

# Anbefalinger på vej mod et klimaneutralt energisystem

Annual Agenda  
Forskning & Innovation

2024



Danish Alliance  
For Renewables

# Megavind skifter navn og udvider sit mandat



## **Per Hessellund Lauritsen,**

Offshore Research Manager

i Siemens Gamesa Renewable Energy og formand for Danish Alliance for Renewables (DAFRE)

**Fremover er det Danish Alliance for Renewables, der leverer de fagligt funderede anbefalinger om forskning, udvikling, test, demonstration og uddannelse, som Megavind hidtil har bidraget med til gavn for den samlede energibranche.**

Forskning, udvikling, test, demonstration og uddannelse står helt centralt for udviklingen af et klimaneutralt samfund i løbet af de næste 20 år. Netop disse emner har Danish Alliance for Renewables (DAFRE) derfor fuldt fokus på.

Alliancen bygger videre på de erfaringer og den ekspertise, Megavind har opbygget gennem de seneste årtier. Nu udvides mandatet, så vi fra primært at beskæftige os med vindenergi omfavner det samlede energisystem, der tilsammen skaber den grønne omstilling i Danmark, i Europa og i verden.

Vores erkendelse er, at for at Danmark kan leve op til klimamålene for 2030 og frem mod 2045 via danske styrkepositioner, særligt på vedvarende energi, er der brug for at tænke på tværs: Med sektorintegration. I samlede energiløsninger.

DAFRE's formål er bl.a. at give troværdige råd og fagligt funderet vejledning inden for forskning og udvikling til det politisk-administrative system, så de offentlige forskningskroner bliver brugt optimalt.

### **'Triple helix' når det er bedst**

Udviklingen på de globale markeder kræver, at vi i Danmark stadig fokuserer på vores styrkepositioner inden for nøgleteknologier og det unikke samspil mellem vidensinstitutioner, industri og myndigheder.

Vi kan noget helt specielt i Danmark: At sætte strategisk retning på tværs af industrien i tæt samarbejde med vidensinstitutioner og i samspil med myndighederne. 'Triple helix' når det er bedst!

Derfor har vi i Danmark bl.a. verdens bedste prototype-testcenter for vindmøller i Østerild, hvilket har skabt et unikt konkurrencemæssigt ståsted for industrien og fastholdt produktion i Danmark i en tid, hvor kampen er intensiveret globalt.

### Nødvendigt med højt F&U-niveau

I denne publikation fremlægger vi vores bud på, hvad der skal for at skabe et klimaneutralt samfund hurtigst muligt. 'Kapacitetsudbygning', 'bæredygtighed' og 'systemoptimering' er tre af nøgleordene.

Aktuelt er vi i DAFRE ved at udbygge vores netværk af ekspertpartnerskaber, så vi i tæt samarbejde med Green Power Denmark kan inspirere til en fortsat udvikling af nøgleteknologier og kompetencer.

For DAFRE er det afgørende, at Danmark fastholder et højt niveau med minimum én procent af BNP – uden modregning af EU-midler – afsat til forskning og udvikling, så det effektive samarbejde kan fortsætte med at holde Danmark i det teknologiske førersæde.

For DAFRE er det nødvendigt, at Danmark tør vælge – og vælge fra. Vi har allerede mange F&U-puljer og skal næppe strø midler udover flere. Regering og folketing skal sætte retning og sikre fremdrift. Vi har ikke tid og råd til at udvikle en masse konkurrerende teknologier samtidig, for vi SKAL nå vores klimamål for 2030 og 2045.

For energibranchen er det vigtigt, at offentlige støttemidler også tilfalder teknologiudvikling forholdsvis tæt på markedet. Altså udviklings- og demonstrationsprojekter på et højt 'technology readiness level (TRL)' eller projekter, der bidrager til en yderligere effektivisering og opskalering af eksisterende teknologier. EUDP er central som skaber af merværdi for samfundet, hvilket tydeligt fremgår af kontinuerlige evalueringer.



## 'Vi kan noget helt specielt i Danmark: At sætte strategisk retning på tværs af industrien i tæt samarbejde med vidensinstitutioner og i samspil med myndighederne'

For Danish Alliance for Renewables er det bydende nødvendigt, at erhvervsstøttesystemet i Danmark indrettes, så det understøtter øget forspring på viden, kompetencer og teknologiudvikling.

### Super god arbejdsfordeling

Konkurrencen mellem nationer fordrer et stærkt system, og her bør vi værne om det, der har vist sit værd:

En god arbejdsfordeling mellem Innovationsfonden og EUDP, der dækker henholdsvis de lavere og de højere TRL-niveauer, ELFORSK og ikke mindst Energy Cluster Denmark, der som klyngeorganisation faciliterer og muliggør en stor andel af de innovationsprojekter, der søsættes med afsæt i danske/europæiske F&U-puljer.

Vi skal kende vores besøgstid og træffe de rette beslutninger i lyset af globale megatrends og de muligheder, teknologierne tilbyder. Vi glæder os til samarbejdet.

# Megatrends på vej mod en gigawatt-verden

Vind- og solenergi er etablerede teknologier, men der er fortsat brug for forskning, udvikling og demonstration for at matche en række globale trends.

- **Energisystemer** udvikler sig i retning af klimaneutralitet/zero carbon economy. Vind- og solenergi bliver i stigende grad systembærende teknologier.
- **Vind- og solenergi projekter** går op i skala og bliver industrialiseret – alene og i kombination med andre teknologier (fx brint/Power-to-X og batterier).
- **Markeder og selskaber** globaliseres. Konkurrencen bliver skærpet.
- **Stat/samfund og virksomheder** udvikler modeller, der deler risici og økonomiske gevinster.
- **Social bæredygtighed** (fx arbejdstagerrettigheder og hensyn til lokalsamfund) og **miljømæssig bæredygtighed** (fx biodiversitet og natur) får større vægt.
- **Fortsat geopolitisk ustabilitet** giver udfordrede forsyningskæder og nødvendiggør industripolitiske initiativer.

