, 2025d). Det samme gjelder kunnskap om arbeidsmiljø og sikkerhet. Skadefrekvensen i havvind ligger høyere enn i petroleumsvirksomheten til havs. Kunnskapsgrunnlaget om arbeidsmiljø mangler dessuten studier av langtidseffekter (Energidepartementet, 2026b).

3.8.2 Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov

Kostnadsnivået er den gjennomgående barrieren, særlig for flytende havvind. Kostnadsreduksjon i den skalaen som kreves, følger ikke av teknologiutvikling alene. Mye av potensialet ligger i standardisering og gjenbruk av løsninger på tvers av prosjekter, og mangelen på dette har vært en sentral årsak til at utbyggingen har stoppet opp internasjonalt. Forskning og innovasjon må virke sammen med oppskalering av produksjons- og installasjonskapasitet og standardisering av grensesnitt. Det største potensialet for kostnadsuttak ligger i grensesnittene mellom leddene i verdikjeden, der komponenter og aktører møtes, men det forblir uutnyttet så lenge hvert ledd optimaliseres hver for seg (Tomasgard et al., 2026).

Ytterligere barrierer er kunnskapen om havmiljøet og systemsiden. Virkningene for naturmangfold og sameksistensen med fiskeri, sjøfart og forsvar er ikke tilstrekkelig kartlagt, og kartlegging før tildeling forutsetter metoder og målekapasitet forvaltningen i dag mangler. På systemsiden endrer havvind i stor skala energisystemet, og kostnaden for samfunnet avhenger av hvordan parkene knyttes til nettet, hvordan de leverer systemtjenester, og hvordan de kobles mot fleksibelt forbruk, lagring og hydrogenproduksjon. For å møte disse barrierene bør Norge prioritere FoUI-aktiviteter innen:

Flytende konstruksjoner, forankring og grensesnittet mot turbinen

- Integrert design og optimalisering av flyter, forankring og turbin



- Utvikle nytt regelverk for sertifisering tilpasset at turbinen flyter og beveger seg, i stedet for å anta at den står fast.
- Langtidskvalifisering av syntetiske forløyningmaterialer, herunder slitasje over tid og samspill med dynamiske kraftkabler.

Industrialisering, serieproduksjon og havneinfrastruktur

- Automatiserte produksjonssystemer for sveising, håndtering og testing av store stålkonstruksjoner.
- Serieproduksjonsmetoder for betongunderstell, herunder forskaling, armering og herdekontroll.
- Utforming og drift av havner som langsiktige industrielle knutepunkter for sammenstilling, integrasjon og utslep av turbiner.

Marine operasjoner, drift, vedlikehold og levetid

- Samtidig utforming av fartøysflåte, havneinfrastruktur og installasjonsprosesser under usikkerhet i utbyggingsvolum og installasjonstakt.
- Teknologi for adkomst og utskifting av hovedkomponenter til havs som alternativ til slep til havn.
- Prediktivt vedlikehold og digitale tvillinger som grunnlag for å forlenge teknisk levetid ut over designlevetiden.

Elektrisk infrastruktur til havs og systemintegrasjon

- Dynamiske eksportkabler, undervanns koblingsanlegg og transformatorstasjoner kvalifisert for kontinuerlig bevegelse.
- Metodegrunnlag for valg av tilknytningstopologi, herunder avveiningen mellom vekselstrøm, radiell likestrøm og hybride løsninger.
- Standarder og verifikasjonsmetoder for interoperabilitet mellom komponenter fra ulike leverandører i samme overføringssystem.
- Konsepter for å koble havvindanlegg til eksisterende infrastruktur på sokkelen og mot fleksibelt forbruk, lagring og hydrogenproduksjon.

Havbunn, vindressurser og marint miljø

- Autonome systemer for dybde- og miljøkartlegging av havbunnen, og metoder for å tolke data fra dem.
- Kartlegging av grunnforhold på havbunnen som grunnlag for plassering, fundamentering og kabeltraséer.
- Utstyr og modeller for å måle vind- og turbulensforhold, inkludert vakeeffekter mellom parker.
- Metoder for å vurdere den samlede påvirkningen når flere anlegg og flere næringer bruker samme havområde.
- Helhetlig miljøovervåking gjennom hele installasjonens levetid, fra bygging til drift og avvikling, herunder effekten av undervannsstøy på marint liv.

Robuste verdikjeder, sikkerhet og arbeidsmiljø

- Kartlegging av sårbarheter i forsyningskjeden for turbinkomponenter, kabler, omformere og installasjonskapasitet.
- Konsepter for generator og drivverk med redusert behov for sjeldne jordarter.
- Modeller for sikkerhetsstyring tilpasset de særskilte risikoene ved havvind, herunder hvilke elementer fra petroleumsnæringen som er overførbare.
- Undervannsovervåkning for å oppdage skade, inngrep og sabotasje mot kabler og annen undervannsinfrastruktur i sanntid.



- Cybersikkerhet for fjernstyrte og ubemannede anlegg til havs, med sikkerhet innebygd fra konstruksjonsfasen.

Energi2050 anbefaler at disse FoUI-behovene møtes gjennom tiltak og virkemidler beskrevet i kapittel 4.

3.9 KLIMAVENNIG MARITIM TRANSPORT

Området klimavennlig maritim transport omfatter fartøy, fremdriftssystemer, energibærere og infrastrukturen i havn som skal forsyne dem, både for skip i norsk innenriksfart og for den delen av norsk maritim industri som leverer til den internasjonale flåten. Energi2050 har grenseflater mot flere sektorspesifikke strategier, blant annet med Maritim21. Energi2050 avgrenser seg mot Maritim21 ved å behandle maritim transport primært som del av energisystemet med vekt på alternative drivstoff, energibærere, infrastruktur, verdikjeder og energibruk. Bredere maritime kunnskapsbehov knyttet til temaer som flåtefornyelse, retrofit, levetidsforlengelse, materialbruk, skrogdesign og maritim teknologiutvikling dekkes av den sektorspesifikke strategien Maritim21.

Modenheten varierer mellom teknologier og skipssegmenter. Batteridrift og landstrøm er allerede i kommersiell drift for ferjer og annen rutegående passasjertrafikk. Lavutslippsløsninger som LNG, metanol, biodrivstoff og hybride løsninger er i bruk eller under innfasing i enkelte skipssegmenter. Ammoniakk og hydrogen er fortsatt i en tidligere fase, med enkeltfartøy, demonstrasjonsprosjekter og pilotering. For nullutslippsløsninger i store havgående skip gjenstår det betydelige utfordringer knyttet til rekkevidde, energitetthet, infrastruktur og kostnader.

Rammene for klimavennlig maritim transport er i endring. Internasjonal skipsfart møter stadig strengere utslippskrav. Dette inkluderer krav til utslippsintensitet i drivstoffet og krav om landstrøm i havn. Samtidig er det globale rammeverket ennå ikke endelig vedtatt. Kombinasjonen av bindende regionale krav og uavklarte globale krav preger investeringsbeslutningene i næringen.

Utviklingen går mot drivstoff-fleksible fartøy. Rederiene bestiller i økende grad skip som kan bruke flere energibærere. Dette kommer som en følge av usikkerhet knyttet til framtidige reguleringer, drivstofftilgang, kostnader og teknologiutvikling. Samtidig får energieffektivisering fornyet oppmerksomhet, siden det gir gevinst uavhengig av hvilken energibærer de ulike skipssegmentene ender opp med.

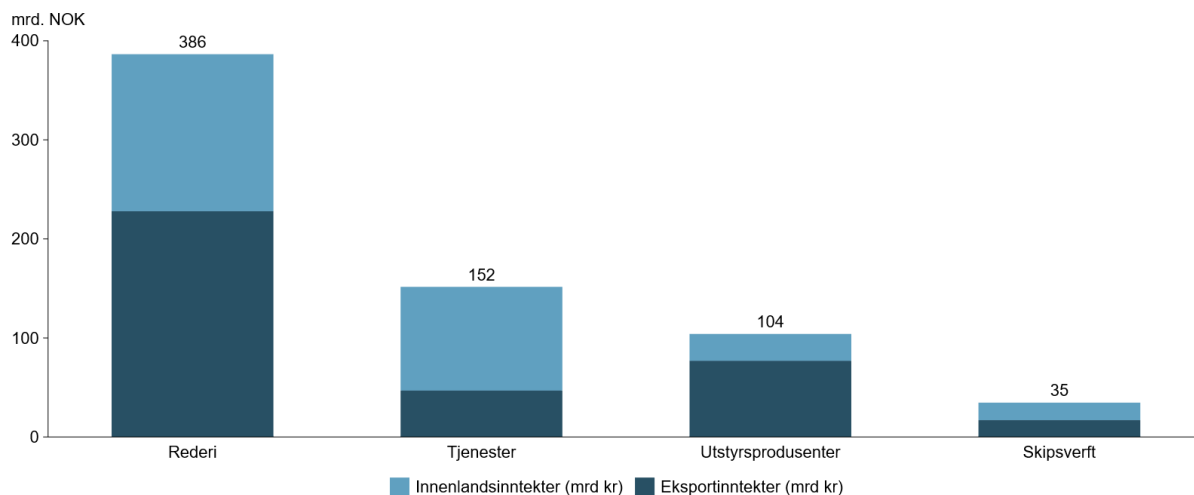
Satsing på klimavennlig maritim transport bidrar til å

- Sikre økonomisk vekst og arbeidsplasser gjennom å styrke eksporten av fartøy, utstyr og systemløsninger for utslippsfri skipsfart.
- Øke tempoet i energiomstillingen gjennom raskere utvikling, utrulling og oppskalering av lav- og nullutslippsløsninger på tvers av skipssegmenter.

3.9.1 Markedsmuligheter og komparative fortrinn

Norsk maritim næring er sterkt eksportrettet

En stor del av inntektene til norsk maritim næring kommer fra eksportmarkedet, og næringen er dermed Norges nest største bidragsyter til eksportinntekter etter olje og gass. Eksportinntektene anslås til 369 mrd. kroner i 2025. Figur 18 viser at rederiene står for den klart største delen. Rederienes eksportinntekter var om lag 228 mrd. kroner i 2025, hovedsakelig fra internasjonale frakt- og offshoremarkeder. Utstyrsprodusentene har en mindre samlet eksportverdi, på om lag 77 mrd. kroner, men er den gruppen som eksporterer størst andel av det de produserer (Menon Economics, 2026).



Figur 18: Omsetning i 2025 for de fire hovedgruppene i maritim næring fordelt på eksport- og innenlandsinntekter (Menon Economics, 2026).

Konkurransefortrinnet til utstysprodusentene og verftene ligger i systemintegrasjon. Norske aktører setter sammen avanserte totalløsninger for skip av komponenter som i stor grad produseres andre steder. Rederienes eksportinntekter kommer i hovedsak fra internasjonal drift av flåten.

Kostnadsgapet bremser utviklingen, samtidig som de største skipene mangler løsninger

Utslippsfrie skip koster i dag vesentlig mer enn konvensjonelle skip, med et påslag på 50 til 100 prosent, og de nye drivstoffene er langt dyrere enn tradisjonelt drivstoff (Kystverket, 2025). Sett opp mot verdien av lasten er merkostnaden likevel liten. For et containerskip på e-ammoniakk eller e-metanol utgjør den under 1 prosent av vareverdien (IEA, 2023a). Konkurransen i næringen er samtidig så sterk at få rederier velger alternative drivstoff med dagens kostnadsbilde. For de største bulk-, tank- og containerskipene, som står for om lag halvparten av verdensflåten utslipp, er barrieren i tillegg teknologisk. Verken batteri, ammoniakk eller metanol dekker i dag rekkevidde- og energibehovet til disse skipene (DNV, 2026a).

Kundenes uttrykte betalingsvilje for grønn skipsfart slår sjelden ut i faktiske innkjøp. Krav til bærekraft blir lagt inn tidlig i anbudsprosessen, men veier mindre tungt når kontrakten skal signeres, og da er det ofte prisen som avgjør. Uten sikker etterspørsel blir mange skipsprosjekter med grønn teknologi ikke realisert. Siden 2020 er 81 slike prosjekter avsluttet allerede i konseptfasen, og 16 har blitt lagt ned selv etter at de fikk tilsagn om støtte (DNV, 2026b). I mellomtiden er det energieffektivisering, ikke bytte av drivstoff, som gir de raskeste utslippskuttene. Slike tiltak kan alene redusere utslippene fra verdensflåten med opptil 16 prosent (DNV, 2026a).

Regelverket utløser etterspørsel etter lavutslippsdrivstoff raskere enn produksjonen bygges ut

Skipsfarten møter allerede bindende klimakrav i Europa. Fra 1. januar 2024 har EUs kvotesystem omfattet CO₂-utslipp fra store skip som anløper EU-havner, og FuelEU Maritime stiller krav om gradvis lavere utslippsintensitet (European Commission, 2026a). Utslippene fra de rapporteringspliktige seilasene var likevel rekordhøye i 2024, med 144,9 mill. tonn CO₂ (European Commission, 2026a). Norge ligger etter i innføringen av regelverket gjennom EØS-avtalen, og FuelEU Maritime ventes tidligst å tre i kraft her 1. januar 2028 (Sjøfartsdirektoratet, 2026).



Det globale rammeverket er derimot fortsatt ikke vedtatt. IMO ble i april 2025 enige om et utkast til det første globale prissystemet for klimagassutslipp fra skipsfart, men selve vedtaket ble utsatt i tolv måneder (IMO, 2025). Da IMOs miljøvernkomité møttes på nytt i april og mai 2026, endte heller ikke dette møtet med et vedtak, som følge av handelspolitisk press mot land som stemmer for forslaget (DNV, 2026c).

Samtidig omstiller rederiene flåten raskere enn produsentene bygger ut drivstofftilgangen. I ordreboken for verdensflåten vokser særlig antallet skip som kan gå på metanol, ammoniakk og hydrogen kraftig sammenlignet med antallet slike skip som er i drift i dag, selv om de fortsatt utgjør en liten andel av den samlede flåten. De fleste av disse nye skipene kan bruke flere typer drivstoff, men går i praksis på fossilt drivstoff helt til lavutslippsdrivstoff blir tilgjengelig (DNV, 2026a). Selve tilgangen på nye klimavennlige drivstoff er en utfordring. Skipsfarten bruker i dag om lag 1 mill. tonn oljeekvivalenter lavutslippsdrivstoff i året, mens rundt 25 mill. tonn må være tilgjengelig innen 2030 for å nå målnivået i IMOs foreslåtte rammeverk (DNV, 2026a).

Omstillingen i det norske hjemmemarkedet ligger langt bak 2030-målet

Norge har en ambisjon om å halvere klimagassutslippene fra innenriks sjøfart og fiske, fra 4 440 ktonn CO₂ i 2005 til 2 220 ktonn i 2030 (DNV, 2026b). Nedgangen har likevel latt vente på seg. Utslippene var fortsatt 4 750 ktonn i 2025, betydelig over referansebanen for å nå 2030-målet (DNV, 2026b). De største utslippene kommer fra offshore- og fiskefartøy (DNV, 2026b).

Flere virkemidler er innført eller under planlegging for å nå utslippsmålene. Offentlige anskaffelser av ferjer og ferjetjenester har vært underlagt nullutslippskrav siden 1. januar 2025. Krav for passasjerskip i verdensarvfjordene trer i kraft i 2026 og 2032, for skip henholdsvis over og under 10 000 bruttotonn, og forskrifter for havbruks- og offshorefartøy har vært på høring med tilsvarende krav om utslippsreduksjon (DNV, 2026b). For å nå målene kreves det i tillegg en gradvis innfasing av skip med grønne teknologier. Ifølge DNV blir det foreløpig bestilt for få nye grønne skip sammenlignet med behovet fram mot 2030 (DNV, 2026c).

Utslippsreduksjon forutsetter at de nødvendige energibærerne er tilgjengelige. Landstrøm og lading er bygget ut foran behovet, og det er betydelig ledig kapasitet. Anlegg i drift eller med tilsagn fra Enova hadde ved utgangen av 2025 en effekt på 460 MW, nok til å dekke behovet modellert for 2026 (DNV, 2026b). Produksjon av hydrogen, ammoniakk og metanol i stor skala ligger derimot lenger frem i tid, som følge av begrenset etterspørsel. Installert og planlagt produksjonskapasitet for disse drivstoffene er 992 GWh, mot et behov på 2 450 GWh i Norge i 2029 (DNV, 2026b).

3.9.2 Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov

Barrierene for klimavennlig maritim transport er i stor grad økonomiske og markedsmessige, men henger tett sammen med tilgang på infrastruktur, energi, regelverk, kompetanse og operativ gjennomføring. Det pågår allerede omfattende maritim FoU innen grønn skipsfart, blant annet gjennom Forskningsrådets maritime portefølje og internasjonale forskningsmiljøer. Energi2050 avgrenser derfor sine prioriteringer til kunnskapsbehov der maritim transport møter energisystemet, det vil si innen alternative drivstoff, energibærere, bunkring og ladeinfrastruktur, verdikjeder, energibruk og systemintegrasjon. Bredere maritime kunnskapsbehov knyttet til retrofit, levetidsforlengelse, materialbruk, skrogdesign og generell energieffektivisering i eksisterende flåte bør ses i sammenheng med Maritim21 og andre sektorspesifikke strategier.

For å møte disse barrierene bør Norge prioritere FoUI-aktiviteter innen:



Energibruk, framdrift og systemintegrasjon

- Kunnskap om hvordan energieffektivisering kan redusere energibehovet og dermed gjøre innfasing av lav- og nullutslippsdrivstoff mer realistisk
- Kunstig intelligens, digitale tvillinger og datadrevne systemer for energieffektivisering, beslutningsstøtte, autonomi og operasjonell optimalisering.
- Utvikling av drivstoff-fleksible konsepter og tilhørende sikkerhetsbarrierer for ammoniakk, hydrogen og metanol.
- Utvikling av batterisystemer for krevende maritime operasjoner, med vekt på levetid, sikkerhet og tilpasset bruksmønster.
- Kunnskap om materialoppførsel og sikkerhet ved bruk av nye energibærere, herunder hydrogensprøhet, korrosjon, lekkasjerisiko og krav til lagring, distribusjon og integrasjon om bord.

Tiltakskostnad, ressursfordeling og legitimitet

- Metoder for å sammenligne tiltakskostnad på tvers av teknologier og transportsegmenter over hele livsløpet.
- Analyser av hvordan begrensede bioressurser og knapp nettkapasitet bør fordeles mellom konkurrerende sektorer.
- Kunnskap om kostnader og klimaeffekter ved å flytte godstransport fra vei til sjø, med rutetilbud, seilingsfrekvens og leveringstid som viktige faktorer.
- Kunnskap om hvordan regelverk, markedsmekanismer, sikkerhetskrav og operativ praksis påvirker implementering og oppskalering av lav- og nullutslippsløsninger.
- Kunnskap om risikopersepsjon og folkelig motstand ved innføring av hydrogen og ammoniakk i kystsamfunn.

Maritime drivstoff og verdikjeder

- Produksjonsteknologi for avansert biodrivstoff basert på norske rest- og avfallsråstoff
- Prosessutvikling for elektrodrivstoff basert på hydrogen og fanget CO₂, inkludert valg av karbonkilde og kostnadsreduksjon.
- Konsepter for bunkring, distribusjon og mellomlagring av ammoniakk, hydrogen og metanol i og utenfor havn.
- Metoder for livsløpsvurdering og sertifisering av maritime drivstoff gjennom hele forsyningskjeden.

Elektrifisering av havner og energiinfrastruktur

- Dimensjonering og drift av lade- og landstrømanlegg med høy utnyttelsesgrad og lav kostnad per levert kilowatttime.
- Konsepter for havner som delte energiknutepunkter for skip, tungtransport og annen virksomhet på land.
- Samspill mellom maritim lading og kraftsystemet, herunder effektstyring og fleksibilitet fra fartøysbatterier.

Energi2050 anbefaler at disse FoUI-behovene møtes gjennom tiltak og virkemidler beskrevet i kapittel 4.

3.10 PETROLEUM

Innenfor Energi2050s mandat omfatter temaet Petroleium leting, utvinning, prosessering og transport av petroleium, samt permanent plugging og forlating av gamle brønner (P&A). I tillegg omfattes petroleumsvirksomhetens rolle i og samspill med resten av energisystemet og samfunnet i lys av Energi2050s formål om å arbeide for økt verdiskaping og en sikker,



effektiv og bærekraftig ressursutnyttelse som skal ivareta energisikkerhet, klima, natur og miljø.

Den overordnede situasjonsbeskrivelsen for en moden norsk sokkel, ventet produksjonsfall, aldrende infrastruktur og behovet for å videreutvikle petroleumskompetanse mot nye energi- og havnæringer er gitt i kapittel 2.2.5. Dette kapittelet konsentrerer seg derfor om hvilke markedsmuligheter, teknologiutfordringer og forsknings- og innovasjonsbehov som følger av dette bildet. Norges rolle som stabil og sikker energileverandør til Europa er fortsatt viktig, særlig etter bortfallet av russiske gassleveranser og i en periode med økt geopolitisk uro.

Energi2050 skal understøtte en effektiv og bærekraftig utnyttelse av gjenværende petroleumsressurser i tråd med utviklingen mot et lavutslippssamfunn. FoU-innsatsen bør særlig rettes mot kunnskap og teknologi som kan øke ressursutnyttelsen, redusere kostnader og utslipp, sikre trygg drift og gjøre eksisterende infrastruktur mer verdifull i en senfase. Samtidig bør innsatsen bidra til at kompetanse og teknologi fra sokkelen videreutvikles som grunnlag for nye industrielle satsinger i havrommet.

Satsing på petroleum bidrar til å:

- Sikre økonomisk vekst og arbeidsplasser ved å dempe produksjonsfallet på sokkelen og videreutvikle kompetanse, teknologi og industrielle erfaringer som også kan brukes i nye havbaserte næringer
- Styrke energisikkerheten og europeisk partnerskap ved å sikre stabile og pålitelige petroleumsleveranser i en periode med økt geopolitisk ustabilitet.

3.10.1 Markedsmuligheter og komparative fortrinn

Petroleumssektorens rolle som bærebjelke i norsk økonomi og springbrett for nye industrielle satsinger

Petroleumsvirksomheten er fortsatt en sentral del av norsk økonomi. Målt i eksportverdi utgjorde olje og gass om lag 1 000 mrd. kroner, tilsvarende 57 prosent av norsk vareeksport i 2025, og næringen har over tid gitt betydelige inntekter til staten (Norskpetsroleum.no, 2026b; Statistisk sentralbyrå [SSB], 2026a). I dette kapittelet brukes dette ikke som en generell situasjonsbeskrivelse, men som bakgrunn for hvorfor FoU som forlenger verdiskaping, reduserer utslipp og styrker teknologi- og kompetansegrunnlaget fortsatt har stor samfunnsøkonomisk betydning.

Leverandørindustrien og forskningsmiljøene rundt sokkelen representerer en industriell plattform med høy relevans for andre kapitalintensive energi- og havnæringer. Det viktigste strategiske spørsmålet er derfor ikke bare hvordan petroleumsaktiviteten kan forlenges, men hvordan teknologi, data, infrastruktur og kompetanse kan videreutvikles og brukes i overgangen til CO₂-lagring, havvind, hydrogen, havbunnsmineraler og maritime lavutslippsløsninger.

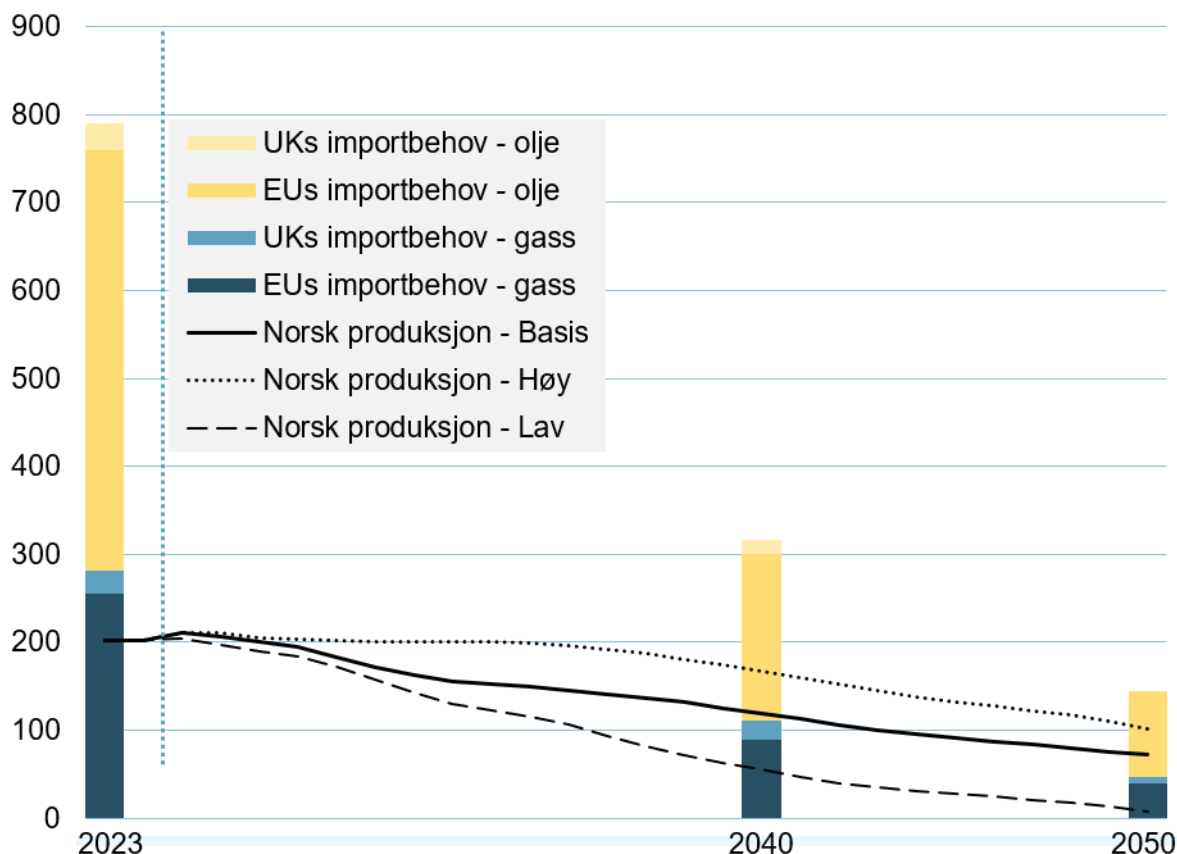
Norsk petroleumsvirksomhet er ressursbegrenset, ikke markedsbegrenset

Etter bortfallet av russiske gassleveranser samt økt geopolitisk uro i Midtøsten og risiko for forstyrrelser i strategiske transportleder som Hormuzstredet, har norsk sokkel fått en forsterket rolle som stabil og forutsigbar energileverandør til europeiske kunder. Tilnærmet all norsk olje og gass eksporteres og produksjonen skjer med vesentlig lavere CO₂-utslipp per produsert enhet enn det globale gjennomsnittet.



Europa vil fortsatt ha et betydelig behov for importert olje og gass, særlig som en del av energisikkerheten i en situasjon med reduserte leveranser fra Russland og økt global rivalisering der energi og tilgangen på petroleumsressurser brukes som våpen. I et europeisk perspektiv har norsk sokkel et konkurransefortrinn gjennom høy leveringssikkerhet, blant de laveste utslippene per produsert enhet i verden samt at Norge oppfattes som en pålitelig leverandør med lav politisk risiko (Offshore Norge & Econ Intel, 2026) (se Figur 20).

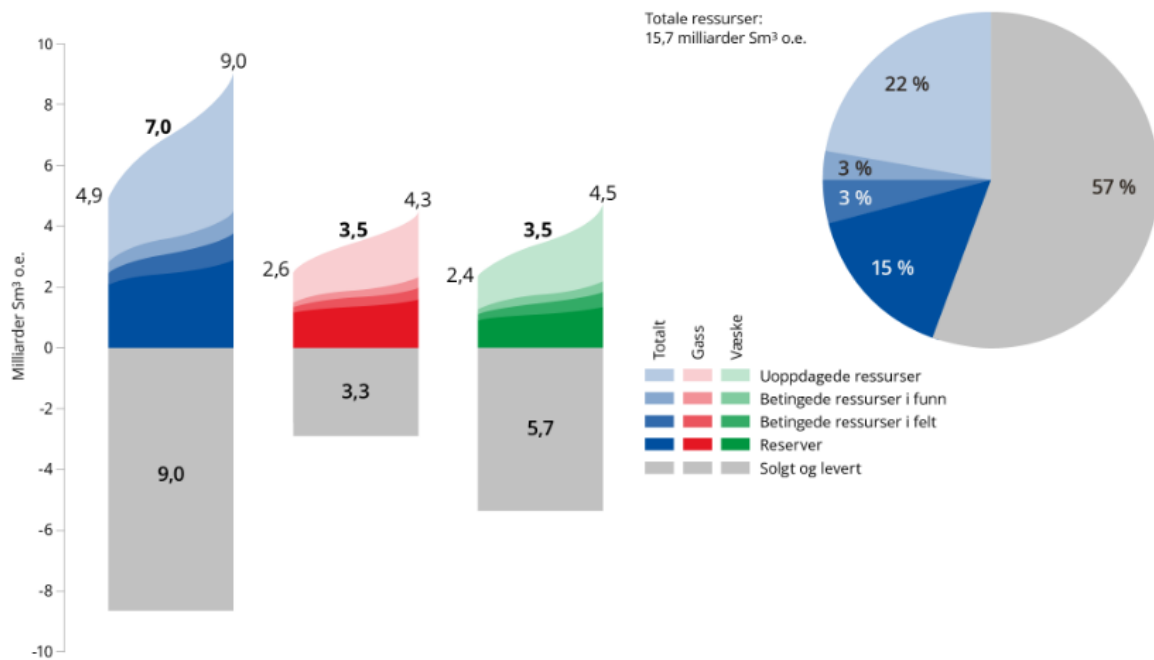
Nettoimport til EU+UK og norsk produksjon av petroleum, Mtoe



Figur 19: Nettoimport av petroleum til EU+UK og norsk produksjon av petroleum (Mtoe) fra Sokkeldirektoratet (2024b). Basert på scenarier fra myndighetsorganer. Importbehov forutsetter at klimamål nås (Energi2050 Omverdensanalyse, 2025).

Ressurstilvekst og produksjonsfall: Norsk sokkel er i en modningsfase, men har fortsatt betydelige gjenværende ressurser

Kapittel 2.2.5 beskriver hovedbildet for gjenværende ressurser og ventet produksjonsfall. I dette kapitlet er det avgjørende poenget at ressursgrunnet fortsatt er betydelig, men mer krevende å realisere. Av de gjenværende ressursene er om lag halvparten reserver og ressurser i eksisterende felt og funn, mens resten er uoppdagede ressurser (se Figur 20). Økt utvinning fra felt i produksjon, modning av funn og målrettet leting er derfor ulike, men komplementære veier til verdiskaping.



Figur 20: Petroleumsressurser ved utgangen av 2025 (Sokkeldirektoratet, 2026a)

Sokkeldirektoratets mulighetsbilder vist i Figur 5 i kapittel 2.2.5, viser at produksjonsbanene påvirkes sterkt av beslutninger som tas de nærmeste årene rundt leteaktivitet, teknologiutvikling, områdeutvikling og tilgang på infrastruktur. Dette gjør tidlig teknologiutvikling og risikoreduksjon viktig. FoUI kan bidra til å gjøre flere ressurser lønnsomme, redusere usikkerhet i beslutninger og forlenge verdien av eksisterende infrastruktur før handlingsrommet blir mindre mot 2030 og videre fram mot 2050.

Tilgang på areal og leteaktivitet

Tilgang på attraktivt og formålstjenlig leteareal er ett av flere virkemidler for å sikre ressurstilvekst over tid. For Energi2050 er dette først og fremst relevant fordi leting i modne og mindre utforskede områder stiller ulike krav til teknologi, datagrunnlag, risikoforståelse og beslutningsstøtte.

I modne områder er utfordringen ofte å finne og avgrense mindre ressurser nær eksisterende infrastruktur og gjøre dem kommersielt drivverdige. I mindre utforskede områder er usikkerheten større, men muligheten for større funn kan være høyere. FoUI-behovet varierer dermed mellom bedre utnyttelse av etablerte datasett, mer presis undergrunnsforståelse, ny seismikk, bedre letemodeller og teknologi som reduserer kostnader og risiko ved boring og avgrensning.

