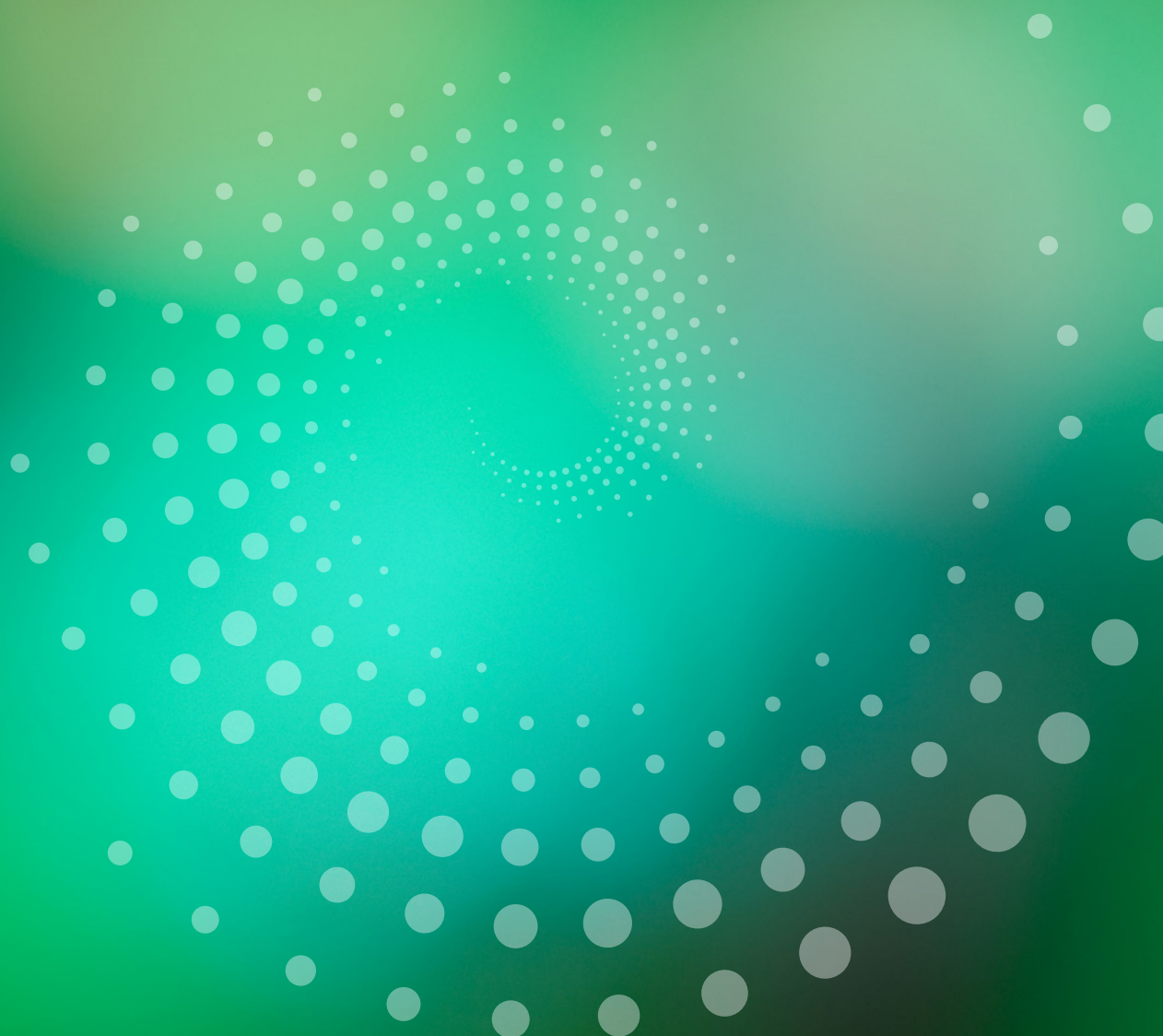


# Forskningssentrene for miljøvennlig energi (FME)

## Resultater og høydepunkter fra åtte FME-er

Sluttrapport  
2009–2017





# Forskningsentrene for miljøvennlig energi (FME)

Resultater og høydepunkter fra åtte FME-er

---

Sluttrapport  
2009-2017

---

© Norges forskningsråd 2018

Norges forskningsråd  
Besøksadresse: Drammensveien 288  
Postboks 564  
1327 Lysaker  
Telefon: 22 03 70 00  
Telefaks: 22 03 70 01  
post@forskningsradet.no  
www.forskningsradet.no/

Publikasjonen kan bestilles via internett:  
[www.forskningsradet.no/publikasjoner](http://www.forskningsradet.no/publikasjoner)

Grafisk design omslag: Melkeveien Designkontor AS  
Foto/ill. omslagsside: Shutterstock  
Trykk: 07 Media AS  
Opplag: 150

Oslo, oktober 2018

ISBN 978-82-12-03735-9 (trykksak)

ISBN 978-82-12-03736-6 (pdf)

## Forord

Stortingets klimaforlik i 2008 var en viktig milepæl for energiforskningen i Norge. Den store satsingen på forskning innenfor miljøvennlig energi gjorde det mulig både å øke innsatsen på forskningsprogrammene og å etablere et helt nytt virkemiddel; forskningsentre for miljøvennlig energi (FME).

Utlysningen av FME-ene skapte et stort engasjement blant forskningsentre og næringsliv, og i februar 2009 kunne Forskningsrådet annonsere de åtte første FME-ene. I løpet av senterperioden på åtte år har FME-ene bidratt sterkt til å synliggjøre, strukturere og styrke norsk energiforskning. Samspillet med Forskningsrådets programmer innenfor energi og CO<sub>2</sub>-håndtering (ENERGIX og CLIMIT), har vært av stor betydning for sentrenes suksess.

I 2016 utpekte Forskningsrådet en ny gruppe av FME-er. Disse sentrene representerer en god blanding av sentre som bygger på miljøer fra den første gruppen av FME-er og sentre innenfor helt nye tematiske områder. Det høye antallet bedrifter og offentlige aktører som deltar som partnere i de nye sentrene viser hvor godt kjent og hvor viktig denne ordningen er.

I tiåret som har gått siden 2008 har verden opplevd starten på en energirevolusjon. Gjennom det første klimaforliket bidro Stortinget til at norsk næringsliv og norske forskningsmiljøer kunne posisjonere seg i den store energiomleggingen vi nå er vitne til. Omleggingen til bruk av mer miljøvennlig energi og ny lavutslippsteknologi er i full gang i dag; dette er en utvikling som vil pågå i mange tiår fremover.

Denne rapporten gir en kortfattet presentasjon av resultatene fra den første runden med FME-er. Sentrene har utarbeidet fyldige sluttrapporter som gir et godt bilde av aktiviteter og resultater i hvert enkelt senter.



John-Arne Røttingen

Oslo, oktober 2018



# Innhold

Forord.....	1
1. Innledning.....	5
2. Forskningscentre for miljøvennlig energi – bakgrunn og mål.....	5
2.1. Bakgrunn Stortingets klimaforlik og Energi21.....	5
2.2. Målene med FME-ordningen.....	6
2.3. Beskrivelse av ordningen.....	6
3 Sentrene: tematisk område, sammensetning og ressurser .....	7
3.1 Konsortiene .....	7
3.2 Ressursinnsatsen .....	8
4 Resultater og måloppnåelse.....	9
4.1 Vitenskapelige resultater .....	9
4.2 Innovasjon, verdiskapning og effekter for energi og klima.....	10
4.3 Forskerutdanning og rekruttering .....	10
4.4 Internasjonalt samarbeid .....	12
4.5 Samarbeid og struktur i energiforskningen.....	12
4.6 Resultatindikatorer.....	13
5 Veien videre.....	14
Presentasjoner av sentrene .....	15
1. International CCS Research Centre (BIGCCS) .....	16
2. Centre for environmental design of renewable energy (CEDREN) .....	21
3. Bioenergy Innovation Centre (CenBio).....	26
4. Norwegian Centre for Offshore Wind Energy (NORCOWE) .....	31
5. Norwegian Research Centre for Offshore Wind Technology (NOWITECH) .....	35
6. The Norwegian Research Centre for Solar Cell Technology (Solar United) .....	39
7. SUBsurface CO2 storage – Critical Elements and Superior Strategy (SUCCESS) .....	44
8. The Research Centre on Zero Emission Buildings (ZEB) .....	49





## 1. Innledning

I 2009 etablerte Forskningsrådet de første åtte forskningssentrene for miljøvennlig energi(FME). FME-ordningen var et direkte resultat av Stortingets klimaforlik i 2008 og den sterke økningen i forskningsmidler som ble vedtatt gjennom dette forliket. FME- ordningen bygger på erfaringer fra Forskningsrådets ordninger med Sentre for forskningsdrevet innovasjon (SFI) og Sentre for fremragende forskning (SFF), og på anbefalinger i den første Energi21-strategien.

FME-ordningen er et synlig og viktig virkemiddel i norsk energiforskning, og når den første gruppen av sentre nå er avsluttet, ser vi at FME-ene har:

- Vært aktive og synlige spydspisser innenfor sine tematiske områder og på flere områder etablert sterke merkenavn.
- Etablert sterke nettverk på tvers av disipliner, forskningsgrupper og næringsliv.
- Utdannet i størrelsesorden 200 doktorgradskandidater og stått bak mer enn 200 vitenskapelige publikasjoner.
- Styrket energiforskningen og bidratt til bedre struktur og samspill i forskningen.
- Utviklet seg til å bli viktige knutepunkter for internasjonalt samarbeid

Samspillet med ENERGIX og CLIMIT-programmene er viktig og er en medvirkende årsak til at sentrene har lyktes så godt.

Denne rapporten gir et innblikk i en del av resultatene og erfaringene fra den første runden med FME-er. For mer informasjon anbefales det å ta en titt på sentrenes sluttrapporter, disse finnes på sentrene nettsider, og på Forskningsrådets FME-nettside [fme sluttrapporter](#).



Åtte FME-er blir utpekt av olje- og energiministeren i 2009

## 2. Forskningssentre for miljøvennlig energi – bakgrunn og mål

### 2.1. Bakgrunn Stortingets klimaforlik og Energi21

FME-ene ble opprettet som en direkte oppfølging av Klimaforliket i Stortinget i januar 2008, og Energi21-strategien som ble overlevert Olje- og energidepartementet i februar 2008. Gjennom Klimaforliket vedtok Stortinget å øke satsingen på forskning og utvikling innen fornybare energikilder

og CO<sub>2</sub>-håndtering med 600 mill. kroner i løpet av tre år. Energi21-strategien trakk opp en ambisjon om at Norge skulle bli Europas ledende miljøenerginasjon og hadde konkrete forslag til hvilke tiltak som burde iverksettes. Energi21 anbefalte blant annet en spisset senter-satsing.

Hovedstyret i Forskningsrådet vedtok i april 2008 å iverksette prosessen med å etablere forskningssentre for miljøvennlig energi, og utlysningen kom samme år.

Det kom inn 28 søknader til den første utlysningen. Etter en grundig søknadsbehandling, fikk åtte sentre FME-status i februar 2009. Hovedkriteriet for å velge ut sentre var potensial for innovasjon og verdiskaping og betydning for å løse utfordringer på energi- og klimaområdet. Vitenskapelig kvalitet i forskningen måtte ligge på høyt internasjonalt nivå.

## **2.2. Målene med FME-ordningen**

FME-ordningen er en konsentrert og langsiktig satsing rettet inn mot å løse energi- og klimautfordringer og bidra til næringsutvikling. FME-ordningen skal:

- Øke innovasjon og verdiskaping både hos næringsliv og forvaltning som deltar i sentrene og i det norske samfunnet for øvrig.
- Bidra til å redusere klimagassutslipp nasjonalt og internasjonalt, mer effektiv bruk av energi og større produksjon av fornybar energi.
- Fremme utvikling av forskningsmiljøer som ligger i den internasjonale forskningsfronten og som inngår i sterke nasjonale og internasjonale nettverk.
- Synliggjøre resultatene fra forskningen og bidra til en kunnskapsbasert debatt om miljøvennlig energi.

FME-ordningen skal primært bidra til å styrke innovasjonsevnen i næringslivet, men skal også fremme kvalitet og effektivitet i offentlig sektor. FME-ordningen skal gi brukerpartnerne mulighet for langsiktighet, kontinuitet og risikoavlastning i satsingen på forskning. For forskningsmiljøene skal FME gi mulighet for langsiktig kompetanseoppbygging gjennom forskning på et høyt internasjonalt nivå i nært samarbeid med brukere av forskningsresultatene.

## **2.3. Beskrivelse av ordningen**

FME-ordningen er basert på erfaringene fra Sentre for forskningsdrevet innovasjon (SFI) og Sentre for fremragende forskning (SFF), men er rettet inn mot miljøvennlig energi. FME-ordningen bruker i all hovedsak samme rammeverk som SFI-ordningen.

Senterordningene har generelt et høyere ambisjonsnivå, større langsiktighet og sterkere konsentrasjon av innsatsen enn andre virkemidler i Forskningsrådet. For FME og SFI er ett av målene å stimulere til forskerutdanning.

Forskningsrådet inngår kontrakt med en vertsinstitusjon. Vertsinstitusjonen skal være en forskningsinstitusjon. Vertsinstitusjonen har ansvar for konsortieavtalen som regulerer samarbeidet i senteret.

FME-ordningen forutsetter samfinansiering mellom vertsinstitusjon, partnere og Forskningsrådet. Forskningsrådets bidrag skal utgjøre maksimalt 50 % og næringslivets bidrag minst 25 % av senterets samlede finansiering. Bedrifter må delta aktivt i senterets styring, finansiering og forskning. Sentrene

etableres for en periode på inntil åtte år. Basert på utfallet av en evaluering midtveis i senterperioden, vil sentrene få finansiering for de siste tre årene av senterperioden.

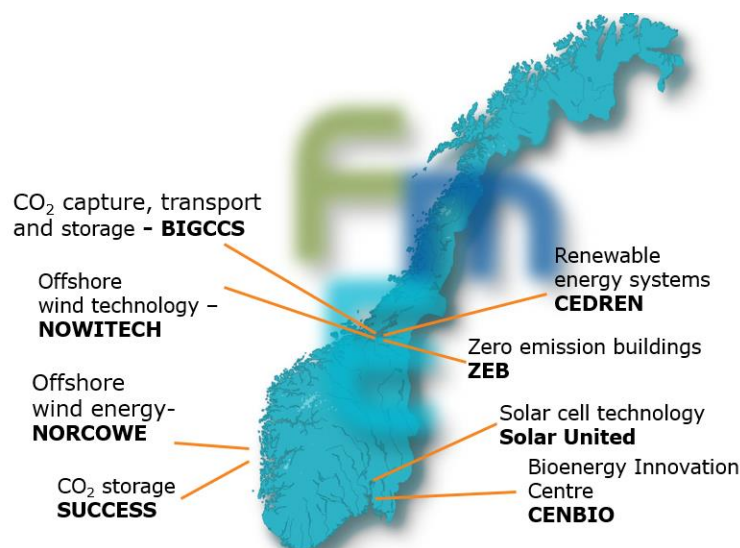
### 3 Sentrene: tematisk område, sammensetning og ressurser

#### 3.1 Konsortiene

De åtte første FME-ene ble utpekt i 2009 og hadde sin varighet fra 2009/2010 til 2017/2018. Gruppen bestod av følgende sentre:

- International CCS Research Centre (BIGCCS)
- Centre for Environmental Design of Renewable Energy (CEDREN)
- Bioenergy Innovation Centre (CenBio)
- Norwegian Centre for Offshore Wind Energy (NORCOWE)
- Research Centre for Offshore Wind Technology (NOWITECH)
- The Norwegian Research Centre for Solar Cell Technology (Solar United)
- Norwegian Subsurface CO<sub>2</sub> Storage – Critical Elements and Superior Strategy (SUCCESS)
- The Research Centre on Zero Emission Buildings (ZEB)

Figuren nedenfor viser vertsinstitusjonenes geografiske plassering. Sentrene har vært virtuelle sentre med partnere fra ulike deler av landet. Sammensetningen av hvert enkelt senter er beskrevet i vedlegget.



