

# **Bølgekræftteknologi. Strategi for Forskning, Udvikling og Demonstration 2012**

K. Nielsen  
J. Krogh  
N. E. H. Jensen  
J. P. Kofoed  
E. Friis-Madsen  
B. V. Mikkelsen  
A. Jensen



## **Partnerskabet for Bølgekræft**

ISSN 1901-726X  
DCE Technical Report No. 146  
EUDP-2010-II J. nr. 64010-0472





Aalborg Universitet  
Institut for Byggeri og Anlæg  
Sektionen for Vand og Jord

**DCE Technical Report No. 146**

# **Bølgekræftteknologi. Strategi for Forskning, Udvikling og Demonstration 2012**

K. Nielsen  
J. Krogh  
N. E. H. Jensen  
J. P. Kofoed  
E. Friis-Madsen  
B. V. Mikkelsen  
A. Jensen

Juni 2012

© Aalborg Universitet

## Videnskabelige publikationer ved Institut for Byggeri og Anlæg

**Technical Reports** anvendes til endelig afrapportering af forskningsresultater og videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg på Aalborg Universitet. Serien giver mulighed for at fremlægge teori, forsøgsbeskrivelser og resultater i fuldstændig og uforkortet form, hvilket ofte ikke tillades i videnskabelige tidsskrifter.

**Technical Memoranda** udarbejdes til præliminær udgivelse af videnskabeligt arbejde udført af ansatte ved Institut for Byggeri og Anlæg, hvor det skønnes passende. Dokumenter af denne type kan være ufuldstændige, midlertidige versioner eller dele af et større arbejde. Dette skal holdes in mente, når publikationer i serien refereres.

**Contract Reports** benyttes til afrapportering af rekvireret videnskabeligt arbejde. Denne type publikationer rummer fortroligt materiale, som kun vil være tilgængeligt for rekvirenten og Institut for Byggeri og Anlæg. Derfor vil Contract Reports sædvanligvis ikke blive udgivet offentligt.

**Lecture Notes** indeholder undervisningsmateriale udarbejdet af undervisere ansat ved Institut for Byggeri og Anlæg. Dette kan være kursusnoter, lærebøger, opgavekompendier, forsøgsmanualer eller vejledninger til computerprogrammer udviklet ved Institut for Byggeri og Anlæg.

**Theses** er monografier eller artikelsamlinger publiceret til afrapportering af videnskabeligt arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg som led i opnåelsen af en ph.d.- eller doktorgrad. Afhandlingerne er offentligt tilgængelige efter succesfuldt forsvar af den akademiske grad.

**Latest News** rummer nyheder om det videnskabelige arbejde udført ved Institut for Byggeri og Anlæg med henblik på at skabe dialog, information og kontakt om igangværende forskning. Dette inkluderer status af forskningsprojekter, udvikling i laboratorier, information om samarbejde og nyeste forskningsresultater.

Udgivet 2012 af  
Aalborg Universitet  
Institut for Byggeri og Anlæg  
Sohngårdsholmsvej 57,  
DK-9000 Aalborg, Danmark

Trykt i Aalborg på Aalborg Universitet

ISSN 1901-726X  
DCE Technical Report No. 146

## Forord

Nærværende strategi for bølgekraftteknologi er udarbejdet som et led i det EUDP finansierede projekt "Ny strategi for bølgekraft gennem industrielt partnerskab". Projektet er udviklet af Forskningsgruppen for Bølgeenergi under Institut for Byggeri og Anlæg ved Aalborg Universitet og Hanstholm Havneforum efter drøftelser med Energinet.dk. EUDPs medfinansiering af projektet betyder ikke nødvendigvis, at strategien er et udtryk for Energistyrelsen/EUDPs synspunkter.

Partnerskabets formål er fremadrettet at iværksætte samarbejde omkring den videre udvikling af bølgekraft i Danmark gennem konkrete tværgående udviklingsprojekter. Partnerskabet er etableret som et uforpligtende samarbejde og en interessetilkendegivelse mellem virksomheder, der direkte eller indirekte beskæftiger sig med bølgekraft.

Styregruppen for projektet, der løb fra marts 2011 til juni 2012, har bestået af:

Jens Peter Kofoed, Aalborg Universitet, projektleder  
Jan Krogh, Aalborg Universitet, projekttovholder  
Kim Nielsen, Rambøll/Aalborg Universitet, hovedforfatter  
Niels Ejnar Helstrup Jensen, Energinet.dk  
Erik Friis-Madsen, Bølgekraftforeningen  
Britta Vang Mikkelsen, Hanstholm Havneforum  
Andy Jensen, DanWEC, observatør

Der har i løbet af projektet været afholdt 3 partnerskabsmøder:

Kick-off møde hos LORC i Odense i april 2011  
Midtvejsmøde hos Aalborg Universitet i Aalborg i oktober 2011  
Strategimøde hos Hanstholm Havneforum i Hanstholm i marts 2012.

Som baggrund for udarbejdelsen af strategien er der desuden gennemført en række interviews med bølgekraftudviklerne samt øvrige interessenter samt gennemført en spørgeskemaundersøgelse. Formålet har været at få kortlagt og prioriteret en række fælles problemstillinger og udviklingsfelter på tværs af de enkelte bølgekraftprojekter og gerne med sideblik til mulige industrielle partnere uden for den lidt snævrere kreds af udviklere.

Vi vil hermed gerne takke alle, der på positiv og engageret vis har deltaget i projektets gennemførelse, og ser frem til videreførelsen af Partnerskabet, som ramme for gennemførelsen af strategien.

Jens Peter Kofoed



## Forkortelser

AAU	Aalborg Universitet
AC/DC	Vekselstrøm/Jevnstrøm
Bimep	Biscay Marine Energy Platform
COE	Cost Of Energy
DanWEC	Danish Wave Energy Center
DHI	Dansk Hydraulisk Institut
DNV	Det Norske Veritas
DS	Dansk Standard
DTU	Danmarks Tekniske Universitet
EERA	European Energy Research Alliance
EMEC	European Marine Energy Center
EUDP	Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram
EWTEC	European Wave and Tidel Energy Conference"
ExCo	Executive Committee
FUD	Forskning, Udvikling og Demonstration
GTS	Godkendt Teknologisk Serviceinstitut
GWh	Gigawatttimer
ICCE	International Coastal Engineering Conference
ICOE	International Conference on Ocean Energy
IEA-OES	International Energy Agency – Ocean Energy Systems
IEC TC 114	International Electrotechnical Commission, Technical Committee
ISOPE	International Society of Offshore and Polar Engineers
kWh	Kilowatttimer
LORC	Lindoe Offshore Renewables Center
MWh	Megawatttimer
OMAE	Ocean, Offshore and Arctic Engineering
OSS	Offshore Service Specification
OTEC	Ocean Thermal Energy Conversion
OWC	Oscillating Water Column
OWEC-1	Offshore Wave Energy Converters – 1 (EU projekt)
PJ	Petajoule
PT	Projektteam
PTO	Power Take-off
SDWED	Structural Design of Wave Energy Devices
SEM-REV	Site d'experimentation En Mer – (Marine Test Site)
TWh	Terawatttimer
WEIA	Wave Energy Industry Association





## Indholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>PARTNERSKABET</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>RESUME</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>HVORFOR BØLGEKRAFT?</b> .....	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>STRATEGI OG ANBEFALINGER</b> .....	<b>5</b>
4.1	VISION OG MÅLSÆTNING .....	5
4.2	PRIORITEREDE UDVIKLINGS- OG SAMARBEJDSOMRÅDER .....	6
4.3	UDVIKLINGSMÅLSÆTNING, AFREGNINGSVILKÅR OG INVESTERING .....	6
4.4	UVILDIG SCREENING OG EVALUERING .....	10
4.5	OFFSHORE TESTFACILITETER TIL BØLGEKRAFT .....	10
4.6	ANBEFALINGER TIL OFFENTLIGE STØTTEORDNINGER.....	13
4.7	BØLGEKRAFT I ENERGISTYRELSENS TEKNOLOGIKATALOG.....	14
<b>5</b>	<b>ENERGI, MILJØ OG ERHVERV</b> .....	<b>15</b>
5.1	ENERGIPOTENTIALE.....	15
5.2	INDPASNING I ENERGISYSTEMET .....	15
5.3	MILJØFORHOLD .....	15
5.4	EKSPORTPOTENTIALE OG BESKÆFTIGELSE .....	16
5.5	FORRETNINGSMULIGHEDER OG BRANCHEFORENING .....	17
<b>6</b>	<b>FORSKNING OG UDVIKLING</b> .....	<b>18</b>
6.1	TRINVIS UDVIKLING AF BØLGEKRAFTTEKNOLOGIER.....	18
<b>7</b>	<b>TVÆRGÅENDE BØLGEKRAFTAKTIVITETER</b> .....	<b>20</b>
7.1	DANSKE.....	20
7.2	INTERNATIONALE.....	20
7.3	STANDARDISERING UNDER IEC TC 114 .....	24
7.4	CERTIFICERING UNDER DNV.....	24
<b>8</b>	<b>KONKLUSION</b> .....	<b>25</b>
<b>9</b>	<b>REFERENCER</b> .....	<b>26</b>
	<b>APPENDIKS I: STATUS FOR BØLGEKRAFTTEKNOLOGIER ULTIMO 2011</b> .....	<b>29</b>
	KATEGORIER AF BØLGEKRAFTANLÆG .....	29
	DE DANSKE BØLGEKRAFTPROJEKTER .....	30
	PROJEKTER FRA UDLANDET.....	35
	<b>APPENDIKS II: PARTNERSKABETS VIDERE UDVIKLING</b> .....	<b>41</b>



## **1 Partnerskabet**

Partnerskabsprojektet som har samarbejdet om denne strategi omfatter:

### **Bølgekræftteknologiudviklere og netværksorganisationer**

Wavestar  
Floating Power Plant  
Wave Dragon  
WavePlane  
Dexawave  
CrestWing WaveEnergyFyn  
Leancon Wave Energy  
Resen Energy  
Rolling cylinder  
WavePiston  
Weptos

Bølgekræftforeningen  
Alliancen for Grøn Offshore Energi  
Esbjerg Erhvervsudvikling  
Lindø Offshore Renewable Center (LORC)  
Hanstholm Havneforum  
Offshore Center Danmark

### **Universiteter, Godkendt Teknologisk Serviceinstitutter (GTS) og testcentre**

Aalborg Universitet  
DHI  
Danish Wave Energy Center (DanWEC)

### **Rådgivere og service**

Rambøll  
Innovayt  
Sandroos, advokatfirma

### **Offentlige myndigheder og energiselskaber**

Energinet.dk  
DONG Energy A/S

Perspektiver for videreførelsen og udvikling af Partnerskabet beskrives i Appendiks II.

Strategien er udarbejdet dels med baggrund i drøftelser med de enkelte partnere, og partnerskabsmøder afholdt under projektføreløbet og senest i Hanstholm den 22. marts 2012, hvor den foreløbige udgave af strategien blev diskuteret. Denne endelige version er udarbejdet på baggrund af den feedback, Partnerskabet har givet med baggrund i de løbende drøftelser på de efterfølgende styregruppemøder.

## 2 Resume

### *Vision*

*Visionen for dansk udvikling af bølgekræftteknologi er, at danske industri- og erhvervs-virksomheder opnår kompetencer til afsætning af konkurrencedygtige bølgekræftteknologier både på det danske og det internationale marked. Udnyttelse af bølgekræften er forudsætningen for, at der i fremtiden kan bygges offshore energiparker på større havdybder. Udvikling af bølgekræftteknologi skal senest fra 2030 sikre mulighed for en omkostningseffektiv, bæredygtig elforsyning fra offshore energiparker i Danmark.*

Danmark har i dag nogle af de bedst dokumenterede bølgekræftkoncepter i verden. Dette er opnået med relativt beskedne udviklingsmidler, idet udviklingen i Danmark typisk er foregået ved gradvist at opskalere og dokumentere anlæg, hvilket har minimeret de økonomiske og sikkerhedsmæssige risici. Samarbejde mellem forskningsinstitutioner og udviklere om konkrete projekter har fastholdt et højt fagligt niveau.

Offshore vindmølleparker er et væsentligt element i fremtidens elforsyning. Offshore er dyrt, særligt når man af hensyn til natur og miljø må langt til havs, uden at der af den grund produceres mere energi. Bølgekræft er den eneste teknologi, der drager fordele af at blive placeret på dybt vand i store bølger langt fra land, og kan derfor blive forudsætningen for, at der kan anlægges omkostningseffektive kraftværker uden for de kystnære områder.

Fra 2030 forventes bølgekræft at reducere de samfundsøkonomiske omkostninger forbundet med at udbygge elproduktionskapaciteten offshore. For at nå dette mål, er der i en overgang behov for tillægstariffer, der gradvist udfases efterhånden som produktionen fra bølgekræft stiger.

Den danske bølgekræftbranche er nu nået til et punkt, hvor driftserfaring er afgørende for, at udviklingen for alvor tager fart. Den videre udvikling af teknologi sker bedst ved en hurtig kommercialisering igennem tidsbegrænsede tillægstariffer, hvor igennem der sættes fokus på omkostninger, ydelse og driftssikkerhed. Desuden skal partnerskaber styrke samarbejdet i mellem forskningsmiljøer, udviklingsselskaber, industrivirksomheder samt aktører inden for markedet.

### **Strategi og anbefalinger**

Det danske Partnerskab for Bølgekræft vil opfylde den overordnede vision igennem:

- Optimal udnyttelse af udviklingsmidler igennem samarbejde om udvikling af vitale fælles komponenter og udnyttelse af teknologier, både internt i branchen og med eksterne specialiserede virksomheder. Det drejer sig først og fremmest om forankring, PTO (Power Take-off) og søkabler til flydende anlæg.
- At bølgekræft sidestilles med offshore vindkraft i forhold til nettilslutningsvilkår og afregningstarif, således at bølgekræft kan indgå på lige fod med vindenergi i udbud af offshore energiparker.
- At der som supplement til ovenstående indføres tidbegrænsede og produktionsbegrænsede tillægstariffer for bølgekræft, for her igennem at gennemføre en hurtig kommercialisering af bølgekræft, og skabe fokus på omkostninger, ydelse og driftssikkerhed, og at ForskVE-modellen, hvor støtten er betinget af, at projektet leverer en aftalt el-produktion afhængig af bølgeforhold, videreføres på relevante demonstrationsprojekter.