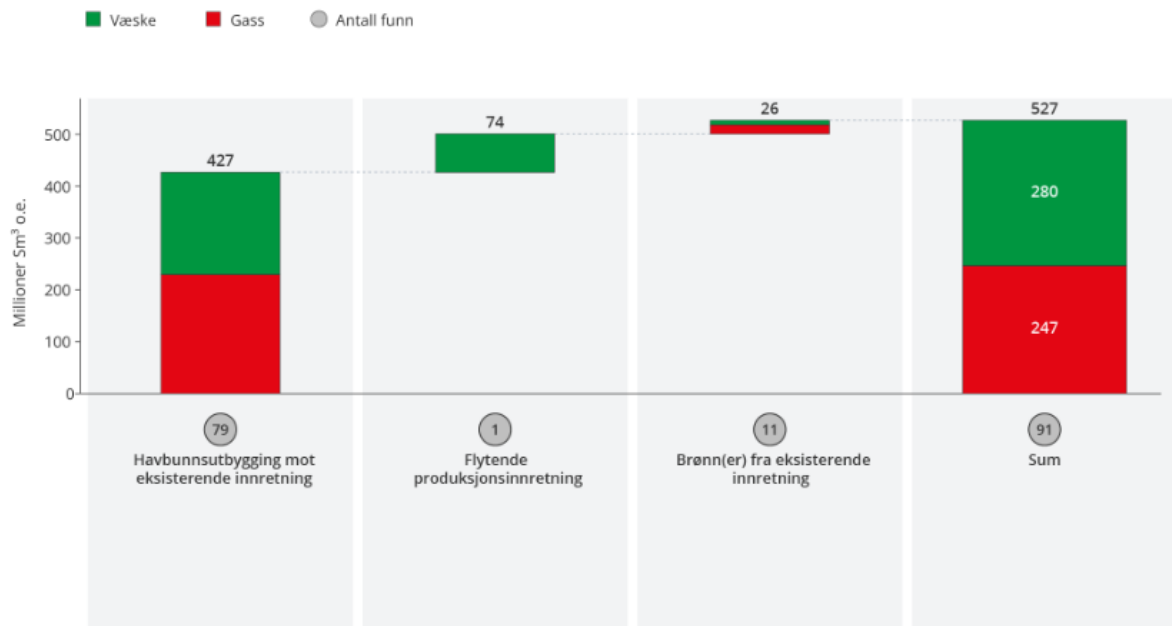
I nordområdene må slike vurderinger også ses i sammenheng med beredskap, skipstrafikk, urfolksinteresser, miljøhensyn og geopolitisk stabilitet. Det forsterker behovet for kunnskapsgrunnlag som gjør areal- og aktivitetsbeslutninger mer helhetlige og etterprøvbare.

Teknologi for små, komplekse og marginale ressurser: Nye funn utvikles hovedsakelig i tilknytning til eksisterende infrastruktur

Ifølge Sokkeldirektoratets ressursrapport fra 2026 består funnporteføljen på sokkelen av 91 olje- og gassfunn som ennå ikke er besluttet utbygd, eller som er under vurdering for



utbygging. De fleste funnene er små og vil være avhengige av eksisterende infrastruktur eller havbunnsløsninger som knyttes tilbake til eksisterende innretninger (se Figur 21). Dette gjør teknologiutvikling, effektiv prosjektgjennomføring og lave enhetskostnader avgjørende for å gjøre flere funn kommersielt drivverdige.

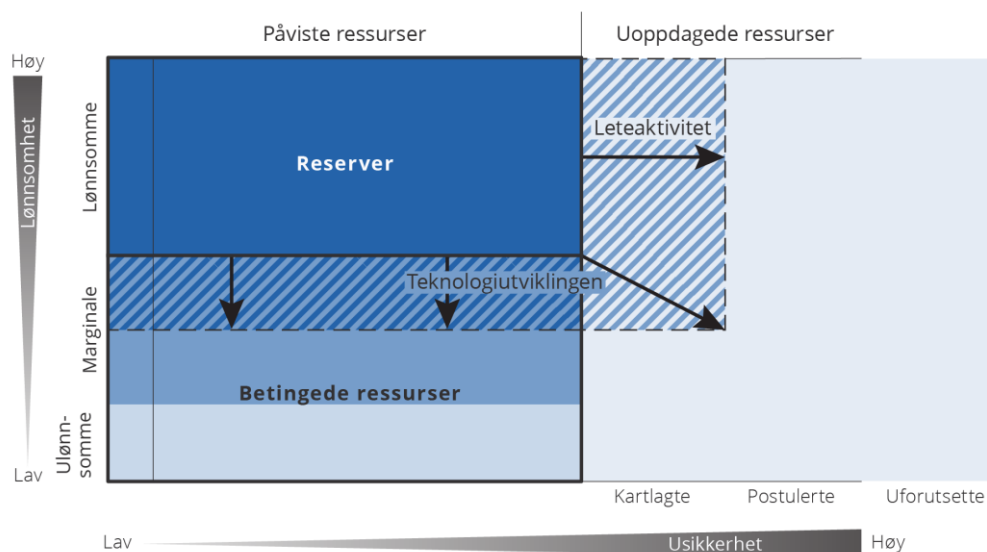


Figur 21: Sannsynlige utbyggingsløsninger for utvikling av de 91 funnene i funnporteføljen per 31.12.2025 (Sokkeldirektoratet, 2026a)

Trenden mot mindre funn og mer reservoarmessig krevende ressurser øker behovet for bedre seismisk avbildning, forbedret reservoarforståelse, mer presis brønnplassering og løsninger som gjør det mulig å hente ut mer av ressursene fra eksisterende og nye felt. Lete- og avgrensningsbrønner bør i større grad kunne utformes slik at de kan gjenbrukes som framtidige produsenter eller injektorer, der dette er teknisk og økonomisk hensiktsmessig.

Det er også behov for videreutvikling av bore- og brønnteknologier, blant annet mer effektiv dreneringsteknologi, flergrens- og fiskebeinsteknologi og løsninger som reduserer kostnader, operasjonell risiko og energibruk. Teknologiutfordringene er særlig store i tette reservoarer, der differensielle trykkforhold gjør det krevende å bore og produsere, og der høyt energiforbruk kan bli en betydelig utslippsdriver.

Forsknings- og innovasjonsinnsatsen vil ha et betydelig potensial for å sikre økt ressursutnyttelse fremover. Figur 22 illustrerer hvordan leting kan øke ressursdatabasen og hvordan teknologiutvikling kan bidra til å transformere betingede ressurser til lønnsomme reserver.



Figur 22: Kategorisering av tilstedeværende petroleumsressurser på sokkelen. Teknologiutvikling kan bidra til at marginale og ulønnsomme funn blir lønnsomme å utvikle og utvinne (Sokkeldirektoratet, 2024b)

Leverandørindustri, kompetanse og global konkurranse om kapital

Norske leverandører har sterke posisjoner innen blant annet subsea-installasjon, prosessering og -kompresjon, boring og brønn, flytende produksjonsløsninger og maritime operasjoner. Tallgrunnlaget for leverandørindustriens størrelse er omtalt i kapittel 2.2.5. Hovedpoenget er at disse miljøene utgjør en krevende hjemmemarkeds- og læringsarena som kan drive teknologiutvikling både i petroleum og i nye havbaserte verdikjeder.

Når aktiviteten på sokkelen gradvis faller, blir det viktig å bruke gjenværende hjemmemarkedsprosjekter mer målrettet som teknologi- og kompetansearenaer. Norsk sokkel konkurrerer samtidig internasjonalt om kapital, teknologi og kompetanse. Forutsigbare rammebetingelser, industriell medfinansiering og offentlig FoUI-innsats bør derfor bidra til at kritisk kompetanse videreutvikles, samtidig som leverandørindustrien får mulighet til å ta posisjoner i nye markeder.

Kompetanse innen undergrunn, boring og geomekanikk er imidlertid særlig fagspesifikk og lar seg ikke uten videre overføre til andre næringer. Denne kompetansen er samtidig direkte relevant for CO₂-lagring, og bør derfor vektlegges i FoUI-innsatsen framover. Et raskere fall i sokkelaktiviteten enn ventet vil svekke deler av dagens finansieringsgrunnlag for disse fagmiljøene, noe som tilsier at offentlige virkemidler bør sikre finansiering uavhengig av næringens egen aktivitet.

Utslippskutt, krafttilgang og energieffektivisering

Olje- og gassvirksomheten på norsk sokkel står for rundt 25 prosent av Norges samlede klimagassutslipp, og utslippskutt i sektoren er avgjørende for å nå nasjonale klimamål (Miljødirektoratet, 2026a). Sektoren hadde et mål om 40 prosent utslippsreduksjon i 2030 målt mot 2005, som i 2020 ble skjerpet til 50 prosent innen 2030 gjennom Stortingets anmodningsvedtak i forbindelse med den midlertidige petroleumsskattepakken. Det langsiktige målet er nært nullutslipp i 2050. Alle identifiserte og planlagte tiltak kan ifølge KonKraft gi 42 prosent kutt innen 2030, men forsinkelser og frafall av elektrifiseringsprosjekter gjør at 50-prosentmålet tidligst kan nås i 2035 (KonKraft, 2026b).



Elektrifisering med kraft fra land har vært det viktigste klimatiltaket for petroleumssektoren, men flere prosjekter er skrinlagt eller forsinket på grunn av manglende nettilgang, økte kostnader, politisk motstand og usikkerhet om gjenværende levetid for felt og anlegg. Industrien har ikke lenger elektrifiseringsprosjekter i kapasitetskø eller planlagt å søke ny reservasjon. Mulige alternativer, som kraft fra havvind eller nye gasskraftverk med CCS, er vurdert av DNV for OG21, men er krevende med hensyn til teknologimodenhet, kostnader og tidshorisont. Energieffektivisering, redusert fakling, bedre energistyring og teknologi som reduserer energibruk i boring, prosessering og transport blir derfor viktige supplementer til elektrifisering for å utløse kostnadseffektive utslippskutt (DNV, 2024; Miljødirektoratet, 2026a).

Aldrende infrastruktur, levetidsforlengelse og områdeutvikling

Videre verdiskaping fra små og marginale funn vil i stor grad avhenge av effektiv bruk av eksisterende infrastruktur. Etter hvert som produksjonen på modne felt faller, øker enhetskostnadene, og beslutningene om levetidsforlengelse, nedstenging eller videre områdeutvikling blir mer krevende. Samtidig kan eksisterende innretninger være nødvendige vertsfelt for nye funn i området.

Vurderinger av levetidsforlengelse forutsetter kunnskap om innretningenes faktiske tilstand. Det krever bedre forståelse av utmatting og korrosjon i bærende konstruksjoner og rørsystemer, slik at nå-tilstand og forventet gjenværende levetid under gjeldende driftsbetingelser er kjent før beslutninger om videre drift tas.

Aldrende innretninger har betydelige vedlikeholdskostnader og tekniske begrensninger som kan påvirke optimal utnyttelse av ressursene i et område. Boreutstyr kan ha begrenset rekkevidde, og installasjoner kan ha plass- og vektbegrensninger som gjør implementering av ny teknologi krevende. I noen tilfeller kan operatører vurdere å akselerere produksjon på vertsfelt for å styrke prosjektøkonomien og redusere enhetskostnadene, selv om dette kan innebære tidligere nedstenging.

Produksjons- og infrastrukturløsninger må derfor i økende grad vurderes på områdenivå, også på tvers av lisensgrenser. Samhandling mellom rettighetshavere, operatører og leverandører blir viktig for å optimalisere produksjon, redusere kostnader, forlenge levetiden til relevant infrastruktur og sikre at små og marginale funn kan realiseres før vertsinfrastruktur stenges ned.

Sikker drift, nedstenging, P&A og gjenbruk av infrastruktur

Norsk petroleumsnæring har etablert sterke sikkerhetssystemer og en moden sikkerhetskultur, men aldrende infrastruktur stiller økende krav til å opprettholde teknisk integritet, både for HMS, for videre utnyttelse av eksisterende infrastruktur og for realisering av tie-backs i nærliggende funn.

Kostnadseffektiv, sikker og bærekraftig nedstenging, disponering og gjenbruk av infrastruktur vil bli en stadig viktigere utfordring på norsk sokkel. Permanent plugging og forlating av brønner er særlig krevende, både teknisk, økonomisk og sikkerhetsmessig. Havtil viser til at rundt 2300 brønner på norsk sokkel før eller siden skal permanent plugges og forlates, hvorav om lag 300 er planlagt de neste 8 til 10 årene. Kostnadsreduksjoner, standardisering, ny teknologi og bedre samhandling mellom operatører, leverandører og myndigheter blir derfor viktig for å redusere framtidige kostnader og samtidig ivareta brønnintegritet, HMS og miljø (Havindustritilsynet, 2026a).



3.10.2 Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov

Forsknings- og innovasjonsbehovene i petroleumssektoren må rettes mot de viktigste utfordringene for norsk sokkel fram mot 2050 (se kapittel 2.2.5): fallende produksjon, behov for ressurstilvekst, mindre og mer komplekse funn, aldrende infrastruktur, utslippskutt, sikker drift og tilgang på kompetanse. Innsatsen bør derfor samles om helhetlige prioriteringer som kan øke ressursutnyttelsen, redusere kostnader og utslipp og sikre trygg drift i hele verdikjeden, fra leting og undergrunnsforståelse til produksjon, prosessering, transport, nedstenging og disponering. Inkludert i dette er å gjøre små og marginale funn mer lønnsomme før kritisk infrastruktur stenges ned.

Klima og miljø

- Utvikle teknologi og arbeidsprosesser som gir raskere, sikrere og mer kostnadseffektive utslippskutt i hele petroleumsverdikjeden.
- Styrke energieffektivisering, energistyring, redusert fakling og andre lavutslippsløsninger som supplement til elektrifisering.
- Vurdere elektrifisering og alternative kraftløsninger helhetlig opp mot krafttilgang, kostnader, levetid og systemsikkerhet.
- Forbedre kunnskap og løsninger for produsert vann, kjemikalier, avfall, lekkasjedeteksjon, miljørisiko og oljevernberedskap.

Undergrunn

- Utvikle bedre metoder for identifisering, modning og risikoreduksjon av ressurser i både modne og mindre utforskede områder.
- Styrke seismisk avbildning, datainnsamling, modellering og beslutningsstøtte for leting, feltutvikling og områdeutvikling.
- Styrke bergmekanisk og geomekanisk kompetanse og modellering, sentralt for brønnstabilitet, reservoarkompaksjon og CO₂-lagring.
- Integrere geologi, geofysikk, petrofysikk og reservoarteknologi bedre i felles modeller og arbeidsprosesser.
- Utnytte kunstig intelligens, fysisk baserte modeller og felles dataplattformer til å redusere usikkerhet og forbedre beslutninger.

Boring, brønn, komplettering, intervensjon og plugging

- Utvikle raskere, sikrere og mer energieffektiv boring gjennom hele brønnens livsløp.
- Forbedre brønnplassering, brønndesign, komplettering og intervensjon for krevende reservoarer, små funn og senfasefelt.
- Redusere kostnader og operasjonell risiko i komplekse brønner, tette reservoarer og høytrykks-/høytemperaturmiljøer.
- Videreutvikle boreautomatisering, trykkstyrt boring, fjernstyrte og riggløse operasjoner.
- Utvikle mer kostnadseffektiv og standardisert P&A og brønnintegritetsvurdering i samspill med undergrunn, produksjon, nedstenging og CO₂-lagring.

Produksjon, prosessering og transport

- Utvikle løsninger som gjør det mulig å bruke eksisterende infrastruktur sikkert, effektivt og lønnsomt lengst mulig.
- Styrke helhetlig områdeutvikling og realisering av små og marginale ressurser før vertsinfrastruktur stenges ned.
- Forbedre samhandling mellom undervanns-, bore-/brønn- og produksjonsmiljøer gjennom standardiserte løsninger og kostnadseffektive og sikre tie-back-konsepter.
- Innovasjon i bruk av digitale verktøy for optimalisering av produksjon, prosessering, kapasitet og energibruk på tvers av felt, lisenser og verdikjeder.



- Styrke kunnskap om flerfasestrømning, væskeakkumulering, trykkfall og slugging, samt validerte målemetoder og digitale verktøy for produksjonsoptimalisering.
- Opprettholde nasjonal laboratorieinfrastruktur og testfasiliteter for fysisk verifikasjon av ny teknologi og digitale modeller.

Sikkerhet og arbeidsmiljø

- Utvikle metoder som sikrer høyt HMS-nivå ved videre drift, levetidsforlengelse, områdesamarbeid, fjernoperasjoner, automatisering og nedstenging.
- Styrke dynamisk risikoanalyse, barrierestyring, teknisk integritet og læring fra hendelser i møte med aldrende innretninger og endrede driftsmønstre.
- Integrere cybersikkerhet som en del av sikker petroleumsdrift når IT- og OT-systemer kobles tettere sammen.
- Utvikle bedre kunnskap om fysiske, kjemiske, organisatoriske og psykososiale risikofaktorer i en næring preget av omstilling og lengre levetid for anlegg.
- Sikre at P&A, dekommisjonering og eventuell gjenbruk av infrastruktur utvikles med vekt på brønnintegritet, sikker utførelse, avfallshåndtering og ansvarlige beslutningsprosesser.

Samlet peker behovene mot en FoUI-innsats som kombinerer økt ressursutnyttelse, lavere utslipp, trygg drift og bedre bruk av eksisterende infrastruktur. Prioriteringene må være tverrfaglige og verdikjedeorienterte, slik at teknologi, kompetanse og beslutningsgrunnlag utvikles i tide til å påvirke produksjon, områdeutvikling, nedstenging og videre industriell omstilling fram mot 2050. Disse behovene er også en forutsetning for CO₂-lagringsambisjonene, og bør ses i sammenheng med FoUI-prioriteringene for CCS.

Energi2050 anbefaler at disse FoUI-behovene møtes gjennom tiltak og virkemidler beskrevet i kapittel 4.

3.11 VANNKRAFT

Vannkraft inkluderer magasinkraftverk, elvekraftverk og pumpekraft, med en verdikjede fra vassdragsplanlegging og anleggsutforming til turbiner, drift og markedsintegrering. Vannkraft bærer norsk kraftforsyning, med over 90 % av kraftmiksen i dag. Vannkraft er en moden teknologi, og mesteparten av norske anlegg ble bygget for lenge siden. Mindre moden er kunnskapen om hvordan en anleggspark bygget for jevn produksjon skal driftes når oppgaven forskyves mot balansering, og behovet for raskere start og stopp blir høyt.

Rammene for den norske vannkraften endres på flere fronter samtidig. Kraftsystemet får mer væravhengig kraftproduksjon, og markedene som verdsetter regulerbarhet blir flere stadig mer spesialiserte. Miljøforvaltningen stiller strengere krav til regulerte vassdrag, mens gamle konsesjoner kommer opp til revisjon. Klimaendringer påvirker tilsiget, og et skjerpet trusselbilde gjør dammer og styringssystemer mer utsatt.

Vannkraftens viktigste bidrag framover er mer effekt og fleksibilitet til systemet, lengre levetid og bedre utnyttelse av anleggene som står. Området leverer på Energi2050s målsetning ved å holde forsyningen sikker gjennom vintre og tørrår, gjøre annen fornybar utbygging mulig og bidra til verdiskaping spredt over hele landet. Fortrinnene er naturgitte, industrielle og faglige: en magasinressurs uten sidestykke i Europa, lang erfaring med å bygge og drive anlegg, og fagmiljøer som spenner fra vassdragsteknikk til miljødesign. Forskning utløser mer måloppnåelse fordi de gjenstående mulighetene er vanskeligere enn dem som alt er tatt ut: oppgradering i drift er teknisk krevende, og det er lite kunnskap om virkningene av hyppig start og stopp på maskineri og økosystem. Satsingen styrker motstandskraften mot digitale



og fysiske trusler og mot ekstremvær og frigjør balansekraft for ny fornybar produksjon og elektrifisering.

Satsing på vannkraft bidrar til å

- Styrke energisikkerheten gjennom å sette magasiner og anlegg i stand til å levere effekt gjennom vintre, tørrår og sammensatte kriser.
- Øke tempoet i energiomstillingen gjennom å frigjøre balansekraft som gjør ny variabel produksjon og elektrifisering mulig.

3.11.1 Markedsmuligheter og komparative fortrinn

Reguleringsevnen i norsk vannkraft blir mer verdt når andelen variabel produksjon øker

Norge hadde litt over 1 800 vannkraftverk ved inngangen til 2026, med 34 GW installert effekt, en midlere årsproduksjon på om lag 138 TWh og 87 TWh magasinkapasitet. Vannkraften står for rundt 88 prosent av norsk kraftproduksjon (NVE, 2026f). Magasinkraftverk står for 77 prosent av norsk vannkraftproduksjon, og Norge rår over om lag halvparten av kraftmagasinkapasiteten i Europa (NVE, 2023a, s. 2–3).

Verdien av reguleringsevnen stiger når andelen uregulerbar produksjonen øker. I EU var 153 GW vannkraft installert i 2023, hvorav 46 GW var pumpekraft (Quaranta et al., 2025). NVE venter at det norske kraftforbruket øker fra 134 TWh i 2023 til 190 TWh i 2050, og at den regulerbare vannkraften forblir en viktig fleksibilitetskilde i det norske og nordiske kraftsystemet (NVE, 2025c). Norden gikk over til flytbasert markedskobling 29. oktober 2024 (Statnett, 2024). Mer markedsstyrt drift gir flere start- og stoppsykluser, som utfordrer både operatører og maskineri.

Det gjenværende potensialet ligger i mer effekt fra anleggene som allerede står

Vannkraft er i hovedsak utnyttet i Norge. Det teknisk-økonomiske vannkraftpotensialet ble i 2020 anslått til 216 TWh, hvorav 64 prosent var bygget ut og 23 prosent vernet (NVE, 2020). Ved inngangen til 2026 anslo NVE at om lag 20 TWh gjensto, fordelt på 14 TWh i småkraft og 6 TWh i større prosjekter. Opprusting og utvidelse av eksisterende kraftverk utgjør 5–6 TWh og kan gi om lag 7 GW økt effekt, eller om lag 14 GW når pumpekraft regnes med, mens bytte av løpehjul alene kan gi 1,2 TWh (NVE, 2026f).

Effekt er dermed den avgjørende størrelsen, og den er billigere å hente ut i eksisterende anlegg: rehabilitering koster 20–30 euro/MWh, mot om lag 69 euro/MWh for nye store vannkraftprosjekter i Europa (Quaranta et al., 2025). Fram mot 2030 vokser produksjonen likevel lite: NVE venter en økning på 3 TWh fra 2025 til 2030, der nye kraftverk og utvidelser bidrar med i underkant av 2 TWh, bytte av løpehjul med 0,3 TWh og økt tilsig med om lag 1 TWh, og mange effektutvidelser kan først settes i drift etter 2030 (NVE, 2026b).

Aldrende dammer og styringssystemer gjør fornyelsen til et sikkerhetsspørsmål

Anleggsmassen i norsk vannkraft er gammel. NVEs register omfattet 4 465 dammer og 2 014 vannveier i juli 2023. Hoveddelen av dammene ble bygget mellom 1950 og midten av 1980-tallet, 225 av dem ligger i konsekvensklasse 4, den strengeste, og om lag 100 dammer og vannveier bygges eller rehabiliteres hvert år (NVE, 2023b).

Anleggene er samtidig blitt et mål. Energisystemet møter cyberangrep, fysiske angrep på anlegg og infrastruktur, ekstremvær og geopolitisk påvirkning, og leverandørkjeder utnyttes der det finnes svakheter. Fornyelse av vannkraften handler derfor like mye om sikring av dammer, inntak og styringssystemer som om økt produksjon.



Miljøkrav og lokal aksept avgjør hvor mye av potensialet som lar seg realisere

Forvaltningen av allerede regulerte vassdrag er i bevegelse. NVE hadde 33 vilkårsrevisjoner til behandling ved utgangen av 2025 og leverte innstilling i sju revisjonssaker samme år, mens 129 søknader lå i kø innenfor vannkraft (NVE, 2026f). Revisjonene avveier miljøforbedringer mot produksjon og effekt, og utfallet av revisjonene former hvor mye reguleringsevne kraftsystemet sitter igjen med.

Kunnskapsgrunnlaget for avveiningen er ujevnt. Magasiner endrer hydrologi og morfologi, og turbiner skader fisk (Quaranta et al., 2025). I Norge kommer om lag 125 TWh av de 137,6 TWh i et normalår fra kraftverk over 10 MW, mens resten fordeler seg på et stort antall mindre anlegg (NVE, 2025e). Virkningen av det enkelte småkraftverket er liten, men summen av mange inngrep i samme vassdrag er lite undersøkt, og det er summen lokalsamfunn og forvaltning forholder seg til.

Leverandørnæringen har det største hjemmemarkedet blant fornybarnæringene, men eksporten er smal

Leverandørnæringen til vannkraft omsatte for 13,7 mrd. kroner i 2024, en vekst på 17 prosent fra året før, drevet av oppgradering, vedlikehold og utbygging av småkraftverk. Av omsetningen kom 11,6 mrd. kroner fra det norske markedet, 1,4 mrd. kroner fra utenlandske datterselskaper og 0,7 mrd. kroner fra eksport. Næringen sysselsatte om lag 8 200 årsverk, 41 prosent av de 20 100 årsverkene i fornybarnæringen (Multiconsult et al., 2025).

Eksporten utgjør dermed 0,7 av 13,7 mrd. kroner, og den internasjonale posisjonen er tilsvarende smal. Global eksport av turbiner og deler økte fra 791 mill. euro i 2023 til 932 mill. euro i 2024, og EU sto for 47 prosent når handel innad i unionen regnes med, 38 prosent uten (Quaranta et al., 2025). Norske eksportmuligheter ligger nærmere modellering, styring og fjernovervåking og nærmere undergrunns- og damteknikk, der et hjemmemarked i fornyelse er referansen. Svak rekruttering til de tradisjonelle ingeniørfagene er samtidig en av de tydeligste truslene mot sektoren.

3.11.2 Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov

Barrierene er dels teknologiske, dels knyttet til siloer og manglende oversikt eller kunnskap om egne anlegg. Oppgradering av kraftverk i drift begrenses av vannveier og tunneler som ble dimensjonert for et annet driftsmønster, og av at anleggsarbeidet må gjøres uten lengre produksjonsstans enn nødvendig. Det finnes lite systematisk kunnskap om hva hyppig start og stopp koster i slitasje, feilsannsynlighet og forkortet levetid. Eierne har ikke kartlagt tilstanden til dammer og vannveier fullt ut, og det ufullstendige kunnskapsgrunnlaget gir risiko både for at nødvendige tiltak utsettes og for at unødvendige tiltak gjennomføres til høy kostnad. Miljøvirkningene av endret kjøremønster er kjent for enkeltarter, men ikke for økosystemer eller for summen av mange inngrep i samme vassdrag. Samtidig krymper kompetansebasen som skal gjøre arbeidet, i takt med at en generasjon fagfolk går av.

For å møte disse barrierene bør Norge prioritere FoUI-aktiviteter innen:

Vannkraftens fleksibilitet i marked og systemdrift

- Modeller for verdsetting av energi, effekt og systemtjenester fra vannkraft ved samtidig deltakelse i flere markeder.
- Metoder for produksjonsplanlegging under flytbasert markedskobling, økt automatisering og finere tidsoppløsning.
- Kunnskap om hvordan markeds- og reguleringsvilkår påvirker beslutninger om effektutvidelse, pumpekraft og lagring.



- Konsepter for samlokalisering av vannkraft og kraftforedlende virksomhet, med areal-, nett- og driftsmessig samspill.
- Kunnskap om vannkraftens rolle som leverandør av systemtjenester (f.eks. tregghet, spennings- og frekvensregulering)

Teknologi, levetid og sikkerhet i eksisterende anlegg

- Kunnskap om slitasje, utmatting og gjenværende levetid i turbin, generator og vannvei ved hyppig start, stopp og lastendring.
- Metoder for risikobasert tilstandsvurdering og prioritering av tiltak i dammer, inntak og vannveier.
- Tunneldesign, damkonstruksjoner og anleggsmetoder som reduserer kostnad og byggetid ved opprusting av anlegg i drift.
- Konsepter for effektutvidelse og pumpekraft i eksisterende vassdragssystemer.
- Metoder for å sikre tilgang på komponenter, kompetanse og reparasjonskapasitet ved store havarier og i kriser.

Miljødesign og naturhensyn i regulerte vassdrag

- Kunnskap om økologiske virkninger av endret kjøremønster ut over enkeltarter, inkludert strandsone og hydromorfologi.
- Metoder for å vurdere samlet belastning av mange inngrep i samme vassdrag eller region.
- Virkninger av pumpekraft på fjelløkosystemer, fisk, friluftsliv og lokalt næringsliv.
- Restaurering og avbøtende tiltak knyttet til oppgradering av eksisterende anlegg, med etterprøving av effekten.

Sosial legitimitet og beslutningsprosesser

- Indikatorer som synliggjør og veier nytte og kostnader i regulerte vassdrag mellom lokalt, regionalt og nasjonalt nivå.
- Kunnskap om hvordan holdninger til vannkraft utvikler seg over tid, og hva som bygger tillit i konsesjons- og revisjonsprosesser.
- Kriterier for hva som kjennetegner rettferdig og bærekraftig forvaltning av regulerte vassdrag.
- Metoder for å dokumentere miljø- og klimaegenskaper ved oppgradering av eksisterende anlegg mot krav i taksonomi og livsløpsanalyse.

Digitalisering, data og sikkerhet

- Utvikling av sensorikk og datadrevet tilstandsforståelse som kombinerer fysiske modeller med maskinlæring.
- Åpne systembeskrivelser og virtuelle testmiljøer for utprøving av løsninger langs hele verdikjeden.
- Metoder for å sikre styrings- og driftssystemer i vannkraftverk mot digitale angrep, inkludert avhengigheter i leverandørkjeden.

Klimaendringer og hydrologisk risiko

- Framskrivninger av tilsig, snømagasin og ekstremhendelser med oppløsning som kan brukes til å dimensjonere anlegg.
- Driftsstrategier som håndterer større flommer og lengre tørkeperioder innenfor gjeldende manøvreringsreglementer.
- Kunnskap om magasinenes bidrag til flomdemping og tørkereduksjon.
- Metoder for å verdsette vann i magasiner med flere bruksformål.

Energi2050 anbefaler at disse FoU-behovene møtes gjennom tiltak og virkemidler beskrevet i kapittel 4.



4 Realisering av prioriterte forsknings- og innovasjonsområder

For å nå målene i Energi2050 må ny kunnskap og nye løsninger tas raskere i bruk. Dette krever et godt samspill mellom forskning, næringsliv, myndigheter og virkemiddelapparatet. Flere av utfordringene som er beskrevet i kapittel 2, blant annet behovet for økt tempo i energiomstillingen og utvikling av nye verdikjeder, gjør dette særlig viktig. Det er behov for virkemidler som dekker hele innovasjonsløpet, sterk kompetanse, internasjonale koblinger, industrielle læringsarenaer, tilgang til risikokapital, samt et godt samspill mellom finansiering, regulering og markedsutvikling. Disse betingelsene avgjør om kunnskap og teknologi faktisk tas fra forskning til demonstrasjon, marked og bred anvendelse.

For enkelte prioriterte områder er realisering først og fremst et spørsmål om å bygge et solid kunnskaps- og beslutningsgrunnlag før eventuell kommersiell skalering. Havbunnsmineraler er et slikt område. Her må ressurskartlegging, miljøforståelse, teknologiutvikling, sikkerhet, datadeling, regulering og samfunnsdialog utvikles parallelt og trinnvis, slik at Norge kan ta kunnskapsbaserte beslutninger om en eventuell framtidig verdikjede.

Fem gjennomgående behov peker seg ut: bedre sammenheng i virkemiddelapparatet, sterkere system- og verdikjededemonstrasjoner, mer strategisk kompetansebygging, aktiv internasjonal posisjonering og mer risikovillig kapital i overgangen fra pilot til kommersiell skalering.

4.1 VERDIEN AV FORSKNING OG INNOVASJON

Forskning, utvikling og innovasjon er blant de viktigste investeringene Norge kan gjøre for å sikre langsiktig verdiskaping, energisikkerhet og omstillingsevne. Energifeltet er preget av store systemendringer, høy kapitalintensitet, lange tidshorisonter og betydelig teknologisk og regulatorisk risiko. Dette gjør derfor at markedet ofte ikke alene vil utløse tilstrekkelige investeringer i kunnskap, teknologiutvikling og demonstrasjon. Offentlige virkemidler har derfor en viktig rolle i å redusere risiko, mobilisere privat kapital og sikre at teknologi og kompetanse utvikles før behovene blir akutte. Samtidig kan ikke offentlige virkemidler erstatte næringslivets eget ansvar for å investere i forskning, utvikling, demonstrasjon og innovasjon som del av egen konkurransekraft. Skal FoUI gi varig effekt, må industrien i større grad forankre kunnskaps- og teknologiutvikling i egne strategier, investeringsbeslutninger og industrielle utviklingsløp. Draghi-rapporten peker på at Europas konkurransekraft svekkes av for lave investeringer i forskning, innovasjon og industriell skalering sammenlignet med USA og Kina (Draghi, 2024). NHOs Draghi-inspirerte analyse peker på tilsvarende behov i Norge, og framhever at styrket innovasjonsevne, teknologiutvikling og privat FoUI-innsats er nødvendig for å videreutvikle norsk konkurransekraft (NHO, 2025).