Figur 1: Vertsinstitusjonenes geografiske plassering

Ved avslutningen hadde de åtte sentrene i overkant av 80 brukerpartnere, i all hovedsak fra næringslivet. Tre av sentrene hadde også partnere fra offentlig sektor. I tillegg til de åtte vertsinstitusjonene er det registrert til sammen 38 forskningspartnere i sentrene. Mens mange av forskningspartnerne deltar i flere sentre, eksempelvis NTNU, SINTEF, SINTEF Energi og IFE, er det bare et fåtall av brukerpartnerne som er med i mer enn ett senter.

Mange av sentrene har lagt vekt på å ha et verdikjedeperspektiv og dette er også reflektert i sammensetningen av brukerpartnere, eksempelvis innenfor bioenergi med partnere fra produsenter av råstoff (skogeiere) til produsenter av vedovner og av biogass.

FME-ene startet opp i en periode der det var store forventninger til markedet for miljøvennlig energi, eksempelvis var det forventet at markedene for offshore vind og CO<sub>2</sub>-håndtering ville utvikle seg raskt. I den påfølgende åtteårsperioden har forventningene vært mer skiftende og for enkelte områder, som f.eks solenergi, har markedet vært turbulent. Dette har hatt betydning for deltakelsen i FME-ene. Sentrene som har arbeidet innenfor områder som har vært mindre påvirket av dette har hatt et stabilt og til dels voksende antall brukerpartnere, mens sentre innenfor mer umodne markeder – eks offshore vind og CO<sub>2</sub>-håndtering, har hatt større variasjon i antallet partnere. Solar United mistet mange av sine opprinnelige partnere i 2012/2013, men arbeidet aktivt for å få nye partnere og sikret dermed driften fremover. Da sentrene ble etablert var det til sammen 98 brukerpartnere i sentrene, antallet sank til 78 i 2013, da en del partnere gjorde en vurdering av sin deltakelse i forbindelse med midtveisevaluering og meldte seg ut. Fra 2014 har antallet brukerpartnere ligget stabilt rundt 82 – 83.

Senter	Tema	Vertsinstitusjon	Næringsliv	Offentlig sektor	Forskningspartnere
<b>BIGCCS</b>	CO <sub>2</sub> -håndtering	SINTEF Energi	6		7
<b>CEDREN</b>	Miljøvennlig design av fornybar energi	SINTEF Energi	18	2	5
<b>CenBio</b>	Bioenergi	NMBU	9	1	5
<b>NORCOWE</b>	Offshore vindenergi	CMR	7		5
<b>NOWITECH</b>	Offshore vindenergi	SINTEF Energi	9		4
<b>Solar United</b>	Solenergi	IFE	9		3
<b>SUCCESS</b>	CO <sub>2</sub> -lagring	CMR	3		7
<b>ZEB</b>	Energieffektive bygg	NTNU	14	4	2
<b>Totalt</b>			75	7	38

**Tabell 1: Sammensetningen av konsortiene ved avslutning av FME-perioden, tallene angir antall partnere.**

### 3.2 Ressursinnsatsen

De åtte sentrene har hatt en samlet omsetning på 2,5 mrd. kroner gjennom de åtte årene de har vært i drift. Størrelsen på sentrene varierer fra ca 390 mill. kroner for det største (BIGCCS) til 190 mill. kroner for det minste (SUCCESS).

Finansieringen fra brukerpartnere for sentrene er samlet sett på 700 mill. kroner. Dette utgjør 28 % av den totale aktiviteten, noe som er noe over enn kravet på 25 %. Bidraget fra brukerpartnere har vært i form av aktiv prosjektdeltakelse (in-kind) eller kontantfinansiering. Forholdet mellom in-kindbidrag og kontantbidrag har i gjennomsnitt for alle åtte sentrene vært på omtrent 40/60, men som det går fram av tabell 2, er det store variasjoner mellom sentrene.

	Verts-institusjon	Forsknings-partnere	Brukerpartnere		Forskningsrådet		Totalt
	In-kind	In-kind	Kontant	In-kind	Senter-bevilgning	FME infrastruktur	
<b>BIGCCS</b>	21,4	72,2	121,5	1,8	160	14,8	391,7
<b>CEDREN</b>	25	36,6	107,6	49,1	80	16,7	315
<b>CenBio</b>	16,9	65,8	30,8	36,4	120	13,5	283,4
<b>NORCOWE</b>	21,9	53,2	33,4	28,3	120	20,3	277,1
<b>NOWITECH</b>	18,2	83,1	52,3	27,2	160	14	354,8
<b>Solar United</b>	35,7	85,4	29,8	51,4	160	17,5	379,8
<b>SUCCESS</b>	3,7	52,4	25,2	15,4	80	13,7	190,4
<b>ZEB</b>	39	43	39,1	50,6	120	15	306,7
<b>Totalt</b>	<b>181,8</b>	<b>491,7</b>	<b>439,7</b>	<b>260,2</b>	<b>1000</b>	<b>125,5</b>	<b>2498,9</b>

Tabell 2: Samlet ressursinnsats for hele senterperioden, mill. kroner

Egeninnsatsen fra vertsinstitusjoner og forskningspartnere er på 675 mill. kroner.

Universitetspartneres bidrag, i all hovedsak i form av stipendiater, er et viktig bidrag her. For flere av sentrene utgjør annen forskningsrådsfinansiering (ENERGIX og CLIMIT) en forholdsvis stor del av egenfinansieringen, dette gjelder blant annet CEDREN, som har integrert flere ENERGIX-finansierte prosjekter i senteret. Andre sentre har ikke lagt dette inn i budsjettene, men også disse har andre forskningsrådsfinansierte prosjekter tett knyttet til senteret.

## 4 Resultater og måloppnåelse

FME-ordningen har bidratt til større volum, høyere kvalitet og mer relevans i energiforskningen. I samspill med programmene ENERGIX og CLIMIT er det bygget sterke kunnskapsmiljøer innenfor områder som er viktige for Norge og som er høyt prioritert i energi- og klimapolitikken.

Alle FME-ene har utarbeidet egne sluttrapporter. Rapportene gir en god oversikt over aktiviteter og resultater fra sentrene, og illustrerer også hvilken betydning sentrene har hatt for brukerpartnerne. Rapportene ligger på sentrenes egne hjemmesider og kan også lastes opp fra Forskningsrådets FME-nettside, <https://www.forskningsradet.no/prognett-energisenter/Sluttrapporter/1254034773965>

I vedlegget til denne rapporten er det gitt en kort oppsummering av resultater og høydepunkter fra hvert av de åtte sentrene.

### 4.1 Vitenskapelige resultater

Vitenskapelig kvalitet var et sentralt kriterium både ved utvelgelse og ved midtveisevaluering av FME-ene. Midtveisevalueringen av FME-ene i 2013 dokumenterte at den vitenskapelige kvaliteten holdt et høyt nivå. Enkelte sentre ble imidlertid oppfordret til å legge økt vekt på publisering, noe som ble fulgt opp i ettertid.

Vitenskapelig kvalitet måles blant annet gjennom registrering av publikasjoner. De åtte første FME-ene har utgitt mer enn 2000 vitenskapelige publikasjoner i periodika eller bøker med referee-ordning. Sentrene kan også vise til en rekke priser som er tildelt forskere som er knyttet til sentrene, og en rekke forskere har vært invitert som keynote-speakers på internasjonale konferanser.

FME-ene bidrar vesentlig til økt forskningskapasitet, spesielt i forskningsinstitusjonene som deltar i sentrene, men også i de deltakende bedriftene.

## **4.2 Innovasjon, verdiskapning og effekter for energi og klima**

Det langsiktige samarbeidet mellom næringsliv og forskning i sentrene bidrar til at forskningen er rettet inn mot samfunnets og næringslivets behov og gjør at resultatene fra forskningen blir tatt raskere i bruk. Det er en fordel at brukerpartnere ikke bare bidrar til finansieringen av senteret, men også går inn med egeninnsats. Egeninnsatsen fra brukerpartnere har i gjennomsnitt utgjort 40 % av brukerfinansieringen. Dette vurderes som et riktig nivå, men det er ganske store variasjoner mellom sentrene.

FME-ene har i de siste årene arbeidet mye med å konkretisere innovasjoner og legge til rette for at disse skal komme til anvendelse. Det ene senteret innenfor offshore vind (NOWITECH), fikk i 2017 utarbeidet en analyse som beregnet verdiskapningspotensialet for åtte av totalt 40 konkrete innovasjoner i senteret, verdiskapningspotensialet for disse innovasjonene ble anslått til å være i størrelsesorden 50 mrd. kroner for de neste 12 – 13 årene. I analysene er det brukt anerkjente referansebaner for utviklingen av markedet for offshore vindenergi. En forutsetning for beregningene er at resultatene blir videreutviklet og kommersielt utnyttet. CEDREN som har arbeidet med miljøkonsekvenser av fornybar energi, har utviklet metoder og verktøy som gjør at vannkraftproduksjon kan økes uten at dette får negative konsekvenser for miljøet. CEDREN har også utarbeidet metoder for optimale valg av traseer for kraftlinjer. I FME-et ZEB (Zero Emission Buildings) har byggenæringen blitt sterkt involvert i aktiviteten i senteret gjennom pilotbyggene, som har dokumentert at det er fullt mulig å bygge nullutslippshus i dag, både innenfor offentlig og kommersiell sektor. Regjeringen har ambisjoner om at det skal bygges fullskala CO<sub>2</sub>-håndtering i Norge tidlig på 2020-tallet. Industriaktører har påpekt at dette ikke ville vært mulig uten forskningen fra CLIMIT og FME-ene innen CO<sub>2</sub>-håndtering.

I løpet av høsten 2018 vil en studie av effektene av energiforskning ferdigstilles. Studien omfatter forskning finansiert av Forskningsrådet gjennom ENERGIX, CLIMIT og FME og dekker i hovedsak perioden fra 2008. Studien vil gi en omfattende oppsummering av resultater og potensielle effekter av satsingen. Studien utarbeides på oppdrag fra Forskningsrådet.

## **4.3 Forskerutdanning og rekruttering**

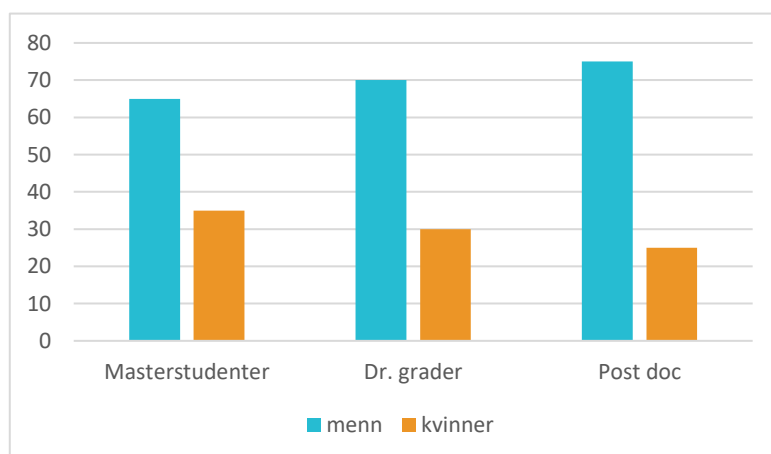
Utdanning av forskere er et viktig mål med FME-ordningen. Et høyt antall doktorgradsstipendiater har vært finansiert over FME-bevilgningen eller over sentrenes budsjetter som del av partnernes egeninnsats. NOWITECH oppgir i sin rapport at i tillegg til doktorgradskandidatene som er finansiert over senterbudsjettet, har ca 40 kandidater arbeidet med temaer som er nært koplet opp mot fagområdene i NOWITECH. NOWITECH peker seg også ut ved å ha et svært høyt antall masterstudenter med tilknytning til senteret. FME-ene rapporterer om høy gjennomføringsgrad når det gjelder doktorgradene. Det å være en del av et senter og dermed et større fagmiljø, er en god inspirasjon og faglig utviklende og bidrar til lavt frafall.

I tillegg til det høye antallet stipendiater og mastergradskandidater som utdannes gjennom FME-ene, er det også utviklet egne utdanningsprogrammer i regi av sentrene.

	Doktorgrader			Post doc			Masterstudenter		
	menn	kvinner	sum	menn	kvinner	sum	menn	kvinner	sum
<b>BIGCCS</b>	20	6	26	5	3	8	31	21	52
<b>CEDREN</b>	14	8	23	4	3	7	76	38	114
<b>CenBio</b>	18	15	33	5	2	7	29	16	45
<b>NORCOWE</b>	21	6	27	7		7	47	11	58
<b>NOWITECH</b>	23	2	25	6		6	190	77	267
<b>Solar United</b>	18	5	23	15	4	19	40	24	64
<b>SUCCESS</b>	22	13	35	8	6	14	19	21	40
<b>ZEB</b>	8	6	14	5	1	6	51	44	95
<b>Totalt</b>	145	61	206	56	20	76	480	249	729

**Tabell 3: FME-ene og antall stipendiater finansiert over sentrenes budsjetter**

Energiforskningen har tradisjonelt vært mannsdominert og det er en ambisjon å rekruttere flere kvinner inn til fagfeltet. Rapporteringen viser at det er en kvinneandel på 30 % på doktorgradskandidatene. Det er variasjoner mellom fagområdene; mens bioenergi og energieffektive bygg har en kvinneandel på 45 % har begge sentrene innenfor offshore vind lav andel kvinnelige stipendiater, med en kvinneandel for doktorgradsstipendiatene på 15 %. Kvinneandelen er noe lavere blant postdoktorene og litt høyere blant mastergradskandidatene.



**Figur 2: Kjønnfordelingen på stipendiater og mastergradsstudenter**

Sentrene er bedt om å rapportere hvor de som har tatt doktorgraden i senteret har tatt veien videre. Vi har fått denne informasjonen for 190 av kandidatene. Av disse arbeider ca 30 % i næringslivet, 40 % i forskningsinstitusjoner, 15 % i utlandet, mens de resterende 15% enten var under utdanning eller data mangler.

#### **4.4 Internasjonalt samarbeid**

FME-ene er med sin størrelse og langsiktige finansiering gode plattformer for internasjonalt samarbeid. Horisont 2020 er svært viktig for samarbeid, faglig utvikling og finansiering i sentrene. Gjennom blant annet workshops og seminarer har FME-ene arbeidet med å legge grunnlag for nye samarbeidsprosjekter innenfor Horisont2020. FME-ene har også vært viktige for arbeidet med strategiske dokumenter i EU, et eksempel her er BIGCCS sin rolle i arbeidet med den europeiske teknologiplattformen *Zero Emission Fossil Fuel Power Plants (ZEP)*. Det internasjonale energibyrået (IEA) representerer en annen viktig samarbeidsarena for FME-ene. I tillegg engasjerer FME-ene seg i bilateralt samarbeid og har en rekke internasjonale partnere som deltar aktivt i sentrenes forskning. FME-ene er via vertsinstitusjoner og forskningspartnere aktive i European Energy Research Alliance (EERA).

I sluttrapportene fra første gruppe av FME-er gis det en bred omtale av det internasjonale samarbeidet og det kommer godt fram hvordan dette har bidratt til de konkrete resultatene fra i sentrene.

#### **4.5 Samarbeid og struktur i energiforskningen**

FME-ene har bidratt til en bedre og mer rasjonell struktur på norsk energiforskning gjennom det langsiktige og forpliktende samarbeidet i sentrene. Sentrenes varighet på åtte år, gjør at aktørene må samarbeide om å løse utfordringer og om å videreutvikle satsingene. FME-ene representerer store konsortier og de aller fleste sentrale aktører innenfor de ulike tematiske områdene deltar i sentrene. Dette sikrer en godt koordinert innsats og bidrar til god ressursutnyttelse. Dette er en utvikling som er blitt forsterket gjennom den siste FME-runden hvor det er mer samarbeid mellom de ulike FME-ene. Et eksempel er det samfunnsvitenskapelige FME-et CenSES som samarbeider med flere av de nye FME-ene.