- At der sikres offentlig medfinansiering til etablering af demonstrationsanlæg af de mest lovende konkurrerende bølgekraftkoncepter inden 2016.
- At fokusere udviklingen igennem COE-beregninger (Cost Of Energy) og sandsynliggøre, at anlæggene på sigt kan fremstille elektricitet til en konkurrencedygtig pris for offshore vedvarende energi.
- At gennemføre en miljømæssig og samfundsmæssig vurdering af konkrete offshore lokaliseringsmuligheder for bølgekraftværker i Danmark, hvor der samlet kan produceres mindst 1500 COE (Cost Of Energy) om året.
- At Danmark fortsat skal være stærkt repræsenteret i internationalt samarbejde.

Nærværende strategi indeholder en detaljeret udviklingsplan og oversigt over de nødvendige investeringer for at opnå den forventede teknologiudvikling. Målsætningen om at producere 1500 GWh/år til en reduceret pris på 0,10 kr/kWh i forhold til ren offshore vindkraft vil kræve en offentlig investering på ca. 1,5 milliard over de næste 20 år. Denne investering vil, alene ved den reducerede el-produktionspris, være tilbagebetalt på 10 år.

*Tabel 1 Bølgekrafts gennemsnitlige FUD-investeringer af offentlige støttemidler per år, herunder tillægstariffer. Den forventede nødvendige afregningspris for offshore havvindmøller er her fastsat til 1 kr./kWh.*

År	Aktivitet	Feed-in Tariff kr/kWh		2015	2020	2025	2030	2035 og efter	
		Samlet Tariff	Mertariff*						
2012 -	<b>FUD</b> Tilskud til prioriterede FUD-projekter, samt generel forskning- og udviklingsstøtte					20 mio. kr. pr år			
2012 - 2020	<b>"ForskVE"-model</b> Ydelsesbetings støtte (ForskVE-modellen), baseret på maskinens ydelse i forhold til bølgerne, ikke kWh			10 mio. kr. pr år					
2013 - 2020	<b>Design og etableringsstøtte</b> Tilskud til design og fremstilling af demonstrationsanlæg. Støtten sammenkædes med tillægstariffen til demonstrationsanlæg			25 mio. kr. pr år					
2015 - 2025	<b>Demo-anlæg 2-5 MW</b> Ekstra feed-in tariff til 7000 MWh/år til de første demonstrationsanlæg, sikret i en periode på 10 år.	4,50	3,50		25 mio. kr. pr år				
2020 - 2030	<b>Demo-parker 10-20 MW</b> Ekstra feed-in tariff til de første små parker med en årlig elproduktion på ca. 30.000 MWh	3,00	2,00		60 mio. kr. pr år				
2025 - 2035	<b>Større bølgekraftparker 30-60 MW</b> Første større parker, produktion 100.000 MWh/år	1,50	0,50			50 mio. kr. pr år			
Efter 2030	<b>Udbudte energiparker 500-1000 MW</b> Udbud af større energiparker, hvor bølgekraft kommer til at bidrage med 1500 GWh årligt	0,90	-0,10					- 150 mio. kr. pr år	
Gennemsnitlige årlige investeringer mio. kr. pr år				55	80	105	130	-80	-150
GWh produceret per år				0,1	6	36	130	1500	1500
*i forhold til dagens havmøller. For de større energiparker forventes prisen på energien at komme 10 øre under rene offshore vindmølleparker. Med den fremtidige satsning på offshore energi forventes derfor en samfundsmæssig besparelse.									

### 3 Hvorfor bølgekraft?

I energiforliget 2012 er der til bølgeenergi specifikt afsat 25 mio. kr. til udvikling af bølgeenergiområdet som en del af regeringens plan mod en omstilling til et energisystem baseret 100 % på vedvarende energi.

Mange lande, herunder Danmark, forventes at satse kraftigt på offshore energiparker for at få plads til den nødvendige energiforsyningskapacitet. Offshore vindkraft alene er dyrt, når man af hensyn til natur og miljø må placere parkerne langt til havs, uden at der af den grund produceres mere energi. Bølgekraft derimod har et større energipotentiale længere fra land og på dybere vand, og er derved den eneste teknologi, der drager fordele af at blive placeret på dybt vand i store bølger, langt fra land.

Bølgekraft kan derfor være medvirkende til at nedbringe omkostningerne for energiparker til havs og dermed også energiprisen som et samfund, baseret på 100 % vedvarende energi, må betale. Der er gode forudsætninger for at nå dette mål, bl.a.:

1. Vindkraft og bølgekraft kan deles om omkostningstunge offshore installationer, f.eks. platforme, fundamenter, transformere, elkabler, forbindelse og servicefaciliteter, og desuden vil en kombination øge udnyttelsesgraden af det tilgængelige havareal. Desuden vil placering af bølgeenergianlæg foran offshore vindmølleparker reducere bølgerne, hvilket kan lette servicering af vindmøllerne.
2. Bølgekraft vokser op og klinger af langsommere end vindkraft og energiproduktionen fra bølger er mere stabil. Kombination vil derfor give en mere udjævnet energiforsyning end for vind alene. Bølgekraftproduktion kan, afhængig af lokalitet, forudsiges 6-9 timer forud med en langt større nøjagtighed, end det er tilfældet for vind, og er derfor billigere at integrere i det samlede el-system.
3. Der er begrænsede lavt-vands områder til rådighed for store vindmølleparker, og placeringen på dybt vand betyder højere omkostninger uden en tilsvarende højere energiproduktion. For bølgekraft betyder dybt vand højere bølger og et større energipotentiale, som giver en væsentlig forøgelse af energiproduktionen. Fremtidens energiparker kan igennem udvikling af bølgekraftteknologien placeres på dybt vand, hvor energiindholdet er meget højt, og hvor rene vindmølleparker næppe vil være økonomisk realiserbare. Desuden vil den visuelle påvirkning af horisonten fra bølgekraftanlæg på dybt vand, selv kombineret med høje havvindmøller, være forsvindende.

Endelig er den danske bølgekraftbranche internationalt med helt fremme. Erfaringerne fra offshore vind og offshore industri generelt genbruges i vid udstrækning, og et væsentligt mål for branchen er at skabe danske arbejdspladser samt eksportere teknologi og knowhow. Dette er allerede realiseret i det små. Det internationale udskillelsesløb mellem forskellige bølgekraftteknologier er ved at blive løbet i gang, og vil tage til i de kommende år. Danmark står teknologisk meget stærkt, men for at fastholde teknologiuudviklingen i Danmark er det afgørende, at der f.eks. sikres de nødvendige rammebetingelser for at etablere de første demonstrationsanlæg i danske farvande.

Bølgekraftbranchen vil med denne strategi styrke og udbygge samarbejdet om udvikling af teknologien, og i fællesskab arbejde politisk for at forbedre rammevilkårene for bølgekraft.

## 4 Strategi og anbefalinger

### 4.1 Vision og målsætning

Danmark har i dag nogle af de bedst dokumenterede bølgekræfterkoncepter i verden. Dette er opnået med relativt beskedne udviklingsmidler, idet udviklingen i Danmark typisk er foregået ved gradvist at opskalere og dokumentere anlæg, hvilket har minimeret de økonomiske og sikkerhedsmæssige risici. Samarbejde mellem forskningsinstitutioner og udviklere om konkrete projekter har fastholdt et højt fagligt niveau.

Bølgekræfter er dog fortsat en relativt umoden teknologi, der endnu mangler at demonstrere evnen til omkostningseffektivt og pålideligt at bidrage til fremtidens energiforsyning. Derfor har Partnerskabet for Bølgekræfter formuleret følgende overordnede vision:

#### **Vision**

*Visionen for dansk udvikling af bølgekræfterteknologi er, at danske industri- og erhvervsvirksomheder opnår kompetencer til afsætning af konkurrencedygtige bølgekræfterteknologier både på det danske og det internationale marked. Udnyttelse af bølgekræfteren er forudsætningen for, at der i fremtiden kan bygges offshore energiparker på større havdybder. Udvikling af bølgekræfterteknologi skal senest fra 2030 sikre mulighed for en omkostningseffektiv, bæredygtig elforsyning fra offshore energiparker i Danmark.*

Virkeliggørelse af visionen vil kræve fortsatte udviklingsaktiviteter, som involverer partnerskaber, de tekniske universiteter, GTS-systemet, udviklingselskaber, industrivirksomheder m.fl., og som understøttes af offentlige midler og venture kapital.

Strategien er at minimere omkostningerne igennem et øget samarbejde om udvikling af fælles "standard"-komponenter, der ikke betragtes som de enkelte bølgekræfterudvikleres kerneteknologi. Midlet er, at der indgås alliancer og samarbejder mellem de enkelte bølgekræfterprojekter, samt med specialiserede virksomheder og organisationer uden for branchen.

Ud over de teknologiske udfordringer stiller udviklingsprocessen store krav til måleprogrammer, gennemførelse af afprøvninger og evaluering af resultater. Benchmarking ved hjælp af nøgletal er et vigtigt redskab i udviklingsprocessen. Der kunne derfor være et behov for et organ, et institut eller lignende, der kunne give en objektiv og uafhængig vurdering af de enkelte projekters teknologimuligheder, markedsmuligheder m.v.

Som et andet vigtigt led i strategien indgår, at der ved udvikling af bølgekræfteranlæg sikres risikovillig kapital og medfinansiering af teknologiudviklingen. Fuldskala demonstration er meget omkostningskrævende og kan ikke alene bæres af de nuværende offentlige tilskudsordninger til forskning, udvikling og demonstration inden for ny energiteknologi. En forudsætning for at kunne øge interessen for private investeringer i bølgeenergi i Danmark er, at der indføres en midlertidig feed-in tarifstruktur for bølgekræfter.

## 4.2 Prioriterede udviklings- og samarbejdsområder

Partnerskabet for Bølgekraft har via workshops og interviews med de danske bølgekraftudviklere identificeret en række områder af fælles interesse. Udviklingsarbejde vedrørende de prioriterede områder kan iværksættes i samarbejde mellem flere udviklere og i samarbejde med anden relevant faglig ekspertise på områderne.

Det tilstræbes, at de udviklede metoder og teknologier demonstreres, og at teknologien i videst muligt omfang stilles til rådighed for Partnerskabet, som minimum hvor teknologien er udviklet med støtte fra offentlige støtteprogrammer.

De udviklingsområder, som Partnerskabet har prioriteret som områder, der med størst fordel kan udvikles i fællesskab, er følgende:

<b>Emne og tidshorisont:</b>	<b>Beskrivelse</b>
<i>Forankringssystemer 2012-2015</i>	Et fælles udviklingsprojekt med henblik på at udvikle nye forankringsmetoder for flydende anlæg med øget sikkerhed og levetid og som kan udføres til reducerede udgifter.
<i>PTO-systemer 2014-2017</i>	Det handler om hele kæden fra overføring af energi fra bølgeabsorbere (gear, hydraulik, etc.) til generator. Et samarbejde omkring at udvikle og afprøve den PTO- og effektteknologi, der er mest hensigtsmæssig mht. de enkelte generatorer i en bølgeenergi maskine fra en maskine (AC/DC til AC-konverter på bølgemaskineniveau) til en "farm" af bølgemaskiner inkl. en transformerstation. Herunder vurdering af virkningsgrad, pris, vedligehold mm.
<i>El-transmission fra flydende anlæg til havbund 2013 - 2016</i>	Udviklingen og afprøvningen af en fleksibel el-kabelforbindelse, som kan benyttes til at tilslutte en flydende bølgemaskine, der kan svaje omkring sit ankerpunkt til et fast punkt på havbunden. Det er en udfordring tæt knyttet til forankringsmetoden mht. anlæggets størrelse, vanddybden, bundforhold og havområdet.
<i>Materialer og komponenter (løbende)</i>	Der er interesse for fælles udviklingsprojekter omkring afprøvning af nye materialer og komponenter på prototyper, således at erfaringer omkring holdbarhed, begroning, korrosion mm. fra afprøvning af et anlæg kunne komme andre til gode.
<i>Placeringsmuligheder 2012-15</i>	Udarbejdelsen af en skitseplan for mulig fremtidig placering af bølgekraftanlæg i Danmark.
<i>Faciliteter til demoanlæg (løbende)</i>	DanWEC som GreenLab indgår i målsætningen for at reducere udgifterne til etablering af fuldskalaforsøg

## 4.3 Udviklingsmålsætning, afregningsvilkår og investering

Den danske bølgekraftbranche er nået til et punkt, hvor driftserfaring er afgørende for, at udviklingen for alvor tager fart. Stadig flere og større maskiner i drift, kombineret med en målrettet forsknings- og udviklingsindsats, vil skabe den nødvendige synergi imellem praksis og teori. For at kunne øge interessen for private investeringer i bølgeenergi i Danmark, som er på et prækommercielt niveau, er det nødvendigt, at der midlertidigt indføres mere gunstige afregningsforhold for bølgekraft i Danmark. På sigt forventer Partnerskabet for Bølgekraft, at bølgekraft afregnes efter tilsvarende vilkår som andre offshore vedvarende energiteknologier, og som minimum ligestilles med offshore vindkraft.