*Kilde: Danish Alliance for Renewables*





**'Alle teknologierne er der, men ikke i den rigtige skala.  
Vi skal gå fra megawatt til gigawatt, og det kræver  
optimering i alle kendte og nye led'**

John K. Pedersen, prodekan, Aalborg Universitet

# Grønne gigawatt'er kræver innovation i alle led

Forskning, udvikling og demonstration afgør, om det lykkes den danske/europæiske energiindustri at bringe vind- og solenergi samt Power-to-X og infrastruktur til elektroner og molekyler op i skala.

Havmølleparken Thor, der er ved at blive opført i den danske del af Nordsøen, får en ydeevne på 1 GW og bliver dermed Danmarks største energianlæg.

Thor er et eksempel på en af de byggesten, der skal til for at skabe et klimaneutralt samfund med høj grad af elektrificering af bl.a. opvarmning, transport og industri. For at nå EU's 2030-mål for vedvarende energi skal der bl.a. opføres, hvad der svarer til 30 x 1 GW eller måske 20 x 1,5 GW havvind.

Udover håndfast og hurtig implementering kræver den grønne omstilling også en massiv satsning på forskning og innovation:

– På vores vej mod hundredvis af grønne GW-anlæg i Europa og globalt har vi brug for forskning, udvikling og demonstration både på komponenter og systemsiden. Innovation skal bringe de grønne elproduktionsteknologier op i skala og infrastrukturen til transport af elektroner og molekyler ned i pris, siger chefkonsulent Mattias Andersson fra DTU på baggrund af drøftelser i Danish Alliance for Renewables.

Alliancen ser transformationen af det samlede energisystem og opskalering som to af de megatrends, virksomhederne skal matche bl.a. op mod EU klimamål om

minimum 55 procent færre udledninger af drivhusgasser i 2030. Opskalering handler bl.a. om større VE-parker, men ikke nødvendigvis om meget større møller.

## Tryk på frem mod 2030... og 2040

Mens branchen arbejder hårdt for at nå 2030-målet, diskuterer politikere over hele Europa, om 2040-målet skal være på 90 procent (plus/minus) frem mod klimaneutralitet inden 2050.

Frem mod 2030 og 2040 vil stadig flere elproducerende anlæg på energi-øer i Nordsøen og Østersøen samt i parker på land blive etableret i GW-størrelse, hvilket rejser en stribe spørgsmål til energisystemer, infrastruktur, sikkerhed og dialog med omgivelserne:

– Det er nogle områder, hvor vi i Danmark har virkelig stærke forskningskompetencer og førende virksomheder, men hvor de offentlige forskningsråd har haft svært ved at støtte samarbejdet. Vi i Danish Alliance for Renewables inviterer hermed til dialog om, hvordan vi sammen kan ændre det, siger Mattias Andersson.

## Opskalering/optimering af Power-to-X

Opgaven fremadrettet omfatter også sammenkobling af meget

store vind- og solenergianlæg og forskellige typer Power-to-X-anlæg med produktion af eksempelvis brændstoffer til langtursskibe og -fly. At gøre sø- og luftfart klimaneutral ved hjælp af elektrolyse (indirekte elektrificering via brint) kræver rigtig meget grøn strøm til slutbrugere som for eksempel Mærsk og SAS.

Sektorintegration og integration på tværs af energianvendelse stiller ifølge Danish Alliance for Renewables krav om innovation: →

## Fra 5 MW til 1 GW på 35 år

Vindeby Havmøllepark (1991-2017) var verdens første havmøllepark. De 11 møller á 450 kW havde en samlet kapacitet på ca. 5 MW.

Havmølleparken Thor, der skal gå i drift om få år, kommer til at bestå af 72 møller á 15 MW med en samlet kapacitet på over 1.000 MW (1 GW).

→ – Alle teknologierne er der, men ikke i den rigtige skala. Vi skal gå fra megawatt til gigawatt, og det kræver optimering i alle kendte og nye led, siger prodekan John K. Pedersen fra Aalborg Universitet om jagten på øget energieffektivitet og færre omkostninger.

Power-to-X er et eksempel: EU har opstillet ambitiøse GW-mål for elektrolyse, der er en nødvendig del af Power-to-X. Europa-Kommissionen har en ambition om, at EU skal producere ti millioner tons VE-brint i 2030.

Elektrolyse til produktion af brint har været kendt i over 100 år, men endnu er anlæggene 'kun' i MW-størrelse. Samlet har EU-landene en kapacitet på under 1 GW. Målet er over 100 GW VE-brint i 2030.

### Ambitioner om vildt meget vind og sol

EU har vedtaget et mål om, at vedvarende energi dækker 42,5 procent (og gerne 45 procent) af energiforbruget i 2030. For at nå målet skal der opføres rigtig meget vind- og solenergi de næste år. Danmark har taget initiativ til to aftaler:

- Esbjerg-erklæringen (fire lande): 65 GW havvind i Nordsøen i 2030 og mindst 150 GW i 2050.
- Marienborg-erklæringen (otte lande): 19,6 GW havvind i Østersøen i 2030.

Med Oostende-deklARATIONEN er også Frankrig, Storbritannien, Irland, Norge og Luxembourg med på. Mål: Minimum 300 GW havvind i 2050.