Samspeillet mellom FME-ordningen og programmene ENERGIX og CLIMIT gir Forskningsrådet gode muligheter til å målrette sin aktivitet og oppnå gode resultater innenfor forskningen på energiområdet. Programfinansieringen bidrar til å sikre dynamikk og utvikling i sentrene og gjør at forskerne hele tiden må dokumentere kvalitet ved å delta på disse konkurransearenaene.

FME-ene er også svært gode plattformer for samarbeid om forskningsinfrastruktur, og flere av prosjektene som er finansiert gjennom Forskningsrådets infrastrukturordning er koplet til FME-er.



## 4.6 Resultatindikatorer

Sentrene har rapportert på Forskningsrådets tellekanter. Disse er oppsummert i tabellen. Alle sentrene rapporterer høye tall på vitenskapelige utgivelser og formidlingstiltak rettet mot målgruppen for senteret. Sentrene har også hatt en betydelig formidlingsaktivitet rettet mot allmennheten, men det er et stort spenn i for eksempel antall oppslag i massemedia. Når det gjelder næringsrettede og kommersielle resultater er det stor variasjon mellom sentrene. Dette henger både sammen med målgruppen for senteret, men kan også ha sammenheng med hvordan sentrene rapporterer.

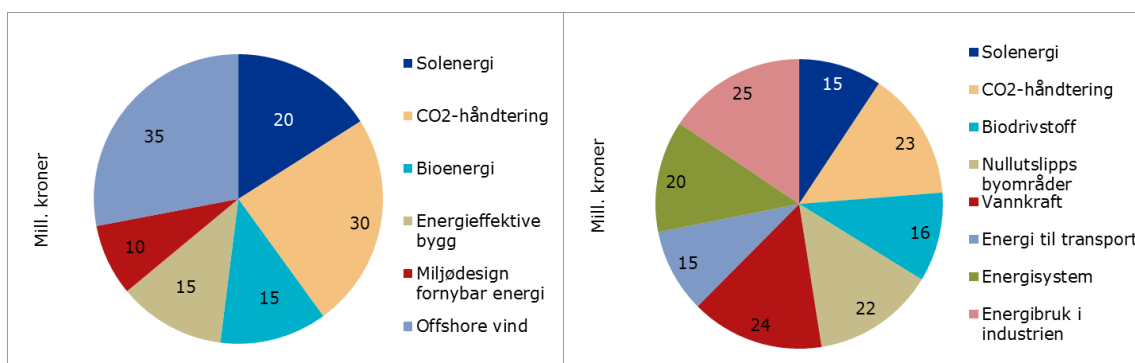
	CEDREN	BIGCCS	CenBio	NORCOWE	NOWITECH	SUCCESS	Solar United	ZEB	Sum
<b>Vitenskapelige utgivelser</b>									
Monografier	19		78	1	29			149	276
Antologier	82	1	65	40	167	37	16	13	421
Periodika og serier	169	176	198	190	158	147	163	134	1335
<b>Allmennrettede formidlingstiltak</b>									
Populærvitenskapelige publikasjoner	18	47	11	24		7	46	37	190
Oppslag i massemedia	1007	17	180	88	125	80	65	188	1750
<b>Formidlingstiltak rettet mot målgruppen</b>	695	539	523	425	617	365	550	449	4163
<b>Næringsrettede resultater</b>									
Ferdigstilte nye/forbedrete metoder/modeller	31	42	16	13	40	8	42		192
Bedrifter som har tatt i bruk resultater	10	2	7	39	9		17	20	104
Ny virksomhet (foretak eller forretningsområde)				6	6	1			13
<b>Kommersielle resultater med bidrag fra prosjektet</b>									
Patenter/lisenser			4	3	9			2	18
Ferdigstilte prosesser/produkter/tjenester	51	5	14	6	33		15	19	143

**Tabell 4: Resultatindikatorer rapportert inn i forbindelse med sluttrapportering**

## 5 Veien videre

Sentrene har hatt stor betydning i å styrke og videreutvikle samarbeidet mellom ulike aktører innenfor sine tematiske områder. Partnerne har - med utgangspunkt i sentrene - generert et stort antall nye prosjekter med finansiering fra Forskningsrådet, Horisont 2020 og andre aktører. Suksessraten for søknader fra FME-ene rapporteres gjennomgående å være god. Gjennom nye prosjekter videreføres forskningssamarbeidet og forskningen innenfor de ulike områdene drives fremover.

Det var ikke anledning til å søke om en direkte videreføring av et eksisterende FME, da Forskningsrådet lyste ut nye FME-er i 2015. I en ny søknad måtte det vises til en vesentlig fornyelse av mål, sammensetning og innretning av senteret. Flere av de nye FME-ene bygger imidlertid på sentrene fra første runde og representerer en viktig videreføring og videreutvikling av aktivitetene. I sine sluttrapporter oppgir disse sentrene at det nye FME-et er den viktigste direkte videreføringen av aktiviteten. Figurene nedenfor viser hvilke tematiske områder som er representert i første og andre gruppe av FME-er.



Figur 3: Tematisk fordeling FME 2009 - 2017

Figur 4: Tematisk fordeling FME 2017 -- 2024

Sentre innenfor tematiske områder som ikke er videreført i nytt FME, oppgir at de viderefører senteret som et forskningsnettverk mellom aktørene i det tidligere senteret, men at disse nettverkene også vil være åpne for andre aktører. NORCOWE (offshore vind) oppgir eksempelvis at nettverket skal fungere som kontaktpunkt for næringslivet. Viktige oppgaver vil være prosjektutvikling, forskningssamarbeid og informasjonsspredning.

## **Presentasjoner av sentrene**

## 1. International CCS Research Centre (BIGCCS)

Vertsinstitusjon	SINTEF Energi AS
Forskningspartnere	British Geological Survey, CICERO (2009 -2014), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Geological Survey of Denmark and Greenland, Norges geologiske undersøkelser (NGU) (2009 – 2013), Norges teknisk naturvitenskapelige universitet (NTNU), NTNU Samfunnsforskning AS (2009 - 2014), SINTEF Petroleumsforskning AS, SINTEF, Technische Universität München, Universitetet i Oslo (UiO)
Brukerpartnere	ConocoPhillips (2009 – 2014), Gassco AS, ENGIE (tidl GDF SUEZ), Shell Technology Norway AS, Statoil Petroleum AS, Total E&P Norge AS, Aker Solutions AS (2009 – 2012), Statkraft AS (2009 – 2011), Den Norske Veritas AS (2009 – 2012), Hydro Aluminium AS (2009 – 2013)
Senterledere	Nils A. Røkke (2009 – 2010), Mona J. MølInvik (2010 – 2017)
Samlet budsjett	390 mill. kroner

### 1.1. Mål

Den overordnede visjonen til BIGCCS har vært å muliggjøre bærekraftig kraftproduksjon fra fossile brensler basert på kostnadseffektiv CO<sub>2</sub>-fangst og trygg transport og lagring av CO<sub>2</sub>. For å oppnå dette, var senterets spesifikke mål å bygge kompetanse, lukke kritiske kunnskapsgap i CO<sub>2</sub>-kjeden, og utvikle nye teknologier.

### 1.2. Presentasjon av senteret og oppnådde resultater

#### *Forskningen*

Arbeidet i BIGCCS har vært konsentrert om grunnleggende og langsiktig forskning for å virkeliggjøre fullskala CO<sub>2</sub>-håndtering fra kraftproduksjon og industrielle prosesser. Temamessig har hele CO<sub>2</sub>-kjeden vært omfattet. Dette har inkludert utvikling av verktøy for teknisk, økonomisk og miljømessig vurdering av hele CO<sub>2</sub>-håndteringskjeden. I senteret har det vært forsket på nye fangstprosesser som membraner og sorbenter. Forbrenning i rent oksygen og av hydrogen er andre viktige temaer. Senteret dekker også CO<sub>2</sub>-håndtering i industrielle prosesser og i offshoreanvendelser. Innenfor lagring har senteret blant annet fokusert på CO<sub>2</sub>-injeksjon, bedre overvåkingsteknologi av lager, CO<sub>2</sub>-brønnteknologi, storskala lagring av CO<sub>2</sub> og bruk av CO<sub>2</sub> til økt oljeutvinning og samtidig lagring. CO<sub>2</sub>-transport har vært et mindre, men like fullt viktig tema der strømningstekniske fenomener kobles med de materialtekniske utfordringene.

BIGCCS har bidratt til at norske forskere holder et høyt vitenskapelig nivå. BIGCCS-forskerne har registrert 657 bidrag i publikasjonsdatabasen CRISTin – 219 av disse var vitenskapelige tidsskriftartikler. Forskere i BIGCCS har mottatt *IEA Greenman Award* to ganger, og *SINTEF og NTNU CCS-prisen* tre ganger.

### ***Innovasjon og verdiskapning***

Kontinuerlig fokus på å skape nyttige resultater for industrien har resultert i 46 dokumenterte innovasjoner på forskjellige trinn på TRL-skalaen. Forskere vil fortsette å utvikle enkelte av disse videre, mens andre allerede står til disposisjon for industripartnerne.

Representanter for brukerpartnere har gitt uttrykk for at kunnskapen utviklet gjennom BIGCCS vil være avgjørende for å kunne etablere og gjennomføre et fullskala CO<sub>2</sub>-håndteringsprosjekt.

### ***Internasjonalt samarbeid***

BIGCCS har bidratt aktivt i utviklingen av europeiske CCS-strategier innenfor forskning og utdanning. Senteret har vært sterkt involvert i *CCS Joint Program* under *European Energy Research Alliance (EERA JP-CCS)* og den europeiske teknologiplattformen *Zero Emission Fossil Fuel Power Plants (ZEP)*. SINTEF er koordinator for tre EU-prosjekter med temaer som er relevante for senterets aktiviteter. Det var et aktivt samarbeid med den norske noden i det europeiske initiativet *Carbon Dioxide Capture and Storage Laboratory Infrastructure (ECCSEL)* hvor formålet er bygging og drift av forskningsinfrastruktur.

Senteret har samarbeidet nært med *Sandia National Laboratory* og *University of Berkeley*, to av verdens ledende institusjoner innen forbrenningsteknologi.

### ***Forskerutdanning og rekruttering***

Utdanningsprogrammet inkluderte 26 doktorgrader, 8 postdoktorer og 52 masterstudenter med CO<sub>2</sub>-håndterings relaterte emner. Kun én av doktorgradskandidatene fullførte ikke studiet og samlet for alle kandidatene var det bare behov for 10 måneder i ekstra tid. Dette vitner om høy effektivitet. 21 professor var aktive i veiledning av kandidatene. Fire av kandidatene har fått utmerkelse for sine arbeider.

### ***Organisering og videreføring***

BIGCCS har hatt stor betydning for å samle og synliggjøre forskningen innenfor CO<sub>2</sub>-håndtering i Norge. SINTEF og NTNU har utgjort kjernen i senteret, men også en rekke andre miljøer – nasjonalt og internasjonalt – har deltatt i senteret. BIGCCS har generert et stort antall prosjekter, men den viktigste forskningsmessige videreføringen er FME-et Norwegian CCS Research Centre, NCCS, der hovedfokus er aktiviteter som støtter framtidige fullskalaanlegg.

### 1.3. Nøkkeldata

#### Økonomi

BIGCCS har hatt et samlet budsjett **390** mill. kroner.

	Kontant	In-kind	Sum
Vertsinstitusjon		21 442	21 442
Forskningspartnere		72 202	72 202
Brukerpartnere	121 500		121 500
Forskningsrådet	160 000		160 000
Forskningsrådet FME infrastruktur	15 300		15 300
<b>Totalt</b>			<b>390 444</b>

Tabell: Omsetning i BIGCCS for hele perioden i tusen kroner

I tillegg til infrastrukturmidlene fra FME, har de sentrale forskningsmiljøene i BIGCCS mottatt betydelig finansiering til utstyr anskaffet gjennom ECCSEL-prosjektet (totalt ca. 200 mill. kroner) som er en del av den europeiske forskningsinfrastruktursatsingen ESFRI.

Finansiering fra CLIMIT FoU har vært avgjørende for resultatene i BIGCCS. Ni kompetanseprosjekter med en samlet ramme på **111,5** mill. kroner har vært koplet til senteret.

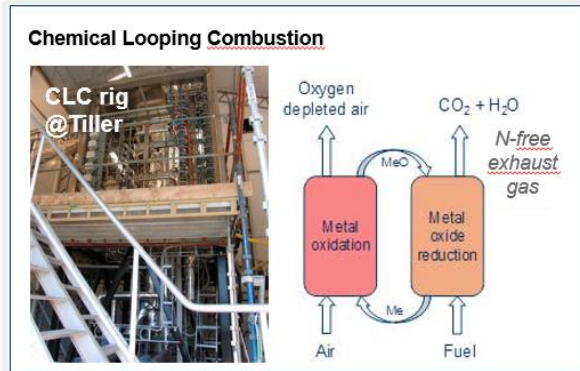
#### Resultater

Vitenskapelige publikasjoner (peer reviewed)	176
Formidlingstiltak overfor brukere	539
Formidlingstiltak overfor offentligheten	46
Nye/forbedrete metoder/modeller/prototyper	41
Nye/forbedrete produkter/prosesser/tjenester	5
Fullførte doktorgrader	24
Postdoktorer	8
Masterstudenter	52

Tabell: Rapporterte tellekanter fra BIGCCS

## 1.4. Glimt fra virksomheten

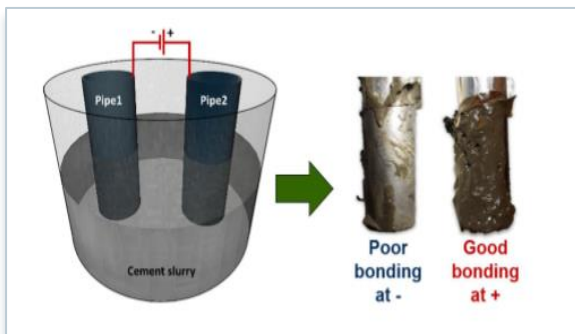
### Forskning



CLC (Chemical Looping Combustion) er en metode for CO<sub>2</sub>-fangst som karakteriseres ved at man unngår direkte kontakt mellom luft og drivstoff i løpet av forbrenningen. Det gir en enklere CO<sub>2</sub>-fangst, men utfordringen er en kompleks forbrenningsprosess. CO<sub>2</sub>-utslippene til luft reduseres i forhold vanlige forbrenningsprosesser og CLC-teknologien kan bli mer kostnadseffektiv enn andre CO<sub>2</sub>-håndteringsteknologier etter hvert som konseptet blir mer modent. BIGCCS har testet

ut teknologien i en 150 kW-rigg på Tiller i Trondheim, med svært lovende resultater.

### CLS reaktor på Tiller og prinsippskisse for hvordan den virker



Ved langtidslagring av CO<sub>2</sub>, er det viktig at CO<sub>2</sub> brønnene er sikre og at mulig lekkasje hindres eller stoppes. I BIGCCS er det jobbet både med forbedring av sementeringen og binding mellom sement, borehull og stål i brønnene for å unngå sprekke-dannelser i sementen og dermed økt risiko for lekkasjer. Blant annet ble det funnet at stål med påsatt spenning økte stål-sement bindingsegenskapene, noe som kan minimalisere mulig lekkasjeveier.

Innovativt design som minimerer mulige lekkasje veier i cement brønnen ved å sette på positiv spenning.