De første fuldskalaanlæg vil være afhængige af at modtage offentlig støtte, idet der er tale om meget store investeringer. Det er i både branchens og samfundets interesse,



at denne støtte ydes til anlæg, der er i stand til at levere el til nettet, og derfor anbefales det, at en væsentlig del af støtten ydes igennem en tillægspris til et fastsat antal MWh eller i en given periode. Ydes en væsentlig del af den offentlige støtte igennem den faktiske elproduktion vil det medføre:

- Øget fokus på maskinernes omkostningseffektivitet
- Klare rammer for bølgekraftfirmaernes udviklings- og forretningsplaner
- Minimale risici for støttemidlerne
- En naturlig overbygning til ForskVE-midlernes ydelsesbetingede støtte, som anbefales videreført

Tillægsprisen skal aftage efterhånden som teknologien modnes, og der vil her være tale om relativt begrænsede samfundsøkonomiske investeringer, som fra ca. 2030 forventes tilbagebetalt i form af reducerede afregningspriser til offshore energiparker. Der foreslås følgende tarifstruktur:

1. Testsitet DanWEC ved Hanstholm udvikles og udbygges med kabeltilslutningsplatform og kabel til land, så der frem til ca. 2020 kan afprøves 3 til 6 forskellige anlæg tilsluttet nettet. Disse praktiske forsøg med forskellige principper udføres med henblik på at verificere og sammenligne teknologier, holdbarhed og produktion. Disse anlæg kan støttes efter ForskVE-modellen, hvor fokus er ydelsen i forhold til bølgerne mere end producerede MWh.
2. Fra ca. 2015 vil det være realistisk, at der kan installeres 2-5 MW demonstrationsanlæg, der forventes at producere omkring 7000 MWh om året. Disse anlæg sikres en speciel høj afregningspris på 4,5 kr/kWh, (eller ca. 3,5 kr/kWh højere end Anholt havmøllepark), svarende til ca. 25 millioner om året. Ved tilfredsstillende funktion og produktion vil den høje afregningspris betale den privat investerede kapital tilbage i en aftalt årrække, og den vil være tilstrækkelig til at sætte de første anlæg i søen. Anlæg ved DanWEC vil formentlig producere frem til 2030-35, hvorefter der teknologisk vil være sikkerhed for ydelse, pålidelighed og økonomi.
3. Fra omkring 2020 kan de første små 0-serie demo-parker idriftsættes. Demoparkerne kan evt. sættes i udbud i forbindelse med vindparker, og udgangspunktet for samlede udbud kan svare til en produktion på omkring 30.000 MWh årligt, svarende til ca. 10-20 MW. Afregningsprisen forventes ca. 2 kr. højere end tilsvarende havvindmøller.
4. Første større bølgekraftpark, eller energipark inkluderende bølgekraft, forventes klar til udbud fra ca. 2025. Afregning for bølgekraftdelen forventes at være reduceret til 50 øre/kWh over afregningsprisen for havvindmøller. Det forventes, at der skal udbydes kapacitet til en årlig elproduktion på 100.000 MWh til denne afregningspris for at bringe bølgekraftbranchen frem til et udviklingsstadium, hvor det kan indgå fuld kommercielt ved udbud af offshore energiparker.

I 2030-35 vil der via ovennævnte tarifstruktur være investeret omkring 1,5 milliard kr. i bølgekraft, dog med en trinvis udvikling, der sikrer en sammenhæng til den forventede teknologiudvikling. Denne teknologikøreplan dækker således udviklingen af bølgekraft frem til 2030, hvor målet er, at bølgekraft er tilstrækkeligt gennemprøvet og moden til at indgå i offshore energiparker med reduceret afregningspris til følge, og som del heraf leverer mindst 1500 GWh om året.



Figur 1 Udviklingsplan for Bølgekraft.

Målet er, at den gennemsnitlige pris pr. kWh leveret fra en bølgekraftpark eller bølge/vindkraftpark vil være mindst 10 øre billigere end den rene vindmøllepark, og for at nå dette mål kræves en målrettet investering i bølgekraft.

Som led i planlægningen af hvorledes udbygningen af bølgekraft kan foregå i Danmark, skal det først afklares, hvor bølgekraftanlæg kan placeres i dansk søterritorium, evt. i forbindelse med vindkraftanlæg, herunder en prioritering af hvilke anlægsaktiviteter initiativer, der skal igangsættes samt ligeledes hvor og hvornår dette skal ske. Som eksempel anføres planen på følgende side.

**Tabel 1 Bølgekräfts gennemsnitlige FUD-investeringer af offentlige støttemidler per år, herunder tillægstariffer. Den forventede nødvendige afregningspris for offshore havvindmøller er her fastsat til 1 kr./kWh.**

År	Aktivitet	Feed-in Tariff kr/kWh		2015	2020	2025	2030	2035 og efter	
		Samlet Tariff	Mertariff*						
2012 -	<b>FUD</b>								
	Tilskud til prioriterede FUD-projekter, samt generel forskning- og udviklingsstøtte								
2012 - 2020	<b>"ForskVE"-model</b> Ydelsesbetingen støtte (ForskVE-modellen), baseret på maskinens ydelse i forhold til bølgerne, ikke kWh			<b>10 mio. kr. pr år</b>			<b>20 mio. kr. pr år</b>		
2013 - 2020	<b>Design og etableringsstøtte</b> Tilskud til design og fremstilling af demonstrationsanlæg. Støtten sammenkædes med tillægstariffen til demonstrationsanlæg			<b>25 mio. kr. pr år</b>					
2015 - 2025	<b>Demo-anlæg 2-5 MW</b> Ekstra feed-in tarif til 7000 MWh/år til de første demonstrationsanlæg, sikret i en periode på 10 år.	4,50	3,50		<b>25 mio. kr. pr år</b>				
2020 - 2030	<b>Demo-parker 10-20 MW</b> Ekstra feed-in tarif til de første små parker med en årlig elproduktion på ca. 30.000 MWh	3,00	2,00			<b>60 mio. kr. pr år</b>			
2025 - 2035	<b>Større bølgekræftparker 30-60 MW</b> Første større parker, produktion 100.000 MWh/år	1,50	0,50				<b>50 mio. kr. pr år</b>		
Efter 2030	<b>Udbudte energiparker 500-1000 MW</b> Udbud af større energiparker, hvor bølgekræft kommer til at bidrage med 1500 GWh årligt	0,90	-0,10					<b>- 150 mio. kr. pr år</b>	
Gennemsnitlige årlige investeringer mio. kr. pr år				<b>55</b>	<b>80</b>	<b>105</b>	<b>130</b>	<b>-80</b>	<b>-150</b>
GWh produceret per år				0,1	6	36	130	1500	1500

\*I forhold til dagens havmøller. For de større energiparker forventes prisen på energien at komme 10 øre under rene offshore vindmølleparker. Med den fremtidige satsning på offshore energi forventes derfor en samfundsmæssig besparelse.

#### 4.4 Uvildig screening og evaluering

Proof of concept, tillid til tekniske løsninger, validitet i afprøvning er væsentlige nøgleord både i forhold til politiske beslutningstagere, relevante industrielle partnere og nationale og internationale finansielle investorer.

Der er behov for en objektiv og uafhængig procedure til vurdering af de enkelte projekters teknologimuligheder, markedsmuligheder m.v. En screening af de enkelte koncepter i forhold til en række kendte og fælles anerkendte parametre; en screening der kunne give en skalamæssig vurdering af de enkelte dele, og en samlet vurdering af totalkonceptet. Hermed kunne der også stilles skarpt på, om et koncept totalt set scorer lavt, men på enkelte parametre har banebrydende elementer, der kunne indgå udviklings- og forretningsmæssigt i andre koncepter.

Energinet.dk har udviklet et regneark, som kan benyttes til at beregne energiprisen for individuelle bølgekraftanlæg. Dette værktøj vil fremover blive benyttet til at vurdere udviklingen i de dansk støttede udviklingsprojekter. COE-regnearket [W1] kan findes på Energinet.dk's hjemmeside. Med denne regnearksmodel for vurdering af COE er første skridt på vejen taget.

Et fælles projekt kunne være at udvikle et screenings- og evalueringsværktøj som grundlag for en bredt anerkendt (gerne international) akkreditering af bølgekraftkoncepter.

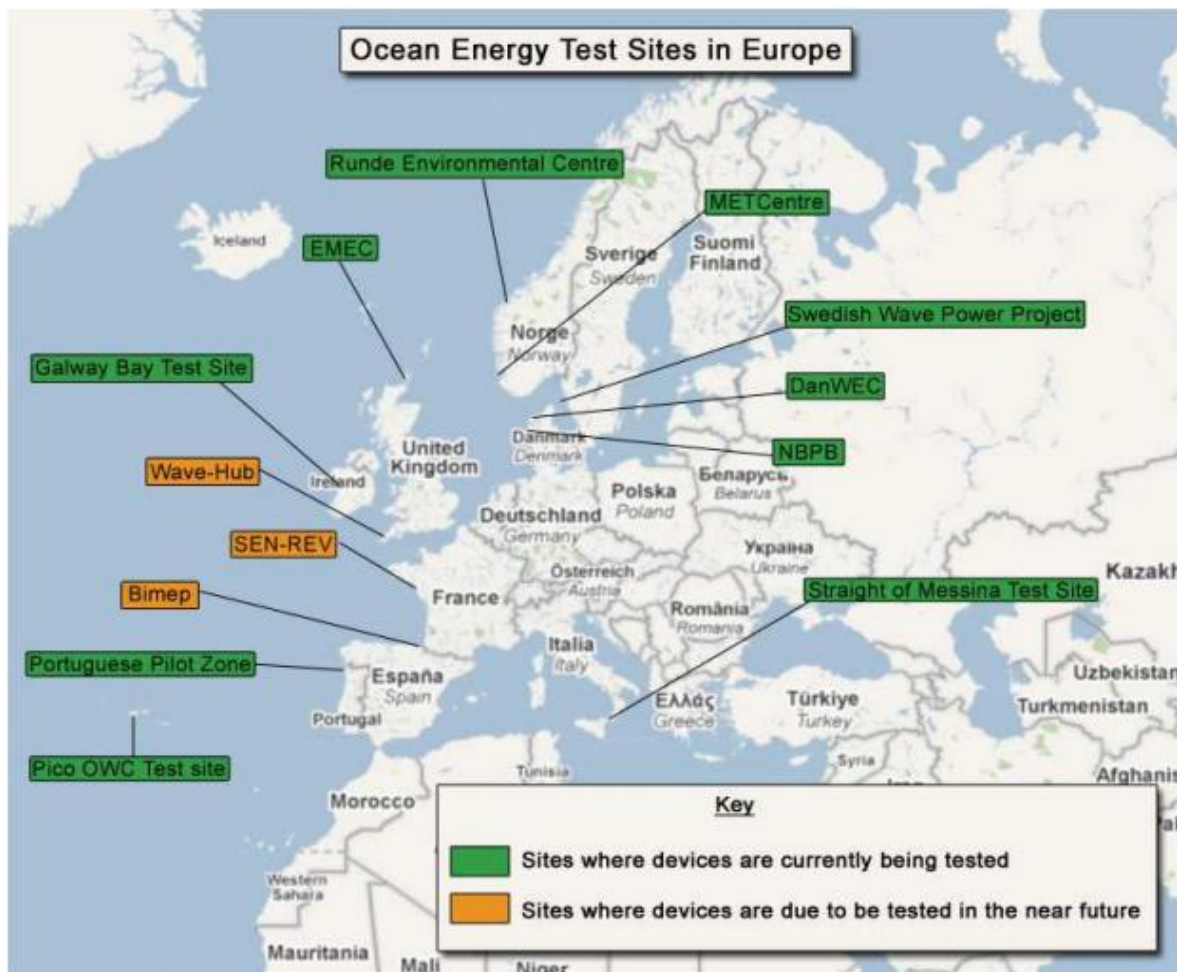
#### 4.5 Offshore testfaciliteter til bølgekraft

Det danske testsite ved Nissum Bredning blev etableret under det danske Bølgekraftprogram 1998-2001 og kendt i EU, da der i 2000 blev afholdt den 4. EWTEC konference i Aalborg med ekskursion til sitet. Dernæst har langtidsafprøvningen af såvel Wave Dragon som Wavestars storskalamodeler ved sitet medvirket til at give testsitet international anerkendelse.



Figur 2 Testsitet ved Nissum Bredning i 2007.

Umiddelbart efter etableringen af testsitet i det meget beskyttede havområde ved Nissum Bredning, annoncerede Storbritannien, at de ville etablere et testsite EMEC (European Marine Energy Centre), i det udsatte havområde ved Orkney øerne. EMEC er i dag center for afprøvning af både bølgekraft og tidevandskraft, og senest er bølgekraftanlæggene Pelamis og Oyster blevet testet der. Irland har etableret et relativt beskyttet site i Galway Bay, hvor bl.a. skalamodeller af Wave Bob og OE Buoy er blevet afprøvet. Portugal har gjort meget for at tiltrække udenlandske bølgekraftudviklere, og arbejder bl.a. på at etablere en Pilot Zone for afprøvning af større parker med bølgekraft. I Spanien er Bimep udlagt som forsøgsområde, i Frankrig SEM-REV og endelig Wave Hub i Sydengland, hvor der er lagt el-kabler ud, som bølgekraftanlæg kan tilsluttes. Et overblik over testsites i Europa er vist i Figur 3.



Figur 3 Testsites for bølgekraft og tidevandsenergi i Europa [8].

Danish Wave Power, Waveplane, Wavestar og Dexawave har gennem tiden haft afprøvningsaktiviteter i Hanstholm og i 2010 blev den erhvervsdrivende fond DanWEC stiftet, hvorved DanWEC er etableret som et nationalt testsite for bølgeenergi ved Hanstholm.

DanWEC har søgt, og modtaget betinget tilsagn om midler via Green Labs DK og vil som GreenLab kunne tilbyde at dække de grundlæggende fælles behov, som udviklerne har mht. til viden og data vedrørende bølge-, strøm-, vandstandsforhold, søafmærkning, forankringsmuligheder, kabelstilslutning, transformerstation, adgang til datafaciliteter, kontor, fremvisnings- og demonstrationsfaciliteter. Dette kombineret med de fra naturen givne bølgeforhold, der passer til prækommercielle bølgeanlæg, en positiv støtte fra regionen, den enkle danske "one-stop-shop"-procedure for godkendelse til udlægning og el-produktion (som er unikt for Danmark), forventes også at skabe international interesse for testcenteret.



Figur 4 Kollage af Partnerskabets danske bølgekraftprojekter. Se nærmere beskrivelse i Appendiks I.

#### 4.6 Anbefalinger til offentlige støtteordninger

En betydelig del af de samlede forsknings-, udviklings- og demonstrationsmidler (FUD) til bølgekraft kommer fra offentlige støttepuljer, herunder bl.a. EUDP (Energistyrelsen), ForskEL og ForskVE (Energinet.dk). Det anbefales, at bevillingerne gives til projekter, der støtter op om strategiens principper med hensyn til teknologisk indhold, finansiering og samarbejde mv. Dette vil bl.a. omfatte:

1. Projekter der understøtter og viderefører forskning, udvikling og demonstration inden for allerede etablerede anlægstyper, der har nået et vist stadie, herunder benytter Energinet.dk's COE-beregning til at fokusere udviklingen.
2. Udviklingsarbejde vedrørende de prioriterede områder iværksættes i samarbejde mellem flere udviklere og i samarbejde med anden relevant faglig ekspertise på områderne:
  - *Forankring*
  - *PTO (Power Take-off)*
  - *Søkabler (fra havbund til det flydende roterende anlæg)*
  - *Materialer og komponenter*

De udviklede metoder og teknologier demonstreres og teknologien stilles til rådighed for Partnerskabet.