Erfaringene fra norsk petroleumsvirksomhet viser hvor avgjørende forskning og teknologiutvikling har vært for verdiskaping. Norsk sokkel er blitt utviklet gjennom et tett samspill mellom stat, operatørselskaper, leverandørindustri og forskningsmiljøer. Teknologiske gjennombrudd innen blant annet seismikk, undervannsløsninger, boring, reservoarforståelse, digitalisering og økt utvinning har gjort det mulig å produsere mer



effektivt, sikrere og med lavere miljøbelastning. Denne kunnskapsbasen har samtidig gitt norsk leverandørindustri internasjonal konkurransekraft og skapt teknologiske ringvirkninger til blant annet maritim sektor, fornybar energi, helse og romfart. Teknologi og forskning har vært avgjørende for at olje- og gassindustrien fortsatt er Norges største næring, og for at konkurransekraften i petroleumsnæringen har gitt brede ringvirkninger til andre næringer (Norskipetroleum.no, 2026c).

Det samme gjelder i økende grad for fornybar energi, energieffektivisering, kraftsystemer, hydrogen, batterier, CO₂-håndtering og nye havnæringer. Regjeringen peker på at forskning, teknologiutvikling og demonstrasjon innen energiområdet skal bidra til langsiktig verdiskaping, sikker og kostnadseffektiv ressursutnyttelse og omstilling mot lavutslippssamfunnet (Olje- og energidepartementet, 2022). Forskningsrådet viser også til analyser fra Menon Economics og Multiconsult som anslår at utvalgte prosjekter innen miljøvennlig energi kan gi samfunnsøkonomiske gevinster for Norge på mellom 9 og 36 milliarder kroner, hvorav om lag fem milliarder allerede er realisert (Norges forskningsråd, 2025a). Gevinstene kommer blant annet gjennom økt fornybar energiproduksjon, energieffektivisering, lavere utslipp, reduserte kostnader, bedre forsyningssikkerhet og økt næringslivspotensial.

For industrien er FoUI en kilde til ny teknologi, kompetanse, standarder og samarbeidsarenaer, og derfor en strategisk investering i egen konkurransekraft. Draghi-rapporten peker på at Europas produktivitets- og konkurransekraftsutfordring i stor grad handler om evnen til å utvikle, ta i bruk og skalere ny teknologi (Draghi, 2024). NHOs analyse peker på at Norge har sterke fortrinn, men også at næringslivet må styrke innovasjonsevnen og forskningsinnsatsen for å møte økt internasjonal konkurranse (NHO, 2025). Norske bedrifter må derfor i større grad bruke FoUI til å redusere kostnader, kvalifisere teknologi, åpne nye markeder og bygge posisjoner i framvoksende verdikjeder.

For staten gir investeringene avkastning gjennom høyere verdiskaping, eksportinntekter, skatteinntekter, bedre ressursforvaltning, lavere klimarisiko og økt beredskap. Verdien ligger både i enkeltprosjekter og i kumulative læringseffekter som følger av at teknologier, data, infrastruktur, institusjoner og kompetansemiljøer bygges over tid. Derfor bør FoUI på energiområdet forstås som strategisk nasjonal infrastruktur – ikke som en kostnad, men som en nødvendig investering i Norges framtidige handlefrihet, konkurransekraft og velferd.

4.2 DET NORSKE VIRKEMIDDELAPPARATET

Dagens norske virkemiddelapparat dekker i hovedsak hele løpet fra grunnleggende og anvendt forskning til pilotering, demonstrasjon, kommersialisering og markedsintroduksjon. Erfaringene med virkemiddelapparatet er gode. Flere aktører og ordninger bidrar med komplementære virkemidler i ulike deler av innovasjonsløpet. Samlet gir dette gode forutsetninger for å utvikle og ta i bruk nye energi- og klimaløsninger.

Ordninger som mobiliserer næringslivets egen FoUI-innsats, er en viktig del av virkemiddelapparatet. FOT-ordningen i petroleumssektoren er et eksempel, og det bør vurderes om tilsvarende incentiver kan være hensiktsmessige på andre prioriterte områder. Samtidig kan koblingen til aktivitetsnivå føre til at FoUI-rammene faller når aktiviteten avtar, selv om behovet for teknologiutvikling og kompetansebygging fortsatt er stort.

Særlig viktig er samspillet mellom ordningene. Energiomstilling og nye verdikjeder utvikles ikke lineært fra forskning til marked. De krever samtidig teknologiutvikling, infrastruktur, regulering, markedsdesign, aksept og kompetanse. Det er fortsatt gap mellom forskning, pilotering, fullskala demonstrasjon og industriell skalering, særlig i kapitalintensive prosjekter



med lang tidshorisont. I flere av Energi2050s prioriterte områder er utvikling i stor grad avhengig av regulatoriske rammer som konsesjonsprosesser, standarder, marksregler og CO₂-prising. Finansielle virkemidler må dermed suppleres med regulatoriske virkemidler.

Energi2050 anbefaler at virkemiddelapparatet innrettes mer mot sammenhengende løp for prioriterte områder, med tydelig ansvar i overgangene mellom forskning, demonstrasjon og marked. Virkemidlenes samlede effekt avhenger også av god koordinering mellom departementer, virkemiddelaktører og europeiske programmer. Energi2050s rapporter om energisikkerhet og havbunnsmineraler forsterker behovet for virkemidler som håndterer teknologi, sikkerhet, miljø, ressursgrunnlag, regulering og industriell modning parallelt.

Energi2050 anbefaler:

- Videreutvikle sammenhengende virkemiddelløp fra grunnforskning, kompetansebygging og anvendt forskning, til pilotering, demonstrasjon, industriell skalering og markedsintroduksjon, med tydelig ansvar i overgangene mellom fasene.
- Styrke finansieringen av system- og verdikjededemonstrasjoner der teknologi, infrastruktur, marked, regulering og brukerbehov utvikles og testes samlet.
- Etablere nye nasjonale satsinger og styrke eksisterende på områder der kunnskapsbehovene er store og samfunnsbetydningen høy, særlig energisikkerhet og havbunnsmineraler, herunder vurdere etablering av forsknings- og innovasjonssentre som dekker hele innovasjonskjeden fra grunnforskning til demonstrasjon og praktisk implementering. Slike satsinger bør være et supplement til – ikke erstatning for – den ordinære energiforskningen. Satsingene må dimensjoneres i tråd med ambisjonene og komme i tillegg til, ikke på bekostning av, den etablerte energi-FoUI-innsatsen.
- Etablere et sammenhengende og trinnvis virkemiddelløp for havbunnsmineraler som kobler offentlig ressurs- og miljøkartlegging, målrettede FoUI-utlysninger, åpne data, test- og demonstrasjonsarenaer og lisens- og beslutningsprosesser. Virkemidlene må støtte utviklingen av et solid kunnskaps- og beslutningsgrunnlag som trengs før eventuell kommersiell skalering.
- Etablere nasjonale analyse-, modell- og scenariokapasiteter og styrke grunnforskning på systemrisiko, kritiske leverandørkjeder og samfunnsmessig motstandskraft, som grunnlag for forskning, planlegging, øvelser, beslutningsstøtte og treffsikre FoUI-prioriteringer på tvers av energi, IKT, transport, vannforsyning, helse og forsvar.
- Styrke kunnskapsgrunnlaget om kritiske avhengigheter, råvarer, mineraler, materialer, teknologier, komponenter, programvare og utenlandske leverandører på tvers av prioriterte områder, slik at strategisk autonomi får større plass i energiforskningen og sikkerhetsarbeidet som helhet.
- Etablere et langsiktig program for følgeforskning som evaluerer effekten av virkemidler og forskningsinnsats, og som bidrar til løpende justering av prioriteringer.
- Sikre koordinert innsats mellom relevante departementer – herunder Energidepartementet, Justis- og beredskapsdepartementet, Forsvarsdepartementet, Nærings- og fiskeridepartementet og Kunnskapsdepartementet – der prioriterte områder har tverrsektorielle avhengigheter av betydning for sikkerhet og beredskap.

4.3 NORDISK, EUROPEISK OG INTERNASJONALT SAMARBEID

Nordisk, europeisk og internasjonalt samarbeid er nødvendig fordi norske aktører inngår i europeiske og globale verdikjeder. Horisont Europa og Konkurransesevnefondet, europeiske partnerskap, SET-planen, EUs innovasjonsfond, Connecting Europe Facility, EIC, nordisk energiforskning og bilaterale samarbeid gir tilgang til finansiering, testarenaer, standardisering og industrielle og vitenskapelige nettverk som Norge ikke kan bygge alene.



Samarbeidet gir også deltakelse i utvikling av resultater og teknologi det er vanskelig å oppnå for ett land alene. For havbunnsmineraler bør internasjonalt samarbeid særlig rettes mot kritiske råvarer, felles standarder for miljødata og sporbarhet, aktsomhetskrav, ansvarlig verdikjedeutvikling og kobling til europeiske prosesser for strategisk autonomi og forsyningssikkerhet.

Særlig viktig nå er at europeisk FoUI i økende grad kobles til konkurransekraft, sikkerhet, industriell kapasitet og strategisk autonomi. For Norge gir dette muligheter dersom aktører posisjonerer seg tidlig i partnerskap, arbeidsprogrammer og konsortier innen energi, offshore, maritime operasjoner, kraftsystemer, CO₂-håndtering, og kritiske råvarer.

Energi2050 anbefaler full deltakelse for Norge i europeiske programmer og relevante partnerskap og å bruke nordisk og internasjonalt samarbeid strategisk på områder der felles markeder, infrastruktur eller sikkerhetsutfordringer er enda mer nært og umiddelbar: Nordsjøen som energiområde, nordisk-baltisk energisikkerhet, grensekryssende CO₂-verdikjeder, maritim lavutslippsteknologi, kritiske råvarer og kraftsystemintegrasjon. Samarbeidet må også omfatte standarder, regulering, data, sikkerhet, demonstrasjon og markedstilgang.

Energi2050 anbefaler:

- Å videreføre og styrke full norsk deltakelse i europeiske FoUI-programmer og å posisjonere norske aktører tidlig i arbeidsprogrammer og europeiske partnerskap.
- Bruke nordisk samarbeid strategisk på energisikkerhet, kraftsystemintegrasjon, beredskap og felles infrastruktur, og styrke sikkerhetspolitisk samarbeid gjennom NATO om energisikkerhet og motstandsdyktighet, ettersom truslene i stor grad er grenseoverskridende og effektive svar forutsetter samordnet planlegging og informasjonsdeling
- Delta på standardiseringsarenaer for CO₂-håndtering, havvind, hydrogen, fleksibilitet og kritiske råvarer.
- Vedlikeholde og inngå ytterligere bilaterale FoUI-ordninger med prioriterte land utenfor Europa.
- Posisjonere norske forsknings- og industrimiljøer i europeiske initiativer for kritiske råvarer, inkludert kunnskapsgrunnlag, miljøstandarder, sporbarhet og ansvarlig utvikling av mulige havbunnsmineralverdikjeder.

4.4 KOMPETANSE, UTDANNING OG VIDEREUTDANNING, DIGITALISERING OG DATAHÅNDTERING

Kompetanse er en forutsetning for energiomstillingen. Norge har sterke fagmiljøer og en industriell kompetansebase bygget opp gjennom vannkraft, petroleum, maritim sektor, prosessindustri og et høyt elektrifisert samfunn. Fremover blir det stadig viktigere å kombinere teknologisk kompetanse med kunnskap om digitalisering, sikkerhet, markeder, regulering, natur og samfunn.

Flere prioriterte områder konkurrerer om den samme kompetansen. Undergrunn, boring og brønn, maritim teknologi, kraftelektronikk, prosess, materialteknologi, digital sikkerhet, kunstig intelligens og systemanalyse er relevante på tvers av petroleum, CO₂-håndtering, havvind, havbunnsmineraler og integrerte energisystemer. Det er imidlertid også en mulighet for kunnskaps- og kompetansesynergier på tvers av områder. MNT-fagene – matematikk, naturvitenskap og teknologi – er særlig viktige for utviklingen av energiområdet, og det er behov for en målrettet politikk for å styrke rekrutteringen til disse fagene.



Kompetansen er viktig både for effektiv ressursutnyttelse på sokkelen og for utviklingen av nye energi- og havnæringer. Dersom nye verdikjeder ikke industrialiseres raskt nok, kan fallende petroleumsaktivitet svekke kritiske fagmiljøer og føre til tap av kompetanse som også er nødvendig i nye næringer.

Offentlig finansierte forskningssentre og FoU-prosjekter er en viktig kanal for målrettet kompetansebygging i energi- og petroleumssektoren. FME-ordningen har siden 2009 støttet 32 sentre, hvorav 27 teknologiske og 5 samfunnsrettede, og Forskningsrådet beskriver forskerutdanning som en sentral oppgave for sentrene. Petrosentrene har tilsvarende som mål å utvikle kompetanse for forvaltning og verdiskaping av norske petroleumsressurser, og skal styrke teknologioverføring, internasjonalisering og forskerutdanning. I tillegg bidrar Nærings-ph.d.-ordningen til at ansatte i bedrifter kan ta doktorgrad på problemstillinger som er direkte relevante for virksomhetenes kjerneaktivitet, produkter og tjenester. Master- og doktorgradskandidater som utdannes gjennom slike sentre, ordninger og FoU-prosjekter får forskningsbasert kompetanse tett koblet til konkrete problemstillinger innen petroleum, CO₂-håndtering, energieffektivisering, energisystemer og nye verdikjeder. Slik blir forskningsinnsats i tillegg til en kilde til prosjektrapporter og teknologiske resultater, også en rekrutterings- og kompetansekanal for næringslivet.

Effektiv digitalisering forutsetter at data samles inn, kvalitetssikres, deles og brukes på en trygg og målrettet måte. På tvers av energiområdet finnes store datamengder fra kraftsystemet, petroleumsvirksomheten, CO₂-lagre, havvindanlegg, vannkraft, industrielle prosesser, miljøovervåking og nye havnæringer. Verdien av disse dataene realiseres først når de kan kobles med domenekunnskap, felles datamodeller, standardiserte grensesnitt, kunstig intelligens og sikre løsninger for tilgangsstyring og deling. Energi2050 anbefaler derfor at offentlig støttede FoU-satsinger stiller tydeligere krav til datakvalitet, dokumentasjon, interoperabilitet og sikker datadeling, samtidig som hensyn til konkurranse, sikkerhet, personvern og nasjonal kontroll over kritiske energidata ivaretas. Bedre datainnhenting og effektiv databruk kan styrke ressursutnyttelse, drift, vedlikehold, miljøovervåking, beredskap, teknologiutvikling og beslutningsstøtte, og bør utvikles som en felles digital grunnmur for hele energiområdet.

Energi2050 anbefaler at FoU-satsinger, utdanning og etter- og videreutdanning kobles tettere. Det trengs tverrfaglige løp innen energisystemer, kraftelektronikk, cybersikkerhet, CO₂-håndtering, havromsteknologi, natur- og miljøforvaltning, markedsdesign og industriell digitalisering. Energisikkerhetsrapporten peker på behov for kompetanse i geopolittikk, risiko, fysisk og digital sikring, krisehåndtering og gjenoppretting, mens havbunnsmineralrapporten løfter behov for geologi, oseanografi, miljø, undervannsteknologi, prosessering, autonomi, HMS og forvaltning.

Energi2050 anbefaler:

- Utvikle nasjonale kompetanseløp innen energisystemer, digital sikkerhet, undergrunn, havromsteknologi, CO₂-håndtering, nye energibærere og muliggjørende teknologier.
- Utvikle tverrfaglige master-, doktorgrads- og etter- og videreutdanningstilbud som kobler teknologi, sikkerhet, marked, regulering, natur og samfunn.
- Styrke kompetanseoverføring fra petroleum og maritim sektor til havvind, CO₂-håndtering, havbunnsmineraler, geotermi og offshore energisystemer.
- Styrke rekrutteringen til MNT-fagene og sikre tilstrekkelig kapasitet i utdanninger som er særlig viktige for energiområdet.
- Legge bedre til rette for deling og gjenbruk av data på tvers av myndigheter, forskningsmiljøer og næringsliv, gjennom tydelige krav og insentiver for datakvalitet, dokumentasjon, interoperabilitet og sikker datadeling. Dette er særlig viktig der data



kan styrke felles kunnskapsgrunnlag for ressursforvaltning, miljøovervåking, sikkerhet, teknologiutvikling og beslutningsstøtte.

- Styrke trening og øvelser, og sikre langsiktig planlegging av kvalifisert personell, leverandørkapasitet og relevante fagmiljøer for kritiske deler av energisystemet, i samarbeid mellom myndigheter, næringsliv, forsvar og utdanningsmiljøer.
- Bygge tverrfaglig kompetanse for havbunnsmineraler som kobler geologi, geofysikk, oseanografi, marin teknologi, miljøvitenskap, prosess- og materialteknologi, digitalisering, sikkerhet, regulering og samfunnsfag.

4.5 INDUSTRIELL AKTIVITET SOM INNOVASJONSDRIVER

Industriell aktivitet er en selvstendig innovasjonsdriver. Forskning får størst effekt når den møter krevende kunder, reelle driftsmiljøer, investeringsbeslutninger og markeder. Norsk sokkel har vært en viktig arena for teknologiutvikling, standardisering og leverandørutvikling, nettopp fordi industrien hadde store teknologiske utfordringer, tydelige kommersielle mål og vilje til å investere i løsninger som kunne tas i bruk. Tilsvarende har kraftsektoren, prosessindustrien, maritim sektor og annen landbasert industri bidratt til å utvikle, teste og kommersialisere nye løsninger. Slike krevende markeds-, lærings- og utviklingsarenaer vil også være avgjørende for nye energi- og havnæringer.

Nye verdikjeder trenger piloter, demonstrasjonsprosjekter, første industrielle kunder og tilgang til infrastruktur før de kan bli konkurransedyktige internasjonalt. Havvind, CO₂-håndtering, maritime lavutslippsløsninger, fleksibilitet og energieffektivisering kan bruke eksisterende industri som test- og demonstrasjonsarena, bl.a. gjennom sokkelen, prosessindustrien, datasentre, havner, maritim drift og kraftsystemet. For havbunnsmineraler bør test- og demonstrasjonsarenaer utformes som trinnvise og kunnskapsbyggende prosesser. De kan bidra til å modne kartleggingsteknologi, autonome operasjoner, miljøovervåking, prøvetaking, prosessering og håndtering av restmasser, men må bygge på klare krav til miljødata, sikkerhet, ressursdokumentasjon og datadeling.

Slike arenaer bør kobles til industriens egne FoUI-investeringer. Skal Norge bygge konkurransedyktige posisjoner innen havvind, CO₂-håndtering, maritime lavutslippsløsninger, fleksibilitet, energieffektivisering og nye havnæringer, må bedriftene selv bidra med kapital, testmiljøer, data, industrielle problemstillinger og tidlige markedsmuligheter. Offentlig støtte kan redusere risiko og utløse samarbeid, men læring, teknologioptak og skalering skjer først når industrien selv tar eierskap til utviklingen.

Offentlige innkjøp, pilotkunder og markedsmekanismer som stimulerer tidlig bruk av nye løsninger er viktige virkemidler for å skape læringseffekter og markeder.

Energi2050 anbefaler at industriell aktivitet brukes mer målrettet som FoUI-instrument, og at offentlig støttede prosjekter utformes slik at de mobiliserer industriens egne investeringer, testarenaer og teknologioptak. Dette svarer på utfordringen som både Draghi-rapporten og NHOs analyse peker på om at konkurransekraft bygges gjennom evnen til å koble forskning, kunnskapsutvikling, kapital, krevende kunder og industriell skalering (Draghi, 2024; NHO, 2025).



Energi2050 anbefaler:

- Bruke store industriprosjekter som læringsarenaer for teknologiutvikling, standardisering, sikkerhet og kostnadsreduksjon.
- Knytte offentlig støttede FoUI-prosjekter tettere til industrielle investeringer, pilotkunder og demonstrasjonsarenaer, og sikre at forskningsresultater kan omsettes til operative løsninger, drift og beredskap over tid.
- Styrke langsiktige investeringer i nasjonal forsknings- og testinfrastruktur som muliggjør storskala og mellomskals fasiliteter som igjen er avgjørende for å generere data, validere modeller, kvalifisere teknologi og muliggjøre oppskalering.
- Stille tydelige krav til industrielt eierskap, egeninnsats, datadeling og planer for teknologiopptak i prosjekter der målet er demonstrasjon og skalering.
- Sikre at erfaringer fra industriprosjekter omsettes til standarder, bedre regulering og raskere kvalifisering av ny teknologi.
- Bygge forskningsinfrastruktur og testarenaer – herunder laboratorier, simuleringsplattformer og infrastruktur for digitale tvillinger i kraftsystemet – dimensjonert for akademia, industri og forsvarssektoren, og gjennomføre innovasjons- og demonstrasjonsprosjekter i realistiske drifts- og beredskapsmiljøer i tett samarbeid med næringslivet.

4.6 INDUSTRIENS ANSVAR OG BEHOV FOR TEKNOLOGILEDERSKAP

Industriens rolle i energiomstillingen handler ikke bare om å delta i FoUI-prosjekter, men om å bruke forskning, utvikling, demonstrasjon og innovasjon som strategiske virkemidler for å styrke egen konkurransekraft. Draghi-rapporten peker på at Europa må øke investeringene i forskning, innovasjon og skalering for å møte konkurransen fra USA og Kina og sikre framtidig produktivitetsvekst (Draghi, 2024). NHOs analyse viser at dette også er en norsk utfordring: Norge har sterke fortrinn, men må styrke innovasjonsevnen, teknologiutviklingen og næringslivets egen FoUI-innsats for å beholde og utvikle konkurransekraften (NHO, 2025). Norske energi- og teknologibedrifter må derfor i større grad investere i, teste, kvalifisere og ta i bruk nye løsninger med egne ressurser.

Ny teknologi innen energi, industri og havrom forutsetter ofte langsiktige investeringer før lønnsomhet, regulering og markeder er fullt avklart. Det gjør styre, toppledelse og eiere avgjørende for hvorvidt virksomhetene evner å utvikle og ta i bruk ny teknologi. Gjennom prioriteringer, kapitalrammer og risikovilje påvirker de hvilke innovasjoner som realiseres, og om forskningsbasert kunnskap faktisk omsettes til industriell konkurransekraft.

Dette er særlig viktig i energiområder som krever store investeringer, og der usikkerheten ikke bare er knyttet til teknologi, men også til marked, infrastruktur, sikkerhet og rammebetingelser. Tydelig ledelsesforankring er nødvendig for å gi prosjekter tilstrekkelig tid, kompetanse og finansiering, og for å bygge en kultur som fremmer læring, samarbeid og vilje til å prøve ut nye løsninger. Erfaring viser at risikovilje, langsiktighet og tydelig ledelsesengasjement er viktige for å utvikle og skalere nye løsninger.

Energi2050 anbefaler at industrien tar et tydeligere og mer selvstendig ansvar for utvikling, demonstrasjon, kvalifisering og bruk av ny teknologi på prioriterte områder. Offentlige virkemidler kan redusere risiko, men kan ikke erstatte industriens egne investeringer, teknologistrategier og eierskap til markedsintroduksjon. Dette gjelder særlig der Norge har fortrinn som må omsettes til nye posisjoner: offshore energisystemer, CO₂-håndtering,



havvind, havbunnsmineraler, maritim lavutslippsteknologi, fleksibilitet og energieffektiv industri.

I umodne verdikjeder må industriens ansvar tilpasses utviklingsfasen. Industrien bør bidra med kapital, teknologi, data, testkapasitet og operasjonelle problemstillinger som gjør forskningen relevant og legger grunnlag for trinnvis kvalifisering av løsninger. For havbunnsmineraler må dette samtidig skje innenfor tydelige offentlige rammer og krav til miljø- og ressursdata, sikkerhet, sporbarhet, datadeling og uavhengig kunnskapsbygging.

Energi2050 anbefaler:

- Forankre prioriterte teknologi- og innovasjonssatsinger i styre og toppledelse, med tydelige mandater, kapitalrammer og langsiktig tidshorison.
- Øke egenfinansiert FoUI-innsats på områder som er strategisk viktige for framtidig konkurransekraft, teknologioptak og nye markedsposisjoner.
- Ha en balansert FoUI-portefølje der høy risiko vurderes opp mot strategisk betydning, læring og mulig framtidig verdiskaping.
- Koble lederinsentiver og industrielle partnerskap sterkere til demonstrasjon, teknologikvalifisering, datadeling og markedsintroduksjon.

4.7 TILGANG TIL RISIKOKAPITAL

Tilgang til risikokapital er avgjørende for at forskningsbaserte energi- og klimateknologier skal kommersialiseres og skaleres. Dette gjelder særlig teknologier som er kapitalintensive, har lange utviklingsløp og møter betydelig teknologi-, markeds- og regulatorisk risiko. Internasjonale analyser viser at mange av teknologiene som trengs for å nå netto nullutslipp, fortsatt befinner seg i tidlige utviklings- eller demonstrasjonsfaser, og at overgangen fra pilot til første industrielle anlegg er blant de mest krevende fasene å finansiere (IEA, 2024a; OECD, 2023). Offentlige virkemidler kan redusere risiko i tidlige faser, men privat kapital og profesjonelle eiere er nødvendig for skalering, industrialisering og internasjonal vekst.

Kapitalvirkemidler for havbunnsmineraler må bidra til kunnskapsbygging, datadeling, miljø- og ressursdokumentasjon og en ansvarlig, trinnvis utvikling. For umodne områder der kunnskapsgrunnlaget har karakter av et fellesgode, må offentlig finansiering ha en tydelig rolle, mens privat kapital mobiliseres gradvis i takt med teknologisk modenhet, regulatoriske avklaringer og dokumentasjon av ressursgrunnlag, miljøpåvirkning og sikkerhet.

Kapitaltilgangen til klimateknologi er ujevn. Internasjonalt har interessen for klimateknologi økt, men kapitalen går i stor grad til mer modne teknologier og mindre kapitalintensive forretningsmodeller. Dette skaper et finansieringsgap for forskningsbaserte og industri-orienterte teknologier med høyt utslippsreduksjonspotensial, men lang vei til lønnsomhet. Norske analyser peker i tillegg på at Norge har svakere tilgang på venture- og vekstkapital enn sammenlignbare nordiske og europeiske land, og at norske selskaper ofte har utfordringer med å hente store nok kapitalrunder og tiltrekke internasjonale investorer (Menon Economics, 2023; Menon Economics & Nysnø Klimainvesteringer, 2024).

Energi2050 anbefaler derfor at kapitalkjeden for energi- og klimateknologi styrkes. Den bør omfatte tidligfasekapital til forskningsbaserte selskaper, vekstkapital til demonstrasjon og første industrielle anlegg, garanti- og låneordninger for kapitaltunge investeringer og bedre kobling til europeiske finansieringskilder. Statlige investeringsmiljøer, fond-i-fond-løsninger, lån, garantier og grønn industrifinansiering bør brukes som katalysatorer for privat kapital, ikke som erstatning for den. Offentlig kapital bør særlig bidra til risikoavlastning der markeds-svikt, lang tidshorison eller høy teknologisk usikkerhet hindrer private investeringer, og der



offentlig medfinansiering kan utløse privat medinvestering (OECD, 2023; Menon Economics & Nysnø Klimainvesteringer, 2024).

Kapitalvirkemidlene bør særlig rettes mot områder der Norge har industrielle fortrinn, sterke forskningsmiljøer og mulighet til å bygge nye eksportrettede verdikjeder. Virkemidlene bør samtidig stimulere til samhandling mellom norske og internasjonale investorer, slik at norske selskaper får tilgang til større kapitalmiljøer, relevant industriell kompetanse og internasjonale markeder.

Energi2050 anbefaler:

- Styrke tidligfasekapital for forskningsbaserte energi- og klimateknologiselskaper.
- Videreutvikle vekstkapital, lån og garantier for demonstrasjonsprosjekter og første industrielle anlegg.
- Mobilisere privat kapital gjennom fond-i-fond, samfinansiering og risikoavlastning der offentlig kapital utløser privat investeringer.
- Koble norske kapitalvirkemidler tettere til europeiske finansieringskilder og industrielle partnerskap.
- Prioritere kapitalvirkemidler mot områder der Norge har industrielle fortrinn og mulighet til å bygge nye grønne verdikjeder, samt innrette virkemidlene slik at de også dekker store, strategiske infrastrukturinvesteringer der den kommersielle risikoen er høy, men samfunnsnyttene er stor.

4.8 ENERGI2050S ROLLE OG ARBEID FOR Å FÅ STRATEGIEN REALISERT

Energi2050 gir strategisk retning for den samlede forsknings- og innovasjonsinnsatsen på energiområdet. Energi2050 forvalter ikke virkemidler og gjennomfører ikke satsingene, men skal gi kunnskapsbaserte råd, mobilisere relevante aktører og bidra til bedre koordinering mellom myndigheter, næringsliv, virkemiddelapparat og kunnskapsmiljøer.

Energi2050-styret er bredt sammensatt og representerer komplementær kompetanse fra hele energiområdet. Styrets rolle er å se sammenhenger på tvers av sektorer, teknologier og fagområder, utfordre etablerte vurderinger og gjøre helhetlige strategiske avveininger. Energi2050s råd bygger på faglige vurderinger, er transparente og de er forankret i best tilgjengelige fakta, data og analyser. Energi2050 tilstreber at usikkerhet og sentrale avveininger synliggjøres.

Energi2050 er en løpende strategisk prosess som fortsetter etter publiseringen av strategidokumentet. Som del av denne prosessen skal Energi2050 bringe relevante interessenter sammen for videre dialog om kunnskapsbehov, prioriteringer og oppfølging av strategien. Fagekspertene og aktørene som har bidratt i utarbeidelsen av strategien, vil være viktige ressurser og inviteres til å delta i relevante diskusjoner og aktiviteter.

Strategien lykkes når prioriteringene får gjennomslag i offentlige og private FoU-investeringer, styrker samspillet i virkemiddelapparatet og mobiliserer til samarbeid, kompetansebygging og internasjonal deltakelse. Energi2050 vil derfor kommunisere rådene tydelig, etablere møteplasser, følge utviklingen på energiområdet og jevnlig vurdere strategiens gjennomslag og relevans.



5 Videreutvikling av en solid kunnskaps- og teknologiplattform

5.1 BETYDNINGEN AV EN BRED KUNNSKAPS- OG TEKNOLOGIPLATTFORM

Energi2050 prioriterer de områdene der FoUI-innsatsen vurderes å gi størst effekt fram mot 2050. Prioriteringen innebærer ikke at øvrige områder mangler betydning. Norsk energiforskning hviler på en bred kunnskaps- og teknologiplattform bygget opp over flere tiår, og denne plattformen er en forutsetning for å nå Energi2050s mål. Dette kapittelet beskriver andre viktige områder utover de som er løftet fram som egne FoUI-satsingsområder, med status, marked og gjenstående forsknings- og innovasjonsbehov.

Energisystemet skal omstilles under betydelig usikkerhet. Hvilke teknologier som blir avgjørende fram mot 2050, vil avhenge av kostnadsutvikling, ressurstilgang, regulering og geopolitiske forhold som ikke lar seg forutsi. Samtidig tar det lang tid å bygge kompetanse. Fagmiljøer med doktorgradsutdanning, laboratorier og etablert industrisamarbeid utvikles over ti til femten år, men kan bygges ned på langt kortere tid. En bred kunnskaps- og teknologiplattform gir derfor nødvendig fleksibilitet og bevarer handlingsrommet når forutsetningene endrer seg. Den gjør det mulig å ta i bruk teknologier som modnes raskere enn ventet, og å trappe opp innsatsen på områder som får økt betydning, uten å måtte bygge fagmiljøene opp fra grunnen av.

Store deler av det sentrale FoUI-behovet for områdene i dette kapittelet dekkes gjennom Energi2050s tre tverrgående, prioriterte satsinger: *Integrerte energisystemer*, *Energisikkerhet* og *Natur, miljø og samfunn*. Dette omfatter blant annet behov knyttet til systemtjenester, natur- og miljøhensyn, energisikkerhet, effektiv ressursutnyttelse og samfunnsmessige rammevilkår. De detaljerte beskrivelsene i de neste kapitlene er derfor avgrenset til FoUI-behov som ikke allerede ivaretas gjennom disse tverrgående satsingene.

Også teknologisk deler områdene i stor grad kompetansebase med satsingsområdene. Kraftelektronikk, materialteknologi, digitalisering og modellering, undergrunnsforståelse og maritim teknologi er eksempler på temaer som går igjen på tvers av verdikjeder. Innsats rettet mot ett område kan derfor styrke gjennomføringsevnen på flere.