### Møteplasser og kommunikasjon

Trondheimskonferansen (TCCS) er en internasjonal møteplass for CCS-forskere innenfor CO<sub>2</sub>-håndtering. Konferansen arrangeres hvert andre år og samler nær 400 deltakere fra hele verden. BIGCCS har organisert TCCS tre ganger: i 2011, 2013 og 2015. I tillegg har de vært aktive med populærvitenskapelige innlegg, webinarer for brukere, nyhetsbrev og blogging om aktivitetene.





### **Fra industrien**

*“Too often the focus of industry is on immediate results. The long-term focus of BIGCCS combined with a consistent flow of innovations and publications meant this was an FME that hit its goals while keeping industry engaged. In particular, the well-integritylab work has been a good stimulant for industry and we see potential in the coupled fluid-flow models.”*

- Philip Ringrose, Geoscience Specialist, Statoil

## **1.5. Bidrag til FME-ordningens overordnede mål**

CO<sub>2</sub>-håndtering er nødvendig for at målene i klimapolitikken skal kunne nås. Gjennom BIGCCS har grunnleggende kunnskap - sammen med innovasjonsplattformer - etablert et viktig fundament for videreutvikling av CO<sub>2</sub>-håndteringsteknolog. I BIGCCS er nye verktøy og modeller utviklet for å vurdere lagringskapasitet for CO<sub>2</sub> og kvalifisering av brønner i nært samarbeid med industrien. Dette vil gjøre det mulig å lagre større volumer av CO<sub>2</sub> på norsk sokkel. Viktig forståelse for forbrenning av hydrogen og nytt design for hydrogenfyrte gassturbiner er foreslått. Dette vil gi tryggere og mer effektiv forbrenning. Senteret har utviklet banebrytende ny kunnskap og nye måter for transport av CO<sub>2</sub> med skip og i rør ved prosessoptimalisering i grensene mellom fangst, transport og lagring.

BIGCCS har initiert og fremmet internasjonalt samarbeid for å sikre at resultatene nyttiggjøres i global skala. Innovasjonene fra senteret vil bidra til lavere kostnader og nye verdikjeder for petroleum i lavutslippssamfunnet, og reduserte klimagassutslipp nasjonalt og internasjonalt.



## 2. Centre for environmental design of renewable energy (CEDREN)

Vertsinstitusjon	SINTEF Energi AS
Forskningspartnere	Norsk institutt for naturforskning (NINA), Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Universitetet i Oslo (UiO), Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Uni Research
Brukerpartnere	Agder Energi AS, Akershus Energi (2015-2017), BKK Produksjon AS, E-CO Energi AS, Eidsiva Vannkraft AS, Energi Norge, Glommens og Laagens Brukseierforening (2015-2017), Hafslund Nett (2011-2017), International Centre for Hydropower, Lyse AS (2014-2017), Hydro Energi AS, NTE Nett AS (2011-2017), Troms Kraft AS (2011-2017), SFE Produksjon AS (2015-2017), Sira-Kvina kraftselskap, Statkraft AS, Statnett SF, TrønderEnergi Kraft AS, Miljødirektoratet, NVE
Senterleder	Atle Harby
Samlet budsjett	315 mill. kroner

### 2.1. Mål

CEDRENs visjon har vært å være et internasjonalt ledende forskningssenter for miljødesign av fornybar energiproduksjon i samspelet mellom teknologi, natur og samfunn.

Målene for senteret har vært å levere

- Kunnskap om fornybare og bærekraftige energiløsninger
- Innovasjon og nye muligheter for fornybare energiløsninger
- Fremragende formidling og målrettet kommunikasjon av prosesser og resultater

### 2.2. Presentasjon av senteret og oppnådde resultater

CEDRENs har arbeidet med forskning som skal sikre at de lokale perspektivene blir ivaretatt når de globale klimautfordringene skal løses. Senteret har arbeidet for å bidra til teknisk og miljøriktig utvikling av vannkraft, vindkraft og overføringssystemer, både nasjonalt og internasjonalt. Rundt de gode teknologiske løsningene produseres ny kunnskap for å styrke den forvaltningsmessige gjennomføringen av miljø- og energipolitikk. I CEDREN har finansiering fra ENERGIX og FME vært tett koplet sammen fra første dag, og senteret hadde ikke kunnet oppnådd sine resultater uten finansiering fra begge disse programmene.

#### ***Forskningen***

CEDREN har produsert resultater som spenner fra grunnleggende forskning og nye teoretiske modeller til utvikling av dataverktøy og bruk av nye metoder. Dyptgripende forskning innenfor spesifikke emner har bidratt til forståelse av hvordan raske endringer i vannstand kan påvirke dekklaget i elvebunnen, hvordan miljøfaktorer som fysisk habitat, vanntemperatur, isforhold og strømningsforhold påvirker vekst og overlevelse av laksefisk og hvordan kraftkorridorer kan vedlikeholdes som viktige beiteområder for elg. Disse, og mange andre eksempler på grunnleggende

forskning, bidrar alle til en bredere forståelse av hvordan man kan forbedre miljøforholdene og samtidig opprettholde eller øke kraftproduksjonen.

Gjennom å være et forskningscenter, har CEDREN også gjort det enklere å oppnå finansiering av utstyr til laboratorier og feltarbeid til bruk av forskere og studenter. Oppdaterte laboratoriefasiliteter og moderne instrumenter er essensielt for å kunne utføre eksperimenter og forskning av høy kvalitet, og for å tiltrekke seg dyktige studenter og forskere.

### ***Innovasjon og verdiskapning***

CEDREN har utviklet nye og innovative løsninger for vannkraftteknologi for å møte framtidige krav til mer fleksibel drift og økt behov for balansekraft og lagring i elektrisitetssystemet. Senteret har videre utviklet metoder, modeller og retningslinjer for vurdering av miljøkonsekvenser og for å finne vinn-vinn løsninger for vannkraftproduksjon og økosystem – realisert ved miljøvennlig design av vannkraft.

Begrepet miljødesign har ikke bare blitt etablert og tatt i bruk for vannkraft, men også for vindkraft og kraftledninger. CEDREN har utviklet metoder og verktøy for å finne de mest optimale traseene for kraftledninger ved å ta hensyn til tekniske, økonomiske, miljømessige og samfunnmessige perspektiver. CEDREN har også bidratt til at plassering og drift av vindkraftverk kan tilpasses miljøet slik at konflikter mellom naturhensyn og energiproduksjon reduseres.

### ***Internasjonalt samarbeid***

CEDREN har vært svært synlig internasjonalt. CEDREN har samarbeidet med internasjonalt anerkjente forskningsgrupper i alle prosjekter. Et forskningscenter er en god plattform for å organisere internasjonal aktivitet, og CEDREN har organisert og vært med på å organisere seminarer, workshoper og møter i en lang rekke land.

### ***Forskerutdanning og rekruttering***

En av hovedoppgavene i CEDREN har vært å utdanne doktorgradsstipendiater, post doktorer og masterstudenter. Rundt regnet 30 doktorgrader og postdoktorer og omtrent 100 masterstudenter har skrevet oppgavene sine innenfor et bredt spekter av CEDREN-temaer. Disse tar med seg kunnskapen videre til industri, akademia og myndigheter for å bidra til å løse framtidige utfordringer innenfor fornybar energi. Mye av kunnskapen fra CEDREN blir brukt i forelesninger og kurs i ulike tema ved flere studieprogram ved NTNU.

### ***Organisering og videreføring***

Forskningsgruppene ved SINTEF Energi, NINA og NTNU er alle involvert i å drive forskningen videre gjennom nye metoder, modeller og løsninger for miljødesign av fornybar energi.

Flere av resultatene i CEDREN har blitt brukt i ulike casestudier som er gjennomført i samarbeid med brukerpartnere. Disse beskriver casestudier som den beste måten å lære og implementere nye metoder, modeller og forskningsresultater på.

Forskningen i CEDREN videreføres også i en rekke ulike prosjekter som er generert med utgangspunkt i senteret. FME-et innenfor vannkraft – HydroCEN – har et arbeidsområde som er en direkte videreføring av forskningsfelt i CEDREN knyttet til vannkraft.

## 2.3. Nøkkeldata

### *Økonomi*

CEDREN har hatt et samlet budsjett på 315 mill. kroner.

	Kontant	In-kind	sum
<b>Vertsinstitusjon</b>		25 029	
<b>Forskningspartnere</b>		36 558	
<b>Brukerpartnere</b>	107 604	49 100	155 704
<b>Forskningsrådet</b>	80 000		80 000
<b>Forskningsrådet FME infrastruktur</b>	16 700		16 700
<b>Totalt</b>			315 024

Tabell: Omsetning i CEDREN i hele perioden i tusen kroner

I tillegg til finansieringen som fremgår av tabellen ovenfor har prosjekter fra ENERGIX på til sammen 130 mill. kroner vært tett integrert i senteret og utgjort flere av arbeidspakkene. CEDREN har også fått finansiering til infrastruktur fra Forskningsrådet infrastruktursatsing.

### *Resultater*

Vitenskapelige publikasjoner (peer reviewed)	169
Deltakelse i internasjonale komiteer	76
Artikler i internasjonale, nasjonale og lokale massemedia	1007
Nye/forbedrete metoder/modeller/produkter	31
Fullførte doktorgrader	22
Postdoktorer	7
Masterstudenter	114

Tabell: Rapporterte tellekanter fra CEDREN

## 2.4. Glimt fra virksomheten



### **Håndbok for miljødesign i regulerte vassdrag**

Håndbok for miljødesign i regulerte vassdrag viser hvordan man kan utrede, utvikle og gjennomføre tiltak som bedrer forholdene for laks i regulerte vassdrag, samtidig som det blir tatt hensyn til kraftproduksjon.

I Norge har det vært betydelige vannkraftutbygginger de siste 100 årene. I mange elver har laksebestandene gått tilbake. I andre vassdrag har det vært små, ingen eller positive endringer. Leveforholdene for laks er et prioritert tema for myndighetene i konsesjons- og revisjonssaker. CEDRENs håndbok for miljødesign beskriver hvordan man kan utrede, utvikle og gjennomføre tiltak som tar hensyn til både kraftproduksjon og miljøforhold for laks. Håndboken er blitt svært godt mottatt og er oversatt til engelsk og kinesisk.

### **Sittepinne for hubro**



Hubro er en rødlistet fugleart i Norge. En viktig dødsårsak for hubro skyldes elektrokusjonsulykker når fuglene kommer borti 22 kV-ledninger.

Hubroen velger seg det høyeste punktet som utkikkspost. I flate, åpne landskap langs kysten er kraftledningsstolper ofte det høyeste punktet. Hubroen velger derfor å sitte der. Forskere i CEDREN har utviklet en trygg sittepinne for hubro til bruk på kraftledningstraverser.

### **Fra brukerpartnere**

Statkraft har vært en aktiv og viktig brukerpartner i CEDREN gjennom hele senterperioden, i sluttrapporten sier Ragne Hildrum i Statkraft følgende:



*" CEDREN has had a major impact on the national and international discussions concerning dilemmas related to the climate benefits of renewable production from hydropower and wind power versus environmental impact from such operations. CEDREN has provided valuable evidence and new knowledge into these discussions, promoting both the sustainability of hydropower and wind power as well as future possibilities for these technologies in a global market."*

Foto: Statkraft

## 2.5. Bidrag til FME-ordningens overordnede mål

CEDREN har vært et tverrfaglig forskningssenter der alle prosjektene og aktivitetene ble organisert med fokus på samarbeid mellom ulike fagfelt. Teknologer, økologer, økonomer, hydrologer og samfunnsvitere jobber sammen mot felles mål. FME-strukturen med tematiske forskningssentre gjør dette mulig, i motsetning til hva som ofte er tilfelle innen rammene av tradisjonelt organisert forskning.

CEDREN har bidratt til mer kunnskap innen spesifikke kunnskapsfelt, men de største forskningsmessige framskrittene og de viktigste løsningene på utfordringer innen fornybar energi har blitt funnet i møtepunktet mellom de tradisjonelle fagfeltene. FME-strukturen skaper dessuten en plattform for dialog mellom forskere, industri, myndigheter og andre interessenter. Senteret har erfart at møter, workshoper og seminarer organisert av CEDREN skaper en åpen atmosfære hvor de ulike partene, som kan ha motstridende syn, kan møtes for informasjonsutveksling og dialog.

Før CEDREN startet var det i liten grad lagt vekt på vannkraft i den norske nasjonale strategien for framtidige energiløsninger. Etter åtte år med forskning på miljødesign av fornybar energi har holdningene til vannkraft endret seg. Vannkraft og fleksible energisystemer har nå høy prioritet, og behovet for miljødesign av fornybar energi er tydelig uttrykt i den oppdaterte forskningsstrategien Energi21. Konseptet miljødesign av vannkraft brukes i stor grad av både industri og myndigheter.

### 3. Bioenergy Innovation Centre (CenBio)

Vertsinstitusjon	Norges universitet for miljø og biovitenskapelige universitet (NMBU)
Forskningspartnere	SINTEF Energi AS, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), NIBIO, Stiftelsen SINTEF, Vattenfall Research and Development AB
Brukerpartnere	Akershus Energi AS, Norges skogeierforbund, Hafslund Varme AS, Statkraft Varme AS, Oslo Kommune Energigjenvinningsetaten, Vattenfall AB Nordic Heat, Energos AS, Cambi AS, Jøtul AS, Norsk Kleber AS, Agder Energi AS (2009 – 2011), NTE Holding AS (2009 – 2013), Norske Skogindustrier ASA 2009 – 2012), Xynergo AS (2009 – 2011), Norsk Protein AS (2009 – 2013), Avfall Norge (2009 – 2013), Norges Bondelag (2009 – 2013), Avfal Energie Bedrijf b.v. (2009 – 2013), Bionordic AS (2009 – 2011)
Senterledere	Lars Sørnum (2009 - 2012), Marie Bysveen (2012 - 2013), Berta Güell (2013 – 2015), Marie Bysveen (2015 – 2017)
Samlet budsjett	283,4 mill. kroner

#### 3.1. Mål

CenBios mål har vært å utvikle grunnlaget for en sterk bioenerginæring i Norge. CenBio har arbeidet med å øke både tilgjengelig bærekraftig biomasse og bioenergikjedenes samlede effektivitet.

#### 3.2. Presentasjon av senteret og oppnådde resultater

##### *Forskningen*

I CenBio har biologer og teknologer samarbeidet om sammenhengen mellom biomassekvalitet og nye konverteringsteknologier, noe som betyr mye for effektiviteten. Dokumentasjon av bærekraft for de ulike bioenergikjedene har vært sentralt. I dette inngår konsekvenser for miljø og klima, bedriftsøkonomi og samfunn.

Den vitenskapelige produksjonen har vært høy, og totalt har det blitt skrevet over 500 publikasjoner i CenBio, hvorav ca. 250 i fagfelleurderte tidsskriftpublikasjoner og de øvrige på internasjonale konferanser. Nesten en tredjedel av publikasjonene inkluderer internasjonalt samarbeid.

En av senterets suksesser har vært utviklingen av en verdensledende forskningsgruppe innen livssyklusanalyse (LCA) for utnyttelse av bioenergi. En av gruppens forskere var blant forfatterne av FN's siste IPCC-rapport. Gruppen har også publisert flere CenBio-artikler som handler om status for norske verdikjeder innenfor bioenergi og fremtidige muligheter og utfordringer. I artiklene kombineres livssyklusanalysene med tekniske og økonomiske vurderinger. Artiklene er skrevet i samarbeid mellom miljøer på NTNU, NMBU og SINTEF. Industripartnere har vært sterkt involvert i dette og har bidratt med egne data og ekspertise. Gruppen har levert flere viktige kunnskapsgrunnlag til arbeidet med utforming av forvaltning og politikk.

### ***Innovasjon og verdiskapning***

Et viktig aspekt i senteret har vært å utvikle innovasjoner som kan implementeres i bransjen og CenBio satt tidlig innovasjon på agendaen. I 2010 introduserte senteret *Bioenergy Innovation Award*, en pris som er blitt delt ut hvert år gjennom hele senterets levetid. Senteret utarbeidet en definisjon av innovasjon og gjennom fire innovasjonsworkshops ble det lagt vekt på å rette oppmerksomheten mot innovasjoner og realisering av potensialet av forskningen i senteret.