3. Understøtning af forskning og udvikling vedrørende nye anlægstyper, hvis der kan redegøres for:
  - At de har et teknisk, drifts- og anlægsøkonomisk potentiale, især set i forhold til andre dokumenterede typer af bølgekraftanlæg.
  - Hvordan de adskiller sig både teknisk og økonomisk fra tidligere undersøgte anlægstyper i Danmark eller udlandet.
  - At udviklingsarbejde på prioriterede områder indarbejdes i samarbejde med Partnerskabet.
  - At de i videst muligt omfang tager udgangspunkt i kendt teknologi.
4. Understøtning af undersøgelser som sigter på at vurdere konkrete offshore lokaliseringsmuligheder for bølgekraftværker i Danmark, herunder omkostningerne til el-transmission, vurdering af beskæftigelsesmæssige og miljømæssige konsekvenser

Det er nødvendigt for både tilskudsgiverne og branchen som helhed løbende at følge udviklingen på bølgekraftområdet, både nationalt og internationalt, og at dette arbejde understøttes af forskningsprogrammerne. Det anbefales, at Energinet.dk og/eller Energistyrelsen bidrager til årligt at samle de aktive involverede aktører og interessenter til f.eks. en workshop, for at sikre:

- Informations- og resultatudveksling mellem de aktive danske bølgekraftmiljøer og -projekter. Koordinering og samarbejde mellem de forskellige danske parter, hvor det er muligt og relevant.
- Opdateret fælles viden om den internationale situation på området, gennem dansk deltagelse i internationale aktiviteter som IEA-OES samarbejdet, EERA samarbejdet og deltagelse i standardiseringsarbejdet under DS/IEC TC 114.
- Tilskudsgivernes og investorernes overblik over områdets udvikling, identifikation af nye FUD - indsatsområder og behov for ændringer i strategien.

Endelig anbefales en markant styrkelse af forskning og uddannelse inden for bølgekraft på universitetsniveau, evt. ved oprettelsen af et institut for bølgekraft. GTS-systemet kan i den forbindelse også spille en vigtig rolle for udviklingen af dansk bølgekraftteknologi, både mht. brug af infrastruktur til fysiske afprøvninger og teknologisk service tilpasset behovet blandt teknologiudviklerne, herunder videre udvikling af numeriske modelværktøjer.

Disse anbefalinger skal således erstatte dem, som er anført i den tidligere strategi for udvikling [9] mht. målsætningen og indsatsområder for bølgekraft.

#### 4.7 Bølgekraft i Energistyrelsens Teknologikatalog

I lighed med andre energiteknologier indgår bølgekraft i Energistyrelsens Teknologikatalog [W2], hvor blandt andet målsætninger for installeret effekt, samt opdaterede bud på energiproduktionsdata og økonomi anføres som vist i Tabel 2.

Bygningen af bølgekraftparkerne vil typisk kunne etableres i forbindelse med et havneanlæg, og hvor anlæggene kan lagres og sejles ud på plads under gunstige vejrforhold. Typiske udgiftsposter i forbindelse med bygning og drift af bølgekraftanlæg er som vist nedenstående:

- Hovedstruktur
- Power Take-off
- Kabeludgifter for nettilslutning
- Udlægning og installation
- Drift og vedligehold

Tabel 2 Nøgletal for bølgekraft til Teknologikatalog [W2].

	Bølgekraft					
	2015	2020	2030	2050	Note	Ref
Energi tekniske data						
Installeret effekt for et kraftværk (MW)			10-100	50-500		
Længde af et bølgekraftværk km			1-20	5-100		
Årlig produceret elektricitet (MWh/MW)	1500	2500	3500	4500		
Til rådighed	90	95	97	98		
Teknisk levetid	10	20	25	30		
Byggeperiode (år)			2-4	2-8		
Økonomiske data						
Anlægs investering (MDDK/MW)						
Drift og vedligehold (DDK/MW)						

De nederste rækker i tabellen ovenfor er endnu ikke udfyldt, men strategiens målsætninger kunne typisk indarbejdes her i kommende udgaver og COE beregnes med Energinet.dk's regneark [W1].



## 5 Energi, miljø og erhverv

### 5.1 Energipotentiale

Bølgeforholdenes variation i den danske del af Nordsøen er beskrevet i rapporten [1], og potentialet er beregnet til 30 TWh per år, opgjort som den mængde bølgekraft, der årligt passerer dansk søterritorium i Nordsøen. Som et regneeksempel anføres i rapporten, at bølgekraftværker placeret over en 150 km strækning i en afstand på 100 km fra Jyllands vestkyst (hvor potentialet er 15 kW/m) kan levere en el-produktion på ca. 5 TWh/år (5000 GWh/år). Dette svarer til ca. 15 % af det danske elforbrug. Danmarks vindkraftproduktion var til sammenligning ca. 7,8 TWh [2] i 2010.

Udviklingen af bølgekraft i Danmark skal derfor også ses med eksport potentiale for øje, idet bølgeenergipotentialet langs Europas atlantiske kyststrækninger typisk er to til tre gange større end i Danmark [3], med kortere afstand mellem kyst og gunstige bølge- og dybdeforhold, hvilket på sigt kan give anledning til en betydelig eksport af teknologi og knowhow.

Bølgeenergipotentialet kan svinge fra år til år og er typisk er 5 gange større i vintermånederne end om sommeren. Denne variation følger vindenergien og passer godt til det danske energiforbrugsmønster.

Der er endnu ikke en bølgekraftteknologi, som prismæssigt kan konkurrere med f.eks. vindkraft, men der er en række prototyper, som afprøves i havet og stadig nye ideer, som undersøges i forsøgsbassiner under mere kontrollerbare omstændigheder, designstudier og optimeringsprocedurer med henblik på at forbedre performance og dermed økonomi. Bølgeenergianlæggenes energiproduktion er afhængig af bølgeforholdene på de lokaliteter, hvor anlæggene etableres.

Prototyperne, som afprøves i dag, er i størrelsen 100-1000 kW, og generatorer drives eksempelvis via et pneumatisk, mekanisk eller hydraulisk Power Take-off system (PTO), der opsamler energien fra en given bølgestrækning. Kommercielle offshore bølgekraftværker vil på sigt omfatte et stort antal enheder på samme måde som vindfarme, måske endda større. En øvre grænse for bølgekrafts bidrag i Danmark anslås at være i størrelsesorden 11 TWh/år (40 PJ/år) [3].

### 5.2 Indpasning i energisystemet

Muligheden for at styre og regulere bølgeenergianlæggets energiproduktion ligger primært i dens PTO-system. Generelt udvikles systemet med henblik på at absorbere mest mulig af bølgenes energi på et givent tidspunkt, men indebærer også muligheden for at koble systemet fra el-nettet, hvis det er påkrævet f.eks. af sikkerhedsgrunde. Bølgekraft er mere stabil og forudsigelig end vindkraft, og dette kan øge værdien af kombinationen bølge- og vindkraft.

### 5.3 Miljøforhold

Bølgekraft forventes at give en positiv miljømæssig effekt. Planlagt i samarbejde med skibsfart, olie/gas- og fiskerierhverv forventes bølgekraftanlæg at have en positiv effekt på havmiljøet. Specielt vil de undersøiske strukturer og beskyttede områder, som bølgeenergiparkerne vil omfatte, kunne give fisk og anden flora og fauna nye beskyttede yngleområder (se evt. [W3]).

Fordele:

- Bølgekraft produceres uden fossilt brændstof.
- Bølgekraftanlæg er lave strukturer, som placeret til havs ikke generer visuelt.
- Bølgekraft er mere forudsigelig og stabil i forhold til vind.
- Bølgekraft producerer mere energi placeret på dybere vand længere fra land.
- Bølgekraftanlæg kan have en kystbeskyttende virkning.

Udfordringer:

- Udvikling og afprøvning af prototyper til havs er dyrt, og det kræver derfor et målrettet udviklingsprogram for at udvikle anlæggene, så de kan producere strøm til en konkurrencedygtig pris.
- I Danmark er de mest energirige bølger langt fra land, hvilket betyder, at kabelforbindelsen til land udgør en stor del af anlægsøkonomien.
- Bølgekraftanlæg vil optage områder til havs, hvilket kræver en rettidig planlægning og prioritering af arealer for indpasning af bølgekraftanlæg.

#### **5.4 Eksportpotentiale og beskæftigelse**

Interessen for udviklingen af og investeringen i vedvarende energi finder sin begrundelse i hensynet til forsyningssikkerhed og klima, men også erhvervs- og beskæftigelsesmæssige muligheder.

Inspirationen til sidstnævnte kan blandt andet hentes i resultaterne af Tysklands enorme satsning på investering i solenergi. I 2009 skønnede det tyske Miljøministerium således, at der var skabt 50.000 arbejdspladser inden for solenergi.

Ingeniørforeningen har i 2006 i sin Energiplan 2030 [4] vurderet energiperspektivet for bølgekraft i Danmark til at være ca. 500 MW bølgekraft, som årligt kunne producere 1,75 TWh. En sådan satsning vil udover det energi- og miljømæssige bidrag også formodes at have positive samfundsøkonomisk konsekvenser i form af væsentlige eksportindtægter og en betragtelig øget beskæftigelse.

Alliancen for Grøn Offshore Energi har i sin rapport "Fra samling til handling" [W4] i 2010, bl.a. med udgangspunkt i Klimakommissionens anbefalinger, skærpet målsætningen om, at der allerede inden 2020 skal kunne etableres 500 MW bølgekraft ved Vestkysten og i Nordsøen, samt at der på europæisk plan vil være akkumuleret installation på 2,1 GW havenergi, hvilket skønnes at kunne skabe 15.000 arbejdspladser.

Under forudsætning af, at Danmark fortsat ønsker at være "first mover" på bølgekraft, og aktivt satse på over de næste 10 år at have en ledende rolle i Europa inden for feltet, skønnes det at kunne skabe 7.000 arbejdspladser i bølgekraftindustrien i 2020 stigende til godt 20.000 i 2050.

Dette forudsætter fremdeles, at der udvises den fornødne politiske beslutningskraft, at der skabes det nødvendige plangrundlag, at der satses på en kontinuerlig og målrettet FUD, samt en styrkelse af relevante uddannelsesmæssige tiltag.

Bølgekraft kombineret med andre energiteknologier, som offshore vindkraft og algedyrkning, kunne på sigt skabe en diversitet i beskæftigelsesmæssige muligheder, hvor fiskerierhvervet tidligere har domineret og givet nye økonomiske vækstmuligheder for udkantsområderne i Danmark. Dette er i tråd med EU's sociologiske bestræbelser for at sikre samfundsudviklingen i disse områder.

## 5.5 Forretningsmuligheder og brancheforening

Bølgekraftindustrien er endnu i sin spæde vorden. Der skal derfor parallelt med og inden for de overordnede politisk skabte rammer, opbygges en ny industriel udvikling.

Dette kræver en kortlægning af de forretningsmæssige områder for bølgekraft, en nærmere definering af specifikke kundegrupper for branchen som helhed samt opstilling af en række konkrete forretningsmodeller, markedsmodning af løsninger og udvikling af gennemarbejdede forretningsmodeller. Det er markante udfordringer og barrierer, der skal forceres for, at en egentlig industrialisering og kommercialisering af bølgekraftanlæg kan realiseres.

Dette er for så vidt ikke anderledes for bølgekraftbranchen i forhold til andre industrielle brancher, og megen inspiration kan uden tvivl hentes fra udviklingen af vindmøllebranchen. Et inspirerende og åbent samarbejde mellem de to sektorer vil desuden kunne være frugtbart og befordrende for en udvikling af egentlige havenergiparker med kombinerede løsninger, hvori der indgår flere forskellige energikilder.

Der udtrykkes ønsker fra bølgekraftbranchens side om dels at få etableret en egentlig brancheorganisation, samt hjælp til opstilling og udarbejdelse af forretningsmodeller.

Udviklerne har tidligere været primært centreret omkring bølgekraftforeningen [W5], men derudover er der aktører som forsknings- og vidensinstitutioner, konsulenter, juridiske eksperter, samt forskellige organisationer som Nordisk Folkecenter for Vedvarende Energi, DanWEC, LORC, Alliancen for Grøn Offshore Energi og Offshore Center Danmark.

Det har også tidligere været forsøgt at danne en industriel organisation Wave Energy Industry Association (WEIA) [W6], men dette strandede primært på grund af manglende ressourcer.

Der er en markant og udtalt interesse for, at der dannes en overordnet paraply- eller brancheforening, der samlet set og bredt kan varetage interessen for branchen som helhed, og dermed være et fælles talerør i forhold til relevante myndigheder, beslutningstagere og meningsdannere. Dette kunne eksempelvis ske med inspiration fra tilsvarende initiativer inden for vindmøllebranchen.

Partnerskabet anses som den paraply og det fælles talerør (beskrevet i Appendix II), der kan medvirke til en implementering af strategien ved at stimulere og medvirke til etablering af projekter og samarbejder i henhold til de prioriterede udviklings- og samarbejdsområder i den fortsatte udvikling med henblik på at realisere en egentlig kommercialisering af bølgekraft i Danmark.

## 6 Forskning og udvikling

### 6.1 Trinvis udvikling af bølgekræftteknologier

Udviklingen af bølgekræftteknologier har med tiden fundet en udviklingsmodel, der groft kan opdeles i fem trin, hvor teknologien gradvis bygges og afprøves i større skala samtidig med, at design, komponenter, power take-off og numeriske og økonomiske beregninger fastlægges med større nøjagtighed. Udviklingen er ikke alene teknisk betonet, men den er i lige så høj grad et spørgsmål om at skabe et team, en forretningsmodel og undervejs tilpasse og optimere teknologien.

Det danske Bølgekræftprogram, der løb i perioden 1998 – 2001 [5] havde fokus på de første tre af de fem trin og kun Wave Dragon nåede under programmet til trin 3. De fem trin er beskrevet i nedenstående med eksempler på danske bølgeprojekter:

**Trin 1:** Omfatter en **indledende afprøvning af nye idéer og koncepter**, bygning af model og til efterfølgende simpel afprøvning i en bølgetank i samspil med et universitet. Aalborg Universitet (AAU) har på denne måde udført en lang række forsøg med forskellige koncepter, som har dannet basis for udvikling af nye ideer og inspireret til Ph.d.-projekter.

