

Tabell 1: Veikart for forskning, innovasjon og utdanning frem mot 2050 for industrialiseringen og realisering av helhetlige, bærekraftige verdikjeder for havvind i Norge. Tidsaksen angir når hvert enkelt tema må være ferdig utviklet.

| | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 |
|--|--|--|---|---|
| Utdanning og internasjonalt samarbeid | <ul style="list-style-type: none"> Nasjonal plan for oppskalering av utdanningssystemet Etablert European Centre of Excellence på havvind forskning, utdanning og innovasjon med norske aktører i ledende posisjoner | <ul style="list-style-type: none"> Helhetlig utdanningstilbud – innen alle relevante fagdisipliner Kompetansekrav for arbeid med havvind på norsk sokkel | <ul style="list-style-type: none"> Tilstrekkelig utdanningskapasitet for master, bachelor og yrkesfag som dekker utbygging, drift og eksport | <ul style="list-style-type: none"> Solid utdanningssystem som sikrer rekruttering til hele verdikjeden |
| Digitale løsninger | <ul style="list-style-type: none"> Digital referansearkitektur for utveksling av data Sensordata tilkoblet cyber-fysisk system | <ul style="list-style-type: none"> Tilstandsovervåking koblet med digital tvilling Digitalt beslutningsstøtteverktøy med KI for planlegging, bygging og drift System som ivaretar cybersikkerhet | <ul style="list-style-type: none"> Digitale tvillinger med prediktive egenskaper og KI for komponenter, enheter og felt Optimalisert styring og regulering av vindpark Modeller for sanntidssimulering av interaksjon mellom vindfelt, vindpark, og nett | <ul style="list-style-type: none"> Digitale tvillinger med anbefalende & autonome egenskaper basert på KI, ML, ROM og HAM |
| Marine operasjoner, D&V | <ul style="list-style-type: none"> Prosedyrer for innsamling og analyse av data for prediktivt vedlikehold. Værvinduer for marine operasjoner basert på bevegelser og krefter (i stedet for bølgehøyde) | <ul style="list-style-type: none"> Overføringssystem for personell og utstyr for høy sjø. Drone & ROV metoder for inspeksjon og lett vedlikehold Modeller for vedlikeholdsoptimering Modeller og teknologi for sikre og effektive marine operasjoner | <ul style="list-style-type: none"> Nullutslippsfartøy for personell og utstyr Prediktive vedlikeholdssystemer In-situ teknologi for tungt vedlikehold av flytende turbiner Effektive installasjons- og dekommisjoneringsprosesser | <ul style="list-style-type: none"> Robotisert teknikker for tyngre vedlikehold Autonome systemer for inspeksjon, tilstandsovervåking, reparasjon og vedlikehold |

| | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 |
|--|---|--|--|---|
| Havvind- teknologi | <ul style="list-style-type: none"> • Metoder og design for resirkulering og oppskalering • Automatisert serieproduksjon av bunnfast havvindteknologi | <ul style="list-style-type: none"> • Undervanns koblingsstasjoner og våte høyspentkoblere for 145kV • Metoder for resirkulering av kritiske råvarer • Effektiv og miljøvennlig fabrikasjon, transport og installasjon • Materialteknologi for bærekraftig produksjon og distribusjon. • Metoder og standarder for levetidsforlengelse av monopæl, jacket og betongunderstell • Multifysikk og multiskala simuleringsverktøy for design havvindparker | <ul style="list-style-type: none"> • Automatisert serieproduksjon av flytende havvindteknologi • Havvindblader laget av 100 % resirkulerte materialer • Flytende HVDC stasjon • HVDC-effektbrytere $\geq 275kV$ • Nye forankringssystem for flytende havvind • Nye kabelsystem for flytende havvind • Holistisk simulerings- og designverktøy for utvikling og realisering av havvindparker • Integrasjon av havvind med energilager og power to x • Avanserte reguleringssystem for optimering av drift | <ul style="list-style-type: none"> • Sirkulære verdikjeder for materialer i alle deler av systemet • Subsea HVDC omformerstasjoner med våte koblere for kabler • Dynamiske eksportkabler $\geq 275kV$ |
| Bærekraft, miljødesign og sambruk | <ul style="list-style-type: none"> • Kriterier for naturpositivt design i anbudskriterier • Retningslinjer for sameksistens med natur, lokalsamfunn og andre næringer • Retningslinjer for vurdering av samfunnseffekter på lokalt og nasjonalt nivå | <ul style="list-style-type: none"> • Standard for metoder/sensorer/teknologier miljøovervåking • Standarder for innsamling av samfunnsdata • Standard for livsløpsanalyse av vindparker | <ul style="list-style-type: none"> • Beste-praksis for helhetlig miljøkonsekvensutredning. • Kompensasjonsmekanismer : Standard for å gjøre analyser av og mekanismer for kompensasjon (natur, samfunn, og økonomi) | <ul style="list-style-type: none"> • Naturpositive vindparker i drift. • Helhetlig design av vindparker hensyntatt teknologi, natur, samfunn og økonomi |
| Marked, regulering og juss | <ul style="list-style-type: none"> • Juridiske rammebetingelser for havvind til olje og gass • Rettslig regulering av innsamling og deling av data fra | <ul style="list-style-type: none"> • Harmonisert forvaltningssystem • Skattesystem for havvind | <ul style="list-style-type: none"> • Forvaltningsmodell for integrerte energiinfrastrukturprosjekter | <ul style="list-style-type: none"> • Nytt design av kraftmarked som ivaretar effektiv utvikling og drift av fremtidens energisystem med store mengder havvind |

| | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 |
|------------------------------|---|---|---|---|
| | havvindparker og omkringliggende miljø • Effektivisert finansierings og konsesjonsregelverk • Markedsdesign som stimulerer leveranser av systemtjenester og reduserer behovet for balansering | • Rettslig regulering av sameksistens • Modell for overvåkning av konsesjonsvilkår mht miljødesign og sambruk • Markedsdesign analysemodeller for utvikling og drift av fremtidens energisystem med store mengder havvind og andre fornybare energikilder | • Regelverk for avvikling av havvindparker • Analyse av nordsjønett med felles-europeisk energimarked for deling av kostnader og inntekter | og andre fornybare energikilder |
| Storskala integrasjon | • Helhetlig planlegging av nett til havs og på land som ett kraftsystem. | • Avanserte Simuleringsmodeller for et masket kraftsystem med mye havvind , bla optimering, forsyningssikkerhet, stabilitet og interaksjoner. • Kritisk kompetanse på omformerdominerte kraftsystem er oppnådd. • Effektive systemtjenester for å ivareta balansering og stabilitet i kraftsystemet er utviklet. • Driftssentralsystemer og digitale verktøy for simulering og drift av hybride forbindelser og masket havnett. • Teknologi for kombinerte vind-hydrogenanlegg | • Tilstrekkelig fleksibilitet for balansering og stabil drift av kraftsystemet er utviklet, og tilgjengelig gjennom fungerende markeder og digitale løsninger. • Kompetanse og teknologi for effektiv integrasjon av havvind med landbaserte kraftsystem. • Pilotert interoperabilitet fra ulike leverandører til et masket HVDC-nett til havs, samt standardiserte digitale løsninger for et interoperatibelt energisystem. • Vindparker som gir systemstøtte , med nøyaktig prediksjon av produksjon, og VSM-egenskaper • Modeller for optimering av elkraft og hydrogen transmisjon | • Fullt operativt, integrert, forsyningssikkert havnett og landnett. • Løsninger for integrasjon med lagrings- og produksjons- og overføringsteknologier. • Effektivt samspill med energiøyer og andre knutepunkt. |