Et viktig resultat i CenBio er samarbeidet med industripartnerne Vattenfall AB, Energos AS, EGE Oslo, Hafslund Varme AS, Akershus Energi AS og Statkraft Varme AS, om deres driftsutfordringer for biovarme og avfallsforbrenningsanlegg. Utfordringene gjelder både utslipp (f.eks. NOx), bærekraft, korrosjon og beleggdannelse. Cenbio utviklet også en ny protokoll for prøvebearbeiding og mikrobiologisk analyse av prøver hentet rett fra en biogassreaktor.

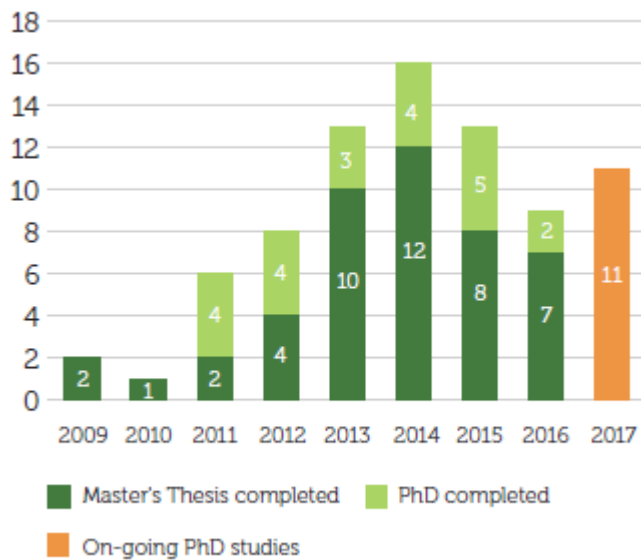
CenBio har levert et viktig kunnskapsgrunnlag og veiledninger for økt ressursutnyttelse fra skog, der de økologiske rammene for økt uttak av skogsavfall har stått sentralt.

### ***Internasjonalt samarbeid***

Det internasjonale samarbeidet fikk større oppmerksomhet etter hvert som senteret utviklet seg. Etter over sju år med fokusert forskning, valgte CenBio i 2016 å sende en stor delegasjon til bioenergikonferansen EUBCE. EUBCE er den største bioenergikonferansen i Europa. CenBio-forskere bidro med over 20 innlegg (presentasjoner og plakater), en workshop ("Sustainability of forest bioenergy"), en paneldebatt om bioenergiens fremtid, utdeling av 2016 Bioenergy Innovation Award og en egen stand om CenBio og bioenergi i Norge.

CenBio har, i samarbeid med EERA (European Energy Research Alliance) Bioenergy, arrangert en strategisk workshop og en "brokerage event" for utvikling av europeiske H2020-søknader. Her samarbeider norske forskere med noen av de beste europeiske forskningsgruppene. Dette europeiske arrangementet ga nyttige resultater og økte synligheten av CenBio og dets partnere i Europa betydelig.

### Forskerutdanning og rekruttering



Det vil bli utdannet til sammen 40 doktorgradsstudenter/postdoktorer fra CenBio. Ved sluttrapporteringen hadde 22 av til sammen 33 doktorgradskandidater avlagt sin grad. Til sammen 46 masterstudenter er blitt utdannet i eller med tilknytning til senteret.

Figuren viser fordelingen av kandidatene på år og status ved avslutningen av senteret i 2017.

### Organisering og videreføring

NMBU var vertsinstitusjon for CenBio, mens senterleder og styreleder var fra SINTEF Energi AS. CenBio har etablert og videreutviklet et tett samarbeid mellom fagmiljøene i Trondheim og på Ås. Samarbeidet mellom disse forskningsgruppene har muliggjort og styrket forskningen på hele verdikjeden for bioenergi, noe som er helt avgjørende på dette området.

I størrelsesorden 100 nye prosjektforslag, nasjonalt og internasjonalt, har blitt initiert fra senteret. Suksessraten har vært svært høy og ca halvparten av prosjektforslagene har fått finansiering. Den viktigste forskningsmessige videreføringen er FME Bio4Fuels som skal forske på andre generasjons biodrivstoff.

### 3.3. Nøkkeldata

#### Økonomi

CenBio har hatt et samlet budsjett på til sammen 283 mill. kroner.

	Kontant	In-kind	sum
<b>Vertsinstitusjon</b>		16 935	16 935
<b>Forskningspartnere</b>		65 792	65 792
<b>Brukerpartnere</b>	30 802	36 443	67 245
<b>Forskningsrådet</b>	120 000		120 000
<b>Forskningsrådet FME infrastruktur</b>	13 450		13 450
<b>Totalt</b>			283 422

Tabell: Omsetning i CenBio i hele perioden i tusen kroner



## Resultater

Vitenskapelige publikasjoner (peer reviewed)	256
Formidlingstiltak overfor brukere	523
Formidlingstiltak overfor offentligheten	191
Nye/forbedrete metoder/modeller/prototyper	16
Nye/forbedrete produkter/prosesser/tjenester	14
Fullførte og pågående* doktorgrader	33
Postdoktorer	7
Masterstudenter	46

Tabell: Rapporterte tellekanter fra CenBio

\*alle stipendiatene skal etter planen være ferdige innen utgangen av 2018.

## 3.4. Glimt fra virksomheten

### Bioenergy Innovation Award

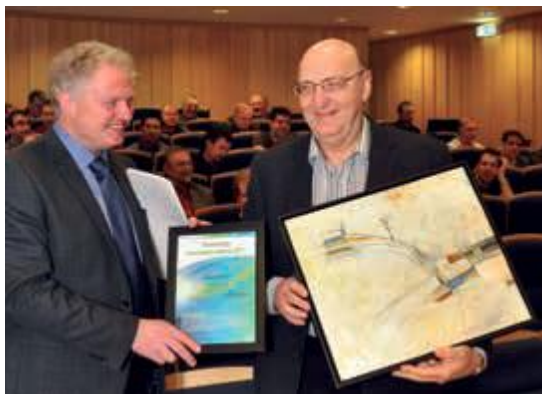


foto: CenBio

CenBios innovasjonspris ble delt ut årlig. Edvard Karlsvik ved SINTEF Energi var den første vinneren av innovasjonsprisen. Karlsvik fikk prisen for sitt arbeid med forbrenningsteknologi for vedovner og peiser. Karlsvik har arbeidet med vedovner i mer enn 30 år og har vært en viktig person i utviklingen av dagens rentbrennende ovner.

### Klimaeffekter av bioenergi

Vanligvis blir bioenergi beskrevet som en "klimanøytral" energikilde. Dette synet er i ferd med å endre seg. CenBioforskerne Francesco Cherubini og Anders Hammer Strømman har arbeidet med tematikken og har i samarbeid med Ryan M. Bright vist at bruk av biomasse i sentrale deler av Canada vil bidra til global kjøling. Dette skyldes blant annet at snødekte områder uten skog, reflekterer mer stråling, den såkalte "albedoeffekten".



## Nasjonal vedkveld – NRK



Foto Faksimile NRK

Nasjonal vedkveld inngikk i rekken av NRKs langsom-TV produksjoner. CenBio-forskerne Morten Seljeskog og Simen Gjølstø deltok med gode råd om vedbrenning i private hjem og fikk profilert forskningen på området på en god måte.

### 3.5. Bidrag til FME-ordningens overordnede mål

CenBio har lagt grunnlag for en moderne og fremtidsrettet måte å utnytte energien i biomasse og avfall på. Sammen med brukerpartnere, har forskerne i CenBio trukket opp retningen for forskningen fremover og forskningen som ble utført i CenBio vil ha betydning i en årrekke fremover.

CenBio har bidratt til strukturering av energiforskning i Norge gjennom samarbeidet mellom miljøene i Trondheim og på Ås. Det var lite samarbeid mellom disse miljøene før senteret ble etablert, men gjennom FME-et har dette utviklet seg en god arbeidsdeling og et godt samarbeid, noe som hadde vært vanskelig uten den langsiktigheten som ligger i et FME.

## 4. Norwegian Centre for Offshore Wind Energy (NORCOWE)

Vertsinstitusjon	Christian Michelsen Research (CMR)
Forskningspartnere	Uni Research, Universitetet i Bergen (UiB), Universitetet i Agder (UiA), Universitetet i Stavanger (UiS), Aalborg universitet
Brukerpartnere	Statoil ASA, Statkraft AS, Agder energi (2009- 2012), Origo Solutions (2009-2012), Norwind (2009- 2020), StormGeo AS (2010-2012, 2014- 2017), Vestavind Offshore (2009- 2012), Lyse Produksjon (2009- 2013), Aker Solutions (2009-2013), National Oilwell Varco (2009-2013), Leosphere (2014-2017), Aquiloz AS (2014-2017), Acona Flow Technology AS (2014-2017), AXYS Technologies/Flidar (2015-2017)
Senterledere	Eivind Olav Dahl (2009-2010), Kristin Guldbrandsen Frøysa (2010-2017)
Samlet budsjett	270 mill. kroner

### 4.1. Mål

NORCOWE var et tverrfaglig forskningssenter for bærekraftig utnyttelse av offshore vindenergi.

NORCOWEs visjon har vært å kombinere norsk offshoreteknologi og ledende danske og internasjonale forskningsmiljøer innenfor vindenergi med sikte på å utvikle innovative og kostnadseffektive løsninger for offshore vindenergi på store havdyp og under barske værforhold.

NORCOWEs ambisjon har vært å bidra til å bygge sterke klynger innenfor offshore vind i Norge ved å utvikle ny kunnskap og utdanne forskere og masterstudenter.

### 4.2. Presentasjon av senteret og oppnådde resultater

#### *Forskningen*

Senteret har dekket fagområder som ressurskartlegging, modellering og måling av det marine grenselaget (MBL), miljøovervåking, marine operasjoner, drift og vedlikehold, dynamisk respons og design av vindparker. NORCOWE har arbeidet med modellering på mange skalaer, fra finskala (CFD) til mesoskala.

Universitetene i Bergen og Stavanger har sammen med CMR opparbeidet stor kompetanse om bruk av lidar for fjernmåling av vind. Gjennom målekampanjer i vindparker på land og til havs har senteret vist at bruk av lidar gir en bedre forståelse av vindprofiler, vindskygge (vake fra turbiner) og vindressurser. Målingene blir kombinert med modellering og utvikling av programvare til bruk for ressurskartlegging og drift- og vedlikehold.

Tre målekampanjer er gjennomført, blant annet en omfattende og langvarig målekampanje i Tyskebukta. Dataene herfra blir brukt til vitenskapelige analyser og til utviklingsprosjekter i havvindindustrien.

### ***Innovasjon og verdiskapning***

Oppbyggingen av mekatronikkmiljøet ved Universitetet i Agder og Norwegian Motion Lab har store industrielle ringvirkninger. Norwegian Motion Lab startet med infrastrukturmidler gjennom NORCOWE, men er vesentlig bygget ut etter det.

Oppbyggingen av the Offshore Boundary-Layer Observatory (OBLO) i Bergen har gjort det mulig å gjennomføre omfattende og unike målekampanjer til havs. Dataene fra kampanjene er etterspurt og vil bli brukt i mange år framover, både i forskning, forvaltning og i industrien. Det er generert flere nye industriprosjekter med utgangspunkt i målekompetansen og måledataene.

Firmaet Shoreline er et spin-off fra NORCOWE. Shoreline arbeider med simuleringer for offshore wind-industrien. Gwind er et annet spin-off firma. Firmaet har utviklet en flytende vertikalakselturbin. En prototyp har vært i drift i flere år, og firmaet satser nå kommersielt på fornybar strømproduksjon til fiskeoppdrettsanlegg.

### ***Internasjonalt samarbeid***

Aalborg Universitet har vært en sentral forskningspartner i NORCOWE, og internasjonalt samarbeid har dermed vært integrert i det daglige arbeidet i senteret. NORCOWE har fire samarbeidsavtaler med internasjonale forskningsmiljøer; ECN i Nederland, Danmarks tekniske universitet, Fraunhofer i Tyskland og NREL (USA).

NORCOWE har gjennomført to internasjonale målekampanjer; WINTWEX-W i Nederland og OBLEX-F1 på målestasjonen i Tyskebukta. Kampanjene ble gjennomført i nært samarbeid med samarbeidspartnerne i Nederland og Tyskland.

### ***Forskerutdanning og rekruttering***

Doktorgradsstipendiatene har utført en viktig del av det faglige arbeidet i senteret, og det har vært lagt vekt på at stipendiatene skulle ha gode utviklingsmuligheter i senteret. NORCOWEs sommerskole har vært viktig for å skape et fellesskap mellom studentene og knytte kontakt mellom doktorgradsstipendiatene og industrien. Stipendiat Ole-Erik Vestøl Endrerud ble tildelt Sparebank 1 SR-banks Innovasjonspris for 2014.

Masterstudentene har vært knyttet til NORCOWE gjennom bruk data og utsyr, veiledere og oppgaver formulert av brukerpartnere. NORCOWE har administrert Statoils HyWind-stipend for masterstudenter.

Mange masterstudenter og doktorgradsstipendiater vil i årene framover nyte godt av utstyr og resultater fra NORCOWE, blant annet gjennom bruk av OBLO, Norwegian Motion Lab, referansevindparken og måledataene.

### ***Organisering og videreføring***

NORCOWE har vært ledet fra CMR i Bergen, men har samlet og styrket miljøene i Bergen, Stavanger og Kristiansand, og satt disse på kartet når det gjelder fornybar energi generelt og offshore vindenergi spesielt. NORCOWE vil fortsette som et forskningsnettverk mellom partnerne i senteret, men vil også være åpent for andre norske forskningsinstitusjoner. Nettverket skal fungere som

kontaktpunkt for næringslivet. Viktige oppgaver vil være prosjektutvikling, organiseringen av konferansene Science Meets Industry, samarbeid og informasjonsspredning.

Gjennom målekampanjene har miljøene fått et internasjonalt nettverk som vil videreutvikles.

### 4.3. Nøkkeldata

#### *Økonomi*

NORCOWE har hatt et samlet budsjett på ca 270 mill. kroner.

	Kontant	In-kind	sum
<b>Vertsinstitusjon</b>		21 872	21 872
<b>Forskningspartnere</b>		53 160	53 160
<b>Brukerpartnere</b>	33 400	28 340	61 740
<b>Forskningsrådet FME</b>	120 000		120 000
<b>Forskningsrådet FME infrastruktur</b>	12 800		12 800
<b>Totalt</b>			269 572

Tabell: Omsetning i NORCOWE i hele perioden i tusen kroner

Forskningspartnerne i NORCOWE har i tillegg også fått betydelig finansiering fra Forskningsrådets infrastrukturordning (målebøyer (OBLO) og Motion Lab).

Annen finansiering fra Forskningsrådet og EU har vært viktig for gjennomføringen av forskningen i senteret. Totalt (kontant og in-kind) har dette utgjort 126,5 mill. kroner, herav 39 mill. kroner fra Forskningsrådet.