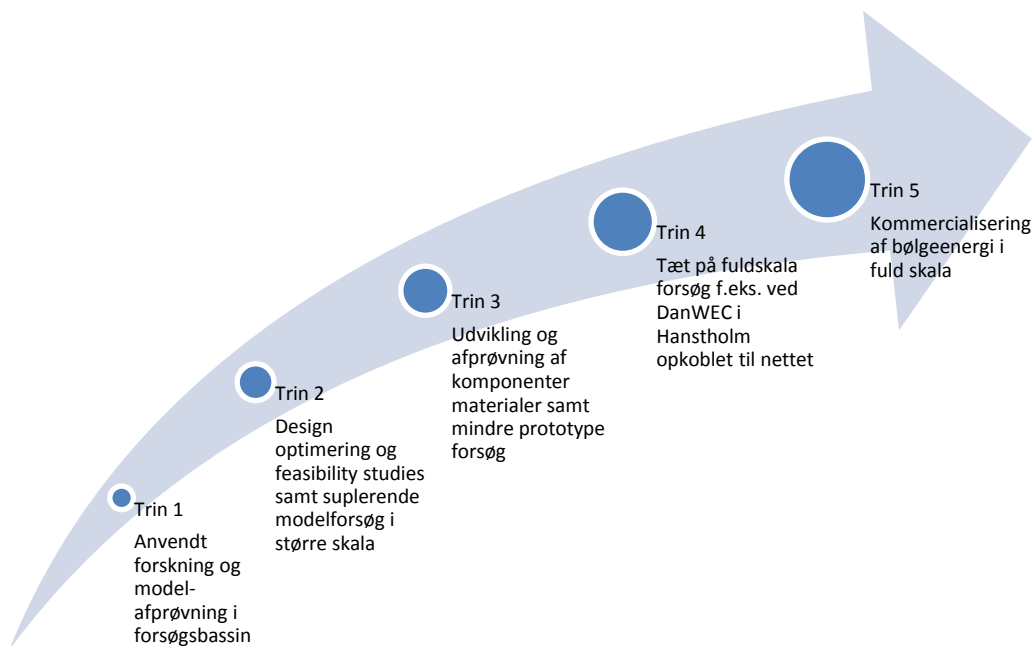
**Trin 2:** Omfatter videregående **udvikling og afprøvning** af udvalgte koncepter, med henblik på at opnå kvantitative resultater for holdbarhed og energieffektivitet m.v. Undersøgelser er foretaget i bølgetanke og med numeriske modeller. Af de 15 projekter, som har været afprøvet i fase 2, og som er beskrevet i Bølgekræftudvalgets afsluttende rapport [5], er fire videreført i dansk regi og Swan DK3 videreført som OE Buoy i Irland.

**Trin 3: Prototypeudvikling og forsøg** har i dansk sammenhæng vist sig at omfatte langtidsafprøvning af pilotprojekter i et beskyttet havområde i mindre skala, samtidig med at forretningsmodeller og partnerskaber udvikles og etableres. Wave Dragon nåede frem til denne fase inden for Bølgekræftprogrammets rammer og blev bygget og søsat i 2004 og afprøvet i Nissum Bredning, hvor den promoverede bølgekræft frem til isvinteren 2010, som satte punktum for afprøvningen. Efter Bølgekræftprogrammet søsatte Waveplane en mindre Bølgehøvl i Ringkøbing fjord for private midler. I perioden 2006 – 2010 blev Tusindbenet videreført som Wavestar og afprøvet i Nissum Bredning i skala 1:10, hvor den har produceret data og strøm. Poseidon, som det hed under Bølgekræftprogrammet, blev videreført som Floating Power Plant bygget og afprøvet ved vindmølleparken ved Vindeby i perioden 2007 – 2011. Dexawave testede en lille model ved AAU i 2009, efterfulgt af en 1:10 skalamodel installeret i Limfjorden. I 2011 søsatte Dexawave en skala 1:5 prototype til overlevelsesforsøg ved Hanstholm.

**Trin 4 Demonstrationsforsøg i større skala.** På dette trin verificeres anlægget på alle måder i en stor skala. Som dansk eksempel kan anføres Wavestars maskine ved Hanstholm, som blev bygget i 2008, tilsluttet til el-nettet og har produceret til el-nettet over en to-årig periode. Den specielle afregningsordning, som er udviklet af Energinet.dk under ForskVE, har vist sig meget brugbar på dette trin.

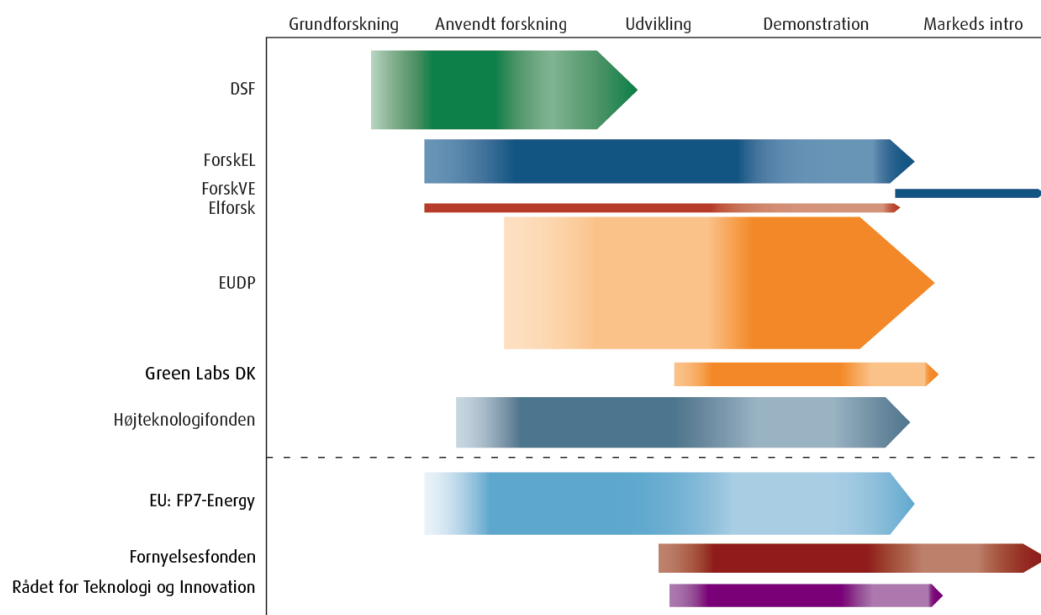
**Trin 5 Kommercialisering.** I det omfang, at et projekt har dokumenteret sin energi-produktion samt økonomi, og udviklingsfirmaet har indgået aftale om eller solgt en eller flere prototyper i havet med f.eks. et energiselskab, så kan der tales om, at projektet er nået til trin 5.

Femtrinsmodellen, som blev afprøvet under Bølgekræftprogrammet, blev oprindeligt beskrevet i OWEC-1 [6] projektet og er blevet videreudviklet og detaljeret under IEA-OES Annex II [7] og Equimar [8]. Dokumentation og udvikling fra de forskellige trin er en vigtig forudsætning for at komme i betragtning af el-producenter og energiselskaber, der normalt vil kræve, at et projekt er udviklet til og med trin 3.



Figur 5 Bølgekraftteknologiens fem udviklingstrin.

Denne femtrin-model kan sammenholdes med de nuværende støtteordninger for energiteknologier, som netop er tilpasset energiteknologiernes udviklingskæde fra anvendt forskning mod det kommercielle marked. Således har Det Strategiske Forskningsråd støttet "Structural Design of Wave Energy Devices" (SDWED) [W7] forskningsalliance, mens Energinet.dk med Forsk-EL og ForskVE har støttet bølgekraft på alle trin fra 1 – 4, og specielt på trin 3 og trin 4 støttet med den ydelsesbetingede støtte i ForskVE. EUDP har støttet større prototype forsøg på trin 4, som f.eks. Wavestars forsøg ved Hanstholm. Green Labs DK er mest forudset til at støtte etablering af infrastrukturer – som f.eks. DanWEC.



Figur 6 Danske energiteknologiske støtteordninger [W8].

## 7 Tværgående bølgekraftaktiviteter

### 7.1 Danske

Den strategiske forskningsalliance etableret af Forskningsgruppen for Bølgeenergi på Aalborg Universitet (AAU) i form af projektet SDWED [[W7](#)] forventes at blive et vigtigt omdrejningspunkt i bølgekraftbranchens bestræbelser på at gøre maskinerne mere effektive og driftssikre. Projektet, som strækker sig over fem år, fik i 2010 en betydelig bevilling fra Det Strategiske Forskningsråd på 19,5 mio. kr.

Projektet sigter på at videreudvikle numeriske modeller til design, pålidelighed og energiberegninger vedr. bølgekraftanlæg. Projektet er et strategisk samarbejde mellem bl.a. AAU, DTU, DHI, DNV, RAMBOLL, mfl. og uddannelsen af Ph.D.'ere er en væsentlig del af projektet.

Sideløbende med AAU's forskning gennemføres andre udviklingsprojekter, hvor forskere på AAU sammen med bølgekraftudviklerne tester potentialet i at benytte beton som konstruktionsmateriale for bølgekraftmaskiner, der kan være med til at gøre disse mere rentable og holdbare. AAU's forskere fra Institut for Energiteknik er også engageret i et projekt, der skal forbedre styring af bølgekraftmaskinernes PTO-systemer. Disse fælles opgaver støttes af ForskEL.

Offshore Center Danmark har i 2011 etableret projektet "Bølgekraft netværk". Målet med projektet er at sikre bølgekrafts fortsatte innovationsevne, vækst og kommercialisering for hurtigt at bringe energiformen op på niveau med offshore vindkraft og tilsvarende kommercialisering.

I efteråret 2010 bevilligede EUDP midler til at gennemføre nærværende projektet: "Ny strategi for bølgekraft gennem industrielt partnerskab", som baggrund for udarbejdelsen af nærværende nye/reviderede strategi for bølgekraft, forankret i et nyetableret Partnerskab for Bølgekraft. Baggrunden for bevillingen af støtte er at øge samarbejdet inden for branchen og udvikle nye fælles projekter. De danske partnere, som har deltaget i partnerskabsprojektet, blev indledningsvist præsenteret.

### 7.2 Internationale

Udviklingen internationalt kan følges på hjemmesiden for IEA-OES ([W9a](#)), hvor de årlige rapporter gennemgår aktiviteterne inden for bølgekraft, tidevandsenergi, OTEC samt osmotisk energi i de respektive medlemslande. Arbejdet under IEA-OES startede i 2001 på initiativ fra Danmark, Storbritannien og Portugal og har i det forløbne årti vokset til at omfatte 19 lande, som mødes to gange årligt. Det 23. ExCo-møde skal afholdes i Aalborg i oktober 2012.

Samtidig med det voksende antal forskellige bølge- og tidevandsteknologiprojekter styrkes og øges indsatsen på at udvikle metoder til at gøre de meget forskelligartede projekter sammenlignelige, bl.a. gennem projektsamarbejde i EU-regi og internationalt samarbejde om standardisering under IEC TC 114.

## IEA-OES samarbejdsprojekter og medlemslande

Ud over årlige opsummeringer af medlemslandenes projektaktiviteter iværksættes også fælles aktiviteter på områder af fælles interesse, som vist nedenstående i figur 7.



Figur 7 Oversigt over medlemmer i OES og aktiviteter [W9a].

Samarbejdsprojekter kaldes "tasks" eller "annexer" og nedenstående er en kort beskrivelse af de "tasks", der har været gennemført eller er under udarbejdelse, med henvisning til rapporter fra de enkelte projekter på hjemmesiden for IEA-OES.

Task 1 Annex I [W9a] omfatter den årlige rapport om aktiviteter i de enkelte lande, samt vedligehold af hjemmeside m.m.

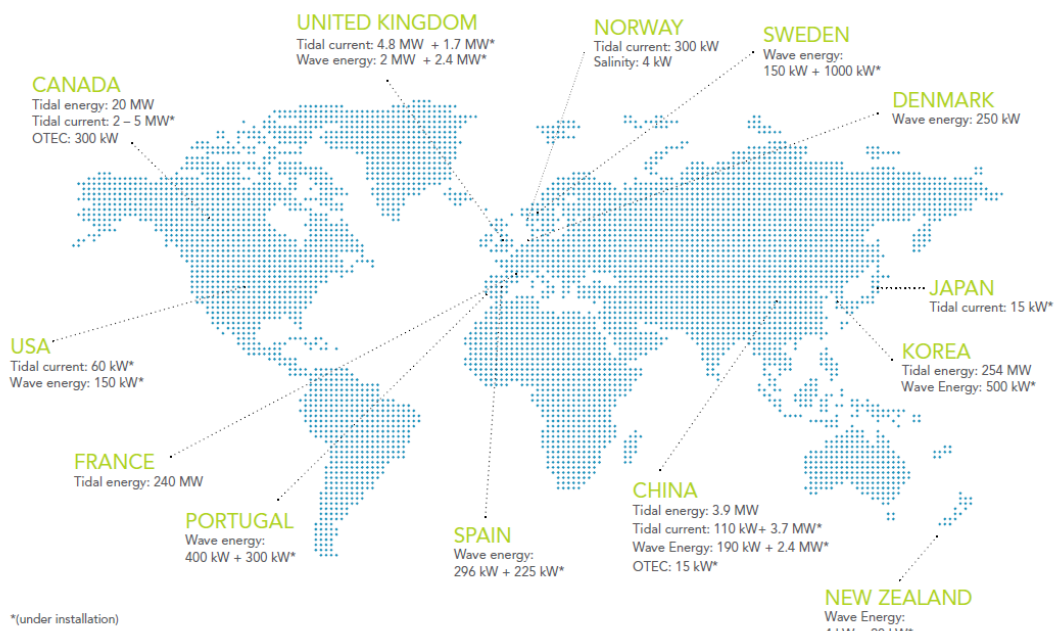
Task 2 omfatter retningslinjer for afprøvning og evaluering af energiteknologier. Den første del på modelforsøgsområdet, den anden del forhold vedr. prototypeafprøvning samt data for udvalgte havområder og testsites. Danmark har ledet arbejdet under Task 2 Annex II [W9b], og der er udarbejdet 9 rapporter.