For områdene i dette kapittelet anbefaler Energi2050 at innsatsen i hovedsak videreføres gjennom eksisterende programmer og virkemidler framfor nye, dedikerte satsinger. Det innebærer å fullføre igangsatte program som svarer ut identifiserte behov, opprettholde nisjemiljøer og utdanningsløp der Norge har en tydelig faglig styrke, og bruke nordisk og europeisk forskningssamarbeid aktivt der behovene er felles. Deltakelse i internasjonale program gir tilgang til kunnskapsfronten uten at Norge må bære kostnaden ved fullskala nasjonale satsinger på alle områder.



5.2 BATTERI

Batterier omfatter hele verdikjeden fra mineral- og materialprosessering til bruk i stasjonære anlegg, kjøretøy og fartøy, og videre til ombruk og gjenvinning. Området spenner over flere teknologisor med ulik modenhet. Litiumion, i hovedsak NMC- og LFP-kjemier, er en moden teknologi og dominerer det globale markedet. Alternative teknologier, som natriumion- og litium-svovelskjemier, har nådd kommersialisering og benyttes i stadig større grad i utvalgte markedssegmenter. Faststoffbatterier og andre neste generasjons teknologier er fortsatt under utvikling, med mål om høyere energitetthet, effekt og redusert råvareavhengighet. Flere aktører innenfor dette segmentet er på vei fra pilotproduksjon mot industriell skala (JRC, 2026).

Batterier har en viktig rolle i energisystemet ved å bidra med effekt og fleksibilitet, blant annet gjennom balansetjenester i markedene der nettet henter kortsiktig reservekapasitet (NVE, 2026h). Batterier er samtidig en nøkkelteknologi for å kutte utslipp, blant annet i kraftsystemet og transportsektoren. Kostnadene for batterianlegg har falt 90 prosent på under 15 år, og det har gjort batterier aktuelt i stadig flere bruksområder (NVE, 2026i). Elbilparken er selv blitt en fleksibilitetsressurs som allerede står tilkoblet nettet, og i maritim sektor har batteridrift gjort utslippsfri fremdrift mulig også der nettkapasiteten i havn er for svak til å understøtte lading eller landstrøm.

Den globale battericelleindustrien er sterkt konsentrert i Asia, og økt bruk av kritiske råvarer, energiforsyning og industrielle verdikjeder som geopolitiske virkemidler har gjort tilgang til celler til et sikkerhetsspørsmål så vel som et industrispørsmål. Norge har rikelig tilgang på fornybar kraft, et hjemmemarked i maritim sektor og en nasjonal batteristrategi, men sterk internasjonal konkurranse, særlig fra Asia, har likevel ført til at flere prosjekter for norsk celleproduksjon har blitt utsatt eller stanset (THEMA, 2025a). Det som er bygget opp, er prosessindustri for batterimaterialer, gjenvinningsanlegg og maritime batterisystemer som selges internasjonalt (SINTEF, 2025).

Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov

Verdien batterier tilfører energisystemet må hentes ut gjennom flere satsingsområder. Verdsetting av lagring, tilknytning og adgang til flere markeder samtidig er et sentralt FoUI-behov innenfor satsingsområdet *Integrerte energisystemer*, mens forretningsmodeller for batterier hos den enkelte kunde hører inn under *Energieffektivisering og forbrukerfleksibilitet*. Avhengigheten av celler, komponenter og produksjonsutstyr fra få leverandørland bør undersøkes gjennom satsingsområdet *Energisikkerhet*, og tilgangen på kritiske mineraler er en relevant problemstilling innenfor satsingsområdet *Havbunnsmineraler*. I tillegg er batteridrift til havs en moden løsning der det gjenstår FoUI-innsats innen satsingsområdet *Klimavennlig maritim transport* for sikkerhet og drift om bord.

Det er dermed naturlig at FoUI-innsatsen konsentreres om de delene av batteriverdikjeden der Norge allerede har industrielle forutsetninger, som prosessering av batterimaterialer, gjenvinning og maritime batterisystemer, samtidig som det kartlegges hvor i verdikjeden for øvrig Norge har forutsetninger for å ta en sterkere posisjon. Norsk industris videre utvikling innen både maritime batterisystemer og stasjonær energilagring avhenger av tilgang til battericeller på konkurransedyktige vilkår, og en velfungerende europeisk celleindustri er derfor viktig, ikke bare for celleprodusentene selv, men også for de norske material- og systemleverandørene som bygger videre på den.



Ut over det som dekkes av Energi2050s satsingsområder, gjenstår følgende FoUI-behov innen batterier:

Materialer og batterikjemi

- Anodematerialer basert på silisium, og syntetisk grafitt med lavt klimaavtrykk.
- Katodematerialer som erstatter nikkel og kobolt, og batterikjemier uten litium til bruk i stasjonær lagring.
- Elektrolytter og grenseflater i faststoffbatterier.
- Sammenhengen mellom produksjonsprosess og materialenes ytelse, for eksempel ved elektrodeproduksjon.

Sirkularitet og materialgjenvinning

- Utvinning av verdifulle metaller og materialer fra brukte batterier, tilpasset om cellene har høyt eller lavt metallinnhold.
- Direkte resirkulering og reparasjon av verdifulle batterimaterialer, som bevarer materialenes struktur i stedet for å bryte dem ned.

Batterisystemer, sikkerhet og drift

- Termisk rømning, tidlig deteksjon og tiltak mot spredning mellom celler og moduler.
- Datadrevne tilstands- og levetidsmodeller basert på driftsdata fra norske kjøretøy- og fartøysflåter, og degradering under kalde driftsforhold.
- Design av batterisystemer for bruk om bord i skip.
- Design av brann- og eksplosjonssikre batterirom for landbaserte stasjonære batterisystemer.

Energi2050 anbefaler at overnevnte FoUI-behov prioriteres innenfor dagens virkemidler som treffer batterier.

5.3 BIOENERGI- OG DRIVSTOFF

Bioenergi- og drivstoff omfatter konvertering av biomasse og organiske avfallsstrømmer til varme, gass, flytende drivstoff og fast biokarbon. Biobrensler dekket 7,5 prosent av det nasjonale sluttforbruket i 2025, hovedsakelig gjennom biodrivstoff til transport, vedfyring og industribruk. I tillegg står biobrensler for om lag en tredel av energien til fjernvarme.

Bioenergi gir viktige bidrag til energisystemet utover levert energi. For eksempel utgjør installerte vedovner en effekt tilsvarende 15 av Norges største vannkraftverk, som styrker energisikkerheten og avlaster strømmettet i kuldeperioder (THEMA, 2025b). Med omsetningskravet for veitrafikk på minst 20 prosent flytende biodrivstoff i 2026 er biodrivstoff allerede en viktig bidragsyter til reduksjon i norske klimagassutslipp. Ytterligere utslippskutt kan realiseres raskt innen industri- og transportsektoren med dagens teknologi, samtidig som bioenergi med karbonfangst og -lagring (BECCS) og biokull gir muligheter for negative utslipp på lengre sikt.

Høy innenlandsk etterspørsel, målrettet FoUI-innsats og naturgitte fortrinn har ikke materialisert seg i markant oppbygging av leverandørindustri. I Multiconsult (2025) sin kartlegging av leverandørnæringene innen energi er bioenergi blant de minste, med 5,3 mrd. kr. i omsetning og 900 sysselsatte. Av biodrivstoffet i omsetningskravene er under 2 prosent fra norske råstoffer (Miljødirektoratet, 2026b). Samtidig utvides kapasiteten innen andre segmenter. Norwaste har for eksempel kartlagt planer for produksjon av biogass på totalt 2,3 TWh, som vil innebære nesten en firedobling fra 2025-nivå om alt skulle bli realisert.



Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov

Bioenergi- og drivstoff består av en høy andel moden og kommersielt tilgjengelig teknologi, men utrulling har gått tregere på flere områder enn i naboland til tross for et rikt ressursgrunnlag.

Verdiene bioenergi- og drivstoff tilfører samfunnet må forstås og utnyttes riktig. Samspillet med kraftsystemet og bruk av alternative varmekilder er et sentralt FoUI-behov innenfor satsingsområdet *Integrerte energisystemer*. Bioenergi har et særlig potensial til å øke robustheten i energisystemet, som bør undersøkes gjennom satsingsområdet *Energisikkerhet*. Ressurskartlegging, sirkularitet og miljøhensyn er relevante problemstillinger innenfor satsingsområdet *Natur, miljø og samfunn*. I tillegg er BECCS og biokull lovende teknologier for karbonfjerning, men det er behov for FoUI-innsats innen satsingsområdet *CO₂-håndtering* for modning og kommersialisering.

Resterende FoUI-behov er knyttet til omdanning av norske råstoffer. Ressursene Norge selv rår over, som lignocellulose fra skog, husdyrgjødsel, avløpsslam og returtre, krever egne trinn for forbehandling, separasjon, konvertering og rensing. De modne verdikjedene bygger på avfalls- og restoljer der tilgangen allerede er knapp.

Ut over det som dekkes av Energi2050s satsingsområder, gjenstår følgende FoUI-behov innen bioenergi og drivstoff:

Råstoff og forbehandling

- Forbehandling og separasjon av våte, forurensede råstoffstrømmer, herunder salter, tungmetaller og fremmedstoffer.
- Utråtningsprosesser for våte, næringsrike substrater, med gjenvinning av fosfor og nitrogen fra bioresten.

Konvertering og oppgradering

- Termokjemiske, hydrotermiske og biokjemiske konverteringsveier for lignocellulose, med katalysatorer og reaktorkonsepter for oppskalering.
- Oppgradering av bio-råolje og syntesegass til produkter som møter spesifikasjonene for luftfart og maritim bruk.
- Samprosessering av biobaserte og fossile råstoffer i eksisterende raffinerier, med virkning på katalysator og produktkvalitet.
- Termisk behandling av avfallsfraksjoner som ikke kan materialgjenvinnes, med kontrollert destruksjon av miljøgifter.

Varmeanlegg og utslipp

- Forbrenningsprinsipper og etterbehandling som reduserer partikkel- og gassutslipp fra små anlegg og ildsteder.
- Styringssystemer med toleranse for varierende brenselkvalitet, brennverdi og fuktighet.

Energi2050 anbefaler at overnevnte FoUI-behov prioriteres innenfor dagens virkemidler som treffer bioenergi- og drivstoff.

5.4 GEOTERMISK ENERGI

Geotermisk energi omfatter varme fra jordskorpen i tre spor: grunnvarme med varmepumpe, sesonglagring, og dyp geotermi for høytemperert varme. Bruk av grunnvarme er utbredt i Europa og kommersielt etablert, mens dyp geotermi har behov for videre testing og pilotering.



I Norge er undergrunnen lite egnet for geotermisk kraftproduksjon, men mer egnet til å utvinne varme. Geotermiske installasjoner utgjør 1 450 MW varmeeffekt og leverer mest når det er kaldest. Levert energi utgjorde 4,3 TWh i 2024 (Sanner et al., 2025). Til sammenlikning bruker Norge om lag 50 TWh strøm til oppvarming årlig, som viser et stort potensial til å frigjøre kraft til andre formål. Geotermiske anlegg er i tillegg lite arealintensive, motstandsdyktige mot fysiske angrep og har en verdikjede med europeiske leverandører i alle ledd.

Norge har ledende brønn- og borekompetanse fra petroleumsindustrien, men likevel en begrenset industriell kapasitet innen geotermisk energi. I følge IEA (2024b) krever inntil 80 prosent av investeringen i et geotermisk prosjekt olje- og gasskompetanse. Lønnsomheten og forretningslogikken er derimot ulik mellom petroleum og geotermi, noe som har begrenset overføringsverdien. For grunnvarme er hjemmemarkedet dessuten lite, med under en femdel av den installerte kapasiteten som Sverige har (Sanner et al., 2025).

Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov

Grunnvarme er en moden teknologi der utbredelsen hovedsakelig er begrenset av rammevilkår og konkurransen mot andre oppvarmingsløsninger.

Verdien geotermisk energi kan tilføre energisystemet må hentes ut gjennom flere satsingsområder. Konvertering til vannbåren varme, kostnader og betalingsvilje for energisparing og effektavlastning er sentrale FoUI-temaer innenfor satsingsområdet *Energieffektivisering og forbrukerfleksibilitet*. Systemverdien av sesonglagring og samspillet mellom lokal varmforsyning og kraftsystemet bør undersøkes gjennom satsingsområdet *Integrerte energisystemer*.

Det finnes også synergier mot satsingsområdet *Petroleum*, særlig innen undergrunnsforståelse, boring, brønnkomplettering. Realisering av disse synergiene avhenger av innretning på FoUI-aktivitetene og markedsutviklingen på de to områdene.

Resterende FoUI-behov ligger i fastlandets undergrunn og i brønnene selv. Temperatur og varmestrøm i krystallinsk grunnfjell er dårlig kartlagt og kan bare fastslås med dype brønner. Ut over det som dekkes av Energi2050s satsingsområder, gjenstår dermed følgende FoUI-behov innen geotermisk energi:

Undergrunnens termiske ressurs og reservoarutford

- Metoder for å utlede temperatur og varmestrøm i krystallinsk grunnfjell fra grunne brønner, med tallfestet usikkerhet.
- Modellering av varmeuttak over levetiden, herunder termisk gjennombrudd, varmevandring mellom naboanlegg og dimensjonering mot samtidig varme- og kjølebehov.
- Stimuleringsregimets betydning for seismisk respons i krystallinsk berg.

Boring, brønn og materialer i krystallinsk berg

- Boreprosesser, borkroner og kjøling tilpasset kostnadsbildet i landbaserte varmeprosjekter.
- Kvalitetssikring av grunn brønnboring, tetting mot grunnvann og borekjemikalier, og brønnintegritet ved vekslende temperatur over lang driftstid.
- Lukkede brønnkonsepter som alternativ til å stimulere reservoaret.

Termisk lagring i berggrunn og akviferer

- Kollektor- og varmevekslerkonsepter for lagring ved høy temperatur.
- Berggrunnens termomekaniske respons på gjentatte temperatursykluser, inkludert setninger.
- Overvåking av termisk og mekanisk endring i undergrunnen fra overflaten og satellitt.



Energi2050 anbefaler at overnevnte FoUI-behov prioriteres innenfor dagens virkemidler som treffer geotermisk energi.

5.5 HYDROGEN

Områder omfatter alle former for hydrogenproduksjon med lave klimagassutslipp, syntetisering, transport, lagring og sluttbruk. Norge produserer allerede om lag 225 000 tonn hydrogen i året som integrerte trinn i ammoniakk- og metanolproduksjon, men nesten alt er fra reformering av naturgass med CO₂-utslipp. Det tilsvarer 2 millioner tonn CO₂ eller i størrelsesorden 5 prosent av Norges samlede utslipp. Innenlandske utslipp er noe lavere, ettersom mesteparten av karbonet i metanolproduksjon forblir i produktet og kan eksporteres før forbrenning.

Hydrogen kan bidra til avkarbonisering i sektorer der direkte elektrifisering er vanskelig, samt lagring av energi over tid og avstand. Internasjonalt nådde etterspørselen etter hydrogen 100 Mt i 2025, i all hovedsak fossilt hydrogen til industri. Lavutslippshydrogen utgjorde under én prosent, men steg med 20 prosent fra året før.

Norge har fortrinn innen produksjon av hydrogen med bedre tilgjengelighet av innsatsfaktorer som fornybar kraft, naturgass, rent vann og en etablert CO₂-lagringsinfrastruktur enn andre land i Europa. En historisk sterk FoUI-satsing har bygget opp en bred kompetansebase og flere realiserte småskala-prosjekter, hovedsakelig langs kysten. I tillegg leverer norske elektrolyseleverandører kommersielt i et globalt marked. Likevel er hydrogennæringen den minste av energinæringene målt i omsetning, med en negativ vekst på 13 prosent fra 2023 til 2024 grunnet fall i den internasjonale omsetningen (Multiconsult et al., 2025). Rørledningsplanene til Tyskland ble lagt vekk i 2024, og prosjektporteføljen for hydrogen- og ammoniakkproduksjon i nettkøen falt fra rundt 5 100 MW til 3 400 MW på ett år (NVE, 2026b).

Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov

Hydrogenteknologi er i stor grad moden, men utviklingen bremses av høye kostnader på både investering og innsatsfaktorer sammenliknet med fossile alternativer. Som et alternativ for nullutslipp er hydrogen hovedsakelig konkurransedyktig der direkte elektrifisering er teknisk eller økonomisk ugunstig, grunnet høye energitap under omforming. FoUI-innsats vil bidra til ytterligere kostnadsreduksjoner, men storskala utbredelse vil i stor grad avhenge av rammevilkårene for klimagassutslipp. I mellomtiden må det rettes FoUI-innsats for å håndtere fremtidig oppskalering i alle deler av verdikjeden.

Nettkapasitet, tilknytningskø og sektorkoblingen mellom hydrogen-, kraft- og CO₂-infrastruktur er sentrale FoUI-behov innenfor satsingsområdet *Integrerte energisystemer*. Fangst, transport og lagring av CO₂ fra reformering, og dermed hoveddelen av kostnadsgapet for den produksjonsveien, hører inn under satsingsområdet *CO₂-håndtering*, mens gassressursen og rørtransporten er relevante problemstillinger innenfor satsingsområdet *Petroleum*. Maritim bruk av hydrogen og derivater er et aktuelt område Norge har tatt tidlige posisjoner i, som bør videreutvikles gjennom satsingsområdet *Klimavennlig maritim transport*.

Ut over det som dekkes av Energi2050s satsingsområder, gjenstår følgende FoUI-behov innen hydrogen:

Produksjonsteknologi og alternative produksjonsveier

- Elektrolysører og brenselceller med lengre levetid, høyere virkningsgrad, bedre produserbarhet og mindre bruk av kritiske råmaterialer.
- Reformering med høy fangstgrad, og metanpyrolyse der karbonet tas ut i fast form.



- Elektrolyse fra sjøvann, kompakte systemløsninger for produksjon til havs
- Kartlegging av naturlig hydrogen.

Transport, lagring og materialintegritet

- Materialer, komprimering og flytendegjøring for storskala transport av hydrogen og bærere.
- Geologisk lagring av hydrogen, herunder reservoarmekanismer, tap og tilstandsovervåking.
- Materialintegritet for kontaktflater mot hydrogen langs hele verdikjeden
- Strømnings- og måleutfordringer ved rørtransport av hydrogen og hydrogenbærere, herunder driftsregimer, kompresjon, målenøyaktighet, lekkasjedeteksjon og effekter av gassammensetning og urenheter.

Sikkerhet, risiko og standarder

- Kunnskapsgrunnlag for dynamisk risikovurdering av hydrogen og ammoniakk, herunder metoder for å påvise og tallfeste lekkasje.
- Underlag for internasjonale standarder for produksjon, distribusjon og lagring, og for arbeidsmiljøvirkninger av ammoniakkeksponering.

Industriell sluttbruk og forbrenningsteknologi

- Nye prosessruter og hydrogenbasert prosessvarme i metallurgisk og kjemisk industri.
- Motorer, turbiner og brenselceller som kan operere på hydrogen eller ammoniakk.
- Bærekraftig omforming mellom hydrogen og bærere, herunder cracking av ammoniakk, og syntese av e-drivstoff fra hydrogen og fanget CO₂.

Energi2050 anbefaler at overnevnte FoUI-behov prioriteres innenfor dagens virkemidler som treffer hydrogen.

5.6 KJERNEKRAFT

Kjernekraft rommer to spor med ulik modenhet. Fisjon er kommersielt moden både i storskala og i mindre lettvannsreaktorer. Avanserte små modulære reaktorer (SMR), med andre reaktortyper og kjølemedier enn dagens lettvannsreaktorer, er i tidlig kommersialiseringsfase. Fusjon er på forskningsstadiet: ITER starter drift med deuterium og tritium først i 2039 (ITER, 2024). Norge produserer ingen kjernekraft. Landets to forskningsreaktorer, i Halden og på Kjeller, er begge nedstengt, og oppryddingen etter dem er anslått å ta 20 til 30 år og koste mellom 32 og 56 mrd. kroner (NOU 2026: 4).

Kjernekraft gir en flat og væruavhengig produksjonsprofil, men det norske kraftsystemet er på grunn av vannkraften ikke like avhengig av disse systemegenskapene som andre markeder. Fordi kjernekraft tidligst kan være i drift i Norge på midten av 2040-tallet, vil den i liten grad bidra til klimamålene for 2050 og må først og fremst ses som en mulig løsning for et energibehov etter 2050 (NOU 2026: 4). Den nukleære fagbasen har likevel verdi uavhengig av dette: oppryddingen, atomberedskapen og norsk deltakelse i internasjonalt arbeid med strålevern og atomsikkerhet hviler alle på den.

Nesten sytti år med forskningsreaktordrift har ikke gitt Norge en bred industriell posisjon innen kjernekraft, men enkelte nisjer utmerker seg: IFEs kompetanse innen reaktordrift, sikkerhetskontroll, beredskap, simulatorentrening og kontrollromsteknologi har gitt en internasjonal posisjon gjennom blant annet Halden HTO-prosjektet og HAMMLAB. Norske fagmiljøer har i tillegg opparbeidet seg relevant kompetanse innen regulatoriske spørsmål, energisystemanalyse og internasjonalt nukleært samarbeid. Samtidig er norsk kompetanse fra prosessindustri, olje- og gassvirksomhet og maritime miljøer relevant for drift og sikkerhet i en framtidig kjernekraftindustri.



Videre har Norge naturgitte og samfunnsmessige fortrinn, blant annet stabilt grunnfjell, lav befolkningstetthet og sterke institusjoner, som er relevante for lokalisering av anlegg og framtidig deponering. Norge har også thoriumressurser i Fensfeltet, men økonomi og etterspørsel er fortsatt uklar. Det som ellers står igjen etter forskningsreaktordriften, er en dekommisjonerings- og avfallsoppgave og fagmiljøer innen sikkerhet, strålevern og kontrollromsdigitalisering. Samtidig ble et nasjonalt nukleært forskningssenter opprettet i 2023, og Energidepartementet fastsatte i februar 2026 utredningsprogrammet for et planlagt SMR-anlegg på 1 500 MW, det innledende steget i en konsesjonsprosess (NOU 2026: 4).

Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov

Kostnadene må falle 70–80 prosent for at kjernekraft skal bli lønnsom med dagens prisforventninger, og fallet kommer av læreeffekter fra serieutbygging av standardiserte design (NOU 2026: 4), erfaring som opparbeides der mange reaktorer bygges etter hverandre; 57 av de 61 reaktorene som har startet bygging siden 2017, bruker kinesisk eller russisk teknologi (IEA, 2026a).

Kunnskapsbehovene fordeler seg på flere satsingsområder. Avhengigheten av importert brensel og anriking er et sentralt FoUI-behov innenfor satsingsområdet Energisikkerhet; russisk anriking dekket 23,6 prosent av separasjonsarbeidet til EUs kraftselskaper i 2024 (Euratom Supply Agency, 2025). Nettilknytning, verdsetting av en flat produksjonsprofil og sektorkobling mot varme og hydrogen bør undersøkes gjennom satsingsområdet Integreerte energisystemer. Arealbruk og legitimitet er relevante problemstillinger innenfor satsingsområdet Natur, miljø og samfunn. I tillegg er nullutslippsfremdrift for de største havgående skipene et FoUI-behov innenfor satsingsområdet Klimavennlig maritim transport, men ikke reaktortechnologien om bord.

Resterende FoUI-behov er knyttet til grunnlaget som må være på plass før en reaktor kan bygges. Atomenergiloven er aldri brukt til kraftproduksjon og virker parallelt med energiloven uten samordnet ansvarsfordeling, Norge mangler dedikerte utdanningsløp i nukleær ingeniørvitenskap, og om lag 16 tonn brukt kjernebrensel står uten valgt deponeringsløsning (NOU 2026: 4).

Ut over det som dekkes av Energi2050s satsingsområder, gjenstår følgende FoUI-behov innen kjernekraft:

Reaktorsikkerhet, brensel og materialer

- Termohydraulikk og reaktorfysikk for kjølemedier
- Kvalifisering av høyere anriket og thoriumbasert brensel, og materialoppførsel i saltsmelte- og høytemperaturkretser.
- Kontrollromsdigitalisering, simulatorer og menneske–teknologi–organisasjon for nye reaktorkonsepter.

Nukleær fremdrift av skip

- Reaktorkonsepter dimensjonert for bevegelser, laster og plassbegrensninger om bord.
- Metodegrunnlag for klassifisering og godkjenning av kjernefysisk fremdrift.

Avfall, deponering og materialkontroll

- Karakterisering av brukt brensel og avfall fra forskningsreaktordrift, og sporingsmetodikk for kjernefysisk materiale.
- Barriere- og migrasjonsmodeller for dyp borehullsdeponering under norske forhold.

Fusjonsfysikk, materialer og tritiumkretsen



- Plasmafysikk, diagnostikk og modellering av innelukking.
- Kappekonsepter for produksjon og uttak av tritium, med litiumkjemi og kjølemedier.

Energi2050 anbefaler at overnevnte FoUI-behov prioriteres innenfor dagens virkemidler som treffer kjernekraft.

5.7 KLIMAVENNLIG LANDTRANSPORT

Klimavennlig landtransport omfatter kjøretøy, arbeidsmaskiner og skinnegående transport, i tillegg til lade- og fylleinfrastrukturen og samspillet med energisystemet. Området er allerede modent for personbilsegmentet. 95,9 prosent av nye personbiler i 2025 var elektriske (Opplysningsrådet for veitrafikken, 2026). Øvrige segmenter, som tungtransport, skinnegående transport og anleggs- og jordbruksmaskiner, ligger langt tidligere i elektrifiseringen. Her vil trolig flere løsninger utfylle hverandre, siden behovet for fremdriftssystem og energileveranse avhenger av kjøretøyets vekt, driftsmønster og tilgangen på energiinfrastruktur der det opererer. Deler av disse segmentene vil elektrifiseres, men biodrivstoff og hydrogen ventes også å spille en rolle.

Veitrafikken er den største utslippskilden utenfor kvotepliktig sektor. Elektrifisering av landtransporten er dermed et av de mest sentrale tiltakene for utslippskutt på fastlandet. Den høye elektrifiseringsgraden i personbilparken gir allerede utslag på utslippene. Fra 2024 til 2025 falt CO₂-utslippene fra veitrafikken rundt 8 prosent (SSB, 2026a). Utover å redusere utslipp tilfører elektriske kjøretøy fleksibilitet til kraftsystemet. Elbilene lades i hovedsak der de står parkert, og ladingen kan flyttes til timer med lavere pris og lavere belastning på nettet. Omstillingen krever likevel storskala utbygging av nullutslippsinfrastruktur, i hovedsak ladeinfrastruktur, men også fyllestasjoner for biogass eller hydrogen i segmentene som ikke elektrifiseres.

Den sterke utviklingen i personbilsegmentet har gitt norske aktører ledende kompetanse innen ladeinfrastruktur, ladestyring, tjenester og samspill med kraftsystemet, samt drift under krevende nordiske forhold. Selve produksjonen er i hovedsak konsentrert om hjemmeladere, mens kjøretøy- og ladeteknologien for øvrig i stor grad utvikles i utlandet.

Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov

For landtransport gjenstår det flere FoUI-behov, men de skiller seg mellom de ulike segmentene. For tungtransport, skinnegående transport og arbeidsmaskiner gjenstår det i stor grad tekniske behov. For det mer modne personbilsegmentet gjenstår det i større grad behov knyttet til å ta i bruk og skalere løsninger som allerede finnes, fremfor å utvikle ny teknologi. Felles for alle segmentene er at både anvendt transportforskning og mer generell teknologiutvikling har en rolle å spille. Tungtransporten bruker i hovedsak samme teknologi som personbilene, men lademønstre og behov er annerledes. Personbiler står gjerne parkert over lengre perioder, og lading kan utføres når det er ledig kapasitet i nettet. For tungtransport er det i større grad behov for rask lading med høy effekt langs hovedfartsårene.

Behovene dette skaper i energisystemet hører hjemme under flere satsingsområder. Nettkapasitet, tilknytningsledetid og effektopper fra samtidig lading er et sentralt FoUI-behov innenfor satsingsområdet *Integrerte energisystemer*. Opprettholdelse av strømforsyningen til ladeinfrastruktur ved bortfall eller overbelastning i nettet er et relevant FoUI-behov innenfor satsingsområdet *Energisikkerhet*. Forretningsmodellene for og verdsettingen av forbrukerfleksibilitet fra lading bør undersøkes gjennom satsingsområdet *Energieffektivisering og forbrukerfleksibilitet*.

Resterende FoUI-behov er knyttet til kjøretøyet og ladegrensesnittet under norske driftsforhold. Energibruk og ladeeffekt endrer seg med klima, terreng og varierende last. I



tillegg er kunnskap om driftsmønstre for segmenter utover personbil mangelfull. Utover dette gjenstår det behov knyttet til å overføre og skalere løsninger som allerede finnes til ordinær drift på tvers av operatører og regioner.

Ut over det som dekkes av Energi2050s satsingsområder, gjenstår følgende FoUI-behov innen klimavennlig landtransport:

Kjøretøy og arbeidsmaskiner med spesielle driftsbehov

- Dimensjonering og drift av ladeanlegg for tunge kjøretøy ved lav og ujevn kapasitetsutnyttelse.
- Energi- og effektbehov i arbeidssykluser med høy og variabel belastning, og dimensjonering av batterier etter driftsmønstre.
- Mobile løsninger for strøm og lading på anleggsplasser som ikke er tilknyttet strømnettet.

Ladeytelse og rekkevidde i kulde

- Måling av ladeeffekt og termisk oppførsel i ladegrensesnittet under vinterforhold.
- Termisk styring som ivaretar rekkevidde og ladeeffekt, og dokumentasjon av reell rekkevidde i vinterdrift.

Energibærere der elektrifisering er krevende

- Fylleinfrastruktur og driftsmønstre for gass- og hydrogendrevne tunge kjøretøy, herunder fyllehastighet og tap ved lave temperaturer.
- Energi- og effektbehov ved batteridrift på jernbanestrekninger, og valg av energikilde for tunge landbruksmaskiner.

Implementering og skalering av kjente løsninger

- Overføring av løsninger fra pilotprosjekter til ordinær drift, herunder hvilke driftserfaringer, kontraktsmodeller og krav til dokumentasjon som gjør skalering mulig.
- Standardisering og deling av driftsdata på tvers av operatører og regioner, for å redusere kostnad og risiko ved å ta i bruk løsninger flere steder.

Energi2050 anbefaler at overnevnte FoUI-behov prioriteres innenfor dagens virkemidler som treffer klimavennlig landtransport.

5.8 KLIMAVENNLIG LUFTFART

Klimavennlig luftfart omfatter fremdriftssystemer, energiinfrastruktur, testing og sertifisering for luftfarten. Klimagassutslippene fra norsk innenriks luftfart har holdt seg relativt stabilt på rundt 1 mill. tonn de siste årene, men samlet sett har utslippene fra luftfarten økt, og var i 2024 på 2,8 mill. tonn CO₂-ekvivalenter (TØI, 2025).

Luftfarten kan avkarboniseres gjennom flere spor. Bærekraftig flydrivstoff er i dag eneste alternativ for eksisterende fly. Elektriske fly ventes å ta en rolle på kortere distanser om noen år, mens hydrogendrevne fly ligger lengre frem i tid. Norge har naturlige fortrinn for elektrifisering. Elektriske fly vil trolig komme først på korte innenlandsruter. Mange norske lufthavner har i tillegg korte rullebaner, som elektriske fly er bedre egnet til å bruke enn dagens propellfly, siden de trenger mindre plass for å ta av og lande. Norge har allerede en etablert testarena for elfly som sikrer viktig kunnskapsgrunnlag. For Norge ligger hjemmemarkedet i drift og infrastruktur snarere enn i produksjon av selve luftfartøylene.



EU stiller gjennom ReFuelEU Aviation krav til bærekraftig flydrivstoff, med gradvis opptrapping frem mot 2050 (Samferdselsdepartementet, 2025). Disse kravene trer tidligst i kraft i Norge fra januar 2028. Norge har på egen hånd hatt omsetningskrav for avansert biodrivstoff i luftfarten siden 2020, og var først i verden med et slikt krav. Det norske kravet er trappet opp fra minst 0,5 volumprosent til 2 volumprosent fra 2026 (Miljødirektoratet, 2026c). Det har likevel foreløpig ikke bygget opp en norsk leverandørindustri. Høyere produksjonskostnader enn fossilt drivstoff og begrenset tilgang på råstoff, som i stor grad allerede går til veitransporten, er sentrale barrierer for økt volum (IEA, 2026a; TØI, 2025). Samtidig holder bransjens eget mål om fossilfri norsk luftfart i 2050 etterspørselen oppe (Avinor, 2026).

Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov

Luftfarten skiller seg fra andre transportformer ved svært høye sikkerhetskrav, og ved at vekt og volum om bord setter grenser som andre sektorer ikke møter. I tillegg til krevende infrastruktur om bord i flyene stiller luftfarten også høye krav til infrastruktur på bakken.