– Elektrolyseanlæggene skal optimeres og opskales samtidig med at de skal indgå i samlede koncepter, der også skal fungere optimalt. Alle anlæg skal være effektive og have en høj virkningsgrad, påpeger John K. Pedersen, der altså advokerer for, at alle led i de komplicerede kæder (elektricitet/elnet, brint, vand, CO<sub>2</sub>, overskudsvarme m.m.) bliver udsat for innovativ kærlighed.

### 'Design til X'

Gigawatt-samfundet har altså brug for et stærkt samspil mellem industri, forskningsinstitutioner og det politisk-administrative system i Danmark/EU. Danish Alliance for Renewables peger på, at branchen selv og samfundet løbende holder fokus på

- at sikre en konkurrencedygtig, europæisk industri
- at fremme system- og sektorintegration
- at modstå klimaforandringer og cyberangreb/fysiske angreb
- at udvikle cirkularitet og bæredygtighed
- at bidrage til innovation af attraktive finansielle og regulatoriske rammer

Med disse fokuspunkter in mente kan energibranchen fortsætte en omstilling, der har været i gang i en række årtier: For 40 år siden bestod det danske elsystem af ca. 15 store kraftværker fyret med fossile brændsler. I de forgangne år er der opbygget et decentralt system, hvor vind- og solenergi producerer det meste, og hvor VE-teknologi-

## 'På vores vej mod hundredvis af grønne GW-anlæg i Europa og globalt har vi brug for forskning, udvikling og demonstration både på komponenter og systemsiden'

Mattias Andersson, chefkonsulent, DTU

erne skal bidrage med stadig flere systembærende egenskaber.

– Vi har vedvarende energi både centralt og decentralt – og skal have virkelig meget mere. De nye løsninger skal være økonomisk bæredygtige og skal hurtigt i anvendelse. Alle elementer skal tænkes sammen – og det kræver forskning og innovation, siger Mattias Andersson.

– På DTU arbejder vi for eksempel med konceptet 'Design til X' for vindmøller, hvor vi skræddersyr møller til forskellige markeder, til bæredygtighed, til Power-to-X eller til forskellige produktionsforhold alt efter hvilket regionalt energisystem, de indgår i, oplyser han.

Vindmølleteknologien rummer uudnyttede potentialer, der bl.a. kan høstes ved at inkludere 'alt' i designfasen. Derfor er der ifølge Danish Alliance for Renewables behov for videreudvikling af designværktøjer og –grundlag.







# Kløgt og smart design skal drive Europas vindmølleindustri

'Billigere og større' har indtil nu drevet udviklingen af vindenergi. For at klare sig i konkurrencen med især kinesiske producenter skal vindenergi fremover også tænkes ind i større systemsammenhænge – bl.a. med solenergi og Power-to-X.

Vi skal være 'kløgtige'.

Hvis ét ord sammenfatter, hvordan danske/europæiske producenter af vindmøller og komponenter til vindenergi skal håndtere den globale konkurrencesituation, så er det at være 'kløgtige'.

– Verden står overfor en massiv udbygning med vind- og solenergi. Selv marginale forbedringer på møller og komponenter betyder rigtig meget, så fortsat innovation er fuldstændig afgørende, siger Kenneth Thomsen, der er Head of Wind Turbine Design på DTU.

Kina har overtaget produktionen af næsten alt, hvad der handler

om solceller, og kineserne er også rigtig dygtige på vindenergi.

Ifølge Global Wind Report 2023 sidder Kina på 60 procent af verdens produktionskapacitet af vinger, 65 procent på generatorer og 75 procent på gearkasser.

## Kvalitet og samtænkning

Kinesiske fabrikanter har et beskyttet hjemmemarked med en volumen, der er svær matche, så den europæiske industri skal ifølge Danish Alliance for Renewables konkurrere på løbende forbedringer af kvalitet på produkter og samtænkning med andre energiteknologier.

– Vi skal fortsat cost-optimere på de enkelte vindmøller og performance-optimere på de samlede parker. Derudover skal vi blive bedre til at designe energianlæg med vind og sol, så de passer til specielle anvendelser – herunder Power-to-X. Ved at blive dygtige til 'sam-design' mellem de forskellige komponenter i et energisystem får vi en kæmpe konkurrencefordel, siger Kenneth Thomsen på baggrund af diskussioner i Alliancen.

At være 'kløgtige' kræver en stærk indsats i industrien selv solidt bakket op af danske F&U-programmer som Innovationsfonden

## Anbefaling 1. Industriel konkurrencedygtighed

Forskning og innovation er en hjørnesten i den europæiske energi-branches globale konkurrencedygtighed. Der skal udvikles både på komponenter og systemer, på hardware og software, på teknologi og services og kompetencer i et samarbejde mellem vidensinstitutioner og industrien.

Den store udbygning og øget systemkompleksitet kræver en ny generation af designmetoder og modeller for at levere produkter og services af høj kvalitet med kommercialisering for øje.

Det inkluderer udvikling af bedre test og valideringsmetoder, som er med til at forkorte udviklingstiden og øget kvaliteten. Samtidig skal der fokus på forskning og innovation i *hele systems livscyklus og særlig fokus på drift og vedligeholdelse*. Den europæiske branche skal levere lavest 'cost of ownership' og ikke bare billigste produkter på hylden. Og så skal vi innovere nye løsninger til at sikre høj kvalitet på non-price criteria såsom bæredygtighed.

Den europæiske branche skal

udvikle produkter og løsninger, der leverer den mest konkurrencedygtige og værdiskabende forskel i den grønne omstilling, både på kort og langt sigt. Det handler både om billigste produkter og løsninger, om hvornår og i hvilken form, energien leveres, samt om bæredygtighed, social ansvarlighed og natur/biodiversitet.