#### *Resultater*

Vitenskapelige publikasjoner (peer reviewed)	190
Formidlingstiltak overfor brukere	425
Formidlingstiltak overfor offentligheten	19
Nye/forbedrete metoder/modeller/prototyper	13
Nye/forbedrete produkter/prosesser/tjenester	5
Fullførte doktorgrader	18*
Postdoktorer	7
Masterstudenter	58

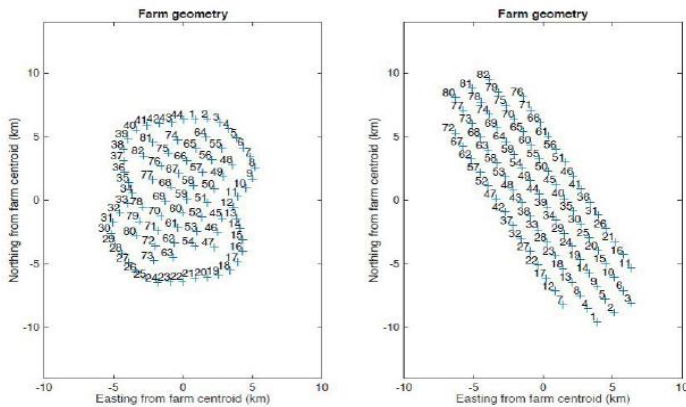
Tabell: Rapporterte tellekanter fra NORCOWE

\*Ni kandidater vil fullføre etter den formelle avslutningen av senteret

## 4.4. Glimt fra virksomheten

### Referansevindpark

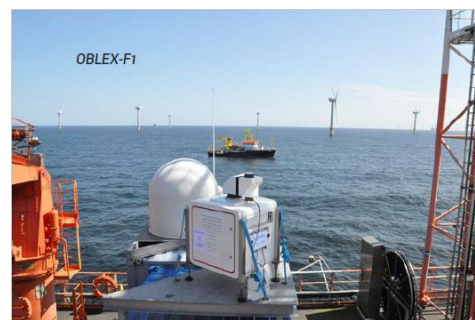
NORCOWE Reference Wind Farm er en fullt spesifisert vindpark med 80 10 MW turbiner. Reelle vind-



og bølgedata fra målestasjonen FINO3 i Tyskebukta er brukt. Referanseparken er en virtuell, men realistisk havvindpark. Formålet med parken har vært å gjøre det enkelt å undersøke ulike problemstillinger, for eksempel hvordan ulike vedlikeholdsstrategier påvirker strømprisen. Alle kan få tilgang til spesifikasjonene og bruke den til å gjøre egne analyser.

### Målekampanjer

Målekampanjen OBLEX-F1 ble gjennomført i samarbeid med tyske aktører som FuE-Zentrum Kiel, DEWI og Fraunhofer IWES, samt de internasjonale brukerpartnerne AXYS og Leosphere. Måledataene har blitt brukt i masteroppgaver, doktorgradsarbeid og i vitenskapelige artikler. Blant annet har det vært et tett samarbeid med Universitetet i Oldenburg (Forwind) om masteroppgaver.



## 4.5. Bidrag til FME-ordningens overordnede mål

Gjennom sitt arbeid har NORCOWE mobilisert fem norske forskningsinstitusjoner på Sør- og Vestlandet til å arbeide med havvind og med fornybar energi mer generelt. Senteret har arbeidet med drift, vedlikehold, installasjon og bedre måling og modellering av vind og bølger. På denne måten har senteret bidratt til å rette fokus på inntektssiden og driftssiden. Senteret har brukt eksisterende kompetanse innen meteorologi, oseanografi og olje- og gassindustrien til å utvikle ny kunnskap og ny teknologi for havvindindustrien. Dansk vindkraftkompetanse har kommet inn via Aalborg Universitet. Gjennom et tett samarbeid med brukerpartnerne (industri) og andre private og offentlige aktører bidrar senteret til å utvikle norsk næringsliv. Senteret er en aktiv samarbeidspartner for klynger og næringsnettverk på Sør- og Vestlandet og bidrar på den måten til omstilling i regionen, blant annet gjennom utdanning av master- og doktorgradskandidater.

## 5. Norwegian Research Centre for Offshore Wind Technology (NOWITECH)

Vertsinstitusjon	SINTEF Energi AS
Forskningspartnere	Norges teknisk naturvitenskapelige universitet (NTNU), Institutt for energiteknikk (IFE), SINTEF Ocean og SINTEF AS.
Brukerpartnere	Aker Solutions (2009-2012), Devold AMT AS (2009-2012), DNV GL (2009-2017), EDF Energy (2009-2014), Fedem Technology AS (SAP) (2011-2017), Fugro Norway AS (2009-2012, 2015-2017), GE Wind Energy (2009-2012), Kongsberg Maritime AS (2013-2017), Lyse Produksjon AS (2009-2011), Norsk Automatisering AS (2015-2017), NTE Holding AS (2009-2013), Siemens (CD-adapco) (2013-2017), SmartMotor AS (2009-2015), Statkraft Development AS (2009-2017), Statnett AS (2009-2015), Statoil Petroleum AS (2009-2017), Trønder Energi Kraft AS (2009-2011), Vestavind Kraft AS (2009-2012), Vestas Wind Systems AS (2009-2012), Ørsted (former Dong Energy) (2009-2017)
Senterleder	John Olav Tande
Samlet budsjett	354,8 mill. kroner

### 5.1. Mål

NOWITECHs visjon har vært å bidra til storskala utbygging av offshore vindkraft, og å bli en internasjonalt ledende forskningsgruppe innen offshore vindkraftteknologi. NOWITECH har arbeidet i henhold til denne visjonen, og mot et mål om å levere prekompetitiv forskning som skal gi et grunnlag for industriell verdiskapning og kostnadseffektive offshore vindkraftverk.

### 5.2. Presentasjon av senteret og oppnådde resultater

#### *Forskningen*

Senteret har utført multidisiplinær forskning på høyt internasjonalt nivå med et felles mål om å frambringe ny kunnskap, utdanning og innovasjon for å redusere kWh-kostnaden for offshore vindkraft. Forskningspartnerne er blitt internasjonalt anerkjent som ledende innen spesifikke tema. Publikasjoner fra senteret omfatter mer enn 230 fagfelleverderte artikler i internasjonale tidsskrift, og et stort antall rapporter, oppslag i massemedia, presentasjoner og monografier, totalt over 900. En lærebok - "Offshore Wind Energy Technology" - er utgitt på det anerkjente forlaget Wiley. Den ble publisert i april 2018, og er basert på forskningsresultater fra NOWITECH. Læreboken er et omfattende referanseverk innen offshore vindkraftteknologi. Den er skrevet for studenter og profesjonelle innen feltet og forventes å ha stor verdi.

#### *Innovasjon og verdiskapning*

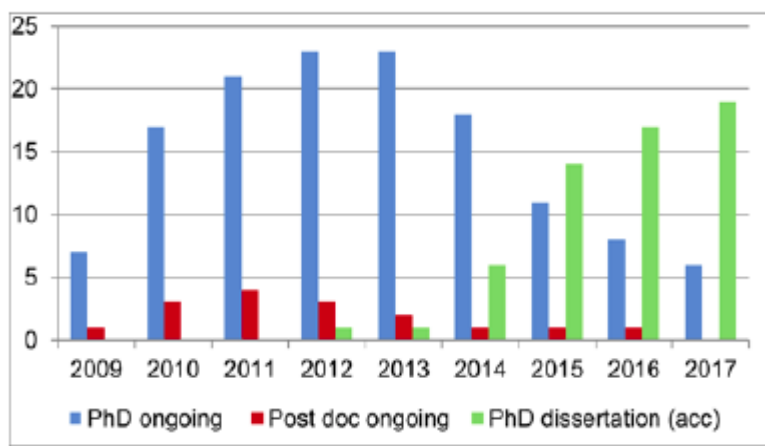
NOWITECH har lagt vekt på teknologi for å bygge og drifte vindparker (både bunnfaste og flytende) på dypt vann (+30 m). Fokus har vært på utvikling av kunnskap og teknologi som kan benyttes i det

internasjonale markedet. Totalt 40 innovasjoner er blitt frambragt for videre utvikling og anvendelse i mer kommersielt rettede prosjekt. I 2017 gjorde NOWITECH i samarbeid med konsulentfirmaet Impello Management AS en verdivurdering av en del utvalgte resultater fra NOWITECH. Nåverdien ble beregnet til å være over EUR 5 milliarder, under forutsetning av at de blir videreutviklet og utnyttet. Dette er mer enn 100 ganger det totale budsjettet for NOWITECH. Rapporten angir estimert verdi av allerede oppnådd verdiskapning av NOWITECH til å være EUR 35 millioner, dvs om lag det samme som det totale budsjettet for NOWITECH. Rapporten er publisert på nettsiden til NOWITECH.

### **Internasjonalt samarbeid**

Det er lagt stor vekt på det internasjonale samarbeidet i NOWITECH. Forskningspartnerne i senteret er engasjert tett på alle europeiske forskningsprosjekt innen offshore vindkraft. De er også representert innenfor viktige europeiske fora som styringskomiteen for den europeiske teknologi og innovasjonsplattformen ETIPwind og som leder av offshore vindkraft innen den europeiske energiforskningsalliansen EERA JPwind.

### **Forskerutdanning og rekruttering**



NOWITECH har bidratt sterkt til utdanning og frambragt attraktive kandidater for ansettelse i industrien. Senteret har finansiert 25 doktorgradsstipendiater og seks postdoktorer, og størstedelen av disse er nå ansatt i norske virksomheter med arbeid innen offshore vindkraftmarkedet. I tillegg til stipendiatene med finansiering fra senterbudsjettet

har 44 doktorgradsstipendiater og 14 postdoktorer med finansiering fra andre kilder har vært knyttet til senteret.

I tillegg har nærmere 270 studenter tatt mastergrad innenfor NOWITECHs tematiske områder.

### **Organisering og videreføring**

NOWITECH har vist seg å være en effektiv spydspiss for forskning og senteret har gitt norske forskningsinstitusjoner på feltet internasjonal synlighet og påvirkning. Et sett med enkeltstående prosjekter kunne ikke ha oppnådd det samme som man har gjort gjennom FME-et. NOWITECH vil fortsette som er forskningsnettverk, og forskningen vil fortsette hos forskningspartnerne gjennom en sterk portefølje av prosjekter. I sluttrapporten blir det pekt på at en fortsatt innsats bør gjøres for å realisere verdien av NOWITECH, og ny mer langsiktig forskning bør iverksettes for å generere ny kunnskap og innovasjon.



### 5.3. Nøkkeldata

#### Økonomi

NOWITECH har hatt et samlet budsjett på 354,8 mill. kroner.

	Kontant	In-kind	sum
Vertsinstitusjon		18 200	18 200
Forskningspartnere		83 100	83 100
Brukerpartnere	52 300	27 200	79 500
Forskningsrådet	160 000		160 000
Forskningsrådet FME infrastruktur	14 000		14 000
<b>Totalt</b>			<b>354 800</b>

Tabell: Omsetning for NOWITECH for hele perioden i tusen kroner

#### Resultater

Vitenskapelige publikasjoner (peer reviewed)	232
Formidlingstiltak overfor brukere	617
Formidlingstiltak overfor offentligheten	125
Nye/forbedrete metoder/modeller/prototyper	40
Fullførte doktorgrader	19
Postdoktorer	6
Masterstudenter	267

Tabell: Rapporterte tellekanter fra NOWITECH

### 5.4. Glimt fra virksomheten

#### Seram Coating



Faksimile fra Aftenposten

Nye belegg for å gi reduserte utgifter til vedlikehold har blitt utviklet i senteret. Et av disse beleggene er et termisk sprayet silikonkarbidbelegg med lav friksjon og høy slitestyrke. Dette er spesielt egnet for bruk i store hovedlagre og annet roterende maskineri og turbiner. Det er startet et eget selskap, Seram Coatings, for å kommersialisere produktet, og gründeren, professor Nuria Espallargas, NTNU, har vunnet flere innovasjonspriser, bla årets kvinnelige entreprenør i 2017.

### **Simuleringsverktøy for drift og vedlikehold**

NOWITECH har utviklet flere verktøy for simulering og optimering for drift, vedlikehold og logistikk ved offshore vindparker. Verktøyene kan brukes bl.a. for estimering av driftskostnader og tilgjengelighet avhengig av valgt strategi (NOWIcob), finne optimal sammensetning av vedlikeholdsflåten (båt, skip, helikopter) eller finne optimale ruter og tidspunkt for bruk av vedlikeholdsflåten.



### **Fra brukerne**



*Samarbeidet i NOWITECH har gitt gode muligheter for utviklingen av en flytende offshore vindindustri. DNV GL er en ledende rådgiver innenfor teknologi og marked og en av pionerene innenfor utviklingen av en industristandard for flytende vindkraft. DNV GL har satt stor pris på de mulighetene NOWITECH har gitt oss til å møte og diskutere med viktige industriaktører og akademia.*

**DNV GL, Marte Riiber de Picciotto**

### **5.5. Bidrag til FME-ordningens overordnede mål**

NOWITECHs bidrag til målene med FME-ordningen har i første rekke vært å legge grunnlag for verdiskaping og næringsutvikling innenfor offshore vindenergi. NOWITECH har i samarbeid med et konsulentfirma (Impello AS) beregnet verdien av en del av de mest vellykkete resultatene fra NOWITECH. Beregningen i rapporten viser at to av resultatene fra senteret alene har nedbetalt hele innsatsen som gikk inn i NOWITECH. Over halve inntjeningen er besparelser knyttet til understellet på turbiner i Statoil og Statkrafts britiske vindpark Dudgeon. Det andre bidraget er inntekter norske Fugro Oceanor har fra omsetning av en flytende laser-vindmåler som er bygd på en idé fra NOWITECH.

FME-ordningen skal først og fremst bygge kompetanse og drive anvendt forskning og de fleste resultatene fra senteret har ennå ikke nådd industrialiseringsfasen. Verdiskapingspotensialet for åtte av de mest lovende innovasjonene er anslått til 50 milliarder kroner. Beregningene er gjort ut fra forventninger om at de åtte innovasjonene blir kommersialisert, og ut fra antakelser om i hvilken grad disse vil bli valgt i de nye vindparkene Europa har planlagt offshore frem til 2030.

## 6. The Norwegian Research Centre for Solar Cell Technology (Solar United)

Vertsinstitusjon	Institutt for energiteknikk (IFE)
Forskningspartnere	Norges teknisk naturvitenskapelige universitet NTNU, Stiftelsen SINTEF, Universitetet i Oslo (UiO)
Brukerpartnere	Clean Silicon AS (2011 – 2014), Dynatec (2011 – 2017), Elkem Solar, Fesil AS (2009 – 2012), Hydro Aluminium (2009 – 2011), Innotech Solar AS (2009 – 2013), Mosaic Solutions AS (2014 – 2017), Norsun AS (2009 – 2017), Nowegian Crystals AS (2014 – 2017), Prediktor AS (2009 – 2012), REC ASA (2009 – 2012), REC Silicon ASA (2014 – 2017), REC Solar ASA (2013 – 2017), Scatec AS (2009 – 2010), Semilab (2014 – 2017), The Quartz Corp AS (2012 – 2017), Umoe AS (2009 – 2010)
Senterleder	Erik Stensrud Marstein
Samlet budsjett	379 mill. Kroner

### 6.1. Mål

Hovedmålet til Norwegian Research Centre for Solar Cell Technology (Solar United) har vært å gi dagens og fremtidens norske solcellenæring tilgang til verdensledende teknologisk og vitenskapelig ekspertise. Senterets mål har vært å bidra til at den norske solcelleindustrien forblir internasjonalt ledende, og en viktig norsk industrigren i fremtiden.

### 6.2. Presentasjon av senteret og oppnådde resultater

#### *Forskningen*

Forskningen i senteret har vært konsentrert om følgende temaer:

- Mono og multikrystallinsk silisium
- Modellering av fremstillingsprosesser for krystallinsk silisium
- Solcelle- og solcellepanelteknologi
- Nye materialer for neste generasjons solceller
- Nye karakteriseringsmetoder
- Produksjon av silisium

Forskningspartnerne i senteret omfatter de sterkeste forskningsgruppene innen solcelleteknologi i Norge. Senteret har hatt et entydig fokus på solceller av krystallinsk silisium. Denne teknologien holder fortsatt stand som den absolutt viktigste i bransjen med en markedsandel på i overkant av 90 %. Flere av senterets forskere har vunnet internasjonal anerkjennelse. Senteret har vært en viktig kilde til nye prosjekter, noe som har resultert i både forsker-, kompetanse-, innovasjons- og internasjonale prosjekter.