Energibehovet luftfarten skaper på bakken hører hjemme i flere satsingsområder. Kraftbehovet på lufthavnene og nettilknytningen for lade- og drivstoffanlegg er et sentralt FoUI-behov innenfor satsingsområdet *Integrerte energisystemer*, og forsynings sikkerheten for flydrivstoff bør undersøkes gjennom satsingsområdet *Energisikkerhet*. Arealbruk og støy er relevante problemstillinger innenfor satsingsområdet *Natur, miljø og samfunn*.

Resterende FoUI-behov ligger i sertifisering, teknologiutvikling av fremdriftssystemer og klimaeffekter utover CO₂-utslipp. Den siste kategorien er flyspesifikk og inkluderer kondensstriper og NOx-utslipp. Disse effektene anslås å utgjøre om lag 70 prosent i tillegg til den direkte CO₂-effekten (TØI, 2025). I tillegg gjenstår det behov knyttet til å integrere og ta i bruk løsninger i ordinær drift, samt kunnskapsgrunnlag for sikkerhet, beredskap og regulatorisk tilrettelegging ved bruk av nye energibærere. Felles for disse behovene er at både anvendt forskning og mer generell teknologiutvikling har en rolle å spille.

Ut over det som dekkes av Energi2050s satsingsområder, gjenstår følgende FoUI-behov innen klimavennlig luftfart.

Drivstoffkrav, sertifisering og ikke-CO₂-effekter

- Sammenhengen mellom drivstoffets kjemiske sammensetning, som innhold av aromater og svovel, og dannelse av partikkelutslipp og kondensstriper
- Værmodeller som i sanntid finner luftlagene der kondensstriper dannes, og metoder for å vurdere om omruting er verdt den ekstra drivstoffbruken
- Kvalitetssikring, blanding og lagring av flydrivstoff ved lufthavner med lave temperaturer, små volumer og lange forsyningskjeder.

Fremdriftssystemer og energi om bord

- Integrasjon av batterier, brenselceller og elektriske drivlinjer, med strenge krav til vekt, volum, varmemåndtering og redundans
- Lagring av flytende hydrogen om bord, og utnyttelse av den lave temperaturen til kjøling av den elektriske drivlinjen
- Testmetoder som kan danne grunnlag for sertifisering av fremdriftssystemer uten forbrenningsmotor

Drift på kortbanenettet i kaldt klima

- Ytelse og sikkerhetsmarginer for batteri- og brenselcellesystemer ved lave temperaturer og hyppige start og landinger



- Avisings- og antiisingsløsninger for luftfartøy uten varmeoverskudd fra forbrenningsmotor.
- Konsepter som kombinerer korte avgangs- og landingsdistanser med elektrisk eller hybridelektrisk fremdrift.

Implementering og skalering i ordinær drift

- Overføring av løsninger fra testarenaer og pilotprosjekter til sertifisert, ordinær rutedrift, herunder krav til dokumentasjon og driftserfaring.
- Kunnskapsgrunnlag for sikkerhet, beredskap og regulatorisk tilrettelegging ved bruk av nye energibærere om bord og på bakken.

Energi2050 anbefaler at overnevnte FoUI-behov prioriteres innenfor dagens virkemidler som treffer klimavennlig luftfart.

5.9 LANDVIND

Landbasert vindkraft omformer vind til elektrisk kraft, og verdikjeden går fra vindressurs- og arealkartlegging via prosjektutvikling, konsesjon og utbygging til drift, avvikling og gjenvinning. I 2025 produserte vindkraften 13,9 TWh og sto for 8,6 prosent av norsk kraftproduksjon, nær alt fra anlegg på land (SSB, 2026b). Landvind er dermed den nest største kraftkilden i landet, etter vannkraften.

Landvind er samtidig den rimeligste formen for ny fornybar kraft. Den globale, veide levetidskostnaden var 33 USD/MWh i 2025, 71 prosent lavere enn i 2010 og lavest blant fornybar-teknologiene (IRENA, 2026a). Teknologien er moden og kan bygges ut i etapper og på få år der areal og nett er avklart. NVE legger fortsatt til grunn om lag 17 TWh vekst i landbasert vindkraft fram mot 2050 (NVE, 2025c).

Utbyggingen stanset likevel etter 2021, og årsaken er ikke teknologisk: avgjørelsen om et anlegg skal bygges, ble flyttet nærmere kommunene i takt med at støtten falt. Konsesjonsbehandlingen ble stanset i april 2019 og bare delvis gjenåpnet i juni 2021, i saker der vertskommunen ber om det (NVE, 2025b), og fra 1. juli 2023 kan konsesjon ikke gis før tiltaket er planavklart gjennom vedtatt områderegulering (Stortinget, 2023). Andelen som mener Norge bør øke vindkraftproduksjonen på land, falt fra 65 prosent i 2018 til 33 prosent i 2021 (CICERO, 2023), og de siste store prosjektene ble ferdigstilt i samme periode (SSB, 2026b). Samtidig var støtten tilbake på 42 prosent i 2023, og prosjektene som nå kommer, er lokalt forankret før konsesjon behandles.

Norge har noen av Europas beste vindressurser og sterke posisjoner innen prosjektutvikling, modellering, drift og markedsintegrering, men næringen er en tjeneste- og leverandørnæring uten turbinproduksjon. Dette gjør at store deler av utbyggingen må importeres fra utlandet. Den norske leverandørnæringen har samtidig krympet med hjemmemarkedet: samlet omsetning var 6,8 mrd. kroner i 2024, den nasjonale delen falt 26 prosent til 2,9 mrd. kroner, og sysselsettingen 17 prosent til om lag 1 800 årsverk (Multiconsult et al., 2025).

Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov

Landvind er en moden teknologi. De viktigste barrierene for ny utbygging er derfor ikke primært teknologiske, men knyttet til arealbruk, lokal legitimitet, konsesjonsprosesser og nettilgang.

En stor del av FoUI-behovene innen landvind dekkes av Energi2050s tre tverrgående satsinger. Problemstillinger knyttet til arealbruk, natur- og miljøvirkninger, sosial legitimitet, urfolks- og reindriftsinteresser, konsesjonsprosesser og tilbakeføring etter endt konsesjon behandles under *Natur, miljø og samfunn*. Behov knyttet til nettkapasitet, tilknytningskø,



systemkostnader og verdien av uregulerbar kraftproduksjon hører hjemme under *Integrerte energisystemer*, mens leverandørvhengighet for turbiner og komponenter er relevant for *Energisikkerhet*.

De FoUI-behovene som gjenstår som særskilte for landvind, er i hovedsak knyttet til turbiner og drift av eksisterende anlegg. Dette gjelder blant annet støy, bladslitasje, kollisjonsrisiko og beslutninger om levetidsforlengelse eller reinvestering. Slike vurderinger forutsetter bedre tilgang til drifts-, skade- og tilstandsdata fra turbiner i drift, men denne typen data er ofte konfidensiell og sjelden publisert (Walgern et al., 2026).

Utover behovene som dekkes gjennom de tverrgående satsingene, gjenstår følgende FoUI-behov innen landvind:

Vindressurs og driftsforhold i norsk terreng og klima

- Måle- og modelleringsmetoder for vind og turbulens i bratt terreng og i navhøyder opp til 200 meter.
- Vakeeffekter mellom turbiner og mellom nærliggende anlegg under stabile atmosfæriske forhold.
- Ising, kulde og endringer i vindregime over anleggenes levetid, med virkning på produksjonsestimat, laster og iskast.

Levetid, tilstand og reinvestering i den norske anleggsparken

- Skade- og slitasjeutvikling i drivlinjer og blader ved hyppig start og stopp og ved aktiv parkstyring.
- Uavhengig tilstands- og skadevurdering uten leverandørens egne datasett, som grunnlag for levetidsforlengelse eller reinvestering.
- Ombruk og materialgjenvinning av turbinblader, og bladmaterialer egnet for gjenvinning.

Anleggets egne ytelser og virkninger

- Hvilke systemtjenester en vindpark fysisk kan levere gjennom koordinert rotor- og omformerstyring, og hva det koster i laster og levetid.
- Kildekarakterisering og spredningsmodellering av turbinstøy, herunder lavfrekvent støy og amplitudemodulasjon, og bladslitasje som kilde til mikroplast.
- Hvordan turbinutforming, sveipflate og driftsmønster endrer kollisjonsrisikoen for utsatte fuglearter, og treffsikkerheten i deteksjonsbasert nedregulering.

Energi2050 anbefaler at overnevnte FoUI-behov prioriteres innenfor dagens virkemidler som treffer landvind.

5.10 SOLENERGI

Solenergi omfatter kraftproduksjon fra solceller og varmeproduksjon fra solfangere, med en verdikjede fra kvarts og silisium via wafer og celle til modul, prosjektutvikling, drift og resirkulering. Modenheten varierer langs verdikjeden. Celler og moduler er standardiserte handelsvarer i et marked med hard priskonkurranse, der gjennomsnittlig driftsmargin blant de største børsnoterte produsentene ble negativ i 2024 (IEA, 2026a).

Solkraft vokser raskt internasjonalt og dekket i 2025 10 prosent av verdens etterspørsel etter elektrisitet. I Europa har veksten avtatt etter ti år med vekst i nyinstallasjoner (SolarPower Europe, 2025). Prosjektøkonomien presses av priskannibalisering som gir lave og negative kraftpriser i timer med høy produksjon og har akselerert utviklingen av kombinasjonen



solenergi og batteri. I Norge dempes denne effekten av fleksibel vannkraft, som sparer vann i lavpristimer og produserer i høypristimer.

Norsk solkraftnæring gjør suksess internasjonalt, men har hatt fallende aktivitet i Norge. De industrielle leddene hjemme er avviklet eller flyttet utenlands, og hjemmemarkedet har stått stille siden 2023. Multiconsult (2025) sin kartlegging viser at leverandørnæringen for solkraft omsatte for 14,3 mrd. kr. i 2024, der 10,8 mrd. kr. kom fra internasjonal virksomhet. Nasjonalt falt omsetningen 18 prosent og sysselsettingen 17 prosent. Billigere moduler har ikke utløst vekst i hjemmemarkedet for installasjon de seneste årene. Samtidig består silisiumproduksjonen som en viktig innsatsfaktor, der Norge er Europas største produsent (NHO, 2025).

Sentrale forsknings- og innovasjonsbehov

Solenergi er en moden og kommersielt tilgjengelig teknologi, men har forskningshøyde i leddene der Norge har en posisjon å bygge på: silisiummaterialene oppstrøms, utvikling og drift av storskala bakkemontert solkraft, og driften under nordiske og marine forhold.

Muligheter og utfordringer med solenergi må håndteres gjennom flere satsingsområder. Nettkapasitet, tilknytning og effekter av produksjonsprofilen er et sentralt FoUI-behov innenfor satsingsområdet *Integrerte energisystemer*, mens lønnsomheten bak måleren og etterspørselen etter varme hører inn under *Energieffektivisering og forbrukerfleksibilitet*. Arealbruk og legitimitet for bakkemonterte anlegg er vesentlige problemstillinger i satsingsområdet *Natur, miljø og samfunn*. Geopolitiske sårbarheter og konsentrasjonen i den globale verdikjeden er sentralt for satsingsområdet *Energisikkerhet*.

Resterende FoUI-behov er knyttet til teknologiens egne materialer og til anleggstyper med norsk relevans. Oppstrøms gjenstår FoUI-behov innen prosesskontroll og materialkvalitet i silisiumkjeden.

Ut over det som dekkes av Energi2050s satsingsområder, gjenstår dermed følgende FoUI-behov innen solenergi:

Materialer, celler og solfangere

- Oppgradert metallurgisk og resirkulert silisium som råstoff, med kontroll på forurensninger og strukturetap i krystalliseringsovner.
- Materialkvalitet i silisiumbunnceller for tandemkonsepter, og erstatning av sølv og indium i moduler.
- Reflektor- og absorbatormaterialer for solfangere til industriell varme.

Prosessteknologi og sirkulær verdikjede

- Reduksjonsmidler, ovnskonsepter og prosessstyring i silisium-, ingot- og waferproduksjon som fjerner prosessutslipp og senker arbeidsintensiteten.
- Uttak av høyverdige materialer fra utrangerte moduler, moduldesign for demontering og sporbarhet fra kvarts til modul.

Ytelse, pålitelighet og drift

- Degradering og pålitelighet ved snø, is og fuktbelastning, og fundamentering for norsk terreng.
- Produksjonsmodellering, tilsmussing og prediktivt vedlikehold i store solkraftporteføljer.

Flytende, integrert og arealdelt solkraft

- Hydrodynamisk og mekanisk modellering av flytende solkraftverkforankring, og virkninger på lysforhold og temperatur i vannmassen.



- Standardiserte moduler for bygnings- og infrastrukturintegrasjon.
- Løsninger for norsk landbruksvirksomhet og kraftproduksjon på samme areal.

Energi2050 anbefaler at overnevnte FoUI-behov prioriteres innenfor dagens virkemidler som treffer solenergi.

5.11 HØYDEVIND

Høydevind (airborne wind energy) utnytter vind i høyder konvensjonelle turbiner ikke når: en autonom drage eller et ubemannet luftfartøy fortøyd til bakken, med kraftuttak i en bakkebasert generator eller om bord via en ledende line (JRC, 2025). Vindeffekttettheten er rundt 200 W/m² ved 80 meter, mot 422 W/m² ved 1 000 meter (Zou et al., 2026); Norge har ingen anlegg i drift. Verdien for energisystemet ligger i materialbruken som er 30–50 prosent lavere enn en konvensjonell turbin, uten tårn eller tunge fundamenter, samt jevnere vind gir kapasitetsfaktor på 25–55 prosent mot turbinenes 30–35 (Zou et al., 2026). Til havs kan lav egenvekt gjøre flytende underlag rimeligere.

Etter to tiår med utvikling er høydevind ikke bygd ut kommersielt noe sted, og forklaringen ligger i pålitelighet mer enn i ressurs eller kostnad. Energikostnaden for prototyper ligger 30–40 prosent over moden landbasert vindkraft, og merkostnaden tilskrives drift og vedlikehold i høyden, utmatting av liner og styring som ikke holder anlegget stabilt i hardt vær (Zou et al., 2026). Norsk posisjon er uendret siden forrige strategirevisjon: Energi21 (2022) pekte på én leverandør og noen universitetsmiljøer. Samtidig kom et nettilknyttet demonstrasjonsanlegg på 4,8 MW i drift i Kina i 2024, og Tyskland ga anleggene rett til driftsstøtte fra 2025 (EEG, 2023).

EUs teknologiobservatorium plasserer høydevind på modenhetsnivå 4-5 (JRC, 2025); utfordringen er ikke å nå vinden, men å vise at anlegget kan fly autonomt gjennom tusenvis av sykluser. Høydevind er det eneste energiområdet med løpende grensesnitt mot luftfartsmyndighetene, siden dronereglene ikke passer driftsmønsteret.

Sentrale FoUI-behov omfatter:

- Flykontroll og driftssikkerhet (flybane- og linestyring i turbulens, automatisert opp- og nedstigning, feildeteksjon for sertifisering)
- Line- og materialteknologi (fiberliner og komposittvinger som tåler utmatting og vær)
- Vindressurs i kaldt klima (validering av mesoskalamodeller over 200 meter, ising og avising)
- Miljøvirkninger som akustikk og kollisjonsrisiko for fugl og flaggermus.

5.12 BØLGE- OG TIDEVANNSKRAFT

Bølgekraft og tidevannskraft utnytter bevegelsesenergien i havet til å produsere elektrisitet, men er svært ulike teknologier. Tidevannskraft henter energi fra periodiske vannstrømmer og er teknisk demonstrert gjennom fullskala anlegg i drift over flere tiår. Bølgekraft henter energi fra bølgenes bevegelse på åpent hav og har et betydelig ressurspotensial langs norskekysten. Samlet installert kapasitet for de to teknologiene er fortsatt under en gigawatt globalt (IRENA, 2026b).

Tidevannskraft er den mest modne av de to teknologiene. Konseptet er utprøvd i stor skala med anlegg i drift siden 1960-tallet, men kostnadene ligger fortsatt langt over andre



fornybare kraftkilder. Norge har ingen tidevannsressurser av betydning, og norske aktører har derfor lite hjemmemarked å bygge videre på innen dette feltet.

Bølgekraft er mer interessant for norske aktører. Ressursgrunnlaget langs kysten er godt, og teknologien har klare likhetstrekk med kompetansen Norge allerede har fra petroleumsnæringen og havvind, blant annet innen forankring, undervannsteknologi og drift i tøft klima. Flere norske aktører er i piloterings- og testfase, men ingen har foreløpig et kommersielt produkt på markedet.

Den teknologiske modenheten varierer sterkt mellom ulike bølgekraftkonsepter, og ingen har så langt vist seg klart overlegne. Den sentrale utfordringen er å utvikle løsninger som utnytter energien i normale bølger og samtidig tåler belastningen fra ekstremvær, uten at kostnadene blir for høye. Regelverket for utbygging til havs må også justeres, da det ikke alltid treffer godt for bølgekraftanlegg som har andre krav til forankring og arealbruk enn for eksempel havvind.

Sentrale FoUI-behov omfatter

- Kraftuttak, styring og analyseverktøy (systemer som omformer bevegelse til strøm, styring av anlegget som utvider driftsområdet, og verktøy som kobler hydrodynamikk, kraftuttak og styring)
- Materialer og konstruksjoner (løsninger som tåler kontinuerlig bevegelse og ekstremvær uten dokumentert fullskala driftserfaring, med tilsvarende krav til forankrings- og strukturkonsepter)
- Kvalifisering og kostnadsdrevet design (rangering av konkurrerende konsepter i modellskala med åpne referansem modeller og felles kostnadsgrunnlag)
- Tidevannsressurs og miljøvirkning (høyoppløselig modellering av tidevannsstrøm, og virkningen på kystsone og fiskevandring)
- Regelverk og konsesjonsprosesser (tilpasning av rammeverk til bølgekraftens særskilte behov)



6 Vedlegg

6.1 OVERSIKT OVER NORSKE OG INTERNASJONALE VIRKEMIDLER

6.1.1 Innledning

For å realisere målene i Energi2050 trengs et virkemiddelapparat som støtter hele løpet fra kunnskapsutvikling og teknologiutvikling til pilotering, demonstrasjon, markedsintroduksjon og bred implementering. Dette gjelder på tvers av Energi2050s tematiske omfang: petroleum, fornybar energi, energisystemer, energieffektivisering, CO₂-håndtering og havbunnsmineraler. Norske forskningsmiljøer og norsk næringsliv kan i dag benytte et bredt spekter av nasjonale og internasjonale virkemidler. Virkemidlene varierer i formål, målgruppe, teknologisk og verdikjedemessig innretning, og med hensyn til hvor i forsknings- og innovasjonskjeden de er mest relevante (Energi21, 2022; OG21, 2021).

Virkemiddelapparatet må forstås som et samspill mellom komplementære ordninger, ikke som en samling enkeltstående tiltak. Forskningsrådet har en sentral rolle i å finansiere forskning, kompetansebygging og forskningsdrevet innovasjon, mens Enova, Innovasjon Norge, Gassnova og Siva bidrar i ulike deler av løpet knyttet til testing, demonstrasjon, oppskalering, industrialisering og markedsintroduksjon. På europeisk nivå gir Horisont Europa, SET-planen og andre komplementære EU-instrumenter tilgang til samarbeid, kapital og markedsnære demonstrasjonsmuligheter som kan være avgjørende for å styrke norske miljøers og bedrifters deltakelse i internasjonale verdikjeder (Energi21, 2022; European Commission, 2026b; European Commission, Directorate-General for Energy, 2026; OG21, 2021).

6.1.2 Oversikt over virkemidler og samspill

Nasjonale virkemidler

Norges forskningsråd er den bredeste nasjonale virkemiddelaktøren for forskning og forskningsdrevet innovasjon innen Energi2050s områder. Porteføljen for energi og transport omfatter miljøvennlig energi, lavutslipp, petroleum, havbunnsmineraler, maritim næring og transport, og er derfor relevant for store deler av Energi2050s tematikk. Forskningsrådet dekker særlig de tidlige og mellomliggende delene av FoU-kjeden, fra grunnleggende og anvendt forskning til industriell forskning og eksperimentell utvikling, og kan i enkelte ordninger også støtte aktiviteter tett opp mot demonstrasjon.

For forskningsmiljøene er forskerprosjekter, senterordninger og andre kompetansebyggende virkemidler sentrale, mens Innovasjonsprosjekt i næringslivet er viktig for utvikling av nye produkter, tjenester, prosesser og løsninger innen energi, petroleum, maritim sektor og transport. Forskningsrådet har også en viktig rolle i tverrgående satsinger som Grønn plattform, der prosjekter kan kombinere forskning, innovasjon og industrialisering på tvers av sektorer (Norges forskningsråd, 2025b, 2026a).

I Energi2050-sammenheng er Forskningsrådet relevant for blant annet petroleumsteknologi, utslippsreducerende løsninger i petroleumsverdikjeden, havvind, sol, vannkraft, hydrogen, batterier, energisystemer og fleksibilitet, energieffektivisering, CO₂-håndtering, maritim omstilling og kunnskapsutvikling knyttet til havbunnsmineraler. Typisk er Forskningsrådet sterkest i TRL 1–6, avhengig av ordning og prosjektform, og særlig viktig der det er behov for



ny kunnskap, metodeutvikling, laboratoriearbeid, pilotforberedelse og forskningsbasert risikoavlastning (Energi21, 2022; Norges forskningsråd, 2025b, 2026a; OG21, 2021).

Enova har en tydelig rolle i de senere fasene av innovasjonsløpet, særlig der nye klima- og energiløsninger skal prøves ut, demonstreres og tas i bruk i reelle anvendelser. Enovas teknologiprogrammer skal fremskynde teknologiutvikling og innovasjon som kan bidra til utslippsreduksjoner frem mot lavutslippssamfunnet i 2050. I Energi2050-sammenheng er Enova særlig relevant for industriell omstilling, energi- og klimateknologi, energisystemløsninger, fleksibilitet, nye energibærere, havvindrelaterte løsninger og andre teknologier som må kvalifiseres under realistiske driftsforhold før kommersiell utrulling. Ordninger for pilotering av banebrytende klimateknologi og sektorrettede programmer støtter prosjekter i overgangen mellom utvikling og kommersiell anvendelse (Energi21, 2022; Enova, 2026a).

Enova er mest relevant i TRL 5–9, avhengig av program, med tyngdepunkt i pilot, demonstrasjon, første fullskala anvendelse og markedsintroduksjon. Dette gjør Enova særlig viktig for teknologier og løsninger som er forbi forskningsfasen, men fortsatt har et betydelig kostnads-, drifts- eller markedsrisikobilde (Enova, 2026a).

Innovasjon Norge har en sentral rolle i kommersialisering, skalering og industriell utvikling. Dette er særlig relevant når nye teknologier og løsninger skal omsettes i vekstbedrifter, nye verdikjeder, eksportrettede satsinger og større industrielle investeringsløp. Virkemidler som risikolån, tilskudd, garantiordninger og grønn industrifinansiering kan utløse private investeringer og redusere finansieringsgapet i oppskaleringsfasen. Innovasjon Norge er også en viktig partner i samarbeidsordninger som PILOT-E, som skal få frem klima- og miljøvennlige energi- og teknologiløsninger raskere, og i Grønn plattform sammen med Forskningsrådet og Siva. Virkemidlene er særlig relevante for markedsnære prosjekter og selskaper med ambisjon om industrialisering og internasjonal vekst (Energi21, 2022; Innovasjon Norge, 2026).

For teknologier og verdikjeder innen energi og industri er Innovasjon Norge ofte mest relevant fra om lag TRL 6–9, der behovet går fra pilot og tidlig demonstrasjon til investeringsstøtte, markedsforberedelse og skalering. Dette gjelder blant annet grønne industriprosjekter, leverandørutvikling, eksportmodning og oppbygging av nye verdikjeder innen f.eks. hydrogen, batterier, havvind, prosessindustri og andre områder med betydelig vekstpotensial (Innovasjon Norge, 2026).

Gassnova har en særskilt rolle innen CO₂-håndtering. Gassnovas hovedmål er å fremme teknologiutvikling og kompetanseoppbygging for kostnadseffektive og framtidsrettede løsninger for CO₂-håndtering. Gassnova har hatt en viktig rolle i planleggingen av Langskip, som er Europas første hele verdikjede for CO₂-håndtering. Gassnova følger i dag opp bygging og drift i Langskip på vegne av myndighetene og har et særskilt ansvar for å tilrettelegge for at erfaringene fra prosjektet tilgjengeliggjøres for myndigheter, industriaktører og andre interessenter. Videre ivaretar Gassnova statens interesser i TCM (Test center Mongstad), som er en viktig arena for testing, verifisering og demonstrasjon av ulike teknologier for kostnadseffektiv CO₂-fangst i full skala. I tillegg administrerer Gassnova CLIMIT-programmet sammen med Norges forskningsråd.

Forskningsrådet har ansvar for forskningsprosjektene og Gassnova for prototype- og demonstrasjonsprosjektene. CLIMIT er dermed et eksempel på et virkemiddel som er utformet for å dekke både tidlige og mer anvendte utviklingsfaser innen en strategisk viktig verdikjede. I Energi2050 er dette særlig relevant for fangst fra industri og andre kilder, CO₂-transportinfrastruktur, lagring, overvåkning, kostnadsreduksjon og videreutvikling av norsk



kompetanse og industriell posisjon innen CCS (Energi21, 2022; Gassnova, 2025; Norges forskningsråd, 2026a).

CLIMIT spenner i praksis over et bredt TRL-intervall, fra forskningsnære aktiviteter til pilot og demonstrasjon. Dette gjør ordningen viktig for CO₂-teknologier som krever lang utviklingstid, betydelig risikoavlastning og tett kobling mellom forskning, testfasiliteter og industrielle demonstrasjoner (Gassnova, 2025).

Gassnova følger også opp TCM og Langskip. TCM er et verdensledende senter for storskala testing, validering og utvikling av moden CO₂-fangst teknologi, mens Langskip er Europas første hele verdikjede for fangst, transport og lagring av CO₂.

Siva bidrar først og fremst gjennom innovasjonsinfrastruktur og testfasiliteter, særlig gjennom Norsk katapult. Katapultsentrene gir bedrifter tilgang til utstyr, fasiliteter og kompetanse for å utvikle prototyper, teste, simulere og visualisere produkter, prosesser og løsninger. Dette er særlig viktig på Energi2050-områder der overgangen fra konsept til industriell utprøving er krevende, for eksempel innen nye materialer, prosessløsninger, produksjonsteknologi, havvindrelatert industri, maritim teknologi, hydrogen, batterier og andre industrielle energi- og klimateknologier. Siva fyller dermed en viktig funksjon i den delen av innovasjonsløpet der behovet for test og verifikasjon er stort, og der fysisk infrastruktur og industrinær kompetanse kan redusere veien til markedet (Siva, 2026).

Siva jobber typisk i området TRL 4–7, men funksjonen er i praksis å bygge bro mellom utvikling, testing og industrialisering snarere enn å finansiere hele prosjektløp. Virkemiddelet er derfor særlig verdifullt som komplement til finansieringsordninger i Forskningsrådet, Enova og Innovasjon Norge (Siva, 2026).

Nysnø og Investinor er ikke direkte støtteordninger, men fungerer som kommersielle brobyggere som finansierer kapitalbehovet i den kritiske fasen etter at den innledende FoU-aktiviteten er gjennomført. Mens organisasjoner som Forskningsrådet og Innovasjon Norge finansierer selve teknologiutviklingen og piloteringen (lavere TRL), går Nysnø og Investinor inn som statlige og profesjonelle investeringspartnere med risikovillig egenkapital når teknologien skal kommersialiseres og skaleres (TRL 7–9).

Investinor har et bredt mandat og bidrar til å profesjonalisere og tilføre kapital til lovende, forskningsintensive norske selskaper på tvers av sektorer, slik at oppstartsbedrifter unngår den såkalte «dødens dal» etter avsluttet FoU-løp.

Nysnø har på sin side et spisset klimamandat, og investerer spesifikt i selskaper og fond som utvikler banebrytende, markedsklar teknologi med store, målbare effekter på klimagassutslipp, som for eksempel sirkulære verdikjeder, hydrogen og offshore-energisystemer. Sammen sørger de for at resultatene fra offentlig finansiert FoU faktisk når markedet, tiltrekker seg privat kapital og lykkes med internasjonal vekst, og bidrar dermed med økt kapitaltilgang i oppskaleringsfasen.

FOT-ordningen (Forskning og Teknologi) er en industri-finansiert motor for anvendt FoU på norsk kontinentalsokkel, der operatører kan belaste utvinningstillatelser med en andel av FoU-kostnader. Ved å finansiere prosjekter på TRL-nivåer (typisk TRL 3–8) med dokumentert nytteverdi for norsk sokkel, er ordningen avgjørende for å utvikle avansert subsea-teknologi, øke energieffektiviseringen og drive dekarbonisering og omstilling av offshore-infrastrukturen.

RMEs finansieringsordning for FoU (forvaltet av Reguleringsmyndigheten for energi i NVE) er en regulatorisk ordning integrert i nettselskapenes økonomiske inntektsregulering. Siden



strømnettet er et naturlig monopol, fastsetter RME en årlig inntektsramme for hva selskapene kan kreve inn i nettleie. For å motivere nettselskapene til å drive innovasjon fremfor bare ordinær drift, gir denne ordningen full kostnadsdekning for godkjente FoU-prosjekter ved at kostnadene legges direkte til selskapets tillatte inntektsramme. Det er ingen tradisjonell statlig tilskuddsordning over statsbudsjettet; midlene hentes i stedet inn direkte over nettleien til forbrukerne. Nettselskapene kan årlig få dekket godkjente FoU-prosjektkostnader opptil 0,3 prosent av selskapets avkastningsgrunnlag.

Internasjonale og europeiske virkemidler

For norske forskningsmiljøer og bedrifter er EU-virkemidlene viktige både som finansieringskilde og som arena for partnerskap, standardisering og posisjonering i internasjonale verdikjeder. Horisont Europa er det sentrale forsknings- og innovasjonsprogrammet i perioden 2021–2027. Innenfor Energi2050s områder er særlig Cluster 5 om klima, energi og mobilitet relevant, med tilhørende partnerskap, men også andre deler av rammeprogrammet. Horisont Europa dekker hele løpet fra forskningsnære samarbeidsprosjekter til demonstrasjon og mer markedsnære innovasjonsløp, og er relevant for et bredt spekter av energi-, industri- og omstillingsteknologier (Energi21, 2022; European Commission, 2026b).

Horisont Europa er nå i senere del av programperioden og nærmer seg avslutningen av programperioden. Neste periode (2028-2034) er under forberedelse. EUs institusjoner utformer nå innretning og finansieringsrammer for den kommende programperioden (2028-2034). Det forventes endringer sammenlignet med dagens program, med større vektlegging på markedsnær innovasjon og raskere implementering av modne løsninger i industri og samfunn. For norske miljøer i alle sektorer er det viktig med tidlig posisjonering og full norsk tilknytning til de ulike delene av det kommende programmet.

The European Strategic Energy Technology Plan (SET-planen) er ikke et finansieringsinstrument i seg selv, men et sentralt grunnlag for å samordne europeiske forsknings- og innovasjonsprioriteringer innen strategiske energiteknologier. For Norge er den viktig fordi den bidrar til å definere hvilke teknologiområder og systemutfordringer som gis prioritet i europeisk FoU og industrialisering, blant annet innen kraftsystemer, hydrogen, batterier, fornybar kraft, energilagring og industrielle nullutslippsteknologier (European Commission, 2026b; European Commission, Directorate-General for Energy, 2026).

Clean Energy Transition Partnership (CETP) er et europeisk partnerskap under Horisont Europa som kobler nasjonale og regionale FoU-programmer for å akselerere energiomstillingen og støtte gjennomføringen av SET-planen. Norge deltar i CETP gjennom Forskningsrådet og har en ledende rolle i deler av partnerskapet, bl.a. innen CCUS og hydrogen.

For norske aktører og for Forskningsrådet er europeiske partnerskap nyttige som bro mellom nasjonale ordninger og de større EU-programmene. For mer markedsnære og høy-risiko innovasjoner er EIC Pathfinder, Transition og Accelerator relevante virkemidler under Horisont Europa. Disse dekker ulike faser fra tidlig teknologiutvikling til skalering, og løfter fram nye teknologier og selskaper med internasjonalt vekstpotensial (European Commission, 2026b; European Commission, Directorate-General for Energy, 2026).