Task 3 omfatter information mht. el-transmission og tilpasning til el-nettet. Dette arbejde har været ledet af Powertech Labs Inc. i Canada, og der er udarbejdet 4 rapporter under task 3 Annex III [W9c].

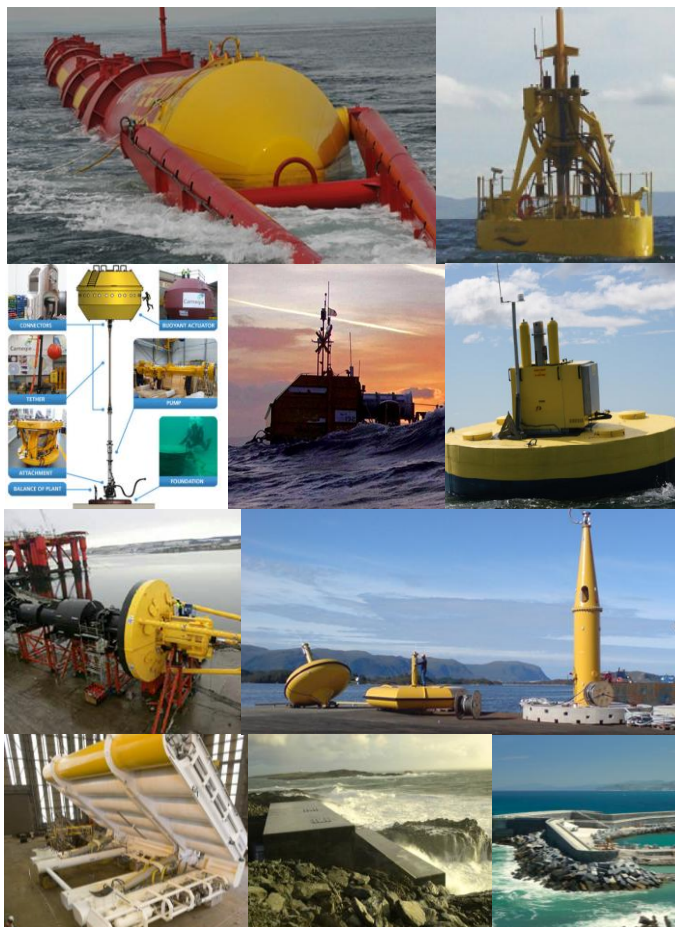
Task 4 omfatter miljømæssige aspekter mht. havenergi, arbejdet har været ledet af USA, og der er udarbejdet en rapport under Annex IV [W9d].

Task 5 omfatter udveksling og vurdering af erfaringer på havenergi projekter. Task 5 Annex V er netop startet med ledelse af USA og med dansk deltagelse.

Som led i de årlige årsrapporter bidrager alle medlemslande med en oversigt over nationale aktiviteter herunder aktuelle tal for f.eks. installeret effekt inden for de forskellige havenergiteknologier på prototyper eller mere permanente anlæg, som angivet i Figur 8.



Figur 8 Installerede bølgekraft- og tidevandsenergi-projekter i udvalgte lande. Som det fremgår, er der kun installeret få MW på internationalt plan (OES [W9a]).



Figur 9 Kollage over udenlandske bølgekraftprojekter, se nærmere beskrivelse i Appendix I.



## EU-aktiviteter

Co-ordinated Action on Ocean Energy (CA-OE) [W10] var et dansk ledet samarbejdsprojekt med 44 partnere, som mødtes to gange om året i en periode på tre år. Projektet satte fokus på behovet for fælles retningslinjer, og initierede etableringen af den europæiske bølgekraftforening EU-OEA i 2006. Projektrapporterne findes på foreningens hjemmeside.

Equimar [W11] fulgte i perioden 2008-2011 med lidt færre deltagere og væsentligt større budget. Equimar har udarbejdet en lang række rapporter på næsten alle områder, der vedrører bølgekraft og tidevand, som kan downloades fra projektets hjemmeside.

WAVEPLAM [W12] blev koordineret af Spanien, som siden 2007 har udvist stor interesse for bølgekraft.

MaRINET [W13] "Marine Renewables Infrastructure Network" er rammen om et samarbejde om testfaciliteter for Emerging Energy Technologies, løbende fra april 2011-marts 2015. Projektet koordineres af Hydraulics & Maritime Research Centre, University College Cork, Irland, og der er 28 partnere fra 12 lande (heriblandt AAU, Danmark).

Hydralab IV [W14] er et samarbejde mellem forsøgslaboratorier herunder også test af havenergiteknologier.

ORECCA [W15] (2009-2011) Målsætningen for ORECCA-projektet (Off-shore Renewable Energy Conversion Platforms – Coordination Action) er at skabe et netværk og forum for vidensdeling samt udvikling af handlingsplaner for udviklingsaktiviteter i relation til vedvarende havenergiteknologier (dansk deltagelse).

SOWFIA [W16] (2010-2012) "Streamlining of Ocean Wave Farms Impact Assessment" sigter på at koordinere og forenkle udviklingen af de værktøjer, der anvendes i forbindelse med sociologiske impact assessment (IA) studier for offshore vedvarende energi. Bølgekraftdemonstrationsprojekter vil indgå fra hvert EU-medlemsland.

MARINA [W17] (2010 - 2014) MARINA Platform-projektet vil etablere et sæt sammenlignelige gennemskuelige kriterier for evaluering af multi-purpose platform for marine energi.

## **Internationale konferencer på bølgeenergiområdet**

Hvert andet år afholdes konferencen EWTEC "European Wave and Tidal Energy Conference", og den 10. konference afholdes i Aalborg i 2013. Med udspring i IEA-OES samarbejdet er konferencenserien ICOE (International Conference on Ocean Energy) etableret med et mere industrielt fokus. ICOE afholdes det år, hvor der ikke er EWTEC. Derudover afholdes årligt GMREC "Global Marine Renewable Energy Conference" i USA, og den asiatiske variation af EWTEC som kaldes AWTEC (Asian Wave and Tidal Energy Conference).

Derudover er der en række andre konferencer inden for Coastal, offshore og arctic Engineering, som også inkluderer bølgekraft, f.eks. ISOPE, OMAE, ICCE og Coast Lab.

### 7.3 Standardisering under IEC TC 114

IEC TC 114. 'Marine energy - Wave, tidal and other water current converters' er et internationalt samarbejde omkring udvikling af standarder. Fra dansk side deltager en række danske eksperter fra bl.a. FPP, Wavestar, AAU, Bølgekraftforeningen, Dong, Rambøll og Sterndorff Engineering via den nationale spejlkomite under Dansk Standard S-614 [W18].

*PT 62600-1: Terminology.*

DK ekspert: Peter Frigaard, AAU

*PT 62600-2: Design requirements for marine energy systems.*

DK ekspert: Peter Frigaard, AAU

*PT 62600-10: Assessment of mooring system for marine energy converters.*

DK ekspert: Martin Sterndorff, Sterndorff Engineering

*PT 62600-100: Power performance assessment of electricity producing wave energy converters.*

DK ekspert: Jens Peter Kofoed, AAU

*PT 62600-101: Wave energy resource assessment and characterization.*

DK ekspert: Martin Heyman Donovan, DONG

*PT 62600-200: Power performance assessment of electricity producing tidal energy converters.*

DK ekspert: Thomas Holm Krogh, DONG

*PT 62600-201: Tidal energy resource assessment and characterization.*

DK ekspert: Martin Heyman Donovan, DONG

*PT 62600-102: Wave Energy Converter Power Performance Assessment at a Second Location Using Measured Assessment Data.*

DK ekspert: Kim Nielsen, Rambøll Danmark (conveyer), Jens Peter Kofoed, AAU

### 7.4 Certificering under DNV

DNV har en risikobaseret certificeringsproces for tidevandsenergi og bølgekraft. Denne proces er defineret i OSS-312 certificering af tidevandsenergi og bølgeenergi. OSS-312 beskriver en liste over dokumenter og definerer omfanget af anvendelsesområdet for certificering. Certificering er ikke kun relateret til sikkerhed og miljø, men også til funktionelle krav, som er af afgørende betydning for holdbarhed og succes i det marine miljø.

Certificeringsprocessen er en gradvis proces, der udvikler sig i takt med, at teknologien udvikler sig. Dette afspejles i forskellige certificeringsbehov, fra de indledende trin hvor certificeringsprocessens funktion er teknologivurdering, til identifikation af fejlfunktioner og risikoanalyse.

## 8 Konklusion

Partnerskabet for Bølgekraft i Danmark har en unik mulighed for udvikling af en bæredygtig bølgekraftindustri, som beskrevet i denne strategirapport. Danske virksomheder har mulighed for at udvikle projekter i samarbejde med internationalt anerkendte forskere på AAU, hvor der også bliver uddannet internationale Ph.d. studerende. Her kan de studerende afprøve deres færdigheder i praksis i samarbejde med bølgeteknologiudviklere. Der er testfaciliteter i åbent hav, som giver mulighed for at afprøve små og store projekter i rimelige bølgeforhold før de bliver flyttet til mere ekstreme forhold.

Det industrielle netværk i Danmark har en meget stor erfaring i offshore industri og vindmølleudvikling, som kan bruges direkte i forbindelse med udvikling af værdikæden samt at bringe COE ned på bølgekraft. Desuden er der blandt de danske bølgeenergikoncepter flere positive resultater, hvis der sammenlignes med de udenlandske projekter vedr. pålidelighed, performance og sikkerhed.

Det fremtidige partnerskab, som beskrevet i Appendiks II, må derfor videreudvikles for at føre strategien ud i livet og danne rammen for det fortsatte industrielle og offentlige samarbejde om forskning og udvikling, investeringer og finansiering, udvikling af energiparker, succeskriterier for industrialisering af udvalgte projekter, dannelse af forskningskompetencecenter samt promovning af danske bølgekraftanlæg på den internationale scene.

## 9 Referencer

### Litteraturhenvisninger:

1. **Ramboll, DHI, DMI.** *Kortlægning af Bølgeenergiforhold i den Danske del af Nordsøen.* s.l. : Energistyrelsen, Juni 1999. Jno 5119/97-0014.
2. **Energistatistik 2010.** s.l. : Energistyrelsen, 2011. ISSN 0906-4699.
3. **Ressourceopgørelse for bølgekraft i Danmark,** May 2009, J. P. Kofoed Rapport No. 59, for Klimakommissionen.
4. **IDA Ingeniørforeningens Energiplan 2030,** Hovedrapport. Udgivet af Ingeniørforeningen i Danmark, IDA. December 2006; ISBN: 87-87254-64-6
5. **Bølgekraftudvalgets sekretariat, Kim Nielsen.** *Bølgekraftprogram, Bølgekraftudvalgets afsluttende rapport .* s.l. : Energistyrelsen, 2002.
6. **OWEC-1 Offshore Wave Energy Converter Project**  
March 1996, Danish Wave Power Aps. Jou2 CT93-0394
7. **IEA-OES Annex II report**  
B. Holmes & K. Nielsen (2010), Report T02-2.1  
Guidelines for the Development & Testing of Wave Energy Systems,  
OES-IA Annex II Task 2.1  
[http://www.ocean-energy-systems.org/library/annex\\_ii\\_reports/](http://www.ocean-energy-systems.org/library/annex_ii_reports/)
8. **Equimar: Protocols for the Equitable Assessment of Marine Energy Converters**  
2011, Editors:, David Ingram, George Smith, Claudio Bittencourt-Ferreira, Helen Smith, European Commission 7th framework programme; grant agreement number 213380.  
<http://www.equimar.org/equimar-project-deliverables.html>
9. **Bølgekraftteknologi, Strategi for forskning og udvikling,** Energistyrelsen, Elkraft System og Eltra, juni 2005, ISBNwww: 87-7844-539-6

### Web baserede links:

- W1 **COE Regnearket**  
<http://www.energinet.dk/DA/KLIMA-OG-MILJØE/Energi-og-klima/Forskning-i-vedvarende-energi/Sider/Boelgekraft.aspx>
- W2 **Teknologikatalog Energistyrelsen**  
<http://www.ens.dk/da-DK/Info/TalOgKort/Fremskrivninger/Fremskrivninger/Documents/Teknologikatalog%20Juni%202010.pdf>
- W3 **Langhammer, Olivia.**  
[http://www.chalmers.se/smt/oec-en/news-events/downloadFile/attachedFile\\_5\\_f0/OEC\\_Kickoff\\_presentation\\_Olivia\\_Langhammer\\_Part1.pdf?nocache=1308578485.96](http://www.chalmers.se/smt/oec-en/news-events/downloadFile/attachedFile_5_f0/OEC_Kickoff_presentation_Olivia_Langhammer_Part1.pdf?nocache=1308578485.96)
- W4 **Grøn off-shore Alliance**

- <http://greenoffshore.dk/aktiviteter/>
- W5 **Bølgekraftforeningen**  
<http://www.waveenergy.dk/>
- W6 **WEIA**  
<http://www.weia.dk/>
- W7 **SDWED** (Structural Design of Wave Energy Devices)  
[www.sdwed.civil.aau.dk/](http://www.sdwed.civil.aau.dk/)
- W8 **Energi 11, ISBN: 978-92-79-18988-3**  
<http://viewer.zmags.com/publication/dc6fce6f#/dc6fce6f/1>
- W9a **IEA-OES, årsrapporter**  
[http://www.ocean-energy-systems.org/library/annual\\_reports/](http://www.ocean-energy-systems.org/library/annual_reports/)
- W9b **IEA-OES (Annex II)**  
[http://www.ocean-energy-systems.org/library/annex\\_ii\\_reports/](http://www.ocean-energy-systems.org/library/annex_ii_reports/)
- W9c **IEA-OES (Annex III)**  
[http://www.ocean-energy-systems.org/library/annex\\_iii\\_reports/](http://www.ocean-energy-systems.org/library/annex_iii_reports/)
- W9d **IEA-OES (Annex III)**  
[http://www.ocean-energy-systems.org/library/annex\\_iii\\_reports/](http://www.ocean-energy-systems.org/library/annex_iii_reports/)
- W10 **CA-OE**  
<http://www.eu-oea.com/index.asp?bid=325.>
- W11 **Equimar**  
<http://www.equimar.org/>
- W12 **Waveplam**  
<http://www.waveplam.eu/page/>
- W13 **MaRINET**  
<http://www.fp7-marinet.eu/>
- W14 **Hydrolab**  
<http://www.hydralab.eu/>
- W15 **ORECCA**  
<http://www.orecca.eu/web/guest;jsessionid=A02131A260C639C06A41004A9EB3F8CE>
- W16 **SOWFIA**  
<http://en.wavec.org/index.php/83/sowfia/>
- W17 **MARINA**  
<http://www.marina-platform.info/>
- W18 **Dansk Standard**  
[www.ds.dk.](http://www.ds.dk.)