Kilde: Danish Alliance for Renewables



## 'Verden står overfor en massiv udbygning med vind- og solenergi. Selv marginale forbedringer på møller og komponenter betyder rigtig meget, så fortsat innovation er fuldstændig afgørende'

Kenneth Thomsen, Head of Wind Turbine Design, DTU

og EUDP såvel som EU-midler bl.a. fra Horizon Europe. Udbud for eksempel i forbindelse med havvind kan også understøtte innovationen ved at stille andre krav end 'billigst'.

Nye produkter og prisreduktioner er fortsat vigtige, men de skal ledsages af udvikling af anlæg med mindre risikoprofil, større grad af modulering og konsekvent industrialisering, mener Alliancen.

### Test: Eksperimenter betyder alt

Danmark har en stærk global position med test-faciliteter både ude hos nogle af verdens største producenter og i regi af DTU. En del af kløgtigheds-pakken handler om at udvikle nye metoder/modeller for test og fortsat have state-of-art faciliteter som eksempel Det Nationale Testcenter Østerild, hvor der er planer om udvidelse.

Aktuelt lægger Østerild vind-omsust areal til test af vindmøller på op til 15 MW. Udover at producere flere kilowatttimer end deres mindre artsfæller, rummer de nye giganter, der netop nu er ved at blive lanceret på verdensmarkedet, en række tekniske spidsfindigheder for eksempel i relation til styring.

– Større møller giver nye problemstillinger, som vi skal forstå og håndtere. Eksperimenter betyder alt, og vi skal kunne modellere og validere produkter. Vi balancerer hele tiden på kanten af, hvad vi ved, og det er sundt og nødvendigt, fastslår Kenneth Thomsen og påpeger, at det – trods alt – er bedre, at noget går i stykker under test end under kommerciel drift.

– Hvis der skal skiftes komponenter på en havmøllepark på 1 GW, er det rasende dyrt, pointerer han.

Konkurrencedygtigheden kan også styrkes med mere viden om teknisk risikostyring for samlede projekter, hvad enten de er mindre eller på 1, 1½ eller 2 GW:

– Teknisk risikostyring vil være en nøgleparameter i konkurrencen. Det er vigtigt, at projektudviklere forstår

og kan kvantificere og håndtere tekniske risici. For at styrke den kompetence har vi brug for en indsats både indenfor modeludvikling og eksperimentel validering, siger Kenneth Thomsen.

### Design til grænsen

Mens komponenter som transformere, generatorer, gearkasser, nav, styring og vinger designes til grænsen, så skal den samlede mølle og møllepark udvikles i et samspil med stadig flere opgaver.

Som systembærende teknologi skal vindenergi levere nedregulering og frekvensstyring, ligesom der skal sikres et samspil med solenergi, lagring/batterier og brintproduktion.

– Møller kommer til at spille en anden rolle end hidtil, vurderer Kenneth Thomsen.

Med 15 MW-møller på havet bliver der også mere fokus på drift og vedligehold, der i dag står for ca. en tredjedel af den samlede pris for en park.

Hvis møllerne kan designes, så de har mindre behov for service eller er lettere at vedligeholde, så er der milliarder af sparede kroner at hente.

For at optimere de valgte designs skal der udvikles bedre modeller til beregning af levetid og optimal drift i forhold til lokale vejrforhold, belastning og styring.

– Alt hvad vi kan gøre for at fremme en større produktion og en endnu mere dedikeret service, vil have kæmpe værdi. Også her skal vi gøre noget, der er endnu mere kløgtigt, siger Kenneth Thomsen.



### Konkurrence på: Pris, tid, form, bæredygtighed, social ansvarlighed og miljø

Europas industri skal levere produkter og løsninger, der leverer den mest konkurrencedygtige og værdiskabende forskel i den grønne omstilling, både kortsigtet og på den lange bane, mener Danish Alliance for Renewables.

– Konkurrenceevne handler om mere end blot at have de billigste produkter eller løsningerne med den laveste energi-produktionspris – det handler i stigende grad om, hvornår energien leveres og i hvilken form, siger Thomas Hjort, Director of Innovation, Offshore Wind, Vattenfall.

– Med en stigende andel af grøn produktion vil kravene til fremtidens løsninger være under forandring, både på de traditionelle parametre, men også på 'non-price criteria' såsom bæredygtighed, social ansvarlighed og miljø, fastslår han.



# Smarte elnet og grøn elproduktion skal berige hinanden

Modellering og design af løsninger skal styrke Danmarks nye grønne træenighed: Elnet, produktion fra vind- og solenergi og et mere fleksibelt elforbrug skal gøre den grønne omstilling billigere og give industrien konkurrencefordele på de globale markeder.

Frem mod 2030 skal EU-landene investere 584 mia. euro i et elnet, der matcher en omstilling til vedvarende energi (VE) og et stærkt stigende elforbrug. I Danmark ligger investeringsniveauet alene på distributionsnettet på ca. 50 mia. kr. frem mod 2030. Læg dertil også milliardinvesteringer på Energinets transmissionsnet.

– Elnettet er krumtappen i den grønne omstilling. For at holde investeringer og udbygning nede bliver vi nødt til at blive klogere på, hvad elnettet skal kunne fremover, og hvordan vi kan drive elnettet tættere til grænsen af det teknisk mulige, siger teknologidirektør Jørgen S. Christensen fra Green Power Denmark, der på vegne af elnetselskaberne nu er en aktiv deltager i Danish Alliance for Renewables.