Emissions Trading System Innovation Fund (Innovation Fund) er et av EUs viktigste virkemidler for storskala demonstrasjon og kommersiell utrulling av netto null- og lavutslippsteknologier. Ordningen er særlig relevant for industriell avkarbonisering, hydrogen, energilagring, fornybar energi, CO₂-håndtering og produksjon av ren teknologi. For norske aktører er fondet viktig når teknologier skal løftes fra demonstrasjon til kommersiell



anvendelse i stor skala (European Commission, 2026b). Enova er nasjonalt kontaktpunkt for Innovation Fund i Norge og tilbyr rådgivning og støtte til norske aktører som ønsker å søke ordningen. Rollen illustrerer hvordan nasjonale virkemiddelaktører ikke bare finansierer prosjekter direkte, men også bidrar til å mobilisere norske miljøer til deltakelse i større europeiske ordninger.

Innen havbunnsmineraler er virkemiddelbildet mindre modent og mindre spesialisert enn for petroleum, fornybar energi og CO₂-håndtering. Relevante ordninger vil derfor i stor grad være tverrgående virkemidler i Forskningsrådet, eventuelt koblet til kunnskapsoppbygging om miljø, naturgrunnlag, teknologi, overvåkning og ressursforståelse, samt bredere innovasjons- og industrirettede ordninger dersom en ny verdikjede utvikles videre. På europeisk nivå kan virkemidler knyttet til kritiske råmaterialer, industrielle verdikjeder, materialteknologi og strategisk autonomi bli stadig viktigere også for denne delen av Energi2050s omfang (European Commission, 2026b; Norges forskningsråd, 2025b; OG21, 2021).

Nordisk energiforskning (Nordic Energy Research) fungerer som en strategisk plattform som fremmer forskning, teknologiutvikling og policyutvikling gjennom nordisk og i økende grad baltisk samarbeid. Ordningen har en helhetlig innretning: den finansierer ikke bare anvendt teknologiutvikling som bidrar til grønn omstilling og systemintegrasjon, men fungerer også som premissleverandør for politikkutforming og felles regulatoriske rammeverk i Norden. Konsortier må normalt bestå av partnere fra minst tre land. Ordningen lar norske energi-, forsknings- og myndighetsaktører teste ut teknologier, samarbeidsmodeller og fellesnordiske problemstillinger – for eksempel integrasjon av havvind, dekarbonisering av skipsfart, og økt vekt på regional energisikkerhet og systemresiliens i lys av den geopolitiske utviklingen.

Samspill i virkemiddelapparatet

Samlet sett kan virkemidlene forstås som et sammenhengende og komplementært system, men ikke et strengt lineært løp. Forskningsrådet er sterkest i tidlige og mellomliggende faser som vektlegger kunnskapsgrunnlag, kompetanse og forskningsdrevet innovasjon. Enova, Gassnova, Siva og Innovasjon Norge bidrar på ulike måter til å redusere risiko knyttet til pilotering, demonstrasjon, testing, industrialisering og marked. EU-virkemidler tilfører både finansiering, samarbeid og muligheter for oppskalering i internasjonale markeder. Samspillet gir i utgangspunktet gode forutsetninger for å ta løsninger fra forskning til anvendelse.

Det finnes flere ordninger som forsøker å binde sammen ulike faser, særlig Grønn plattform, PILOT-E, PILOT-T, CLIMIT og enkelte EU-ordninger. Dette er en viktig styrke fordi energiomstilling ofte krever sammenhengende løp der forskning, teknologiutvikling, testing, demonstrasjon og markedsintroduksjon må ses i sammenheng. Slike ordninger kan redusere risikoen for at prosjekter stopper opp mellom FoU og marked.

Samtidig finnes det mulige gap, særlig i overgangen fra forskningsbasert utvikling til pilotering og videre til fullskala demonstrasjon og industriell skalering. Disse fasene er ofte preget av høy risiko, store investeringsbehov og behov for systemintegrasjon, som ikke alltid fanges fullt ut av eksisterende ordninger. Dette kan forsinke utviklingen eller hindre at lovende teknologier bringes videre. Selv om flere virkemidler dekker dette området, kan ansvarsdelingen bli uklar, og det kan oppstå risiko for at prosjekter faller mellom ordninger dersom de ikke passer tydelig inn i én bestemt aktørs mandat.

Innen systemintegrasjon og verdikjedeutvikling kan det også oppstå mulige gap. Områder som hydrogen, CCS, havvind, havbunnsmineraler, strømmnett, fleksibilitet, energieffektivisering og industriell avkarbonisering krever ikke bare teknologiutvikling, men også samspill mellom infrastruktur, regulering, marked, sluttbrukere og industriaktører. Flere



ordninger er teknologirettede, mens færre har en tydelig rolle i å finansiere helhetlige systemdemonstrasjoner og koordinert verdikjedeutvikling på tvers av sektorer.

FOT-ordningen er i dag forbeholdt petroleumssektoren og aktiviteter på sokkelen. Samtidig kan det vurderes om FOT-ordningen i større grad kan bidra til energiomstillingen ved å åpne for FoU-prosjekter som kobler petroleumssektoren med nye energiløsninger som havvind, hydrogen og elektrifiserte offshore-systemer. Dette kan styrke sektorkoblinger, muliggjøre testing av integrerte energiløsninger i eksisterende infrastruktur og bidra til bedre utnyttelse av kompetanse og operasjonelle erfaringer fra sokkelen. Samtidig bør en slik eventuell utvidelse avgrenses tydelig til prosjekter med klar relevans for omstilling på sokkelen.

Til slutt kan det være bra å forstå hvorfor det oppstår gap og samspillutfordringer i virkemiddelapparatet. Her er det nødvendig å se nærmere på hvordan systemet styres (kap 1.2.4.) og hvilke rammebetingelser (1.2.5.) som påvirker utvikling og bruk av teknologi.

Tabellene nedenfor sammenfatter virkemiddelbildet med utgangspunkt i OG21 (2021), Energi21 (2022), offentlige beskrivelser av dagens norske virkemiddelapparat og relevante europeiske virkemidler (European Commission, 2026b; Norges forskningsråd, 2025b). Tabellen viser at virkemidlene samlet dekker hele innovasjonsløpet, men med ulik tyngde i ulike faser av TRL-skalaen.

Nasjonale virkemidler/ordninger	Typisk innretning	Relevante teknologi- og verdikjeder	Typisk TRL-relevans
Forskningsrådet – Forskerprosjekt og samarbeidsprosjekter	Grunnleggende og anvendt forskning, kunnskapsutvikling, kompetansebygging	Alle Energi2050-områder, særlig der ny kunnskap og metodeutvikling er nødvendig	TRL 1/2–6
Forskningsrådet – Petrosenter	Langsiktig, konsentrert forskning og kompetansebygging for petroleumsområdet	Petroleum, undergrunn, boring og brønn, produksjon, digitalisering, utslippsreducerende løsninger i petroleumsverdikjeden	TRL 1–6
Forskningsrådet – FME	Sentre for miljøvennlig energi med langsiktig forskning, innovasjon og kunnskapsutvikling i tett samarbeid mellom akademia, institutter og næringsliv/offentlig sektor	Fornybar energi, energisystemer, energieffektivisering, hydrogen, batterier, CCS og andre energiomstillingsområder	TRL 2–6
Forskningsrådet – SFI	Sentre for forskningsdrevet innovasjon med langsiktig samarbeid om næringsrelevant forskning og innovasjon	Bredt relevant for energi-, industri- og teknologiverdikjeder der forskningsmiljøer og bedrifter utvikler løsninger sammen	TRL 2–6
Forskningsrådet – SFF	Sentre for fremragende forskning med vekt på vitenskapelig kvalitet og grunnleggende kunnskapsutvikling	Grunnleggende forskning med mulig langsiktig relevans for energi, ressurser og teknologiutvikling	TRL 1–3



Forskningsrådet – Innovasjonsprosjekt i næringslivet (IPN)	Bedriftsledet FoU, industriell forskning og eksperimentell utvikling	Miljøvennlig energi, petroleum, maritim, transport, industrielle energi- og klimaløsninger	TRL 3–6
Forskningsrådet – Kommersialiseringsprosjekt	Kvalifisering og verifisering av forskningsresultater med kommersielt potensial	Nye teknologiplattformer og forskningsbaserte løsninger med mulig anvendelse i energi- og industriverdikjeder	TRL 3–5
Forskningsrådet – Nærings-ph.d.	Kompetansebygging i bedrift gjennom doktorgradsprosjekt	Bredt relevant på tvers av energi-, industri- og ressursområder	TRL 1–4
SkatteFUNN	Rettighetsbasert skattefradrag for FoU i bedrifter	Bredt relevant på tvers av teknologier og verdikjeder, særlig for inkrementell og anvendt FoU	TRL 2–7
Grønn plattform	Tverrgående, store samarbeidsprosjekter fra forskning via testing og verifisering til skalering og kommersialisering	Grønne verdikjeder, industriell omstilling, hydrogen, batterier, prosessindustri, sirkulære løsninger, materialer, havvind m.m.	TRL 3–8
PILOT-E	Samordnet «idé til marked»-løp på tvers av Forskningsrådet, Innovasjon Norge, Enova og ved behov Gassnova	Miljøvennlig energiteknologi, kraftsystem, industriell karbonfangst, maritime løsninger, fleksibilitet, utslippsfrie energiløsninger	TRL 3–8
PILOT-T	Samordnet «utvikling–testing–piloting–implementering»-løp for nye mobilitetsløsninger, i samarbeid mellom Forskningsrådet og Innovasjon Norge	Transport- og mobilitetssystemer, digitale og datadrevne transportløsninger, trafikk- og logistikksystemer, autonome og tilkoblede løsninger, utslippsfri og sikker transport.	TRL 3–8
Enova	Støtte til piloting, demonstrasjon, første markedsanvendelse og utrulling av klima- og energiløsninger. Risikoreduserende virkemidler for teknologi- og markedsutvikling.	Industriell omstilling, energi- og klimateknologi, hydrogen, havvind, energisystemer, energilagring, maritim omstilling, CCS og andre løsninger som bidrar til utslippsreduksjoner og energiomstilling.	TRL 5–7
Innovasjon Norge	Kommersialisering, skalering, eksport og industriell utvikling gjennom tilskudd, lån, garantier og rådgivning	Grønne industriprosjekter, energiteknologi, leverandørutvikling, nye verdikjeder	TRL 5–9
Forskningsrådet/CLIMIT-FoU	Forskning og utvikling for CO ₂ -håndtering	CO ₂ -fangst, transport, lagring, overvåking og kostnadsreduksjon	TRL 3–5
Gassnova/CLIMIT-Demo	Utvikling, piloting og demonstrasjon av	CO ₂ -fangst, kompresjon, transport, lagring og bruk	TRL 4–7



	teknologi for CO ₂ -håndtering. Kunnskapsutvikling og -deling, kapasitetsbygging og nettverk	kombinert med langtidslagring	
Siva – Norsk katapult	Utvikling av innovasjonsinfrastruktur – bygg, test- og pilotfasiliteter og eierskap – som muliggjør utvikling fra idé til produksjon	Industriell infrastruktur og produksjonssystemer, test- og pilotfasiliteter (katapult), industri- og næringsparker, samt innovasjons- og klyngemiljøer.	TRL 4–9
Nysnø	Statlig grønt investeringsfond som bidrar med kapital til selskaper som kutter klimagassutslipp globalt.	Fornybar energi, storskala energilagring, hydrogen, sirkulærøkonomi og smarte mobilitetsløsninger.	TRL 7-9
Investinor	Statlig investeringsselskap som tilfører risikovillig egenkapital til forskningsintensive selskaper i skaleringsfasen.	Brede industrielle verdikjeder, maritim sektor, IKT og markedsklar dypeteknologi.	TRL 7-9
FOT-ordningen	Lisensfinansiert og direkte kostnadsbelastning av operatører for anvendt FoU med dokumentert sokkelnytte.	Avansert subsea-teknologi, energieffektivisering offshore og dekarbonisering av petroleumssektoren.	TRL 3-8
RME FoU	Regulatorisk kostnadsdekning via nettleien for å stimulere nettselskaper til effektiv og sikker nettutvikling.	Smarte strømmnett, lokal forbruksfleksibilitet og integrasjon av ny fornybar kraft.	TRL 4-8

Internasjonale og europeiske virkemidler/ordninger	Typisk innretning	Relevante teknologi- og verdikjeder	Typisk TRL-relevans
Nordic Energy Research	Samarbeid mellom minst 3 nordisk-baltiske land - koble anvendt teknologiutvikling og policyutvikling mot felles energisikkerhet og grønn omstilling.	Regional strømmnett-integrasjon, grønn maritim transport, systemer, energisikkerhet tilpasset det felles nordisk-baltiske markedet.	TRL 3-8
Horisont Europa – Cluster 5	Samarbeidsprosjekter innen forskning og innovasjon	Energiproduksjon, energisystem og nett, energilagring, bygg, industri, hydrogen, batterier, transport, klima	TRL 2–7/8
Horisont Europa – EIC Pathfinder	Banebrytende, høy-risiko forskning og tidlig teknologiutvikling	Deep tech og nye teknologiplattformer, også for energi og klima	TRL 1–4



Horisont Europa – EIC Transition	Modning og validering av lovende forskningsresultater	Bro mellom forskning og tidlig anvendelse for nye teknologier	TRL 4–6
Horisont Europa – EIC Accelerator	Støtte til oppskalering av høy-risiko selskaper og markedsnære innovasjoner	Deep tech, energi- og klimateknologi med internasjonalt vekstpotensial	TRL 6–9
CETP	Europeiske partnerskapsutlysninger som kobler nasjonale og internasjonale FoU-midler	Ren energi, energi-systemer, lagring, fleksibilitet, fornybar og systemintegrasjon	TRL 3–6/7
SET Plan	Strategisk samordning og prioritering av europeiske energiteknologier og verdikjeder	Kraftsystemer, hydrogen, batterier, fornybar kraft, energi-lagring, industrielle nullutslippsteknologier	Ikke et finansieringsinstrument
EU Innovation Fund	Storskala demonstrasjon og kommersiell utrulling	Netto null-teknologier, industriell avkarbonisering, hydrogen, CCUS, energilagring, produksjon av ren teknologi	TRL 6–8
Digital Europe Programme	Superdatamaskiner (HPC), kunstig intelligens (KI), cybersikkerhet og avanserte digitale ferdigheter	Kapasitetsbygging og implementering av digital teknologi i offentlig og privat sektor	TRL 6-8
Connecting Europe Facility (CEF Energy)	Støtte til grensekryssende energi-infrastruktur og prosjekter av felles interesse	Nett, hydrogeninfrastruktur, CO ₂ -transportinfrastruktur, energiinfrastruktur av strategisk betydning	TRL 7–9
EIT InnoEnergy	Forretningsutvikling, nettverk, markedstilgang og oppskalering. Investor og akselerator.	Fornybar energi, lagring, smarte nett.	TRL 5–8
EIT RawMaterials	Innovasjon, kompetanse og entreprenørskap innen råmaterialer	Kritiske råmaterialer, mineraler, materialteknologi, sirkulære verdikjeder og delvis relevant for havbunnsmineraler	TRL 3–7
EIT Climate-KIC	Helhetlig systemtilnærming: kombinerer teknologi med nye forretningsmodeller, regelverk og sosial aksept.	Karbonfangst fra luft, dekarbonisering av maritim sektor, havner.	TRL 2-7
Eurostars (Eureka)	SMB-ledende, samarbeid med FoU-partnere	Offshore- og subsea komponenter, digitalisering og nye materialer	TRL 3-6



Styring og prioritering av virkemiddelapparatet

Utfordringene i virkemiddelapparatet ikke bare handler om enkeltordninger, men også om hvordan systemet styres og hvilke rammebetingelser som gjelder.

Departementene setter de overordnede rammene gjennom budsjettprosesser og tildelingsbrev. Samtidig bidrar rådgivende organer som Energi2050, og tidligere Energi21 og OG21, med å peke ut innsatsområder og synliggjøre kunnskaps- og teknologiutfordringer. Disse føringene omsettes i praksis av aktører som Forskningsrådet, Enova og Gassnova gjennom utlysninger, programmer og samarbeid med næringsliv og forskningsmiljøer.

Deltakelsen i europeiske programmer som Horisont Europa legger et ekstra lag på styringen. Prioriteringer i EU påvirker hvilke områder som utvikles nasjonalt, samtidig som norske prioriteringer også kan bidra inn i europeiske prosesser. For norske aktører betyr dette at styring og prioritering må forstås på flere nivåer samtidig, der nasjonale og europeiske føringer virker sammen. En bedre kobling mellom disse nivåene kan gjøre virkemiddelbruken mer målrettet og bidra til bedre utnyttelse av ressursene.

Styringen innebærer også kontinuerlige prioriteringer mellom ulike hensyn. Energi- og klimapolitikken skal både bidra til utslippskutt, verdiskaping, energisikkerhet og teknologiutvikling. Dette trekker ikke alltid i samme retning. For eksempel kan det oppstå spenninger mellom kortsiktig lønnsomhet og langsiktig teknologiutvikling, eller mellom støtte til etablerte næringer og nye verdikjeder. Hvordan disse avveiningene gjøres, har stor betydning for hvilke løsninger som utvikles og tas i bruk over tid.

Samtidig er koordinering en vedvarende utfordring. Flere departementer har ansvar for ulike deler av politikken, og virkemiddelaktørene har til dels overlappende roller. Det gir fleksibilitet, men kan også gjøre ansvarsforhold uklare og føre til fragmentering. For aktørene i systemet kan dette gjøre det vanskeligere å navigere i virkemiddelapparatet. God koordinering er derfor viktig, særlig i overgangene mellom forskning, demonstrasjon og marked, der mange prosjekter ellers kan risikere å stoppe opp.

Regulatoriske virkemidler

I tillegg til styring er regulatoriske virkemidler avgjørende for om nye løsninger faktisk tas i bruk. Finansielle virkemidler er viktige for å få i gang forskning og utvikling, men det er ofte reguleringene som avgjør om løsningene faktisk blir tatt i bruk. Konsesjoner, krav til utslipp, standarder og CO₂-prising påvirker hva det lønner seg å investere i. De virker gjerne sammen med støtteordninger, og kan både drive fram og bremse utviklingen.

Etterspørsel spiller også en viktig rolle, særlig når teknologi nærmer seg markedet. Offentlige innkjøp, pilotkunder og ulike insentiver kan gjøre det tryggere å ta nye løsninger i bruk. I denne fasen er det ofte ikke nok med støtte alene – det må finnes et marked.

Regulering fungerer ulikt fra sektor til sektor. I kraftsystemet er konsesjoner og nettrekler avgjørende for utbygging og integrasjon av ny kraft. I industri og transport er CO₂-prising og utslippskrav viktigere. For nye områder som hydrogen og havbunnsmineraler er regelverket fortsatt under utvikling, noe som skaper usikkerhet for investeringer. Flere av teknologiene i Energi2050, som hydrogen, CCS og havvind, er avhengige av infrastruktur og systemer, ikke bare enkeltprosjekter. Regulering er derfor viktig for å få hele verdikjeder til å fungere, for eksempel gjennom planlegging av nett, transport og lagring.



Til slutt påvirkes Norge også av utviklingen i EU og Norden. Felles regelverk og standarder gjør det lettere å utvikle og ta i bruk teknologi på tvers av land, men krever samtidig at Norge tilpasser seg.

Dette innebærer at utfordringer i virkemiddelapparatet ikke bare handler om manglende eller dårlig organisert finansiering, men også om styring, regulering og marked som påvirker hvor raskt og i hvilken retning løsninger tas i bruk.

Samlet sett viser dette at utfordringene i virkemiddelapparatet handler om samspillet mellom finansiering, styring, regulering og marked.

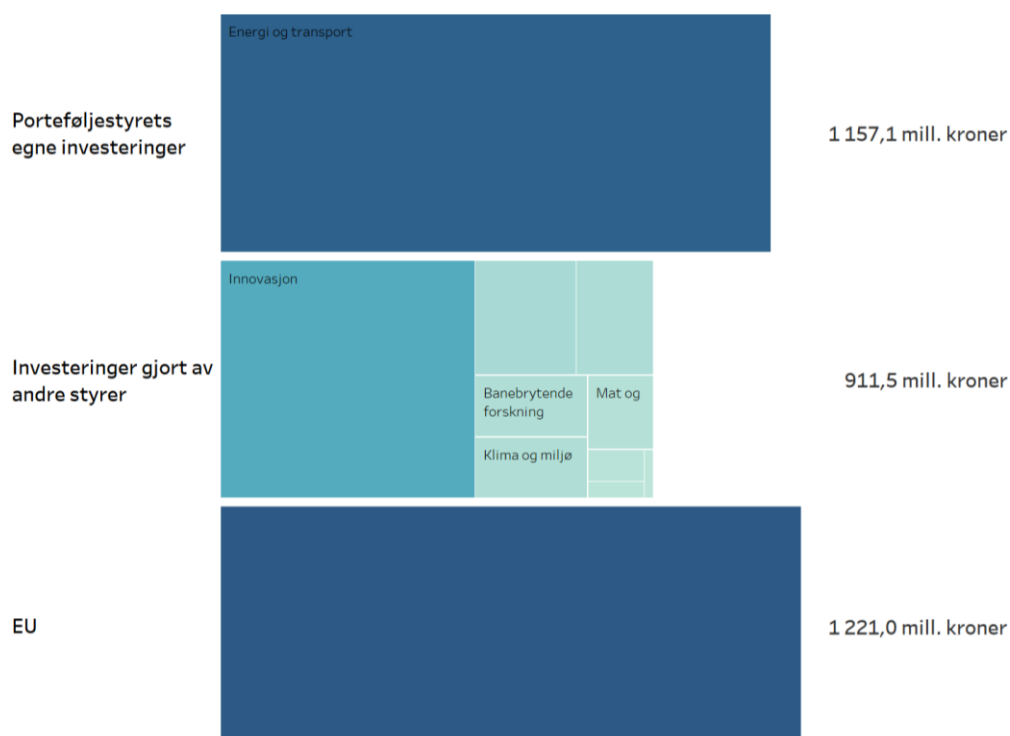
6.1.3 Omfanget av midler til forskning og innovasjon

Et viktig supplement til oversikten over virkemidler er å synliggjøre hvor store midler som faktisk mobiliseres til forskning og innovasjon innen Energi2050s områder. Tallgrunnlaget er imidlertid ikke fullt ut sammenlignbart på tvers av ordninger. Noen kilder oppgir årlige bevilgninger eller disponeringer, andre viser tildelinger i enkeltutlysninger, og for internasjonale ordninger finnes det ofte tall for totalbudsjett for programmene snarere enn norsk deltakelse. I dette kapitlet brukes derfor tilgjengelige offentlige tall til å gi en strukturert oversikt over størrelsesorden og tematisk innretning, med skille mellom nasjonale og internasjonale ordninger og mellom petroleum, fornybar energi og havbunnsmineraler der kildene gir grunnlag for det (Enova, 2026a; European Commission, 2026b; Norges forskningsråd, 2025b).

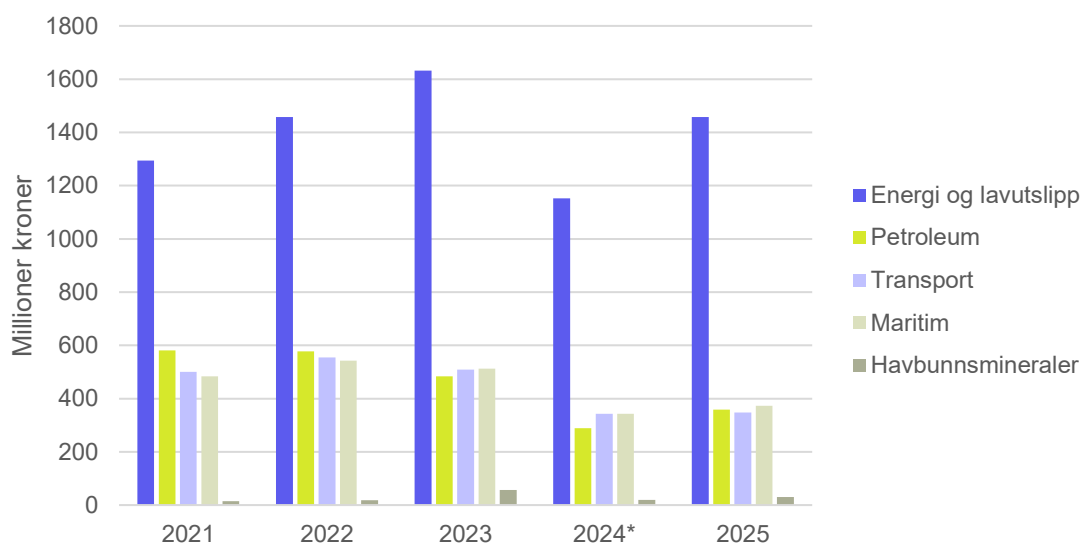
Nasjonale ordninger

For Forskningsrådet er porteføljeanalyser og investeringsplaner de viktigste kildene til å forstå nivået på offentlig finansiert forskning og innovasjon. Porteføljen for energi og transport omfatter delporteføljene energi og lavutslipp, petroleum, transport og maritim, med havbunnsmineraler som et framvoksende område. Porteføljeanalysen for 2025 viser at både Forskningsrådets egne midler og EU-midler til norske deltakere inngår i den merkede porteføljen, men ikke alltid på måter som gjør det mulig å lese av direkte sammenlignbare tall per temaområde i ett samlet grep. Det framgår imidlertid at Forskningsrådet finansierer et betydelig omfang av prosjekter innen både petroleum og energi/lavutslipp, mens havbunnsmineraler foreløpig utgjør en liten, men voksende del av porteføljen (Norges forskningsråd, 2025b).

På utlysningsnivå finnes det mer konkrete tall. I 2025 fikk 33 nye forskningsprosjekter innen energiforskning samlet 416 millioner kroner, med tyngde innen blant annet solkraft, vindkraft, hydrogen, energisystemer, energieffektivisering og petroleumsrelaterte problemstillinger som elektrifisering av sokkelen. Samme år fikk 23 innovasjonsprosjekter i næringslivet samlet 271 millioner kroner, hvorav 185 millioner kroner gikk til miljøvennlig energi og 86 millioner kroner til petroleumsforskning. Tallene illustrerer både volumet i Forskningsrådets tematiske utlysninger og skillet mellom fornybar/energiomstilling og petroleum i den næringsrettede delen av virkemiddelapparatet (Norges forskningsråd, 2025c, 2025e).



Figur 23: FoUInvesteringer i porteføljen Energi og transport i 2025 (uten grunnbevilgninger og SkatteFUNN)



Figur 24: Oversikt over delporteføljene (uten EU-midler og grunnbevilgninger). Ett og samme prosjekt kan ha bidrag inn mot flere delporteføljer

For havbunnsmineraler er tallgrunnlaget foreløpig mer avgrenset, men tydelig. Forskningsrådet lyste i 2025 ut 50 millioner kroner til forskning på miljø og naturverdier knyttet til mulig framtidig mineralaktivitet på norsk kontinentalsokkel. Tre prosjekter fikk til sammen om lag 48 millioner kroner. Tilsvarende nivå er planlagt i 2026 (Norges forskningsråd, 2026a). Dette er et beskjedent nivå sammenlignet med petroleum og fornybar energi, men markerer samtidig at havbunnsmineraler nå har fått en egen plass i det nasjonale FoU-landskapet.



I tillegg foreslo regjeringen 150 millioner kroner i statsbudsjettet for 2025 til forvaltningen av havbunnsmineraler, herunder ressurs- og miljøkartlegging. Den videre framdriften ble imidlertid betydelig redusert i budsjettavtalen for 2026. I statsrådets brev til energi- og miljøkomiteen i april 2026 ble det presisert at første konsesjonsrunde som følge av budsjettavtalen ikke ville bli lyst ut i denne stortingsperioden. Dette innebærer en tydelig politisk brems i utviklingen av feltet, selv om det ikke er det samme som at all kartlegging ble stanset. Samlet sett styrket 2025-bevilgningen kunnskapsgrunnlaget, men utviklingen i 2026 har økt usikkerheten om tempoet i den videre oppfølgingen (Norges forskningsråd, 2025d; Regjeringen, 2024; Stortinget, 2026b, 2026a).

For Enova er bildet et annet. Enova støttet i 2025 om lag 41 000 energi- og klimaprojekter med til sammen om lag 10,1 milliarder kroner. Dette omfatter både næringslivsprojekter og husholdningstiltak og dekker derfor et bredere spekter enn tradisjonell forskningsfinansiering. Midlene er i hovedsak rettet mot senere deler av innovasjonsskjeden og er særlig relevante for fornybar energi, energieffektivisering, energisystemer, hydrogen, maritim omstilling og industriell utslippsreduksjon. Enovas årsrapport viser at ordningen i volum er langt større enn de fleste forskningsrettede virkemidlene, men at tallene ikke uten videre kan fordeles presist mellom petroleum, fornybar energi og andre underkategorier på grunnlag av offentlig tilgjengelig rapportering alene (Enova, 2026a).

Innovasjon Norge rapporterer bredt om finansiering til næringslivet og i mindre grad spesifikt om energiområdet, men enkelte ordninger gir nyttig innsikt i størrelsesorden. I 2025 hadde Innovasjon Norge samlet finansiering på nær 10 milliarder kroner. Blant de mer målrettede grønne ordningene er Grønn plattform særlig relevant. I hovedutlysningen for 2025 var det satt av 823,5 millioner kroner fordelt mellom Forskningsrådet, Innovasjon Norge og Siva, og 12 prosjekter fikk til sammen 784,1 millioner kroner. Prosjektene omfattet blant annet batterier, hydrogen, maritime lavutslippsløsninger, materialteknologi og sirkulære verdikjeder. Dette illustrerer hvordan de store tverrgående ordningene fungerer som en bro mellom forskningsmidler og industrialiseringsmidler, særlig for fornybar energi og grønn industri, mens petroleum er mindre synlig i denne delen av virkemiddelapparatet (Innovasjon Norge, 2026; Norges forskningsråd, 2026a).

Gassnova skiller seg fra Forskningsrådet, Enova og Innovasjon Norge ved å være spesialisert mot CO₂-håndtering. Gjennom CLIMIT, TCM og Langskip dekker virkemidlene hele CCS-kjeden fra forskning og teknologiutvikling til demonstrasjon og implementering. Siden offentlig tilgjengelige kilder ikke gir like lett sammenlignbare tall for årlige FoU-investeringer som for de store porteføljeaktørene, er det mest relevant å framheve deres strategiske betydning for utvikling og oppskalering av CO₂-håndtering fremfor å sammenligne finansieringsvolum direkte. (Gassnova, 2025; CLIMIT, 2026).

Internasjonale og europeiske ordninger

På internasjonalt nivå er Horisont Europa det viktigste programmet for forskning og innovasjon. For 2025 ble det lyst ut 636,6 millioner euro under klynge 5 om klima, energi og mobilitet. Midlene i denne utlysningen dekker et bredt spekter av temaer, blant annet energiforsyning, energisystemer og nett, energilagring, bygg, industri, hydrogen, batterier og transport. Programmet er derfor særlig relevant for fornybar energi, energisystemer og lavutslippsteknologier, men også for enkelte grenseflater mot petroleumsrelatert omstilling, som elektrifisering og industriell avkarbonisering.

Innovation Fund ligger lenger ute i innovasjonsskjeden (TRL 7-9) og er særlig viktig for storskala demonstrasjon og kommersiell utrulling. Net-Zero Technologies-utlysningen for 2025 (med søknadsfrist i 2026) hadde et samlet budsjett på 2,9 milliarder euro. I tillegg kom hydrogen- og industrivarmeauksjoner, slik at denne utlysningsrunden i Innovation Fund



Samlet utgjorde 5,2 milliarder euro. Midlene er særlig relevante for hydrogen, CCUS, energilagring, industriell avkarbonisering og produksjon av ren teknologi. For norske aktører er dette blant de viktigste internasjonale ordningene når teknologi skal løftes fra demonstrasjon til industriell anvendelse (CINEA, 2025; European Commission, 2026c). Enova bistår norske aktører som nasjonalt kontaktpunkt for ordningen og arbeider med mobilisering og veiledning av norske søkere.

For havbunnsmineraler og kritiske råmaterialer er det internasjonale virkemiddelbildet mer sammensatt. European Institute of Innovation and Technology (EIT) RawMaterials, finansiert gjennom Horisont Europa, opplyser at organisasjonen har tilført over 600 millioner euro i direkte finansiering til råvareinnovasjon og utløst mer enn 5 milliarder euro i sekundær oppfølgingsfinansiering til forskning, innovasjon, oppskalering, kompetanse og råmaterialprosjekter. Tallene gjelder hele råmaterialfeltet og ikke havbunnsmineraler isolert. For Energi2050 er hovedpoenget at internasjonale ordninger for kritiske råmaterialer på sikt kan bli viktige også for havbunnsmineraler, men at feltet fortsatt er i en tidlig fase både i Norge og internasjonalt (EIT RawMaterials, 2025).