### ***Innovasjon og verdiskapning***

Brukerpartnerne i senteret er blant de mest spennende solcelleselskapene i verden. Når Solar United nå slutføres, kan det slås fast at det norske solcellemiljøet en sterk posisjon innenfor et internasjonalt svært konkurransutsatt felt.

En rekke innovasjoner knyttet til metoder, kunnskap, kapasitet og infrastruktur er utviklet gjennom FME Solar United. Mange av disse er blitt utviklet videre i parallelle innovasjonsprosjekter med senterets industripartnere, noe som igjen har gitt reell verdiskapning. Tre av senterets industripartnere har økt sin produksjonskapasitet i Norge i de siste årene. Disse er Elkem Solar, Norsun og Norwegian Crystals. Dynatec Engineering vant i 2016 Forskningsrådets Innovasjonspris.

Senterperioden (2009 – 2017) har trolig vært den mest interessante og den viktigste perioden for solcellebransjen både nasjonalt og internasjonalt. Perioden har vært preget av rask vekst, et enormt prisfall og industriell konsolidering. Dette fikk konsekvenser også for FME-et. Av de ni første industripartnere, var det kun tre som deltok gjennom hele senterperioden. Solar United har imidlertid klart å opprettholde en stor, relevant og målrettet forskningsinnsats gjennom hele perioden og samtidig klart å rekruttere en rekke nye brukerpartnere. Dette ikke bare vært viktig for at Solar United skulle nå sine mål, men har også lagt grunnlaget for en vellykket etablering av et nytt FME.

### ***Internasjonalt samarbeid***

Internasjonalt samarbeid har vært viktig for arbeidet i Solar United. Det langsiktige tidsperspektivet og den tydelige innretningen på senteret har vært et viktig grunnlag for det internasjonale samarbeidet. Den internasjonale aktiviteten har foregått på ulike måter:

- Felles publikasjoner, utveksling av personell, utveksling av materialer og liknende.
- Utvikling av og deltakelse i prosjekter i EUs rammeprogram for forskning.
- Vertskap for workshops for å utvikle samarbeid med India og Kina og videreutvikling av samarbeidsprosjekter med disse landene.

### ***Forskerutdanning og rekruttering***

FME Solar United har utdannet 42 doktorgrads- og postdoktorkandidater. Dette er for å møte et forventet økt behov for rekruttering i et samfunn der solenergi blir svært viktig. Selv om dette antallet er lavere enn det opprinnelige målet i søknaden, overstiger det antallet i revidert søknad. Dette skyldes et sterkt engasjement og interesse fra de to universitetspartnerne, UiO og NTNU. I regi av senteret er det etablert en forskerskole for doktorgradskandidatene. Forskerskolen har vært en viktig arena for samarbeid og kunnskapsutveksling mellom partnere i senteret. Solar United har også tiltrukket seg mange masterstudenter, og antall utdannede masterstudenter er 64.

### ***Organisering og videreføring***

Institutt for energiteknikk (IFE) har vært vertsinstitusjon for senteret. Forskningspartnere var Universitetet i Oslo, NTNU og SINTEF. Størrelsesmessig har innsatsen fra de ulike forskningspartnerne ligget på omtrent samme nivå. Gjennom senterperioden har arbeidsdelingen mellom aktørene blitt klarere og samarbeidet sterkere. Senteret har generert en rekke nye prosjekter som det vil arbeides med også etter at Solar United er avsluttet. Den viktigste enkeltvidereføringen er det nye FME-et innenfor solcelleteknologi; SuSolTech.

### 6.3. Nøkkeldata

#### *Økonomi*

Solar United har hatt et samlet budsjett på 380 mill. kroner.

	Kontant	In-kind	Sum
Vertsinstitusjon		35 680	35 680
Forskningspartnere		85 402	85 402
Brukerpartnere	29 833	51 433	81 266
Forskningsrådet	160 000		160 000
Forskningsrådet FME infrastruktur	17 500		17 500
<b>Totalt</b>			<b>379 848</b>

Tabell: Omsetning i Solar United for hele perioden i tusen kroner

I tillegg til finansiering over senterbevilgningen har det vært flere andre forskningsrådsfinansierte prosjekter knyttet til senteret, ikke minst gjelder dette finansiering til laboratoriet Norwegian Laboratory for Si Solar Cell technology.

#### *Resultater*

Vitenskapelige publikasjoner (peer reviewed)	177
Formidlingstiltak overfor brukere	550
Formidlingstiltak overfor offentligheten	111
Nye/forbedrete metoder/modeller/prototyper	42
Nye/forbedrete produkter/prosesser/tjenester	15
Fullførte doktorgrader	23
Postdoktorer	19
Masterstudenter	64

Tabell: Rapporterte tellekanter fra Solar United

## 6.4. Glimt fra virksomheten

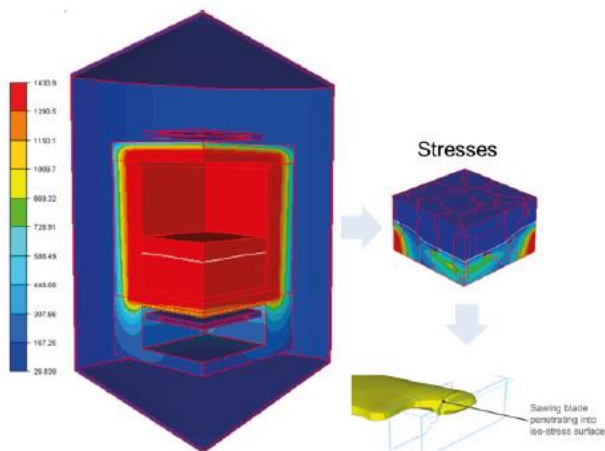
### *Innovasjonssuksess for produksjon av silisium til solceller*



Dynatec var en av industripartnerne i Solar United. I 2015 og 2016 testet Dynatec sin andre pilot for produksjon av silisium ved laboratoriene ved IFE. Dynatec bruker en helt ny produksjonsteknologi. Testingen hadde ikke vært mulig uten den kompetanse og infrastruktur som er utviklet i FME-et.

I 2016, ble Dynatec Engineering tildelt Forskningsrådets innovasjonspris for sitt banebrytende arbeid med en ny metode for å produsere silisium til solceller. Dynatec har fått støtte fra Innovasjon Norge for å kunne oppskalere teknologien til industriell produksjon.

### *SiSim- modellering av produksjonsprosesser*

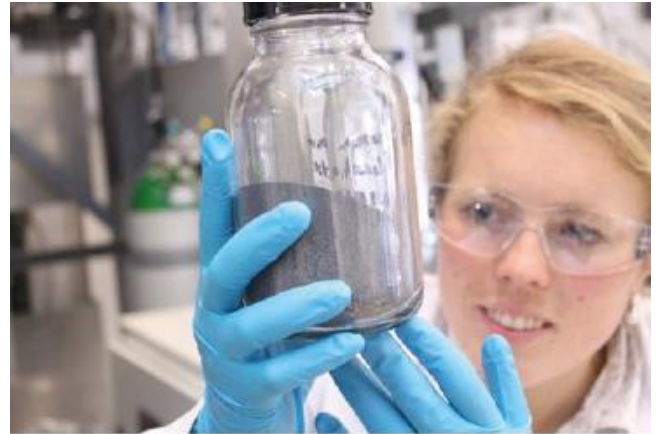


av prosessen. SiSim kan også brukes til å designe andre deler av solcelleproduksjonen, eksempelvis prosessen med saging.

Senteret har siden starten utviklet modelleringsverktøyet SiSim. Dette er blitt et verktøy i verdensklasse for modellering av produksjonsprosesser av silisium råmaterialer og silisiumkrystaller fra smeltefase. Ved å bruke de flerdimensjonale mulighetene i SiSim kan man modellere en smelteovn. Alle komponenter i smelteovnen, smelting og krystallisering legges inn i modellen på en måte som gir et realistisk bilde

### **En doktorgradskandidat i senteret**

Guro Marie Wyller tar doktorgraden på solcelleteknologi. Hun arbeider for å forbedre forståelsen for de kjemiske reaksjonene inne i silisiumproduksjonsreaktorer. Guro studerer hva som skjer med silangassmolekyler inne i en silisiumproduksjonsreaktor. Dette er kunnskap som kan brukes til å optimalisere reaktorer for silisiumproduksjon og gjøre prosessen mer energieffektiv.



På spørsmål om hva som er best med å være knyttet til et senter, svarer Guro:

*"The largest advantage of being a part of the FME research centre, is the contact network that it spans out – including people both from research institutions and from the industry. It is inspiring to see that there is a large interest in our research projects, and that our results are likely to be taken in use by the industry, thus making a real difference."*

### **6.5. Bidrag til FME-ordningens overordnede mål**

FME Solar United har på flere måter bidratt til måloppnåelsen i FME-ordningen. Senteret har bidratt til dannelsen av nye, innovative samarbeidskonstellasjoner. De fleste av senterets ni industripartnere hadde innen utgangen av 2017 kjørt minst ett innovasjonsprosjekt helt eller delvis basert på resultater fra FME Solar United. FME Solar United har også gjort det mulig for forskningspartnerne å bli mer synlige både nasjonalt og internasjonalt. Langsiktigheten og innretningen som FME-ordningen generelt, og FME Solar United spesielt, har muliggjort, har vært uvurderlig i så måte. Senterets partnere fra forskning og industri har deltatt i utformingen av norsk forskningspolitikk på området gjennom Energi21.

## 7. SUBsurface CO2 storage – Critical Elements and Superior Strategy (SUCCESS)

Vertsinstitusjon	Christian Michelsen Research (CMR)
Forskningspartnere	Institutt for Energiteknikk (IFE), Norsk institutt for vannforskning (NIVA), Norges geotekniske institutt (NGI), UNI Research (CIPR), Universitetet i Bergen (UiB), Universitetet i Oslo (UiO), Universitetscenteret på Svalbard (UNIS) – UNIS CO <sub>2</sub> LAB
Brukerpartnere	CGGVeritas (2010-2014), Conoco Phillips (2010-2014), DEA Norge (2010-2018), DONG (2010-2011), Statoil (2010- 2018), ROXAR AS (2010 – 2014), Store Norske Spitsbergen Kullkompani (2011-2012), Lundin (2012 - 2014), OCTIO (2015-2018)
Senterleder	Arvid Nøttvedt
Samlet budsjett	190 mill. kroner

### 7.1. Mål

Hovedmålet – og visjonen – for SUCCESS har vært å fremskaffe en solid vitenskapelig basis for CO<sub>2</sub>-injeksjon, -lagring og -overvåking, å fylle gap i strategisk kunnskap og å etablere et system for kunnskapsutvikling og læring.

### 7.2. Presentasjon av senteret og oppnådde resultater

#### **Forskningen**

FME SUCCESS har arbeidet med CO<sub>2</sub>-lagring offshore. Senteret ble formelt innviet 1. januar 2010. FME SUCCESS har arbeidet med problemstillinger knyttet til effektiv og sikker lagring av CO<sub>2</sub> og har bidratt til å fremskaffe en vitenskapelig kunnskapsbase for CO<sub>2</sub>-injeksjon, lagring og overvåking. Denne kunnskapen er avgjørende for å tilfredsstille regelverkskravene til overvåking og verifisering av CO<sub>2</sub>-lagre. I senterets siste fase ble det arbeidet med å syntetisere og samle de viktigste vitenskapelige resultatene fra senteret i et sett av rapporter, såkalte "Long Term Deliverables". Det er rapporter innenfor følgende temaer: *Lagringskapasitet, lagringsintegritet og risikohåndtering, injektivitet, og geofysisk og marin overvåking.*

SUCCESS har hatt en rådgivende komité bestående av internasjonale vitenskapelige eksperter. Komiteen oppsummerer sine inntrykk av SUCCESS på følgende måte: *“Overall, Norway is taking an internationally leading position in the implementation of CCS and we see it as very important that the research world has the possibility to link to these activities, as is clearly done in the case of SUCCESS.”*

#### **Innovasjon og verdiskapning**

SUCCESS har lagt stor vekt på å knytte forskningen i senteret til fullskala CO<sub>2</sub>-lagringsprosjekter, slik som Sleipner og Snøhvit. Longyearbyen CO<sub>2</sub> Lab har også stått sentralt i forskningen. Det er gjennomført workshops rettet mot alle disse prosjektene der kritiske faktorer og kunnskapsgap er



identifisert og diskutert. Dette har gjort forskningen i senteret mer relevant for industripartnere, til tross for at det fortsatt ikke er et kommersielt marked for CO<sub>2</sub>-fangst og lagring. Casestudiene knyttet til Smeaheia og Skade-formasjonen i Nordsjøen er presentert i egne rapporter, der formålet har vært å vise hvordan resultater og kunnskap fra SUCCESS og tilknyttede prosjekter kan brukes for å beregne lagringsevne i ulike bergarter.

Representanter for brukerpartnere har gitt uttrykk for at kunnskapen utviklet gjennom SUCCESS vil være avgjørende for å kunne etablere og gjennomføre et fullskala CO<sub>2</sub>-håndteringsprosjekt.

### ***Internasjonalt samarbeid***

Det internasjonale samarbeidet innenfor CO<sub>2</sub>-håndtering er viktig og SUCCESS har lagt vekt på å delta på sentrale konferanser og aktiviteter internasjonalt og har invitert internasjonalt anerkjente forskere til egne arrangementer. SUCCESS har også inngått en egen MoU med Colorado School of Mines.

### ***Forskerutdanning og rekruttering***

Det er lagt stor vekt på forskerutdanning i senteret og dette har vært en viktig del av SUCCESS. Senterets årlige vinterseminar har vært konsentrert om stipendiatene i senteret, og det har vært organisert flere ekskursjoner for stipendiatene. Totalt er det avlagt 30 doktorgrader ved senteret. Det er utarbeidet egne kurs i CO<sub>2</sub>-lagring ved universitetene i Oslo og Bergen, og også SUCCESS-partner UNIS (Universitetscenteret på Svalbard) tilbyr kurs som er relevante for CO<sub>2</sub>-lagring.

### ***Organisering og videreføring***

SUCCESS har hatt et relativt høyt antall forskningspartnere med tyngdepunkt i Oslo og Bergen. Senteret har hatt problemer med å sikre stabil deltakelse fra brukerpartnere og hadde ved avslutningen kun tre brukerpartnere. Det er bare Statoil/Equinor og DEA Norge som har deltatt som brukerpartnere gjennom hele senterperioden. SUCCESS har likevel klart å sikre tilstrekkelig brukerfinansiering til å utløse hele det innstilte beløpet fra Forskningsrådet.

Samarbeidet i senteret ble ikke videreført i FME-utlysningen i 2015 og forskningspartnerne deltok i to ulike FME-søknader. Den var bare den ene av disse to søknaden som ble innvilget (NCCS).

SUCCESS-konsortiet videreføres som et uformelt nettverk. I etterkant av senterets avslutningskonferanse våren 2018, møttes partnerne for å diskutere fremtidige samarbeidsmuligheter og nye prosjektinitiativer.

## **7.3. Nøkkeldata**

### ***Økonomi***

SUCCESS har hatt et samlet budsjett på 190 mill. kroner.

	<b>Kontant</b>	<b>In-kind</b>	<b>Sum</b>
<b>Vertsinstitusjon</b>		3 742	3 742
<b>Forskningspartnere</b>		52 370	52 370
<b>Brakerpartnere</b>	25 163	15 376	40 539
<b>Forskningsrådet</b>	80 000		80 000

Forskningsrådet FME infrastruktur	13 700		13 700
<b>totalt</b>			<b>190 351</b>

Tabell: Omsetning i SUCCESS i heleperioden i tusen kroner

Det er lagt stor vekt på å knytte aktiviteten i CLIMIT-prosjekter sammen med arbeidet i SUCCESS. Til sammen 13 CLIMIT-prosjekter har vært koplet til SUCCESS. Dette har sikret god koordinering og gitt synergier. Budsjettporteføljen samlet ved SUCCESS har vært på mer enn 350 mill. kroner når tilknyttede CLIMIT-prosjekter inkluderes.