I Danmark får vi på årsbasis over

60 procent af vores elektricitet fra vind og sol. Den 3. juli 2023 leverede de to vejrafhængige teknologier 146 procent af forbruget som en foreløbig dækningsrekord. En massiv VE-udbygning er sket samtidig med, at elsystemet har fastholdt en tårnhøj leveringssikkerhed på over 99,99 procent.

## Systembærende teknologier

Jørgen S. Christensen peger på, at vind- og solenergi nu er de systembærende teknologier – og at der er meget mere grøn elektricitet på vej frem mod klimaneutralitet i Danmark/Europa. Derfor skal de også levere de systemydelse, der giver et stabilt elsystem. Fortsat forskning, udvikling og demonstration i samspillet mellem vedvarende energi og elnet og andre typer infrastruktur er derfor afgørende.

– Vi skal bruge vores høje danske VE-andel (over 60 procent vind- og solenergi i 2023, red.) som en konkurrencefordel i teknologiudviklingen. Vi har en stærk positiv, som vi skal gøre endnu stærkere med systematisk innovation. Jeg er sikker på, at det vil give vores industri konkurrencefordel på eksportmarkederne, siger Jørgen S. Christensen.

Den stigende produktion fra vedvarende energi skal bl.a. gå til elektrificering af transport (batterier) samt opvarmning og industri (varmepumper), så også disse sektorer kan slippe ud af den fossile æra. Produktionen fra vind og sol svinger i forhold til vejr og døgnrytme, og da der i et elsystem altid skal være balance mellem produktion og forbrug, skal forbrugssiden være mere fleksibel.

## Anbefaling 2. Sektorintegration og elektrificering

Sektorintegration og elektrificering af andre sektorer som transport og varme kræver udvikling af en ny generation af hard- og software for at udnytte potentialet. Det gælder både på systemmodelleringsniveau og på komponentniveau.

*Sol- og vindenergi skal designes til Power-to-X og levering*

*af systemydelse. Elektrolyse og Power-to-X skal optimeres både ift. virkningsgrad og dynamik inklusive samspillet med varmesystemet.*

Intelligent udbygning af energinfrastruktur både på land og til havs er helt afgørende for, at vi kan integrere gigawatt af vedvarende

energi og samtidig holde investeringer og udbygning i energinfrastruktur nede. Det kræver udvikling af nye tekniske koncepter og sektorintegrerende lovgivning.

*Kilde: Danish Alliance for Renewables*



## 'Elnettet er krumtappen i den grønne omstilling. For at holde investeringer og udbygning nede bliver vi nødt til at blive klogere på, hvad elnettet skal kunne fremover, og hvordan vi kan drive elnettet tættere til grænsen af det teknisk mulige'

Jørgen S. Christensen, teknologidirektør, Green Power Denmark

– Med op mod 1½ millioner elbiler i 2030 får vi et større elforbrug, men vi får også en lagerkapacitet med op mod 1½ millioner batterier. Samtidig kommer der også Power-to-X-anlæg, hvor brintproduktion kan ske fleksibelt, og hvor brint kan lagres. Den danske F&U-indsats skal vise, hvordan vi kan få en verden af sektorintegration til at spille sammen, siger Jørgen S. Christensen.

### Vigtigt med tårnhøj elkvalitet

Elektrificeringen tvinger kul, olie og fossilgas ud af energisystemet og nedbringer dermed klimabelastningen. For elnetselskaberne er det

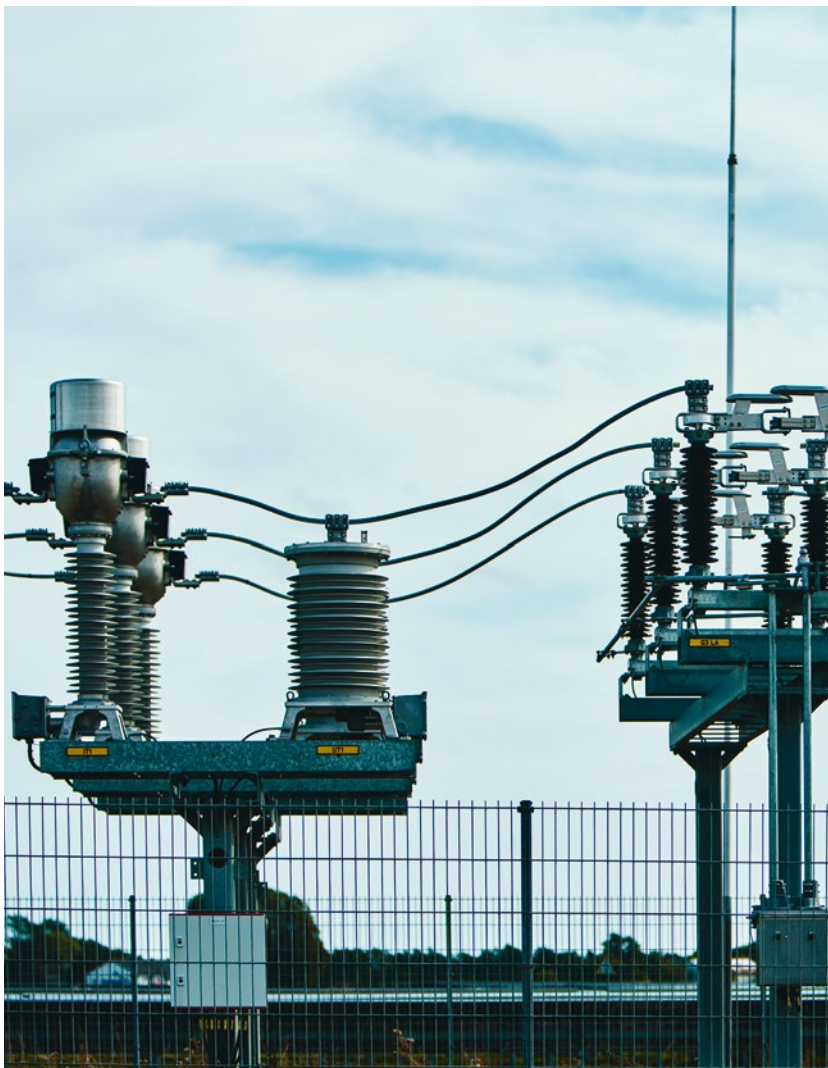
under den transformation afgørende at fastholde en høj leveringssikkerhed og en høj elkvalitet, hvor bl.a. spændingskvalitet er et vigtigt parameter for mange industrivirksomheder.