Budsjett- og tildelingstallene ovenfor illustrerer størrelsesordenen i de europeiske ordningene, men for norske forskningsmiljøer og næringsaktører er det de faktiske tallene for den norske returandelen som best belyser ordningenes reelle verdi. Å se på hvor stor del av disse midlene norske aktører faktisk lykkes med å hente hjem, gir et mer presist bilde av Norges internasjonale konkurransekraft og i hvilken grad de europeiske programmene treffer norske energi- og forskningsmiljøers behov.

Norsk deltakelse og uttelling i europeiske virkemidler

Når norske aktører deltar i Horisont Europa, er det nyttig å skille mellom kontingent, proporsjonalitetsfaktor og returandel. Kontingenten er det Norge betaler for å delta i programmet. Proporsjonalitetsfaktoren er Norges beregnede andel av totalbudsjettet, basert på norsk BNP i forhold til BNP for EU-landene og EØS/EFTA-landene. Returandelen viser derimot hvor stor andel av de konkurranseutsatte midlene norske aktører faktisk henter hjem. Returandel er derfor et mål på konkurransekraft og uttelling, ikke på netto balanse mellom innbetaling og utbetaling (Kunnskapsdepartementet, 2021).

Samlet sett har norske miljøer gjort det godt i Horisont Europa. Per oktober 2025 har norske aktører konkurrert seg til om lag 1,6 milliarder euro, mens prosjektene der Norge deltar har en samlet verdi på 9,6 milliarder euro. Den norske returandelen er på om lag 3,08 prosent, som ligger over regjeringens mål på 2,8 prosent (Norges forskningsråd, 2025d).

Samtidig er kvaliteten på søknadene høy – om lag 21 prosent av søknadene med norsk deltakelse innstilles til finansiering, sammenlignet med om lag 16 prosent for programmet totalt.

Særlig skiller klynge 5 (klima, energi og mobilitet) seg ut. Her har norske aktører mottatt om lag 393 millioner euro, som gjør dette til den største enkeltklyngen for norsk retur. Returandelen i klyngen er om lag 4,3 prosent, og suksessraten er om lag 25 prosent.

I klynge 5 er returen særlig konsentrert om energi. Av de om lag 393 millioner euroene som er hentet hjem, går 212 millioner euro til energi. Resterende 117 millioner euro går til transport, 26,5 millioner euro til klima og 37,5 millioner euro til missions. Dette understreker at energiområdet er et av de mest konkurransedyktige norske innsatsområdene i Horisont Europa.

Norske aktører har også oppnådd sterke resultater i EUs Innovation Fund. I 2023 mottok fem norske prosjekter om lag 510 millioner euro (5,7 milliarder kroner), den største tildelingen til



norske aktører til da (Enova 2024a). I 2025 fikk GreenH, Gen2 Energy og Norwegian Hydrogen ytterligere 96,6 millioner euro (1,1 milliarder kroner) gjennom EUs hydrogenauksjon (Enova 2025b). Tildelingene viser at norske aktører er konkurransedyktige også i europeiske virkemidler rettet mot demonstrasjon, oppskalering og kommersialisering av ny teknologi.

Regjeringen anslår at Norges bidrag til Horisont Europa for perioden 2021–2027 er om lag 25 milliarder kroner. Dette er ikke direkte sammenlignbart med returandelen, siden kontingenten følger en egen beregningsmodell og omfatter hele programmet, mens returandelen gjelder de konkurranseseutatte midlene. For Energi2050 er hovedpoenget likevel at de europeiske ordningene ikke bare er store i volum, men også reelt tilgjengelige og konkurransedyktige for norske forsknings- og innovasjonsmiljøer (Regjeringen, 2025).

Størrelse	Nivå	Kort forklaring
Norsk kontingent til Horisont Europa (2021–2027)	Om lag 25 mrd. kroner	Anslått norsk innbetaling til programmet
Regjeringens mål for returandel	2,8 %	Mål for hvor stor andel norske aktører skal hente hjem
Faktisk norsk returandel	~ 3,08 %	Over målet (pr. okt. 2025)
Klynge 5* (klima, energi, mobilitet)	~ 4,3 %	Et av Norges sterkeste områder
Klynge 5 (kun energi)	~ 54 % av retur i klynge 5	Energiforskning utgjør over halvparten av norsk retur i klynge 5.
Innovation Fund (utvalgte norske tildelinger)	~ 6,8 mrd. kroner	5,7 mrd. kroner til fem norske prosjekter i 2023 og 1,1 mrd. kroner til tre hydrogenprosjekter i 2025

*Informasjon om Klynge 5 er hentet fra Norges forskningsråd basert på eCorda pr oktober 2025 (Kommisjonen)

Returandelen supplerer dermed budsjettallene ved å vise ikke bare hvor store ordningene er, men også hvor godt norske aktører faktisk lykkes i konkurransen om midlene. Sammen gir disse to perspektivene et bedre grunnlag for å vurdere den reelle betydningen av de internasjonale ordningene for Energi2050.

Virkemiddelapparatet mobiliserer betydelige midler til forskning og innovasjon innen Energi2050s områder, men midlene er ulikt fordelt mellom sektorer og faser i innovasjonsløpet. Samtidig viser norsk retur fra Horisont Europa at norske miljøer er konkurransedyktige internasjonalt, særlig innen energi. I 2025 utgjorde finansieringen til energiforskning om lag 3,28 mrd. kroner, hvorav EU-finansiering sto for rundt 37 prosent – noe som illustrerer hvor viktig europeiske virkemidler er for norsk energiforskning, samt behovet for godt samspill mellom nasjonale og internasjonale ordninger.



6.2 MANDAT ENERGİ2050 FRA ENERGIDEPARTEMENTET

Energi2050 er et nasjonalt strategiorgan for forskning, utvikling, demonstrasjon og markedsintroduksjon (FoUI²) innenfor hele energiområdet. Energi2050 dekker produksjon, overføring og bruk av utslippsfri energi, leting etter, utvinning og transport av petroleum, fangst, transport og lagring av CO₂, samt havbunnsmineralvirksomhet.

6.2.1 Formål

Energi2050 skal arbeide for økt verdiskaping og en sikker, effektiv og bærekraftig ressursutnyttelse som skal ivareta energisikkerhet, klima, natur og miljø.

6.2.2 Mål for strategien

Energi2050-strategien skal være retningsgivende for myndighetenes og næringslivets samlede FoUI-innsats på hele energiområdet. Strategien skal bidra til å:

- Styrke sikkerhet³, konkurransekraft og verdiskaping på hele energiområdet
- Sikre langsiktig kunnskaps- og teknologiutvikling som ivaretar en bærekraftig energiomstilling og en sikker og effektiv energiforsyning
- Bidra til en utvikling mot et lavutslippssamfunn innen 2050

Gjennom å koble myndigheter, næringsliv, forskningsmiljøer og andre interessenter sammen, skal strategien synliggjøre nødvendig FoUI-innsats, inkludert forskerutdanning og rekruttering, og prioritere satsingsområder.

Strategien skal fremme internasjonalt forsknings- og teknologisamarbeid, med vekt på FoUI-samarbeidet med EU.

6.2.3 Styrets oppgaver

Styrets hovedoppgave er å utarbeide og jevnlig oppdatere en nasjonal strategi for FoUI på hele energiområdet. Styret skal videre:

- Sikre effektiv organisering av Energi2050 innenfor rammer gitt av Energidepartementet
- Etablere relevante undergrupper med aktører og interessenter som kan bidra med beslutningsstøtte
- Holde seg orientert om utvikling som er av betydning for Energi2050
Gi råd til bevilgende myndigheter og næringslivet om FoUI-prioriteringer i henhold til Energi2050-strategien, inkludert anbefalinger til statsbudsjettet
- Kommunisere og forankre strategien hos relevante aktører og interessenter
- Tilrettelegge for jevnlig møteplasser for å sikre bidrag og tilslutning til Energi2050-strategien
- Bidra til koordinering med andre relevante fora
- Evaluere strategiens effekt og relevans og gjøre nødvendige justeringer
- Årlig evaluere styrets arbeid

² FoUI – forskning, utvikling og innovasjon

³ Omfatter også arbeidsmiljø, beredskap og sikring



6.3 STYRET I ENERGI2050

- Arne Gürtner – Equinor, styreleder
- Ane Torvanger Brunvoll – NVE
- Anette Broch M. Tvedt – Adepth Minerals AS
- Ann Mari Svensson – NTNU
- Arne Jacobsen – Sodor
- Maja de Vibe – Statkraft
- Finn Carlsen – Havtil
- Inge Gran – SINTEF Energi
- John Olav Tande – Statnett
- Katrine Fog – Hydro
- Kjell Morisbak Lund – Petoro
- Kristin Margrethe Flornes – NORCE
- Kristine Spildo – UIB
- Nils Klippenberg – Siemens
- Nils Morten Huseby – IFE
- Per-Oddvar Osland – Glitre Nett
- Signy Elde Vefring – Aker Solutions
- Sissel Haugdal Jore – UIS
- Rune Volla – Forskningsrådet, observatør
- Ingrid Melaaen – Gassnova, observatør
- William Christensen – Energidepartementet, observatør
- Per Sogge – Energidepartementet, observatør
- Hilde Gillebo – Energidepartementet, observatør
- Ole Even Hollås – Enova, observatør



6.4 PREMISSGRUNNLAG FOR STRATEGISKE PRIORITERINGER

6.4.1 Premisser for strategivalget

Premissene for strategivalget er gitt gjennom Energidepartementets mandat og føringer til Energi2050. Dette er den første strategien etter at Energi21 og OG21 ble erstattet med Energi2050. FoUI-behovene for kraftsystemet, fornybar energi, industri og petroleum samt havbunnsmineraler, vurderes dermed for første gang i én og samme analyse, på tvers av hele energiområdet.

Sammenslåingen har to konsekvenser for prioriteringsarbeidet. For det første må fagområder som tidligere ble vurdert i hver sin strategi, med hvert sitt målbilde og hvert sitt sett av kriterier, nå sammenlignes langs de samme dimensjonene. For det andre må strategien fange opp grenseflatene mellom områdene hvor innsikt fra begge de tidligere strategiene må harmoniseres, som CO₂-håndtering, hydrogen fra naturgass og flytende havvind.

To forhold er nye eller vesentlig forsterket i mandatet:

- **Havbunnsmineraler** er tatt inn som nytt område. Myndighetene har åpnet for mineralvirksomhet på norsk sokkel, samtidig som tilgang på kritiske mineraler har fått økt strategisk betydning.
- **Energisikkerhet** er løftet fram som et selvstendig hensyn. Det omfatter forsyningssikkerhet og systemets funksjon, men også robusthet mot fysiske og digitale angrep og mot avhengighet av enkeltleverandører og importerte innsatsfaktorer.

For begge disse områdene har det vært satt ned egne ekspertgrupper som har bidratt i det strategiske arbeidet.

Energi2050 skal arbeide for økt verdiskaping og en sikker, effektiv og bærekraftig ressursutnyttelse som ivaretar energisikkerhet, klima, natur og miljø. Strategien skal være retningsgivende for myndighetenes og næringslivets samlede FoUI-innsats på hele energiområdet, og skal bidra til å:

- styrke sikkerhet, konkurransekraft og verdiskaping på hele energiområdet
- sikre langsiktig kunnskaps- og teknologiutvikling som ivaretar en bærekraftig energiomstilling og en sikker og effektiv energiforsyning
- bidra til en utvikling mot et lavutslippssamfunn innen 2050

At Energi2050 prioriterer et område, betyr at forsknings- og innovasjonsinnsatsen på området bør heves fra dagens nivå, og at FoUI er avgjørende for å realisere områdets bidrag. At et område ikke prioriteres, betyr at dagens innsats vurderes som tilstrekkelig, eller at FoUI ikke er den sentrale løsningen for å utvikle området. Prioriteringer gjøres ut fra FoUI-behov og ikke nødvendigvis områdenes betydning for samfunnet – ikke-prioriterte områder kan godt ha stor betydning for energisystemet, men kan være på ikke-prioritert listen f.eks. fordi forsknings- og innovasjonshøyden er lav eller fordi FoUI-behov er dekket gjennom tverrgående, prioriterte områder.

6.4.2 Strategisk gjennomgang av fagområdene

Energi2050s valg av strategiske satsingsområder bygger på en gjennomgang av 20 fagområder innenfor energisystemet, energinæringen og petroleums- og mineralvirksomheten. Gjennomgangen omfatter de forholdene styret mener har betydning for prioritering mellom områdene.



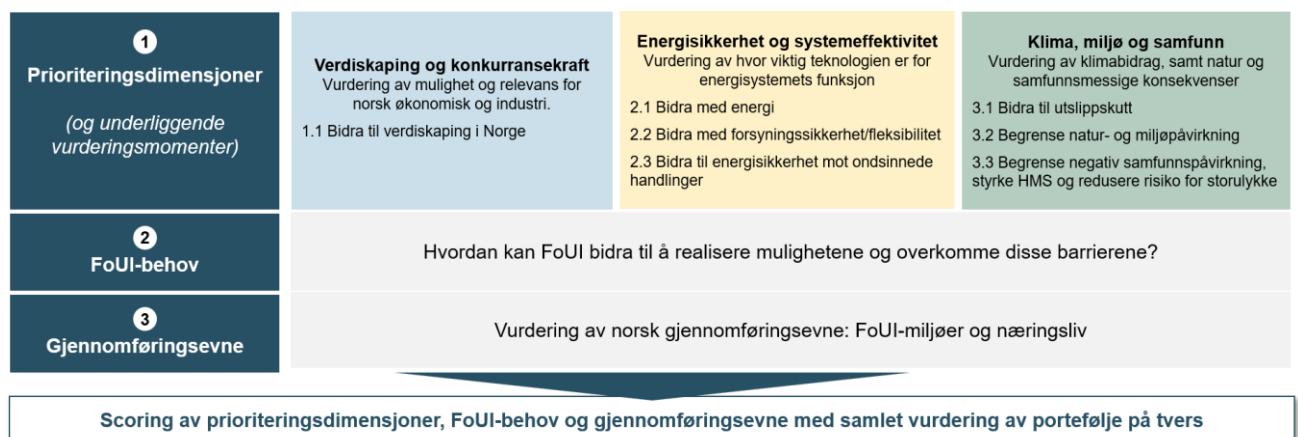
For hvert fagområde er det utarbeidet et felles beslutningsunderlag som beskriver forhold som er særlig relevante for norske aktører, norsk energiforsyning og norsk næringsutvikling. Underlaget synliggjør:

- markedsutvikling og markedsmuligheter for Norge, nasjonalt og internasjonalt
- komparative fortrinn og gjennomføringskraft – industrielle miljøer, kunnskaps- og kompetansebase og naturgitte forutsetninger
- bidrag til klima, miljø, natur og samfunn, inkludert HMS og risiko for storulykke
- bidrag til energisikkerhet, og sårbarheter og risiko langs verdikjeden
- de sentrale forsknings- og innovasjonstemaene, og hvor området står på EUs FoUI-agenda
- tiltakene som anbefales for å utløse potensialet

Det samme underlaget er brukt for alle fagområdene. Det gjør det mulig å sammenligne områder som tidligere ble vurdert i hver sin strategi, og å vurdere dem opp mot de samme prioriteringsdimensjonene.

6.4.3 Systematikk for sammenlignende analyse

Med utgangspunkt i den strategiske gjennomgangen er det gjennomført en helhetlig analyse der samtlige fagområder er vurdert i tre steg, etterfulgt av en samlet porteføljevurdering. Metoden er illustrert i Figur 27.



Figur 25: Metode for gjennomføring av sammenlignende analyse

Steg 1 sorterer fagområdene etter hvor stort bidrag de kan gi til Energi2050s mål. Steg 2 vurderer om FoUI faktisk er løsningen, og steg 3 om Norge har forutsetninger for å lykkes. Til slutt vurderes den samlede porteføljen.

Selv om prosessen er illustrert i tre steg, har den i praksis vært iterativ. Inndelingen av fagområder er vurdert flere ganger, og stegene har vært gjennom flere runder. Vurderingene bygger på en kombinasjon av kvantitative data og skjønnsmessige vurderinger.

Steg 1: Vurdering langs prioriteringsdimensjonene

I første steg er hvert fagområde vurdert opp mot tre prioriteringsdimensjoner. Dimensjonene oversetter mandatet og de strategiske målene til sammenlignbare vurderingsmomenter, og erstatter de målvisse kriteriesettene som ble brukt i Energi21 og OG21 hver for seg.



Tabell 1 Prioriteringsdimensjoner og hvordan de vurderes

Prioriteringsdimensjon	Hva som vurderes
Verdiskaping og konkurransekraft	Områdets mulighet og relevans for norsk økonomi og industri
Energisikkerhet og systemeffektivitet	Hvor viktig området er for energisystemets funksjon og robusthet
Klima, miljø og samfunn	Klimabidrag samt natur- og samfunnsmessige konsekvenser og legitimitet

Hvert vurderingsmoment er belyst med indikatorer som gjør områdene sammenlignbare (for eksempel energibidrag i TWh/år, effektbidrag i GW, utslippsreduksjon i Mt CO₂e/år, markedsstørrelse og sysselsettingseffekt, og arealeffektivitet). Bidraget er klassifisert på en felles skala.

Steg 2: Vurdering av forskningshøyde

I steg to vurderes fagområdenes forskningshøyde og forskningsbehov. Steget er nødvendig fordi Energi2050s anbefalinger forutsetter at FoUI faktisk er løsningen. Et område kan ha stort potensial for måloppnåelse og likevel ikke være et FoUI-spørsmål, dersom barrierene i hovedsak er økonomiske, regulatoriske eller knyttet til utbyggingstakt.

Vurderingen omfatter:

- områdets og de tilhørende teknologienes plassering langs innovasjonsskjeden, uttrykt ved TRL-nivå
- omfanget av gjenstående forsknings- og innovasjonsbehov, kategorisert som begrenset, middels eller omfattende
- hvilke faser av innovasjonsskjeden behovet ligger i, fra grunnleggende forskning til demonstrasjon og kommersialisering
- hvor viktig området er på EUs forsknings- og innovasjonsagenda, og hvilken rolle norske miljøer kan spille der

EUs agenda er tillagt vekt fordi norsk deltakelse i Horisont Europa og SET-planen både gir tilgang til finansiering og legger føringer for hvor norske miljøer kan hevde seg. EUs forskningsagenda er nærmere beskrevet i kapittel 4.3.

Steg 3: Vurdering av norsk gjennomføringsevne

I steg tre er hvert fagområde vurdert opp mot norsk gjennomføringsevne.

Gjennomføringsevnen sier noe om hvilke forutsetninger norske aktører har for å lykkes innenfor området og utløse potensialet fra steg 1. Dette er den delen av bildet Energi2050 selv kan påvirke gjennom FoUI-satsing.

Gjennomføringsevnen er vurdert langs to dimensjoner:

- **FoUI-miljøene.** Antall og kvalitet på norske forsknings- og utdanningsmiljøer med kompetanse på området, kompetansenivå og ambisjoner, og etablerte strategiske initiativer som FME-sentre.
- **Næringslivet.** Norske leverandørbedrifter med relevant erfaring og teknologi, industriell kompetanse, tilgang på infrastruktur og regulatorisk modenhet – og om det finnes aktører eller bedriftsklynger med ambisjoner, vilje og evne til å satse.



Gjennomføringsevnen, samlet for FoUI-miljøene og næringslivet, er uttrykt på en tredelt skala:

Tabell 2 Vurdering av gjennomføringsevne

Nivå	Beskrivelse
Norgesmester	Sterke nasjonale miljøer med god kompetanse, men begrenset internasjonalt gjennomslag, eksport eller publisering
Europamester	Ledende miljøer i europeisk sammenheng, med betydelig internasjonal publisering og samarbeid
Verdensmester	Globalt ledende miljøer som setter standarden for forskning og innovasjon internasjonalt

Portefølje- og robusthetsvurdering

Til slutt er satsingsområdene vurdert samlet. Formålet er å avklare om porteføljen som helhet bygger tilstrekkelig opp under alle Energi2050s mål, og ikke bare summerer områder som scorer høyt enkeltvis.

En balansert portefølje har dekning på tvers av alle tre prioriteringsdimensjoner. Den må romme områder som gir høy verdiskaping, områder som er kritiske for energisystemets funksjon og sikkerhet, og områder som gir store klima- og miljøgevinster. Det enkelte området trenger ikke score høyt på alle tre.

6.4.4 Informasjonskilder til den strategiske analysen

Analysen bygger på en kombinasjon av innspill fra næringen, oppdatert kunnskapsinnhenting og eksisterende kunnskapsgrunnlag som fortsatt står seg.

En sentral del av arbeidet var 23 innspillsmøter med deltakere fra industri, akademika, forskningsmiljøer og myndigheter. Møtene ga status på hvilke utfordringer bransjen arbeider med, og hvilken rolle aktørene ser for FoUI framover. Til sammen har over 1 000 deltakere har bidratt til strategiprosessen. Grunnlag for møtene og oppsummeringer fra dem ligger tilgjengelig på Energi2050s hjemmeside.

I tillegg ligger følgende til grunn:

- åtte delrapporter som sammenstiller eksisterende underlag og ny analyse per teknologi- og temaområde
- omverdensanalysen
- de foreliggende Energi21- og OG21-strategiene, der problembeskrivelser og FoUI-temaer fortsatt er relevante
- offentlig tilgjengelige rapporter og underlagsanalyser fra anerkjente kilder

For di Energi2050 bygger videre på to eksisterende strategiorganer, er det gjort en egen vurdering av revisjonsbehovet for områdene i Energi21- og OG21-strategiene. Vurderingen sier hvor kunnskapsgrunnlaget står seg, hvor det trengs avsjekk og justeringer, og hvor det er behov for bred ny kunnskapsinnhenting. Den er et innspill til prosessen, ikke en anbefaling om prioritering.

Energi2050 har også hatt løpende dialog med næringsaktører, myndigheter, virkemiddelaktører og interesseorganisasjoner. Til grunn ligger dessuten den samlede kompetansen i styret, som representerer aktører fra store deler av strategiens fagområder.



6.5 BEGREPSLISTE

6.5.1 Forskning, utvikling og innovasjon

Begrep	Forklaring
FoU	Forskning og utviklingsarbeid: systematisk, kreativ virksomhet for å oppnå økt kunnskap og finne nye anvendelser av den. Deles i grunnforskning, anvendt forskning og utviklingsarbeid. Hovedkriteriet som skiller FoU fra beslektet virksomhet, er et element av nyskaping og reduksjon av vitenskapelig eller teknologisk usikkerhet (OECD).
FoUI	Forskning, utvikling og innovasjon sett under ett, inkludert demonstrasjon og kommersialisering.
Innovasjon	Introduksjon av nye eller vesentlig forbedrede produkter, prosesser, markedsføringsmetoder eller organisatoriske metoder (OECD).
Test og demonstrasjon	Verifisering og innjustering av teknologiske løsninger i realistisk skala, enten i frittstående anlegg eller integrert i et operativt anlegg.
TRL	Technology Readiness Level. System i ni nivåer for å angi teknologiers og konsepters modenhetsgrad.
Forskningshøyde	Omfanget av gjenstående forsknings- og innovasjonsbehov på et område, og hvor i innovasjonsskjeden behovet ligger.
Gjennomføringsevne	Norske aktørers forutsetninger for å lykkes på et område, vurdert ut fra FoUI-miljøer og næringsliv.
Komparative fortrinn	Et lands fordel i et marked som styrker mulighetene for å vinne markedsposisjoner, knyttet til teknologi, kompetanse, ressurser eller industriell erfaring.
FME	Forskningssentre for miljøvennlig energi.
Horisont Europa	EUs rammeprogram for forskning og innovasjon for perioden 2021–2027.
SET-planen	EUs strategiske energiteknologiplan, som samordner medlemslandenes og EUs FoUI-innsats på energiområdet.
IEA	Det internasjonale energibyrået.
SMB	Små og mellomstore bedrifter. Ofte brukt om foretak med under 100 ansatte.

6.5.2 Energisystem og kraftmarked

Begrep	Forklaring
Energi	Evne til å utføre arbeid; produktet av effekt og tid. Elektrisk energi angis ofte i kilowattimer (kWh).
Effekt	Energi per tidsenhet, angitt i watt (W).
Energisystem	Infrastruktur som knytter sammen komponenter og systemer for energiproduksjon, energioverføring og energibruk.
Systemintegrasjon	Samspeilet mellom kraft, varme, gass, hydrogen og sluttbruk, og løsningene som knytter dem sammen til ett system.
Kraftbalanse	Beregning for en gitt periode av balansen mellom krafttilgang og kraftbehov.
Fleksibilitet	Evnen til å endre produksjon eller forbruk i takt med systemets behov, fra både produksjonsanlegg, lager og sluttbrukere.
Balansekraft	Kraft som utjevner svingninger i kraftforsyningen, i takt med økende andel variabel fornybar produksjon.



Energilagring	Lagring av energi for senere bruk ved mekaniske, termiske, elektriske eller kjemiske metoder.
Magasin	Naturlig eller kunstig innsjø der vann samles i perioder med høyt tilsig og lavt forbruk.
Magasinkapasitet	Samlet vannmengde mellom høyeste og laveste regulerte vannstand, ofte oppgitt som energien det lagrede vannet kan produsere.
LCOE	Levelized Cost of Energy. Kostnadene over et kraftverks levetid delt på energiproduksjonen i samme periode, angitt i kr/kWh.
Nettselskap	Monopolregulert selskap som eier og driver kraftnett for overføring av elektrisk energi.
Markedsdesign	Utformingen av regler, prisdannelse og produkter i energimarkedene, inkludert hvordan fleksibilitet og kapasitet verdsettes.

6.5.3 Energisikkerhet

Begrep	Forklaring
Energisikkerhet	Energisystemets evne til å levere energi pålitelig over tid, inkludert robusthet mot fysiske og digitale angrep, klimarelaterte hendelser og avhengighet av enkeltleverandører.
Forsyningssikkerhet	Evnen til å dekke etterspurt energi og effekt til enhver tid, også under anstrengte forhold.
Redundans	Systemets evne til å opprettholde drift ved bortfall av enkeltkomponenter.
Digital sårbarhet	Cybersikkerhetsrisiko knyttet til styringssystemer, sensorikk og nettilkobling i energiinfrastruktur.
Importavhengighet	Avhengighet av utenlandske innsatsfaktorer, komponenter eller brensel i verdikjeden.
Storulykke	Hendelse med stort skadepotensial for mennesker, miljø eller materielle verdier, som brann, eksplosjon eller større utslipp.

6.5.4 Energibærere, klima og natur

Begrep	Forklaring
CO ₂ -håndtering (CCS)	Fangst, transport og permanent lagring av CO ₂ , hele verdikjeden.
BECCS	Fangst og lagring av CO ₂ fra energi basert på biogent materiale. Gir negative utslipp.
Karbonfjerning (CDR)	Tiltak som fjerner CO ₂ permanent fra atmosfæren, inkludert BECCS og direkte luftfangst.
Grønt hydrogen	Hydrogen produsert med elektrisitet via elektrolyse.
Blått hydrogen	Hydrogen fra naturgass der produsert CO ₂ fanges og lagres permanent.
Lavkarbonhydrogen	Hydrogen med utslipp under en fastsatt terskel i verdikjeden, uavhengig av produksjonsmetode.
LCA	Life-Cycle Assessment. Analyse av miljøpåvirkningen til et produkt eller en tjeneste gjennom hele livsløpet.
Arealeffektivitet	Energiproduksjon per arealenhet, brukt som indikator på naturinngrep.
Reversibilitet	Muligheten for å føre natur tilbake til tidligere tilstand etter endt levetid.
IPCC	FNs klimapanel. Intergovernmental Panel on Climate Change, etablert i 1988.



6.5.5 Petroleum og havbunnsmineraler

Begrep	Forklaring
Oppstrøms	Leting, utbygging og produksjon av olje og gass, i motsetning til transport, prosessering og distribusjon.
Undergrunnsforståelse	Kunnskap om geologi, reservoaregenskaper og strømning i undergrunnen, brukt både i petroleumsproduksjon og i CO ₂ -lagring.
Økt utvinning (IOR/EOR)	Tiltak og teknologi som øker utvinningsgraden fra eksisterende felt.
Elektrifisering av sokkelen	Erstatning av gassturbiner på innretninger offshore med kraft fra land eller havvind.
mmbøe	Millioner fat oljeekvivalenter. Felles enhet for olje- og gassvolumer.
Havbunnsmineraler	Mineralforekomster på og under havbunnen, som sulfider og manganskorper, med innhold av metaller relevante for energiomstillingen.
Kritiske råvarer	Mineraler og metaller med høy forsyningsrisiko og stor økonomisk betydning, definert på EU-nivå.

6.5.6 Aktører i verdikjeden

Begrep	Forklaring
Leverandørbedrift	Bedrift som leverer utstyr eller tjenester inn i verdikjeden for produksjon og bruk av energibærere.
Teknologileverandør	Bedrift som leverer teknologi og løsninger inn i verdikjeden for produksjon og bruk av energibærere.
Teknologiutvikler	Aktør som utvikler ny eller forbedrer eksisterende teknologi. Kan være en leverandørbedrift, et FoU-miljø eller en gründervirksomhet.
Teknologibruker	Aktør som anskaffer og bruker utviklet teknologi.



6.6 REFERANSELISTE

Avinor (2026). *Klima- og miljøstrategi 2026–2030*.

https://om.avinor.no/siteassets/barekraft/klima/klima/klima/pdf/avinor_klima-og-miljostrategi_2026-2030.pdf

CICERO Senter for klimaforskning (2023). *Vindkraft på land*. CICEROs klimaundersøkelse.

<https://cicero.oslo.no/no/ciceros-klimaundersokelse/Oppfatninger-om-virkemidler-og-tiltak/Vindkraft-pa-land>

CINEA (2025). *Horizon Europe: Over €630 million available to fund new climate, energy and mobility research projects*. https://cinea.ec.europa.eu/news-events/news/horizon-europe-over-eu630-million-available-fund-new-climate-energy-and-mobility-research-projects-2025-05-19_en

CLIMIT (2026). <https://climit.no/>

DNV (2024). *Evaluating direct emission reduction pathways for Norway's oil and gas industry in line with 2050 targets*. Rapport for OG21. Det Norske Veritas.

<https://www.og21.no/contentassets/9bb84211eeb6474e8f602570a10bb40f/evaluating-direct-emission-reduction-pathways-for-norways-oil-and-gas-industry-in-line-with-2050-targets.pdf>

DNV (2025). *Energy Transition Outlook Norway 2025. A national forecast to 2060*. Det Norske Veritas. <https://www.dnv.com/publications/energy-transition-outlook-norway-2025/>

DNV (2026a). *Maritime Forecast to 2050*. Det Norske Veritas. <https://www.dnv.com/publications/maritime-forecast-edition-2026/>

DNV (2026b). *Barometer for grønn omstilling av skipsfarten 2025*. Rapportnr. 2026-0160. Det Norske Veritas.

<https://www.regjeringen.no/contentassets/721694c49dd942cf816f8587a16f6b6d/barometer-for-gronn-omstilling-av-skipsfarten-2025.pdf>

DNV (2026c). *IMO MEPC 84: Revisiting the net-zero framework*. Det Norske Veritas. <https://www.dnv.com/news/2026/imo-mepc-84-revisiting-the-net-zero-framework/>

Draghi, M. (2024). *The future of European competitiveness*. European Commission. https://commission.europa.eu/document/download/97e481fd-2dc3-412d-be4c-f152a8232961_en

European Institute of Innovation and Technology RawMaterials (2025). *About EIT RawMaterials*. <https://eitrawmaterials.eu/>

Energi2050 (2026a). *Fra sårbarhet til robusthet i et alvorlig trusselbilde: Et nasjonalt løft for energisikkerhet gjennom forskning, utvikling og innovasjon*. Forskningsrådet.