### Resultater

Vitenskapelige publikasjoner (peer reviewed)	147
Formidlingstiltak overfor brukere	365
Formidlingstiltak overfor offentligheten	87
Nye/forbedrete metoder/modeller/prototyper	8
Fullførte doktorgrader	30
Postdoktorer	11
Masterstudenter	29

Tabell: Rapporterte tellekanter fra SUCCESS

## 7.4. Glimt fra virksomheten

### Nettverk og kommunikasjon



SUCCESS har etablert to viktige arenaer for å styrke nettverket innenfor CO<sub>2</sub>-lagring og for kommunikasjon av resultater. Dette er:

- *Vinterseminaret* som har vært konsentrert om stipendiatene i senteret, I tillegg til stipendiatene har både brukerpartnere og medlemmene i den internasjonale vitenskapelige komiteen deltatt på vinterseminaret.
- *Høstseminaret* har vært mer eksternt rettet, men har også omfattet senterbyggende aktiviteter som feltekskursjoner og laboratoriebesøk.

## Samarbeid om utdanning



Samarbeidet mellom akademia og forskning har vært viktig for FME SUCCESS. Et eksempel på et slikt samarbeid er finansieringen av en professor II-stilling ved Universitetet i Bergen for Christian Hermanrud fra Statoil.

Samarbeidet har ledet til etableringen av et nytt kurs ved UiB: *GEOV367 Hydrocarbon Exploration and CO<sub>2</sub>*. I tillegg til å være ansvarlig for kurset GEOV367 har Christian veiledet flere masterstudenter ved Institutt for Geovitenskap (UB) innenfor dette temaet.

## Å være PhD-student i SUCCESS

Hilde Kristine Hvidevold har tatt doktorgraden i FME SUCCESS. Doktorgraden var knyttet til overvåking av mulige CO<sub>2</sub>-lekkasjer. For å kunne oppdage CO<sub>2</sub>-lekkasjer er det viktig å ha en god forståelse av hvordan CO<sub>2</sub> oppfører seg i havet. Gjennom å utarbeide et program for overvåking som blant annet tar hensyn til risiko for lekkasjer i ulike områder, kan kostnadene til overvåking reduseres.

Hilde sier følgende om å være PhD-student i SUCCESS:

*“Being a part of SUCCESS really gives you a better understanding of the overall picture, and it is both rewarding and motivating to discover that your small part of the puzzle fits into a larger context. It is also a good arena to build a network outside of the University and to meet up with other PhD students facing the same challenges as you regardless of the subject of study.”*



## 7.5. Bidrag til FME-ordningens overordnede mål

FME SUCCESS har doblet den nasjonale ekspertisen innenfor CO<sub>2</sub>-injeksjon, -lagring og -overvåking. Gjennom felt- og laboratorieeksperimenter har senteret bidratt til å øke grunnleggende kunnskap som kan forutsi langsiktige effekter av CO<sub>2</sub>-lagring. Senteret har brukt den teoretiske plattformen som et utgangspunkt til å ta opp reelle problemstillinger knyttet til lagring CO<sub>2</sub>. Snøhvit og Sleipner prosjektene har gitt viktige data for kalibrering og validering av resultater.

Arbeidet knyttet til lagringskapasitet er spesielt relevant i forhold til utvelgelse av et mulig CO<sub>2</sub>-lager og beregninger av lagringskapasitet innenfor et område, f.eks. norsk sokkel. I temaet lekkasjerisiko er det spesielt arbeidet med å forstå hvilke forhold som kan føre til risiko for lekkasje. Dette gir kunnskap om risikohåndtering og kompetanse om hvordan en best kan planlegge for sikker CO<sub>2</sub>-lagring. Arbeidet med injeksjonsevne gir verdifull kunnskap om planlegging av CO<sub>2</sub>-drift og optimal utnyttelse av reservoaret. Temaet geofysisk overvåking omhandler metoder for måling, overvåking

og verifisering (MMV) av undergrunnen. Arbeidet med sjø og havbunnsobservasjon er spesielt relevant for risikostyring og gir kunnskap om hvordan lekkasjer kan unngås.

SUCCESS har virket strukturerende på forskningen innenfor CO<sub>2</sub>-lagring, ved at miljøene i Oslo-området og i Bergen har styrket og videreutviklet samarbeidet på området. Dette vil være viktig framover.

## 8. The Research Centre on Zero Emission Buildings (ZEB)

Vertsinstitusjon	Norges teknisk naturvitenskapelige universitet (NTNU)
Forskningspartnere	Stiftelsen SINTEF, SINTEF Energi AS
Brukerpartnere	Brødrene Dahl, ByBo AS, Byggenæringens landsforbund, Caverion Norge, Direktoratet for byggkvalitet, DuPont, ENOVA (2012 – 2014), Entra (2012 – 2014), Forsvarsbygg, Glava, Husbanken, Isola, Multiconsult, NorDan, Norsk teknologi (2009 – 2016), Protan, SAPA Building systems, Skanska, Snøhetta Oslo AS, Statsbygg, VELUX (2012 – 2014), Weber (2009 – 2017)
Senterledere	Anne Grete Hestnes (2009 – 2013), Arild Gustavsen (2013 – 2017)
Samlet budsjett	306 mill kroner

### 8.1. Mål

Da Forskningscenteret Zero Emission Buildings startet i 2009, var det blant de første initiativene til å se på utslipp av klimagasser fra bygninger i et livsløpsperspektiv. Hovedmålet for senteret har vært å utvikle konkurransedyktige produkter og løsninger for eksisterende og nye bygninger. Dette skulle føre til markedsgjennombrudd for bygninger uten utslipp av klimagasser knyttet til produksjon, drift og riving.

Bygninger, der utslipp av klimagasser blir sett på i et livsløpsperspektiv, vil føre til mer effektiv bruk av energi, større produksjon av fornybar energi, bruk av mer miljøvennlige materialer og reduserte klimagassutslipp fra bygging, drift og avhending.

### 8.2. Presentasjon av senteret og oppnådde resultater

#### *Forskningen*

Forsknings- og utviklingsarbeidet i ZEB har vært organisert i fem hovedområder:

- Avanserte materialteknologier
- Klimatilpassede og energieffektive bygningskonstruksjoner
- Energiforsyning og tekniske installasjoner
- Bruk, drift og implementering og pilotbygg,
- Konsepter og strategier for nullutslippsbygg.

ZEBs resultater har blitt publisert i nærmere 1000 vitenskapelige og populærvitenskapelige artikler og presentasjoner; noen artikler har også mottatt internasjonale priser. ZEBs forskere har vært inviterte som keynote speakers på en rekke konferanser.

Gjennom ZEB har det skjedd en omfattende oppbygging av nye og videreutvikling av eksisterende laboratorier. Dette er laboratorier som er nødvendige for forskning og for utvikling av teknologier og løsninger som vil bli brukt i fremtidens bygninger.

### ***Innovasjon og verdiskapning***

ZEB har bidratt til 17 innovasjoner som spenner bredt tematisk. Innovasjonene omfatter nye produkter eller produktforbedringer innenfor bygningsmaterialer, eksempler er Leca Isoblock, nano isolasjonsmaterialer og solfangere som fasadeelement. Bygningenes arkitektur er viktig for energibruk og flere av innovasjonene er innenfor design og ulike arkitektoniske konsepter.

ZEB-definisjonen er et viktig resultat fra senterets arbeid. Definisjonen fastsetter de miljømessige ambisjonene for nullutslippsbygninger. Definisjonen er blitt brukt aktivt av partnere i senteret deriblant arkitektkontoret Snøhetta og Statsbygg. Definisjonen vil være et viktig grunnlag for å fastsette fremtidige miljømessige krav og reguleringer på byggområdet.

### ***Internasjonalt samarbeid***

ZEBs forskere har vært engasjert i en rekke IEA og EU-prosjekter, og senteret har tatt imot internasjonale forskere samtidig som flere ZEB-forskere har tilbrakt tid hos internasjonale samarbeidspartnere. ZEB-forskere har vært etterspurte foredragsholdere på internasjonale konferanser. Den internasjonale rådgivende komiteen har gitt nyttige innspill og råd gjennom hele senterperioden.

### ***Forskerutdanning og rekruttering***

Nærmere 20 doktorgrads- og 100 masterkandidater vil fullføre sine oppgaver i tilknytning til ZEB. Når kandidatene kommer ut i arbeidslivet, vil de bidra til at kunnskapen fra ZEB spres både nasjonalt og internasjonalt innenfor en rekke ulike områder. Masterprogrammet i bærekraftig arkitektur (Sustainable Architecture) ved NTNU er tett koblet til ZEB. Studenter fra 32 land har deltatt i programmet i løpet av de åtte årene med ZEB. Professorene har også organisert internasjonale sommerskoler i Kina.

### ***Organisering og videreføring***

Næringslivspartnerne i ZEB representerer hele verdikjeden i byggebransjen. I tillegg har flere sentrale offentlige aktører deltatt i senteret. De viktigste arenaene for å etablere samarbeid og sikre kunnskapsoverføring mellom partnerne, har vært pilotprosjektene. Pilotprosjektene har i tillegg til å være arenaer for utprøving av teknologiske løsninger og utvikling av nye samarbeidsformer, også vært svært viktige for profilering av nullutslippsløsninger.

Samarbeidet som ble etablert i ZEB videreføres nå i FME-et ZEN (Zero Emission Neighbourhoods). Flere av partnerne fra ZEB er med i det nye FME-et, rammen for dette FME-et er utvidet fra å gjelde enkeltbygg til å omfatte nabolag og bydeler. Forskningsinfrastrukturen som er bygget opp gjennom ZEB (Living Laboratory, Test Cell Laboratory, Advanced materials and Components Laboratories og ZEB Flexible Lab (under bygging)) vil være viktig for forskningen på området i mange år fremover.

## **8.3. Nøkkeldata**

### ***Økonomi***

FME Zero Emissions Buildings har hatt et samlet budsjett på vel 400 mill. kroner.

	Kontant	In-kind	sum
Vertsinstitusjon		39 009	39 009
Forskningspartnere		42 984	42 984
Brukerpartnere	39 098	50 643	89 741
Forskningsrådet	120 000		120 000
Forskningsrådet, infrastruktur	15 000		15 000
<b>totalt</b>			<b>400 361</b>

Tabell: Omsetning i ZEB i hele perioden i tusen kroner

I tillegg kommer finansiering fra andre forskningsrådsfinansierte prosjekter. I denne sammenheng kan blant annet nevnes finansieringen av ZEB Flexible Lab gjennom Forskningsrådets infrastrukturordning.

### Resultater

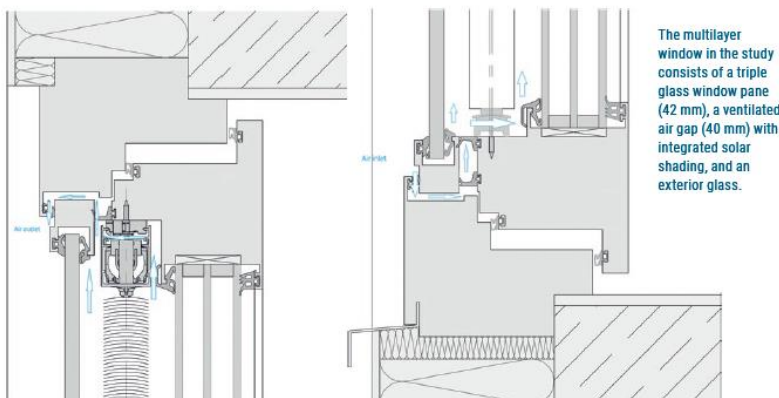
Vitenskapelige publikasjoner (peer reviewed)	282
Formidlingstiltak overfor brukere	449
Formidlingstiltak overfor offentligheten	225
Nye/forbedrete metoder/modeller/prototyper	20
Nye/forbedrete produkter/prosesser/tjenester	19
Fullførte doktorgrader	14*
Masterstudenter	79

Tabell: Rapporterte tellekanter fra ZEB

\*seks er i ferd med å avslutte

## 8.4. Glimt fra virksomheten

### Fra forskningen



Kondens på utsiden av vindusglasset er en utfordring ved vinduer med flere lag. Kondensdannelse er avhengig av vindustype og av utvendig og innvendig klima. ZEB har utviklet en prototyp på et vindu som skal redusere kondensdannelse. Vinduet er testet ut på ZEB Living lab.

## Pilotprosjektene

Pilotbyggene er reelle prosjekter som er bygget, planlagt og/eller vurdert. Gjennom de ni pilotbyggene har senteret hatt muligheten til å teste og demonstrere ZEB-definisjonen, evaluere verktøy, produkter og systemer og gitt beregningsregler for dokumentasjon av nullutslippsbygg.

Evalueringen av løsninger for energiforsyning og inneklima i pilotbygninger viser at ytelseevnen til bygningene er høy, men at det fortsatt er rom for forbedringer knyttet til ventilasjonseffektivitet og integrering av varmepumper i energisystemene. ZEBs pilotbygg har hatt god nytte av ekstra ressurser, ekspertkompetanse, fokus på overleveringsfasen, større eierskap blant beboerne og involvering av eksperter innenfor prosjektering og bygging tidlig i bruksfasen.



Illustrasjon: Snøhetta/EVE

## ZEB-boken



Resultatene fra ZEB er samlet i boken "Zero Emission Buildings". Boken beskriver noen av de viktigste kunnskapsområdene som trengs for å designe, bygge og drifte nullutslippsbygg. Resultatene som presenteres er basert på forskning og erfaringer fra utviklingen av de ni pilotprosjektene i senteret. Stoffet egner seg for alt fra studenter til ingeniører og andre utøvere som er på jakt etter måter å bidra til en bærekraftig fremtid på

## Fra brukerne



*"The establishment of the ZEB Centre has enabled us to considerably increase targeted innovation to fulfil these goals and has strengthened Skanska Norway's position as a centre of Nordic competence within the Skanska Group. The results are important for the Skanska Group worldwide, and for two years Skanska Norway has been exporting green know-how to US colleagues in a zero emission project on the Harvard Campus in Cambridge, Massachusetts."*

Rune Stene, Skanska

## 8.5. Bidrag til målene med FME-ordningen

Da forskningscenteret Zero Emission Buildings startet i 2009, var det blant de første initiativene til å se på utslipp av klimagasser fra bygninger i et livsløpsperspektiv. Gjennom pilotbyggene har ZEB vist at det er fullt mulig å bygge nullutslippshus. I årene som er gått etter at FME-et ble etablert, har det norske samfunnet blitt stadig mer klar over behovet for å øke energieffektiviteten og redusere CO<sub>2</sub>-utslippene. Store og små kommuner, bedrifter og internasjonale aktører har lagt merke til aktivitetene som har funnet sted innenfor ZEB. Mange har tatt kontakt angående råd og støtte i sitt arbeide for å utvikle og bygge nullutslippsbygninger og klimavennlige lokalsamfunn.



Aktivitetene man trenger for å utvikle en nøyaktig nullutslippsdefinisjon, kunnskap og nye løsninger, og evaluering av disse i fullskala pilotprosjekt som er realisert innenfor programperioden, ville ikke vært mulig uten den åtte år lange støtten fra Norges forskningsråd og ZEBs partnere under FME-ordningen.



**Norges forskningsråd**

Drammensveien 288  
Postboks 564  
NO-1327 Lysaker

Telefon: +47 22 03 70 00  
post@forskningsradet.no  
www.forskningsradet.no  
www.forskningsradet.no/fme

September 2018  
ISBN 978-82-12-03735-9 (trykk)  
ISBN 978-82-12-03736-6 (PDF)

Opplag: 150  
Trykk: 07 Media AS  
Foto omslag: Shutterstock  
Illustrasjoner: Conventor  
Design: Melkeveien Designkontor AS