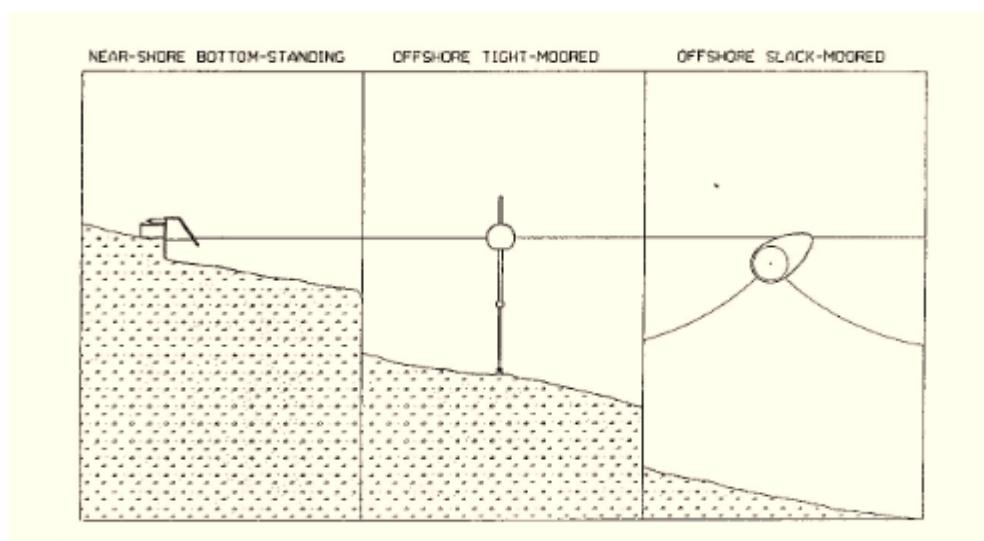
## Appendiks I: Status for bølgekræftteknologier ultimo 2011

### Kategorier af bølgekræftanlæg

Bølgekræftmaskiner er strukturer, som opfanger bølgenes energi. Den opsamlede energi omformes via et PTO-system, som kan være hydraulisk, mekanisk eller pneumatisk, som driver en roterende generator, der producerer elektricitet eller via en lineær generator indbygget i strukturen.

Der er talrige eksempler på klassificering af bølgekræftmaskiner, men i forbindelse med denne rapport om placeringsmuligheder og fælles udvikling af bl.a. forankring er det både praktisk og hensigtsmæssigt at klassificere efter placering og forankring:

1. Kyst og kyst nær bundfast konstruktion
2. Off-shore stramt fortøjet
3. Off-shore slækt fortøjet



Figur 10 Off-shore Wave energy converter study, OWEC-1 report 1996 [10].

De kystnære stationære anlæg er de mest udbredte måske fordi strukturen er fast. De stramt forankrede systemer optager energien i bevægelsen relativt til havbunden. Slækt forankrede systemerne kan optage bølgeenergi på en række forskellige måder relativt til eller direkte af hovedstrukturen og er typisk installeret på vanddybder større end 45 meter.

PTO-systemer omfatter:

- luftturbiner (enkelt, manifolded, lukkede eller åbne systemer)
- hydraulik (olie eller vand-hydraulik, åbne og lukkede system)
- lineære elektriske generatorer (i forskellige former)
- mekanisk PTO (lineær og roterende)

Endelig kan man beskrive selve konstruktionen som en **point absorber** dvs. (en eller flere) flydende bøjer der bevæges op og ned ad bølgen, eller som en **terminator** der er en langstrakt konstruktion med bredden mod bølgefronten og endelig som en **attenuator**, der har sin mindste udstrækning mod bølgefronten og optager energien, som bølgen passerer ned langs dens sider (f.eks. Pelamis).

## De danske bølgekraftprojekter

En beskrivelse af danske bølgekraftprojekter med link til projekternes respektive hjemmesider.

### Crestwing

Crestwing [[W19](#)] udviklet af WaveEnergyFyn har fået tidsbegrænset tilladelse til at opstille bølgeenergianlægget Crestwing fra 1. juli 2011 frem til 1. juli 2012 ud for den nordlige del af Frederikshavn Havn ca. 70 m fra nærmeste mole og 1,2 km fra havneindsejlingen. Anlægget vejer ca. 400 kg er 2,44 m i bredt og 10 m i langt med en dybgang på 0,6 m svarende til en skala ca. 1:5. Bølgevingen består af to sammenhængslede pontoner forankret fra forreste ponton i havbunden og den relative bevægelse mellem de to pontoner udnyttes af et mekanisk PTO.



Figur 11 Crestwing Frederikshavn, september 2011 (foto Crestwing).

### Dexawave

Dexawave [[W20](#)] har den 2. juli 2009 modtaget tidsbegrænset tilladelse til at opstille et bølgekraftanlæg ved Hanstholm fra den 1. august 2009 forlænget frem til 1. august 2012.

Anlægget er et flydende offshore bølgekraftanlæg bestående af to flydepontoner placeret i vandoverfladen. Pontonerne er indbyrdes forbundet vha. et fleksibelt led og oven på og mellem pontonerne er anbragt en hydraulisk cylinder. Derved opbygges olietryk i cylinderen, som ensrettes og anvendes til at drive en hydraulisk motor. Anlægget er 6 m i bredden og 13 m i længden. Pontonernes diameter er 1 m svarende til en skala ca. 1:5.



Figur 12 Dexawave bugseres til DanWEC placering (foto Dexawave).

Dexawave har endvidere indgået en aftale med myndigheder på Malta om at bygge tre fuldskala bølgemaskiner hver på ca. 250 kW efterfulgt af yderligere 24 anlæg. En lille



demonstrationsmodel i skala ca. 1:10 blev transporteret til Malta i 2011, og Dexawave har installeret en bølgemåler for bedre at kunne vurdere bølgeforholdene for at evaluere forretningsmuligheden Blue Ocean Energy®.

### Floating Power plant

Floating Power Plant [W21] modtog i 2007 etablerings- og elproduktionstilladelse fra Energistyrelsen til testanlægget *Poseidon 37* ved Vindeby, Lolland frem til den 31. marts 2012.

Anlægget blev installeret i efteråret 2008. *Poseidon 37* er et flydende offshore bølgekraftanlæg med tre mindre vindmøller påmonteret. Anlægget har en frontbredde mod bølgerne på 37 m og en længde på 25 m og en dybdegang på 3,5 m. Anlægget er forankret til havbunden med en kabelforbindelse til den yderste vestlige mølle i Vindeby hav-vindpark. Den maksimale producerede effekt fra anlægget er ca. 115 kW.

FPP har etableret samarbejde med Bridgeworks Capital i Oregon og skabt firmaet Floating power Inc. i USA for at kommercialisere Poseidons bølge/vind energiplatform.



Figur 13 Floating Power Plant (foto FPP).

### Leancon

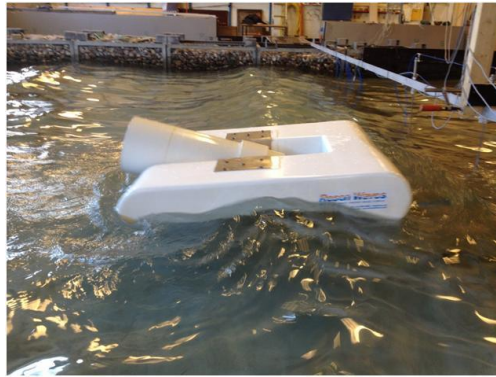
Leancon [W22] Wave Energy har den 4. januar 2010 modtaget tilladelse til midlertidig etablering af forsøgsanlægget Leancon ved Nissum Bredning frem til 1. april 2012 på en placering ca. 200 m fra kysten og ca. 500 m fra Nordvestjysk Folkecenter for Vedvarende Energis testsite.

Anlægget er en skala 1:10 model af et flydende OWC-anlæg. Modellen har en vægt på ca. 2 ton er fremstillet i glasfiber, og er 24 m bred og 11 m lang. Toppen af den trapez-formede hovedstruktur er ca. 1 m over vandlinjen. Modellen vil blive forsynet med luftturbiner, generator og luftflow måleudstyr m.v.

### LOPF

Resen Energy [W23] LOPF (Lever Operated Pivoting Float) er opfundet i USA i 2008 efter omfattende praktiske forsøg med små bøjer i den Mexicanske Golf. Alle rettigheder og patenter blev købt af Resen Energy i september 2010 og hele udviklingsaktiviteten er flyttet til Danmark. Med støtte fra ForskEL i 2011 er energiproduktionen blevet dokumenteret i AAU's bølgetank på en skala 1:25 model. Der er opnået tilladelse til afprøvning af større 2 x 2m bøjer i Øresund, ud for Klampenborg, og der forventes,

at tilladelser snart gives til udlægning af 2 til 5 kW bøjer på testsitet i Nissum Bredning og ud for Hanstholm. Begge sites søges med netforbindelse.



Figur 14 Trin 1 forsøg med LOPF ved AAU i 2011.

### Rolling Cylinder

Rolling cylinder [W24] er et princip, som er udviklet på basis af en ide fra Öjvin Boltz med henblik på at omsætte bølgepartiklernes bevægelse til rotation af en akse ved at montere "propellerblade, der driver akslen til at rotere. Bladene er flexible og driver akslen samme vej uanset om bølgebevægelsen kommer fra den ene eller anden side. Projektet har modtaget PSO-støtte til indledende afprøvning på AAU.

### Wave Dragon

Wave Dragon [W25] har haft etableringstilladelse siden 2003 og anlæggets elproduktionstilladelse løber til 30. juni 2012. Tilladelsen er i mellemtiden blevet forlænget tre gange, senest i forbindelse med at anlægget blev flyttet til større bølgehøjder ved Odby i Nissum Bredning. Vinteren 2010 gjorde imidlertid en ende på afprøvningen.



Figur 15 Wavedragon i Nissum Bredning (foto Wave Dragon).

Wave Dragon benytter overskylsprincippet, hvor bølgerne skyller op i et reservoir over havets niveau og udledes gennem en række vandturbiner, der driver generatorer. Anlægget havde en installeret effekt på 20 kW og en vægt på 237 ton og var 58 m bredt, 33 m langt med en dybgang på 3,6 m.

Wave Dragon fik i 2011 støtte fra EUDP til at udarbejde et certificeret design af en fuldskala 1.5 MW demonstrationsenhed tilpasset bølgeforholdene ved DanWEC, Hanstholm. Endvidere har Wave Dragon deltaget i EU-projekter som CA-OE, WavePlam, Equimar, Wavetrain I og II.

### Wave Piston

Wave Piston [W26] er baseret på et princip udviklet af Kristian Glejbøl og Martin von Bülow med henblik på at minimere udgifterne til konstruktion. Anlægget består af en langstrakt struktur under havoverfladen bestående af pumper, som drives af vandpartiklernes bevægelse frem og tilbage langs strukturen.

### WavePlane

WavePlane A/S [W27] havde siden oktober 2008 etableringstilladelse til deres anlæg ved Hanstholm. Bølgehøvlén, som den hedder, var i 2008 udstyret med to generatorer på hver 100 kW og havde en indtagsbredde på 14 m. Maskinen var tænkt som en foreløbig prototype i forholdet 1:1. Den havarede imidlertid kort efter placeringen pga. forkert forankring.



Figur 16 WavePlane 200kW bugseres til Hanstholm for placering.

Maskinen er et "indskylningsanlæg" uden bevægelige dele før turbinen. Maskinen er en flydende V-formet konstruktion, forankret i V-formens spids, der vender mod de indkommende bølger. Fortil under vandlinjen er der en "kunstig strandbred", der bevirker, at den indkommende bølge løftes op og skyller ind i et vandretliggende rør, hvor der opstår en hvirvelstrøm, der ledes hen til turbinen (der driver generatoren) og derefter tilbage til havet.

Etableringstilladelsen udløb i august 2009 og anlægget er pt. ikke i test på havet. Efter et havari og konkurs, har den oprindelige opfinder Erik Skaarup generhvervet 100% af hans opfindelse og vil med nye forbedringer gå efter en nyudlægning i 2013.

### Wavespinner

Wavespinner [W28] projektet har hidtil kun været brugt af virksomheden Povlonis Innovation til information via hjemmesiden "om muligheden for udnyttelse af bølgeenergi." En model af Wavespinner udstilles i science-centeret Poul la Cour Museet sammen den første Tusindben-model, forgængerén til Wavestar.

### Wavestar

Wavestar Energy [W29] har etablerings- og elproduktionstilladelse frem til 5. november 2013 ved DanWEC, Hanstholm. Anlægget består af to flydere hver med en diameter på 5 m, som via et hydraulisk system udnytter flydernes op og nedadgående bevægelser til at producere elektricitet. Flyderne er fastholdt af en konstruktion, der kan hæves op og ned på fire stålrør, som er fastgjort til betonfundamentet på havbunden. I tilfælde af ekstrem storm kan flyderne løftes ud af vandet og stormsikres.

Teknisk videreføres de principper, som Wavestar afprøvede ved Nissum Bredning, i mindre skala. Testanlægget har en generatorkapacitet på 80 kW og maksimalt er indtil nu målt en gennemsnitlig effekt på ca. 40 kW. Man kan følge el-produktionen online, med månedlige sammenfatninger over produktionsdata, som danner grundlag for en afregningspris aftalt med Energinet.dk.

I løbet af sommeren 2011 har DanWEC [W30] introduceret rundvisning med mulighed for bl.a. at bese Wavestar via en 400 meter lang bro i fire meters højde over havet. Dette har givet en enestående måde at promovere bølgekraft over for familier, firmaer, skoler og prominente personligheder som Connie Hedegaard, klima og energiministre og kronprins Frederik, der alle besøgte Wavestar i 2011.



Figur 17 Wavestar i funktion (foto Wavestar).