Indtil videre er det lykkedes at opretholde en høj kvalitet under omstillingen til meget mere produktion fra vind- og solenergi, der har andre tekniske egenskaber end traditionelle kraftværker, og et langt større forbrug baseret på effektelektronik i alle typer produkter fra babyalarmer til computere.

– Elsystemet bevæger sig fra klassiske synkrongeneratorer til

effektelektronik på begge sider. Bevægelsen giver udfordringer og muligheder, så der i høj grad er behov for at blive forsket i både på komponent- og systemniveau, siger Jørgen S. Christensen.

Balancen i det vejrafhængige danske elsystem sikres med regulerbare kraftvarmeværker, udlandsforbindelser og fleksibelt forbrug – alt sammen bundet sammen af sig signaler fra en række markeder. Fremover bliver samspil med en brintinfrastruktur også et stærkt element i det samlede energisystem.



### Kort om elnettet

Det danske elnet består af 160.000 kilometer kabler og luftledninger bundet sammen af tusindvis af store og små transformestationer.

Det kollektive elnet er delt i to: Af transmissionsnettet, som ejes og drives af statsejede Energinet, og af distributionsnettet, som ejes og drives af lokale/regionale netvirksomheder.

Transmissionsnettet (132/150 og 400 kV) kaldes ofte elnettets motorveje og transporterer strøm fra produktion til distributionsnet og til/fra nabolande.

Distributionsnettet (0,4-50/60 kV) udgør de lokale net, der forbinder elforbrugere med transmissionsnettet og leverer elektricitet til forbrugere.



# Vind- og solenergi er systembærende teknologier – og det forpligter

Klimavenlig elektricitet skal være sikker energi. Innovation skal øge de grønne anlægs robusthed overfor klimaforandringer, styrke deres modstandskraft i forhold til (cyber)angreb fra fjendtlige magter og mindske sårbarheden i udfordrede forsyningskæder.

Vind- og solenergi leverer nu over 60 procent af det danske elforbrug. I 2023 producerede vindmøller 19,4 TWh og solceller 3,4 TWh – i alt 22,8 TWh ud af et forbrug på 36,1 TWh. CO<sub>2</sub>-udledningen fra en gennemsnitlig kWh i en dansk stikkontakt lå i 2023 for første gang under 100 gram.

– Vind og sol er systembærende, og med det følger et ansvar som kritisk infrastruktur. Energisystemet skal være sikkert, så vi skal beskytte vores anlæg mod naturlige og menneskeskabte hændelser, siger John Korsgaard, Executive Manager, LM Wind Power.

Meget mere vind- og solenergi er på vej i Danmark og i de øvrige EU-lande, der skal leve op til et samlet mål om 42,5 procent (og

gerne 45 procent) vedvarende energi i 2030. Tyskland, Polen, Holland, Belgien... alle skal have mere grøn elektricitet som en del af elektrificeringen af et Europa på vej mod klimaneutralitet.

## Sikkerhed i en usikker verden

– Cybersikkerhed har i en del år været en del af den protokol, vindenergi skal efterleve for at operere i USA. I lyset af energikrisen efter Ruslands angreb på Ukraine kommer kravene til Europa. Vi skal beskytte vores energisystem og huske, at ingen kæde er stærkere end det svageste led, siger John Korsgaard, der i regi af Danish Alliance for Renewables – i en mangefacetteret kontekst – er

med til at udvikle anbefalinger til nødvendig forskning og udvikling.

Anbefalingerne handler bl.a. om design, test og samtænkning af teknologier, der alle skal være robuste i forhold til klimaforandringer og angreb fra fremmede magter og kriminelle organisationer. Med det såkaldte NIS2-direktiv, der nu skal implementeres i de 27 medlemslande, er EU ved at stramme op om cybersikkerheden, og det vil stille nye krav til energibranchen.

## Fysisk beskyttelse af energianlæg

Derudover er der stigende fokus også på fysisk beskyttelse af energianlæg, hvad enten det drejer sig om kabler, transformer-

## Anbefaling 3. Resiliens og sikkerhed

Vedvarende energi er blevet en kritisk del af energisystemet. Med det følger et ansvar for at sikre infrastrukturen og systemet, så forbrugerne har tilgængelig grøn strøm konstant. Dermed er integriteten af hardware og software afgørende.

Robuste sikkerhedsprocedurer og resiliente energisystemer skal kunne levere energi, når dele af systemet udsættes for afbrydelser, angreb eller ekstreme naturhændelser. Det kræver forskning og innovation i nye styrings- og reguleringssystemer. Målet er høj

grad af sikkerhed, både fysisk og som cybersecurity.

*Kilde: Danish Alliance for Renewables*



## ‘Sikkerhed drejer sig også om adgang til råstoffer og materialer i en verden med geopolitiske spændinger og handelsbarrierer’

John Korsgaard, Executive Manager, LM Wind Power

stationer, havmølleparker eller andre dele af energisystemet.