<https://www.forskningsradet.no/siteassets/energisikkerhet-sarbarhet-robusthet-ekspertgrupperapport-e2050-26810.pdf>

Energi2050 (2026b). *Rapport fra ekspertgruppe på havbunnsmineraler*. Forskningsrådet.

https://www.forskningsradet.no/contentassets/c525addffab24cecabd30f9ee48b998f/energi2050-rapport-ekspertgruppe-havbunnsmineraler_ferdig-30-6-2026.pdf



Energi21 (2022). *Energi21 – Nasjonal strategi for forskning, utvikling, demonstrasjon og kommersialisering av ny klimavennlig energiteknologi*. Olje- og energidepartementet. https://www.forskningsradet.no/siteassets/tildelinger/2022/energi21_strategi-2022.pdf

Energidepartementet (2026a). *Spørsmål og svar om bygningsenergidirektivet*. https://www.regjeringen.no/no/tema/energi/eueos_og_energi/Sporsmal-og-svar-om-bygningsenergidirektivet/id3084515/

Energidepartementet (2026b). *Sikkerhet og arbeidsmiljø i havindustriene på norsk sokkel*. Rapport fra partssammensatt arbeidsgruppe. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/sikkerhet-og-arbeidsmiljo-i-havindustriene/id3163854/>

Energidepartementet (2026c). *Utsatt frist for konsesjonssøknad til Sørliche Nordsjø II*. <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/utsatt-frist-for-konsesjonssoknad-til-sorlige-nordsjo-ii/id3171048/>

Engelien, E., Aslaksen, I., & Undelstvedt, J. K. (2020). *Utbygging får konsekvenser for reinbeiteområder (SSB analyse 2020/16)*. Statistisk sentralbyrå. <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/utbygging-far-konsekvenser-for-reinbeiteomrader>

Enova (2024a). *Over 5,7 EU-milliarder til norske selskap: – Største tildeling noensinne*. <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/18290673/over-57-eu-milliarder-til-norske-selskap-storste-tildeling-noensinne?publisherId=17848299&lang=no>

Enova (2024b). *Over 777 millioner til hydrogen: Sikrer forsyningen langs norskekysten [Pressemelding]*. <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/18309195/over-777-millioner-til-hydrogen-sikrer-forsyningen-langs-norskekysten>

Enova (2025a). *Markedets kostnadsutsikter for flytende havvind*. <https://enova.no/nb/kunnskap/sok-i-kunnskap/markedets-kostnadsutsikter-for-flytende-havvind>

Enova (2025b). *Milliardstøtte fra EU til norske hydrogensatsinger*. <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/18535275/milliardstotte-fra-eu-til-norske-hydrogensatsinger?publisherId=17848299&lang=no>

Enova (2025c). *Norge sikrer forspranget til sjøs [Pressemelding]*. <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/18721035/norge-sikrer-forspranget-til-sjos>

Enova (2026a). *Enova årsrapport 2025*. <https://enova.no/nb/kunnskap/sok-i-kunnskap/enova-arsrapport-2025>

Enova (2026b). *Fra null til 500 ladere for elektrisk lastebil på tre år: Vil bety mye for norske klimagasskutt [pressemelding]*. <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/18863737/fra-null-til-500-ladere-for-elektrisk-lastebil-pa-tre-ar-vil-bety-mye-for-norske-klimagasskutt?lang=no>

Erneuerbare-Energien-Gesetz (2023). *Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien, § 3 nr. 21a*. Konsolidert tekst pr. 21.02.2025. Clearingstelle EEG|KWKG. https://www.clearingstelle-eeg-kwkg.de/sites/default/files/2025-03/EEG-250225-250221-web_0.pdf

Euratom Supply Agency (2025). *Euratom Supply Agency Annual Report 2024*. Publications Office of the European Union. <https://euratom->



supply.ec.europa.eu/document/download/4991f977-5fa7-415e-8b7f-04714f01c533_en?filename=202509773_PDFA2A_MJ0125120ENA_002.pdf

European Commission (2023). *Net-Zero Industry Act*. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:6448c360-c4dd-11ed-a05c-01aa75ed71a1.0001.02/DOC_1&format=PDF

European Commission (2024). *Towards an ambitious Industrial Carbon Management for the EU*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52024DC0062>

European Commission (2025). *SET Plan Progress Report 2025*. Strategic energy technologies for a competitive, secure and sustainable Europe. Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/8823225>

European Commission (2026a). *2025 report from the European Commission on greenhouse gas emissions from maritime transport*. COM(2026) 173 final. Publications Office of the European Union. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b57b8247-482b-11f1-8095-01aa75ed71a1/language-en>

European Commission (2026b). *Funding and tenders: Research and innovation*. https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding_en

European Commission (2026c). *Innovation Fund 2025 calls*. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/funding-climate-action/innovation-fund/innovation-fund-2025-calls_en

European Commission, Directorate-General for Energy (2026). *Strategic Energy Technology Plan*. https://energy.ec.europa.eu/topics/research-and-technology/strategic-energy-technology-plan_en

European Commission Joint Research Centre (2025). *Clean Energy Technology Observatory: Wind energy in the European Union - 2025 status report on technology development, trends, value chains and markets*. Publications Office of the European Union. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC144351/JRC144351_01.pdf

European Commission Joint Research Centre (2026). *Clean Energy Technology Observatory: Battery Technology in the European Union – 2025 Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*. Publications Office of the European Union. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC145289>

European Council (2026). *Where does the EU's gas come from? Council of the European Union*. <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/where-does-the-eu-s-gas-come-from/>

European Parliament & Council of the European Union (2024). *Regulation (EU) 2024/1252 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials*. Official Journal of the European Union.

Gassco (2025). *Record delivery of natural gas in 2024*. <https://gassco.eu/en/record-delivery-of-natural-gas-through-the-gas-transport-system-to-europe-in-2024/>

Gassnova (2025). *Potensial for kostnadsreduksjoner i CCS-verdikjeden*. https://gassnova.no/app/uploads/sites/6/2025/06/NO_Endelig_Ekstern-rapport-Kostnader.pdf



Global CCS Institute (2025). *Global status of CCS 2025: Staying the course*.
<https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2025/10/Global-Status-of-CCS-2025-report-9-October.pdf>

Global Wind Energy Council (2026). *Global Offshore Wind Report 2026*.
<https://www.gwec.net/reports/globaloffshorewindreport>

Havindustritilsynet (2026a). *Havbunnsmineraler: Utvikling av kunnskap og oppfølging av risikobildet*. <https://www.havtil.no/utforsk-fagstoff/fagstoff/prosjektrapporter/2026/havbunnsmineraler-utvikling-av-kunnskap-om-omradeforhold/>

Havindustritilsynet (2026b). *Fagdag om plugging og forlating av brønner 2026*.
https://events.havtil.no/no/plugging_forlating_2026?kurs_id=1151889598699

Havindustritilsynet (2026c). *RNNP hovedrapport 2025: Risikonivå i norsk petroleumsvirksomhet*. <https://www.havtil.no/globalassets/rnnp/2025/rnnp-2025-hovedrapport-rev.pdf>

Høyesterett (2021). *HR-2021-1975-S Fosen (Storheia og Roan vindkraftverk)*. Norges Høyesterett. <https://www.domstol.no/globalassets/upload/hret/avgjorelser/2021/oktober-2021/hr-2021-1975-s.pdf>

Innovasjon Norge (2026). *På lag med næringslivet i 2025*.
<https://www.innovasjon norge.no/nyhetsartikkel/pa-lag-med-naeringslivet-i-2025>

International Energy Agency (2023a). *The Role of E-fuels in Decarbonising Transport*. IEA.
<https://www.iea.org/reports/the-role-of-e-fuels-in-decarbonising-transport>

International Energy Agency (2023b). *Net Zero Roadmap*. A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach. https://iea.blob.core.windows.net/assets/8ad619b9-17aa-473d-8a2f-4b90846f5c19/NetZeroRoadmap_AGlobalPathwaytoKeepthe1.5CGoalinReach-2023Update.pdf

International Energy Agency (2024a). *Energy Technology Perspectives 2024*. IEA.

International Energy Agency (2024b). *The Future of Geothermal Energy*.
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/b5b73936-ee21-4e38-843b-8ba7430fbe92/TheFutureofGeothermal.pdf>

International Energy Agency (2025a). *The Value of Demand Flexibility*. Benefits beyond balancing. <https://www.iea.org/reports/the-value-of-demand-flexibility>

International Energy Agency (2025b). *Energy Efficiency 2025*.
<https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2025>

International Energy Agency (2025c). *Global critical minerals outlook 2025*.

International Energy Agency (2026a). *Energy Technology Perspectives 2026*.
<https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2026>

International Energy Agency (2026b). *Critical minerals review of Norway 2026*.
<https://www.iea.org/reports/critical-minerals-review-of-norway-2026>



International Energy Agency (2026c). *Global Hydrogen Review 2026*.
<https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2026>

International Energy Agency (2026d). *Key Questions on Energy and AI*. World Energy Outlook Special Report. <https://www.iea.org/reports/key-questions-on-energy-and-ai>

International Maritime Organization (2025). *IMO net-zero shipping talks to resume in 2026*. IMO. <https://www.imo.org/en/mediacentre/pressbriefings/pages/imo-net-zero-shipping-talks-to-resume-in-2026.aspx>

International Renewable Energy Agency (2026a). *Renewable power generation costs in 2025*. Executive summary. IRENA. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2026/Jul/IRENA_TEC_RPGC_2025_Executive_summary_2026.pdf

International Renewable Energy Agency (2026b). *Renewable capacity highlights (31. mars 2026)*. IRENA. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2026/Mar/IRENA_DAT_RE_capacity_highlights_2026.pdf

ITER Organization (2024). *New baseline to prioritize robust start to exploitation*. <https://www.iter.org/node/20687/new-baseline-prioritize-robust-start-exploitation>

Klima- og miljødepartementet (2024). *Meld. St. 35 (2023–2024) Bærekraftig bruk og bevaring av natur – Norsk handlingsplan for naturmangfold*. Regjeringen.no. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-35-20232024/id3055215/>

Klima- og miljødepartementet (2025). *Meld. St. 25 (2024–2025) Klimamelding 2035 – på vei mot lavutslippssamfunnet*. Regjeringen.no. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-25-20242025/id3095592/>

Kommunal- og distriktsdepartementet (2025). *Statlige planretningslinjer for arealbruk og mobilitet (FOR-2025-01-24-69)*. Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2025-01-24-69>

KonKraft (2026a). *Framtidens energinæring på norsk sokkel*. Klimastrategi mot 2030 og 2050. Statusrapport 2026. <https://www.konkraft.no/contentassets/3ffe9801bdfb446faad98687aa648a0e/statusrapport-konkraft-endelig-versjon.pdf>

KonKraft (2026b). *Utsikt: Norsk sokkel mot 2050*. Offshore Norge. <https://www.offshorenorge.no/faginnhold/rapporter/naringspolitikk/utsikt-norsk-sokkel-mot-2050/>

Kunnskapsdepartementet (2021). Prop. 175 S (2020–2021): Samtykke til deltakelse i en beslutning i EØS-komiteen om innlemmelse i EØS-avtalen av en forordning om opprettelse av og regler for deltakelse og formidling fra Horisont Europa – rammeprogrammet for forskning og innovasjon (2021–2027) og endringer i statsbudsjettet 2021 under Kunnskapsdepartementet. <https://www.regjeringen.no/contentassets/6bab04dbed56414bacc2ddbd80375bf4/no/pdfs/prp202020210175000dddpdfs.pdf>

Kystverket (2025). *Status 2025*. <https://www.kystverket.no/globalassets/om-kystverket/sentrale-dokumenter/rapporter/status/status-20252.pdf>



Mareano (2026). *Om Mareano*. <https://www.mareano.no/>

Menon Economics (2023). *Kapitaltilgang for grønne teknologiskaper i Norge*. <https://files.nettsteder.regjeringen.no/wpuploads01/sites/482/2022/03/Vedlegg-1-Menonrapport-kapitaltilgang-klimateknologi.pdf>

Menon Economics (2025a). *Kapitaltilgang norsk klimateknologi og offentlig tilførsel av risikokapital i tidligfase*. Menon Economics og Nysnø Klimainvesteringer. <https://menon.no/uploads/images/2024-35-Kapitaltilgang-for-norsk-klimateknologi.pdf>

Menon Economics (2025b). *Syssettings-, verdiskapings- og skatteeffekter av petroleumsvirksomheten i norsk økonomi*. <https://menon.no/uploads/images/2025-8-Syssettings-verdiskapings-og-skatteeffekter-av-petroleumsvirksomheten-i-norsk-%C3%B8konomi.pdf>

Menon Economics (2026). *Maritim verdiskapingsrapport 2026*. Menon-publikasjon nr. 1/2026. Maritimt Forum. <https://static1.squarespace.com/static/64354f7d51d8e47d995127a1/t/698342392686e421c2f8c296/1770209849057/2026-01+Maritim+verdiskapingsrapport+2026.pdf>

Menon Economics & Nysnø Klimainvesteringer (2024). *Kapital til klimateknologi: Investeringsbehov, kapitalgap og virkemidler for grønn industriell skalering*. Menon Economics og Nysnø Klimainvesteringer.

Miljødirektoratet (2025a). *Klimatiltak i Norge: Kunnskapsgrunnlag 2025*. <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2025/januar-2025/klimatiltak-i-norge-kunnskapsgrunnlag-2025/>

Miljødirektoratet (2025b). *Biodrivstoff: Auka omsetningskrav for 2026 og 2027*. <https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/fagmeldinger/2025/juli-2025/biodrivstoff-auka-omsetningskrav-for-2026-og-2027/>

Miljødirektoratet (2026a). *Klimatiltak i Norge 2026: Veivalg og utslippsbaner mot 2050*. <https://www.miljodirektoratet.no/publikasjoner/2026/februar-2026/klimatiltak-i-norge-2026/>

Miljødirektoratet (2026b). *Biodrivstoffet i Norge er fra 85 land – Kina størst*. <https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/fagmeldinger/2026/juni-2026/biodrivstoffet-i-norge-er-fra-85-land-kina-storst>

Miljødirektoratet (2026c). *Omsetningskravet i luftfart*. Miljødirektoratet. Hentet 08.09.2026 fra. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/transport/omsetningskrav-for-biodrivstoff/omsetningskravet-i-luftfart/>

Multiconsult, Vista Analyse, & Universitetet i Stavanger (2025). *Kartlegging av de norske energinæringene 2024*. Næringene for petroleum, fornybar energi, hydrogen og karbonfangst og -lagring. Energidepartementet. <https://www.regjeringen.no/contentassets/548959def8dc4c29b70e21678a78e66a/utredning-energinaringen-2024-10122025.pdf>

Nordsjølandenes energiministre (2026). *The Hamburg Declaration of Energy Ministers*. Nordsjøtoppmøtet. https://www.regjeringen.no/contentassets/9c304ebd37884d19ad932685fac73aa8/1_hamburg-declaration-of-energy-ministers-8.pdf



Norges forskningsråd (2025a). *Verdien av forskning og innovasjon: Samfunnsøkonomiske gevinster av utvalgte prosjekter innen miljøvennlig energi.*

<https://www.forskningsradet.no/forskningspolitikk-strategi/ltp/vi-mener/energiforskning-positive-effekter-samfunnsmessig-lonnsom/>

Norges forskningsråd (2025b). *Porteføljeanalyse 2025: Energi og transport.*

Norges forskningsråd (2025c). *416 millioner til energiforskning.*

<https://www.forskningsradet.no/nyheter/2025/416-millioner-til-energiforskning/>

Norges forskningsråd (2025d). *Norske forskingsmiljø gjør det framleis bra i Horisont Europa.*

<https://www.forskningsradet.no/nyheter/2025/norske-forskningsmiljo-gjer-det-framleis-bra-i-horisont-europa/>

Norges forskningsråd (2025e). *271 millioner kroner til energi- og petroleumsforskning i næringslivet.*

<https://www.forskningsradet.no/nyheter/2025/271-millioner-kroner-til-energi--og-petroleumsforskning-i-naringslivet/>

Norges forskningsråd (2025f). *Norge får åtte nye forskningssentre for innovasjon.*

<https://www.forskningsradet.no/nyheter/2025/nye-forskningsssentre-innovasjon/>

Norges forskningsråd (2026a). <https://www.forskningsradet.no/>

Norges forskningsråd (2026b). *Investeringsplan 2026–2028. Portefølje for energi og transport.* <https://www.forskningsradet.no/siteassets/portefoljer/energi-og-transport/ps-energi-transport-vedtatt-investeringsplan-2026-2028-endelig-versjon-januar-2026.pdf>

Norges vassdrags- og energidirektorat (2020). *Hva er egentlig potensialet for opprusting og utvidelse av norske vannkraftverk? NVE Fakta nr. 6/2020.* NVE.

https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2020/faktaark2020_06.pdf

Norges vassdrags- og energidirektorat (2023a). *Hvor stor andel av vannkraften i Norge er fleksibel? NVE Fakta nr. 1/2023.* NVE.

https://publikasjoner.nve.no/fakta/2023/fakta2023_01.pdf

Norges vassdrags- og energidirektorat (2023b). *Norsk damsikkerhetsarbeid.* NVE.

<https://www.nve.no/energi/tilsyn/damsikkerhet/norsk-damsikkerhetsarbeid/>

Norges vassdrags- og energidirektorat (2025a). *Energibruksrapporten 2025 (Rapport 28/2025).* NVE. https://publikasjoner.nve.no/rapport/2025/rapport2025_28.pdf

Norges vassdrags- og energidirektorat (2025b). *Spørsmål og svar om vindkraft.* NVE.

<https://www.nve.no/konsesjon/konsesjonsbehandling-av-vindkraft-paa-land/spoersmaal-og-svar-om-vindkraft/>

Norges vassdrags- og energidirektorat (2025c). *Langsiktig kraftmarkedsanalyse 2025.*

Energiomstilling i urolige tider (Rapport 15/2025). NVE.

https://publikasjoner.nve.no/rapport/2025/rapport2025_15.pdf

Norges vassdrags- og energidirektorat (2025d). *Strategisk konsekvensutredning av vindkraft til havs – del 2.* NVE. <https://veiledere.nve.no/havvind/strategisk-konsekvensutredning-av-vindkraft-til-havs-del-2/sammendrag/>



Norges vassdrags- og energidirektorat (2025e). *Turbinopprustinger kan øke produksjonen i norske vannkraftverk*. NVE Fakta nr. 3/2025. NVE.

https://publikasjoner.nve.no/fakta/2025/fakta2025_03.pdf

Norges vassdrags- og energidirektorat (2025f). *Trusselbildet for kraftforsyningen (Ekstern rapport nr. 3/2025)*. NVE.

https://publikasjoner.nve.no/eksternrapport/2025/eksternrapport2025_03.pdf

Norges vassdrags- og energidirektorat (2026a). *Status - kraftproduksjon, konsesjon og detaljplaner*. NVE. <https://www.nve.no/energi/analyser-og-statistikk/status-kraftproduksjon-konsesjon-og-detaljplaner/>

Norges vassdrags- og energidirektorat (2026b). *Status og utvikling i kraftsystemet 2025–2030*. Rapport nr. 17/2026. NVE.

https://publikasjoner.nve.no/rapport/2026/rapport2026_17.pdf

Norges vassdrags- og energidirektorat (2026c). *Energibruk i bygg*. NVE.

<https://www.nve.no/energi/energisystem/energibruk/energibruk-i-bygg/>

Norges vassdrags- og energidirektorat (2026d). *Dette er Norgespris*. NVE.

<https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/kunde/stroem/dette-er-norgespris/>

Norges vassdrags- og energidirektorat (2026e). *Kraftproduksjon*. NVE.

<https://www.nve.no/energi/energisystem/kraftproduksjon/>

Norges vassdrags- og energidirektorat (2026f). *Oversikt over vannkraft*. NVE.

<https://www.nve.no/energi/energisystem/vannkraft/oversikt-over-vannkraft/>

Norges vassdrags- og energidirektorat (2026g). *Årsrapport for NVE 2025*. Rapport nr.

14/2026. NVE. https://www.nve.no/media/19980/rapport2026_14.pdf

Norges vassdrags- og energidirektorat (2026h). *Batterier i kraftmarkedet (Fakta nr. 03/2026)*.

NVE. https://publikasjoner.nve.no/fakta/2026/fakta2026_03.pdf

Norges vassdrags- og energidirektorat (2026i). *Batterier – utvikling i teknologi og kostnader*

(Fakta nr. 02/2026). NVE. https://publikasjoner.nve.no/fakta/2026/fakta2026_02.pdf

Norsk Industri & Nasjonalt kompetansesenter for havvind (2026). *LeverandørKRAFT*.

Hvordan bør leverandørindustrien for havvind utvikles for å øke norsk konkurransekraft og verdiskaping? Norsk Industri. <https://havvind.no/no/rapporter/leverandorkraft>

Norsk medborgerpanel / SANE-Clim (2025). *Holdninger til fornybar energi [måling]*.

Universitetet i Bergen & NORCE.

Norsk Varmepumpeforening (2025). *Norge på europa toppen i antall varmepumper per*

husstand. <https://www.novap.no/artikler/norge-pa-europatoppen-i-antall-varmepumper-per-husstand>

Norskpetroleum.no (2026a). *Eksportverdier og volumer av norsk olje og gass*.

Energidepartementet og Sjøkeldirektoratet. <https://www.norskpetroleum.no/produksjon-og-eksport/eksport-av-olje-og-gass/>

Norskpetroleum.no (2026b). *Statens inntekter*. Energidepartementet og Sjøkeldirektoratet.

<https://www.norskpetroleum.no/okonomi/statens-inntekter/>



Norskpetroleum.no (2026c). *Forskning og teknologi*. <https://www.norskpetroleum.no/>

Northern Lights JV (2026). *Northern Lights Phase 2: Expanding Europe's CO₂ Storage Capacity*. <https://norlights.com/news/northern-lights-phase-2-expanding-europes-co%E2%82%82-storage-capacity/>

NOU 2026: 4 (2026). *Kjernekraft i Norge? Fordeler, ulemper og forutsetninger*. Energidepartementet. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2026-4/id3155361/>

Nærings- og fiskeridepartementet (2023). *Veikart 2.0: Grønt industriløft*. https://www.regjeringen.no/contentassets/b5a51f3220474b3197ea21feb260f5b3/no/pdfs/veikart-2_0-gront-industriloft.pdf

Nærings- og fiskeridepartementet & Energidepartementet (2025). *Et hav av muligheter*. Strategi for leverandørindustrien til havvind. Nærings- og fiskeridepartementet. https://www.regjeringen.no/globalassets/departementene/ed/2025/pdf/strategi-for-leverandorindustrien-til-havvind_v5.pdf

Næringslivets Hovedorganisasjon (2025). *Norsk konkurransekraft – veien til vekst*. Norges «Draghi-rapport». https://www.nho.no/contentassets/5208f621a625424690e4dd2b366f1501/nho_-_norsk_skrivebordsversjon_konkurransekraft-veien_til_vekst_070825_finale_oppslag-1.pdf

OECD (2023). *Financing climate tech innovation: How public policy can mobilise private capital for clean energy technologies*. OECD Publishing.

Offshore Norge og Econ Intel (2026). *Europas energikvadrilemma: Energisikkerhet i en ny tid*. <https://www.offshorenorge.no/contentassets/0bddd1dbfb94b8881833e96acd64593/europas-kvadrilemma---energisikkerhet-i-en-ny-tid.pdf>

OG21 (2021). *OG21 strategy: A new chapter*. https://www.og21.no/siteassets/figurer-og21-strategi-2021/og21-strategi_eng.pdf

Olje- og energidepartementet (2021). Meld. St. 36 (2020–2021). *Energi til arbeid: Langsiktig verdiskaping fra norske energiresurser*. Regjeringen. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-36-20202021/id2860081/>

Olje- og energidepartementet (2023a). Meld. St. 25 (2022–2023) *Mineralverksemd på norsk kontinentalsokkel: Opning av areal og strategi for forvaltning av ressursane*. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-25-20222023/id2985856/>

Olje- og energidepartementet (2023b). *Handlingsplan for energieffektivisering i alle deler av norsk økonomi*. <https://www.regjeringen.no/contentassets/76641946084c49e9910bf60cd7df5dd3/no/pdfs/handlingsplan-for-energieffektivisering.pdf>

Opplysningsrådet for veitrafikken (2026). *2025 ble tidenes rekordår for bilsalget*. <https://ofv.no/aktuelt/2026/2025-ble-tidenes-rekord%C3%A5r-for-bilsalget>

Oslo Economics & SINTEF (2022). *Industrien: Etterspørsel etter kraft, beslutningsfaktorer og energieffektivisering*. Oslo Economics. <https://www.regjeringen.no/contentassets/5f15f6caee3143d1bf9cade7da6afe6e/no/sved/vedlegg3.pdf>



OSPAR Commission (2021). *OSPAR technical report on current understanding of deep seabed mining resources*. <https://www.fao.org/fishery/openasfa/70b2642b-ae58-43e1-881e-c193acd848f0/en>

Politiets sikkerhetstjeneste (2026). *Nasjonal trusselvurdering 2026*. PST. <https://www.pst.no/wp-content/uploads/2026/02/Nasjonal-trusselvurdering-2026.pdf>

Prosess21 & Forskningsrådet (2026). *Kritiske og strategiske råmaterialer i Norge – posisjoner og potensialer*. Nærings- og fiskeridepartementet. <https://www.regjeringen.no/contentassets/6d960e5acc6048baa76b4ed676af813b/260803-prosess21-kritiske-ramaterialer-rapport-m-forside.pdf>

Quaranta, E., Georgakaki, A., Letout, S., Mountraki, A., Ince, E., Gea Bermúdez, J., & Schmitz, A. (2025). *Clean Energy Technology Observatory: Hydropower and pumped storage hydropower in the European Union – 2025 status report on technology development, trends, value chains and markets*. Publications Office of the European Union. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC143929>

Regjeringen (2024). *The government proposes to increase the allocation for resource and environmental mapping of seabed minerals*. <https://www.regjeringen.no/en/whats-new/the-government-proposes-to-increase-the-allocation-for-resource-and-environmental-mapping-of-seabed-minerals/id3056424/>

Regjeringen (2025). *Kunnskapssamarbeid med EU*. <https://www.regjeringen.no/no/tema/utdanning/innsikt/internasjonalt-kunnskapssamarbeid/eu-samarbeid/id3120149/>

Samferdselsdepartementet (2025). *Høring – forslag til endringer i lov om luftfart – hjemler for gjennomføring av ReFuelEU Aviation-forordningen – og ny generell gebyrbestemmelse*. <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/horing-forslag-til-endringer-i-lov-om-luftfart-hjemler-for-gjennomforing-av-refueleu-aviation-forordningen-og-ny-generell-gebyrbestemmelse/id3139322/>

Sanner, B., Antics, M., Baresi, M., Urchueguía, J. F., & Dumas, P. (2025). *Summary of EGC 2025 country update reports on geothermal energy in Europe*. European Geothermal Congress 2025. https://europeangeothermalcongress.eu/wp-content/uploads/2025/11/00-CUR-Summary-EGC-2025_compressed.pdf

SINTEF (2025). *An overview of battery research and industry in Norway*. https://www.sintef.no/globalassets/strategiske-konsernsatsinger/batteri/sintef_rapport_aug25_web.pdf

Siva (2026). *Om Siva*. <https://siva.no/>

Sjøfartsdirektoratet (2026). *Further delay to FuelEU Maritime*. <https://www.sdir.no/en/news/further-delay-to-fueleu-maritime/>

Sokkeldirektoratet (2023). *Ressursvurdering: Havbunnsmineraler*. <https://www.sodir.no/48fdfa/globalassets/1-sodir/fakta/havbunnsmineraler/publikasjoner/2023/ressursvurdering-havbunnsmineraler-20230127.pdf>

Sokkeldirektoratet (2024a). *CO2 atlas for the Norwegian Continental Shelf*. <https://www.sodir.no/aktuelt/publikasjoner/atlas/>



Sokkeldirektoratet (2024b). *Ressursrapport 2024*.
<https://www.sodir.no/aktuelt/publikasjoner/rapporter/ressursrapporter/ressursrapport-2024/>

Sokkeldirektoratet (2026a). *Ressursrapport 2026*.
<https://www.sodir.no/aktuelt/publikasjoner/rapporter/ressursrapporter/ressursrapport-2026/>

Sokkeldirektoratet (2026b). *Sokkelåret 2025*.
<https://www.sodir.no/aktuelt/publikasjoner/rapporter/sokkelaret/sokkelaret-2025/>

SolarPower Europe (2025). *EU Solar Market Outlook 2025–2030*.
<https://www.solarpowereurope.org/insights/outlooks/eu-solar-market-outlook-2025-2030/detail>

Statistisk sentralbyrå (2026a). *Utslipp til luft*. <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/forurensning-og-klima/statistikk/utslipp-til-luft>

Statistisk sentralbyrå (2026b). *Høyeste strømproduksjon noensinne*. SSB.
<https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/elektrisitet/artikler/hoyeste-stromproduksjon-noensinne>

Statistisk sentralbyrå (2026c). *Fakta om olje og energi*. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/faktaside/olje-og-energi>

Statistisk sentralbyrå (2026d). *Produksjon og forbruk av energi, energibalanse og energiregnskap*. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/energi/statistikk/produksjon-og-forbruk-av-energi-energibalanse-og-energiregnskap>

Statnett (2024). *Successful go-live of the Nordic Flow-based Market Coupling project*.
<https://www.statnett.no/en/about-statnett/news-and-press-releases/news-archive-2024/successful-go-live-of-the-nordic-flow-based-market-coupling-project/>

Statnett (2025). *Langsiktig markedsanalyse 2024–2050*.
<https://www.statnett.no/globalassets/for-aktorer-i-kraftsystemet/planer-og-analyser/lma/langsiktig-markedsanalyse-2024-50.pdf>

Statnett (2026). *Stegvis åpning for små aggregerte ressurser i reservemarkedene*.
<https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/nyhetsarkiv/stegvis-apning-for-sma-aggregerte-ressurser-i-reservemarkedene/>

Statsministerens kontor (2026). *Statsministerens innledning på pressekonferanse om raskere utbygging av kraft og strømnett*. Regjeringen.no.
<https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/statsministerens-innledning-pa-pressekonferanse-om-raskere-utbygging-av-kraft-og-stromnett/id3169870/>

Stortinget (2023). *Lovvedtak 120 (2022–2023)*. Vedtak til lov om endringer i energiloven og plan- og bygningsloven (vindkraft på land). <https://www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Vedtak/Beslutninger/Lovvedtak/2022-2023/vedtak-202223-120/>

Stortinget (2026a). *Sak 200165*. Representantforslag om ekstern kvalitetssikring av støtteprogrammet for flytende havvind, vedtatt 9. juni 2026 (Dokument 8:213 S (2025–2026)). <https://www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Saker/Sak/?p=200165>



Stortinget (2026b). *Lovvedtak 42 (2025–2026)*. Endringer i energiloven (utnyttelse av overskuddsvarme og krav til automatiske styringssystemer).

<https://www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Saker/Sak/?p=200132>

Søgaard, G., Mathiesen, H. F., Bjørkelo, K., Eriksen, R., Hobrak, K. T., Mohr, C. W., & Smith, A. (2021). *Arealbruksendring til utbygd areal*. Faktagrunnlag for vurdering av avgift på utslipp fra arealbruksendring – rapporterte utslipp og mulige kartgrunnlag (NIBIO-rapport 7(164)). Norsk institutt for bioøkonomi.

<https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/handle/11250/2825197>

THEMA Consulting Group (2025a). *Energiomstilling i en ny geopolitisk virkelighet*.

Omverdensanalyse 2025. Energi2050.

<https://www.forskningsradet.no/globalassets/satellitt/energi2050/omverdensanalyse-e2050-til-publisering.pdf>

THEMA Consulting Group (2025b). *Nytten av vedfyring i energisystemet*. Norsk Varme.

<https://norskvarme.org/wp-content/uploads/2025/07/THEMA-rapport-18032025-Nytten-av-vedfyring-i-energisystemet.pdf>

Tomasgard, A., Hansen, G. H., & Asbjørnslett, B. E. (red.) (2026). *Sustainable large-scale manufacturing of offshore wind*. NTNU, SINTEF & FME NorthWind.

<https://www.ntnu.no/energi/rapporter>

Transportøkonomisk institutt (2025). *Fly til lavutslippssamfunnet*. Kunnskapsgrunnlag om klimavennlig luftfart i Norge, rev. 1 (TØI-rapport 2073/2025).

<https://www.toi.no/publikasjoner/fly-til-lavutslippssamfunnet-kunnskapsgrunnlag-om-klimavennlig-luftfart-i-norge-rev-1>

Walgern, J., Stratmann, N., Horn, M., Then, N. W. Y., Menzel, M., Anderson, F., Kolios, A., & Fischer, K. (2026). *Reliability and O&M key performance indicators of onshore and offshore wind turbines based on field-data analysis*. Wind Energy Science, 11, 1553–1568.

<https://doi.org/10.5194/wes-11-1553-2026>

World Intellectual Property Organization & International Renewable Energy Agency (2026). *Patent Landscape Report: Decarbonizing Heavy-Duty Road Transport*. World Intellectual Property Organization.

https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2026/May/WIPO_IRENA_TEC_Patent_Landscape_HDR_transport_2026.pdf

Zou, M., Zhou, B., Wang, B., Chen, J., & Luo, H. (2026). *Airborne wind energy systems: Technological advances and engineering challenges*. Carbon Neutral Technologies, 2, 100018.

<https://doi.org/10.1016/j.cnt.2026.100018>

Energi2050
Besøksadresse: Drammensveien 288
Postboks 564
1327 Lysaker

Telefon: 22 03 70 00
Telefaks: 22 03 70 01

sekretariat@energi2050.forskningsradet.no
<https://www.forskningsradet.no/energi-2050/>

Publikasjonen kan lastes ned fra
<https://www.forskningsradet.no/energi-2050/>

Design: ANTI
Foto/ill. omslagsside: xxx

ISBN 978-82-12-fyll ut (xxxxx-x) (trykksak)
ISBN 978-82-12- fyll ut (xxxxx-x) (pdf)