Wavestar er endvidere involveret i en række udviklingsaktiviteter som kan forøge energiproduktionen og reducere omkostningerne. Dette inkluderer udvikling af forbedrede kontrol og styringsstrategier, materialeforskning omkring højstyrkebeton. Endvidere deltager Wavestar i et EU-projekt med partnere fra Storbritannien, Spanien og Polen.

### WEPTOS

Weptos [W31] er et af de nyeste bølgekraftkoncepter under udvikling i Danmark. Anlægget er vist på nedenstående foto fra modelafprøvning i den Spanske testfacilitet "Cantabria Coastal and Ocean Basin". Det nye i modellen er, at den kan justere sin front mod bølgerne således, at under almindelige bølgeforhold bredes den ud, og under storm folder anlægget sammen.

Langs hver af de to "ben" er placeret en række af 20 rotorer med en geometri kendt som "Salters Duck", som trækker på en fælles akse, som driver en generator placeret i stævnen af maskinen. Modellen vejer ca. 1 ton og er i udfoldet tilstand ca. 12 m bred mod bølgefronten, og hver arm har en længde på 7,5 m.



Figur 18 Weptos under forsøg i Spanien, september 2011(foto Weptos).

## Projekter fra udlandet

Bølgekraft omfatter globalt mere end 100 forskellige projekter på forskellige udviklingsstrin, og der kommer stadig nye ideer med henblik på at forbedre metoderne til at udnytte havets energi. I 2011 er enkelte bølgekraftanlæg afprøvet til havs som demonstrationsprojekter, hvor det største projekt er Pelamis (en attenuator), som har installeret effekt på 750 kW. En mindre park bestående af tre enheder af denne type blev bygget og installeret i Portugal i 2008. Endvidere er projektet Oyster bygget i størrelse af 800 kW udlagt ved EMEC Orkney.

I modsætning til de mange danske udviklingsfirmaer for bølgekraft, med maksimalt én til ti medarbejdere, så har såvel Pelamis og AquaMarine opbygget firmaer med mere end 60 medarbejdere hver. OPT, som er et multinationalt foretagende, har aktiviteter både i USA og Europa. På trods af de mange ansatte og store bølgemaskiner, som er bygget og søsat, er der fortsat meget lidt information om anlæggenes egentlige energiproduktion og økonomi, hvilket understøtter antagelsen om, at der er tale om første generations maskiner, som kræver en betydelig videre udvikling for at blive rentable på linje med vindkraft.

### Pelamis Wave Power

Pelamis fejrer i år 2012 sin 14 års fødselsdag og Richard Yem, som er opfinder og initiativtager til projektet skriver i den anledning på deres hjemmeside [[W32](#)]:

*"It's unbelievable how much Pelamis has achieved over the past fourteen years. When we started wave energy was an academic curiosity, and now we are an important part of Scottish and UK Government strategy, have real machines generating into the grid, and utility customers developing real wave farms off our shores. From the first small tank test model in 1998 we have now designed, built and tested six full-scale machines and through that amassed a vast pool of knowledge and experience that gives us unrivalled insight into what we need to do next to deliver commercial wave farms in the next few years. It has been a tough but rewarding 14 years since our inception, and there is more than a tingle of excitement if I allow myself to think where we may be in another 14 years' time!"*



Figur 19 Pelamis 2 under bugsering mod EMEC-testsitet ved Orkney [[W32](#)].

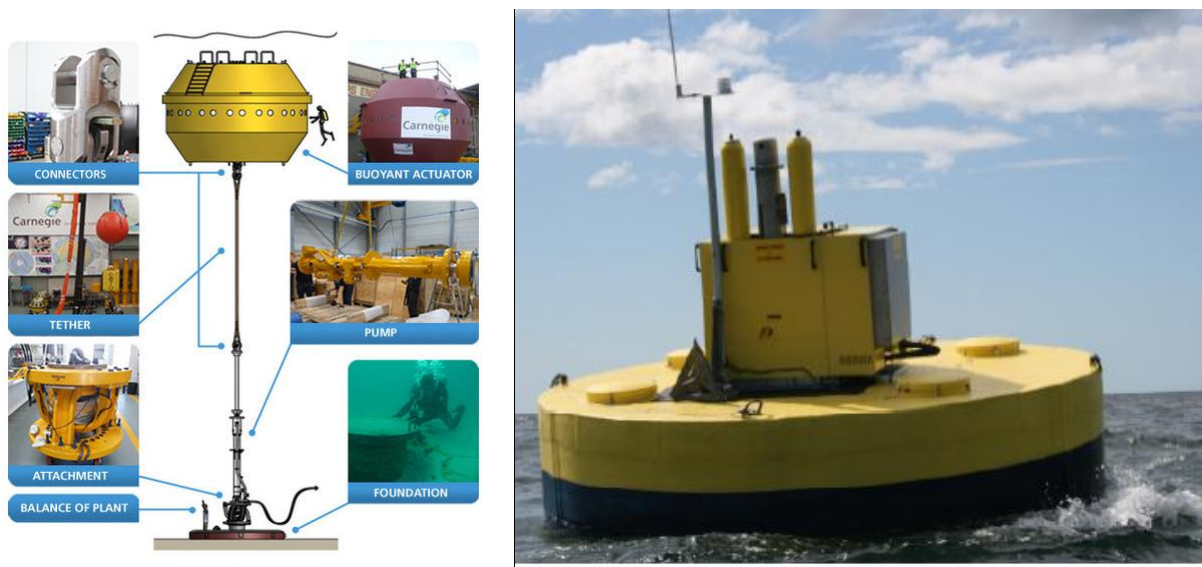
## Point absorbere

En række point absorbere, som ser relativt ens ud, er under udvikling som vist i nedenstående figur. De viste pointabsorbere fra PowerBuOY, WaveBob og Bolt udnytter den relative bevægelse mellem en flyder og en masse under havoverfladen via et hydraulisk PTO.



Figur 20 OPT PowerBuoy 150kW USA og Storbritannien (EMEC)[W33] og WaveBob, Irland [W34].

I Sverige, Norge og Australien arbejdes med point absorbere, som udnytter bevægelsen relativt til havbunden, og hvor PTO er placeret på havbunden. Den svenske point absorbers PTO er en linear elektrisk generator, mens den Australiske Ceto og Fred Olsen benytter et hydraulisk PTO. Den svenske flyder placeres i havområder, hvor der ikke er tidevand, mens den australske bølge er trukket under havoverfladen for ikke at blive påvirket af tidevandet.



Figur 21 Ceto, 200 kW Australien [W35] og Fred Olsen, Bolt 45 kW, Norge [W36].

Det svenske Seabased projekt har påbegyndt bygningen af et 10 MW bølgekraftværk ved Lysekil, på den svenske vestkyst, som skal være klar til drift i 2015. Det kommer til at bestå af 420 bøjer og bundkonstruktioner som vist på nedenstående figur alle elektrisk forbundet til nettet.



Figur 22 Seabased, Sweden, 2 stk. 25 kW moduler til et 10,5 MW bølgekraftværk ved Lysekil [[W37](#)].

#### **Off-shore slapt forankret OWC**

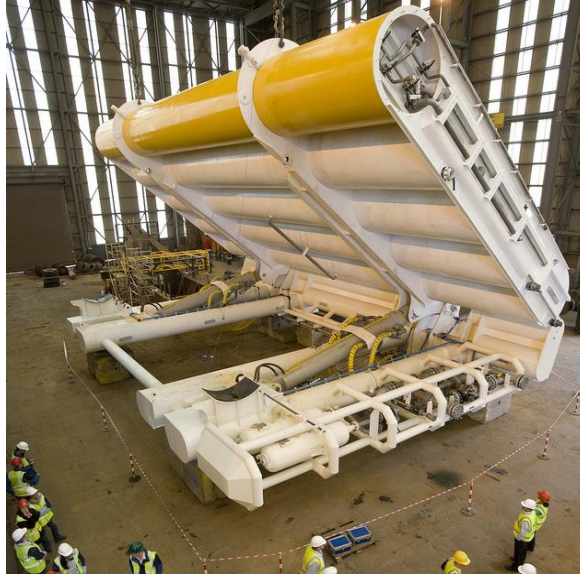
I Irland arbejder Ocean Energy med et princip de kalder OE Buoy. OE Buoy har været afprøvet i skala ca. 1:4 ved det Irske testsite Donagalbay. Princippet er baseret på en flydende OWC opfundet i Japan også kendt under navnet BBDB. Princippet blev afprøvet på DHI under det danske Bølgekraftprogram af under navnet Swan DK3.



Figur 23 OE Buoy, 20 kW, Irland [[W38](#)].

### Kystnært flap system

Ideen til Oyster er udklækket i 2001 af Professor Trevor Whittaker's team på Queens Univesitet i Belfast, som et bud på en kystnær bølgemaskine der er fast monteret til havbunden. Oyster består af en flap, der bevæges frem og tilbage og energien tages ud via hydrauliske pumper monteret mellem flappen og strukturen, der med pæle funderes til havbunden.



Figur 24 Oyster, 800 kW, Aquamarin [[W39](#)].

Firmaet Aquamarin er blevet kåret til det bedste sted i Storbritannien at arbejde og har sikret millioner af £ til udviklingen af Oyster og det 60+ store team. Oyster 800 har en installeret effekt på 800kW. Den har en bredde på 26 m og højde på 12 m og skal installeres på en vanddybde på 13 m ca. 500 m fra kysten ved Orkney.

### Kystbaserede OWC anlæg

Der er endvidere bygget en række kystbaserede kraftværker, der driver luftturbiner med det svingende vandsøjleprincip OWC, bl.a. på Islay i Scotland, Azorerne i Portugal og i en havnemole Mitriku i Spanien.





*Figur 25 WaveGEN, 500 kW, Islay, Storbritanien og Mutriku, 300 kW, Spanien (foto Voith Hydro Wavegen Ltd)*

### **Referencer til Appendiks I:**

10. **OWEC-1 Offshore Wave Energy Converter Project**  
March 1996, Danish Wave Power Aps. Jou2 CT93-0394

### **Web links:**

W19 Crestwing

[http://www.waveenergyfyn.dk/Contacts\\_crestwing.htm](http://www.waveenergyfyn.dk/Contacts_crestwing.htm)

W20 Dexawave

<http://www.dexawave.com/>

W21 Floating Power Plant

<http://www.floatingpowerplant.com/>

W22 Leancon

<http://www.leancon.com/>

W23 Resen Energy

<http://www.resenwaves.com/>

W24 Rolling cylinder

<http://www.rollingcylinder.com/>

W25 Wave Dragon

<http://www.wavedragon.net/>

W26 Wave piston

<http://www.wavepiston.dk/index.html>

W27 Waveplane

<http://www.waveplane.com/>

W28 Wavespinner

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

- W29 Wavestar  
<http://wavestarenergy.com/>
- W30 DANWEC  
[http://www.danwec.com/en/news/activities/wave\\_energy/wave\\_energy.htm](http://www.danwec.com/en/news/activities/wave_energy/wave_energy.htm)
- W31 Weptos  
<http://www.weptos.com/da>
- W32 Pelamis  
<http://www.pelamiswave.com/pelamis-technology>
- W33 OPT  
<http://www.oceanpowertechnologies.com/>
- W34 Wave Bob  
<http://www.wavebob.com/>
- W35 CETO  
<http://www.carnegiwave.com/index.php?url=/ceto/what-is-ceto>
- W36 BOLT Fred Olsen  
<http://www.fredolsen-renewables.com/>
- W37 Seabased  
[http://www.seabased.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=70&Itemid=83](http://www.seabased.com/index.php?option=com_content&view=article&id=70&Itemid=83)
- W38 OE Buoy  
<http://www.oceanenergy.ie/>
- W39 Oyster, Aquamarin  
<http://www.aquamarinepower.com/projects/oyster-800-project-orkney/>
- W40 Wavegen  
<http://www.wavegen.co.uk/>
- W41 Mutriku  
<http://www.eve.es/web/Energias-Renovables/Energia-marina.aspx?lang=en-GB>

## Appendiks II: Partnerskabets videre udvikling

Med afslutning på EUDP-projektet "Ny strategi for bølgekraft gennem industrielt partnerskab" med udgangen af juni 2012 er opgaven og udfordringen at sikre, at Partnerskabet for Bølgekraft videreføres og konsolideres.

Det er afgørende vigtigt, at Partnerskabet løftes ud af og oven over diverse øvrige foreningsaktiviteter og netværksdannelser m.v.

Derfor er nedenstående forslag til skitseret:

### Formål.

Formålet med Partnerskabet for Bølgekraft er at arbejde for udvikling af bølgekraft gennem industrielle partnerskaber.

Dette sker ved arbejde for implementering af strategien, herunder at stimulere og medvirke til etablering af projekter og samarbejder i henhold til de prioriterede udviklings- og samarbejdsområder.

Partnerskabet bør endvidere løbende arbejde for, at der sker den størst mulige koordinering af diverse udadvendte aktiviteter for bølgekraftudvikling i form af fælles møder, konferencer m.v.

### Deltagerkreds

Deltagere i Partnerskabet vil typisk være at finde inden for følgende interessentskabskredse:

- *Bølgekraftudviklere og øvrige netværk*
- *Forskningsinstitutioner, Godkendte Teknologiske Serviceinstitutioner og Testcentre*
- *Industri og specialiserede virksomheder*
- *Offentlige myndigheder og energiselskaber*
- *Relaterede servicefunktioner (fundraisere, rådgivere, advokater m.v.)*

### Styregruppe

Partnerskabet ledes af en styregruppe, der sammensættes med repræsentation i forhold til ovennævnte deltagerkreds.

Som overgangsstyregruppe, og med det formål at sikre videreførelsen af Partnerskabet, indtræder styregruppen for partnerskabsprojektet fra 1. juli 2012 og virker indtil udgangen af 2012, hvor en nyvalgt styregruppe tager over.

Styregruppen vælges for en 2-årig periode og fastsætter selv sin forretningsorden.

### Virke

Partnerskabet virker gennem partnerskabsmøder, der som udgangspunkt afholdes to gange årligt. Partnerskabet kan etablere en samarbejdsaftale med en af ovenstående interessenter med henblik på varetagelse af sekretariatsfunktionen for Partnerskabet.

Partnerskabet virker som udgangspunkt inden for rammerne af 2012-strategien, indtil denne afløses af en ny eller revideret strategi.