– Sikkerhed drejer sig også om adgang til råstoffer og materialer i en verden med geopolitiske spændinger og handelsbarrierer, påpeger John Korsgaard om et tema, hvor dansk og europæisk innovation skal øge robustheden for eksempel i forhold til de sjældne jordarter, der primært udvindes i Kina.

EU forsøger med sin Critical Raw Materials Act at adressere disse problemstillinger med virkemidler som egen minedrift/processering, øget genanvendelse og design af komponenter/produkter på basis af andre materialer.

– Substitution handler om at se på livscyklus og tilgængelighed fra materiale til materiale. Generelt skal vi hele tiden blive bedre i alle facetter fra produktion af

vinger – og andre komponenter – til samlede vindmøller. Vi skal have kvalitet i alle led, så vi kan producere elektricitet i 25-30 år med minimal service, siger John Korsgaard, der med alle led også inkluderer samspillet med elnettet og det fulde energisystem.



### Vigtige forsknings-temaer for grøn omstilling

- Hvordan får vi øget produktion og effektivitet på VE-anlæg?
- Hvordan sikrer vi et stærkere samspil mellem VE-anlæg og energisystem/omverden?
- Hvordan nedbringer vi tekniske og finansielle risici?
- Hvordan skaber vi større systemværdi af vind- og solenergi?
- Hvordan sikrer vi kortere tid fra idé til marked?
- Hvordan håndterer vi miljømæssige, sociale og regulatoriske barrierer?

Kilde: Danish Alliance for Renewables



# Bæredygtighed er den grønne branches røde tråd

Vind- og solenergi er systembærende teknologier, og den rolle forpligter alle involverede til at gøre sig umage: Bæredygtighed skal både kendetegne alle gamle og nye led i produktionskæderne og i samspillet med lokalsamfund/ økosystemer om placering af energianlæg.

Om få år dækker vind- og solenergi, hvad der svarer til over 100 procent af det danske elforbrug. Med rollen som systembærende teknologier følger et ansvar, der skal løftes ved hjælp af innovation. At levere klimavenlig elektricitet er stærkt, men det kan ikke stå alene.

– Bæredygtighed skal højere op på branchens agenda. Vi gør allerede meget selv, og myndighederne skubber til grænserne for bæredygtighed bl.a. i auktioner for havvind, hvor andre parametre end pris kan tælle med, konstaterer Allan Korsgaard Poulsen, der er Head of Materials and Sustainable Scaling, New Concepts and Power-to-X, i Vestas Wind Systems.

Hvad 'bæredygtighed' mere præcist går ud på, er et af de emner, Danish Alliance for Renewables anbefaler, at virksomheder og forskere dykker dybere ned i sammen med myndighederne.

## Efterspørger et fælles sprog

Natur er ét omdrejningspunkt. Hensyn til fugle, flagermus, marsvin og andre levende skabninger er ofte et af de emner, der popper op i forbindelse med etablering af energianlæg. Nogle arter er truet og indgår dermed en større diskussion om biodiversitet, der i lighed med klimaforandringer er en af menneskets planetare udfordringer. Et spørgsmål kan

også være, hvordan CO<sub>2</sub>-aftryk beregnes.

– VE-anlæg skal etableres i harmoni med lokalsamfund og økosystemer, men vi mangler fælles sprog, standarder og målemetoder indenfor bæredygtighed. Livscyklusanalyserne er forskellige på tværs af branchen. Ingen af metoderne er forkerte, men de kan føre til forskellige valg af teknologier, påpeger Allan Korsgaard Poulsen.

## Behov for mere tværfagligt samarbejde

Han og de øvrige medlemmer af Danish Alliance for Renewables inviterer antropologer, biologer og

## Anbefaling 4. Cirkularitet og bæredygtighed

For at begrænse behov for udvinding af nye materialer og medfølgende miljøbelastning skal der sikres øget genanvendelse af brugte komponenter og materialer. Det kræver udvikling af metoder til bæredygtig genanvendelse af eksisterende materialer samt udvikling af nye cirkulære materialer, som er lette at genanvende.

Inden for vindbranchen er udvikling og demonstration af glas- og kulfibermaterialer til vindmølevin-

ger med øget genanvendelighed og reduceret CO<sub>2</sub>-fodtryk et særligt vigtigt område samt udvikling af alternativer til permanente magneter med ingen eller lavere brug af sjældne jordarter.

Til elektriske komponenter og komponenter til elnettet skal der forskes og udvikles alternative materialer til ventiler, konduktører og transformere. Bly og andre kritiske stoffer skal erstattes af nye materialer, og der skal udvikles

alternativer til SF<sub>6</sub>-gasisoleret koblingsudstyr.

Et robust og bæredygtigt energisystem kræver også en stærk og stabil leverandørkæde med adgang til flere markeder og råvarer samt evne til hurtigt at skalere leverancer af råmaterialer.

*Kilde: Danish Alliance for Renewables*





## 'Bæredygtighed skal højere op på branchens agenda. Vi gør allerede meget selv, og myndighederne skubber til grænserne for bæredygtighed bl.a. i auktioner for havvind, hvor andre parametre end pris kan tælle med'

Allan Korsgaard Poulsen, Head of Materials and Sustainable Scaling, New Concepts and Power-to-X, Vestas Wind Systems

andre faggrupper på samarbejde med ingeniører og andre teknikere om de næste skridt frem mod en smidig etablering af VE-anlæg.

– Vi ser lidt et nyt argument for hver ny mølle eller park, der skal etableres. Mange af udfordringerne er svære at samle op fra case til case, men måske er der nogle sammenhænge og fællesnævne, siger Allan Korsgaard Poulsen og nævner som et positivt eksempel, at forskning har aflivet myten om vindmøller som fugledræbere:

Vindenergi truer ikke fuglebestande, og fugle mister i langt større grad livet eksempelvis på grund af trafik, jagt, vinduer og katte.

– Forskningen bør have strategisk fokus på biodiversitet og at bevæge sig fra NIMBY til YIMBY, fastslår Allan Korsgaard Poulsen på baggrund af diskussioner i Danish Alliance for Renewables bl.a. om at bevæge holdninger fra 'Not In My BackYard' til 'Yes in My BackYard'.

### Kritiske råstoffer fra Kina

Råstoffer og materialer er et andet omdrejningspunkt for debat om bæredygtighed. Vindmøller består af fundamenter, tårne, naceller og vinger, der hver især rummer komponenter, der består af materialer.

Bag en mølle står en række designvalg, og bæredygtighed handler også om materialer, der ofte udvindes og forædles i Kina. På nogle af de materialer, der er nødvendige for den grønne omstilling, har Kina et de facto monopol.

EU har vedtaget en Critical Raw Materials Act, der skal gøre de 27 medlemslande mindre afhængig af import fra bl.a. Kina. EU-landene skal udvinde og 'processe' mere selv, ligesom der på importsiden skal indgås aftaler med nogle af de nationer, der kan nedbringe afhængigheden fra enkeltlande. En aftale med Chile er et eksempel. At Europa-Kommissionen har oprettet et kontor i Grønland et andet.

– Vi skal også udvikle os ud af afhængigheden ved fx at skabe generator og sensorer uden kritiske råstoffer. Hvis vi ikke kan undgå at bruge disse materialer, skal vi det mindste bruge mindre, siger Allan Korsgaard Poulsen, der også nævner længere levetid på møller og genanvendelse af materialer som midler til bedre materialeøkonomi.

### Genanvendelse af vinger

Et sted mellem 85 og 95 procent af en vindmølle kan genanvendes. Vindmøllevinger har været lidt af et smertensbarn, men løsningerne til at nedbryde hårdføre materialer til nye råstoffer er der – hvilket også er nødvendigt af hensyn til samfundets krav til bæredygtighed, der er ved at udmønte sig i et EU-forbud mod deponi af vinger.

Bl.a. takket være innovation i førende virksomheder og fælles i regi af projektkonsortiet Decom-Blades er der skabt grundlag for mere genanvendelse.



**'Med en stigende andel af grøn produktion vil kravene til fremtidens løsninger være under forandring, både på de traditionelle parametre, men også på 'non-prices criteria' såsom bæredygtighed, social ansvarlighed og miljø'**

Thomas Hjort, Director of Innovation, Offshore Wind, Vattenfall



## Vind og sol i overhalingsbanen

En fremskrivning viser, at tæt på 3.700 GW ny VE-kapacitet bliver koblet på de globale energisystemer fra 2023-2028. Solceller og vindenergi vil stå for 95 procent af udbygningen.

### 2024

I 2024 vil vindenergi og solceller til sammen producere mere elektricitet end vandkraft.

### 2025

I 2025 vil vedvarende energi overhale kulkraft og blive den største kilde til produktion af elektricitet.

### 2025-26

Vindenergi og solceller vil hver især overhale atomkraft i henholdsvis 2025 og 2026.

### 2028

I 2028 vil vedvarende energi stå for over 42 procent af den globale elproduktion. Vind- og solenergi vil dække ca. 25 procent.

Kilde: Det Internationale Energiagentur (IEA)

## Få overblik på Energiforskning.dk

Energiforskning.dk er en fælles webportal for Innovationsfonden, EUDP og ELFORSK. Her finder du alle danske bevilligede energiforsknings, udviklings- og demonstrationsprojekter. Du kan også finde en del projekter fra EU.



## Top-6 i EU

Vindenergi dækker en stigende del af el-mikset i en række europæiske lande. Her er et nedslag fra 13. marts 2024:

**Danmark**  
57 procent

**Storbritannien**  
41,7 procent

**Irland**  
37,5 procent

**Holland**  
33,5 procent

**Portugal**  
24,2 procent

**Belgien**  
24,2 procent

*Kilde: WindEurope*

**56  
GW**  
↓  
**2023**

## 56 GW solenergi i 2023

I 2023 er der i Europa opstillet 56 GW solenergi, hvilket er rekord og tredje år i træk med vækstrater på over 40 procent.

SolarPower Europe forventer lidt lavere vækst (11 procent) i 2024 med en opstilling af 62 GW.

Tyskland har i 2023 etableret 14,1 GW, Spanien 8,2 GW, Italien 4,8 GW, Polen 4,6 GW og Holland 4,1 GW.

*Kilde: European Market Outlook for Solar Power 2023-2027, SolarPower Europe.*

**Forskning & Innovation 2024:**

Anbefalinger på vej mod  
et klimaneutralt energisystem

**Udgiver:**

Danish Alliance for Renewables  
(april 2024)

**Hjemmeside:**

[www.dafre.dk](http://www.dafre.dk)

**Redaktør:**

Jesper Tornbjerg,  
Green Power Denmark

**Redaktionskomité:**

Mattias Andersson,  
Per Hesselund Lauritsen  
og Maj Held Sallingboe-West

**Foto:**

Green Power Denmark, Vestas,  
Siemens Gamesa, LORC,  
Vattenfall og Unsplash

**Layout:**

Lisbeth Neigaard, [vinkdesign.dk](http://vinkdesign.dk)

**Oplag (tryk):**

250

**Trykkeri:**

Heidemann grafisk



Danish Alliance  
For Renewables