

IMPELLO

Impello Management AS

Effekter av energiforskningen



Hovedrapport



Impello Management AS
Trondheim, 28. desember 2018

Tittel: Effekter av energiforskningen

Effektstudie av realiserte og potensielle effekter fra norsk energiforskning som har vært finansiert av RENERGI, ENERGIX, FME og CLIMIT i perioden 2008-2017.

Oppdragsgiver: Norges forskningsråd

Oppdragstakere: Impello Management og Menon Economics.

Prosjektperiode: April 2018 til desember 2018.

Forfattere:

Prosjektleder: Frode Iglebæk (Impello)
Medforfattere: Guttorm Nygård (Impello), og Annegrete Bruvoll (Menon), Christian Grorud (Menon/Weightless Values).

Om Impello Management

Impello er et ledende frittstående rådgivingsmiljø innen strategi og finans. Selskapet har hovedkontor i Trondheim og er eid av de ansatte.

Impello bistår eiere, investorer og ledelse med å utvikle, synliggjøre og realisere verdipotensialet i selskaper og prosjekter. Kundene er børsnoterte selskaper og større konsern, investeringsmiljø, vekstbedrifter og FoU-miljø.

Impello tilbyr tjenester innen strategi og forretningsutvikling, omstilling og lønnsomhetsforbedring, verdivurderinger og finansiell analyse, kapitalanskaffelse og transaksjonsprosesser. Impello er medlem av M&A-nettverket Globalscope.

Impello har bred erfaring fra rådgivning innen teknologi, industri, FoU og tjenesteytende næringer, med særlig fokus på IKT, energi, olje og gass, maritim og havbruk. De ansatte har bakgrunn som siviløkonomer og sivilingeniører.

Impello Management AS

Innherredsveien 7
7014 Trondheim, Norge
+47 90 22 70 00
info@impello.no
www.impello.no

Foto:

Rettigheter til bilder og illustrasjoner er angitt i bildeteksten. Bilder som ikke er kreditert er stock foto eller tilhører Impello.

ISBN 978-82-691556-0-0 (trykt)
ISBN 978-82-691556-1-7 (PDF)

Effekter av energiforskningen

Hovedrapport

Impello Management AS

Frode Iglebæk
Guttorm Nygård

Menon Economics AS

Annegrete Bruvoll
Christian Grorud (Weightless Values AS)

Trondheim, 28. desember 2018

Elektronisk versjon (PDF):

Hovedrapport: <http://bit.ly/hovedrapport>

Deltetarapporter: <http://bit.ly/deltetarapporter>

Forord

Stortingets første klimaforlik ble inngått i 2008. Forliket innebar at satsingen på forskning på miljøvennlig energi økte med mer enn 600 millioner kroner i året. En satsing som i sin helhet ble kanalisert gjennom Forskningsrådet, og hoveddelen gjennom de tre store program-satsingene, Forskningsrådets store program for energiforskning (RENERGI/ENERGIX), Program for CO₂-håndtering (CLIMIT) og Forskningsssentrene for miljøvennlig energi (FME) som denne rapporten handler om. Når det nå er gått 10 år siden klimaforliket, ønsker vi å synliggjøre eksempler og historier om hvilke viktige effekter denne forskningen har bidratt til.

Det er mange som har vært pådrivere for dette arbeidet. Generelt er det stor oppmerksomhet omkring dokumentasjon av nytte og effekter av offentlig finansiert forskning. Programstyret for ENERGIX har gjennom mange år ønsket å dokumentere effektene av energiforskningen, og i tildelingsbrevet for 2018 ba Olje- og energidepartementet Forskningsrådet om å gjennomføre en slik studie i løpet av året. Vi er glade for at vi nå har fått gjennomført denne studien som viser at forskning lønner seg.

Et viktig mål med studien har vært å tallfeste oppnådde og/eller potensielle effekter, og i tillegg beskrive noen av de spredte effektene som ikke kan tallfestes. Studien tar for seg effekter som reduserte kostnader, verdiskaping, redusert energibruk og reduserte utslipp; i tillegg dokumenteres mange andre effekter som er viktige for samfunnet, men der forskningen som ligger bak ikke alltid er så synlig.

Metoden som er brukt i denne studien er case-basert og omfatter 48 utvalgte cases fra åtte tematiske områder innenfor miljøvennlig energi. Casene utgjør bare en liten andel av energiforskningen som er finansiert gjennom Forskningsrådet. Casene er ikke tilfeldig valgt; det er prosjekter som har gitt gode resultater og som i tillegg er relativt enkle å formidle. Vi har imidlertid grunn til å tro at det kan gjøres tilsvarende beregninger for en rekke av de andre prosjektene i porteføljen.

Arbeidet har til dels vært krevende og inneholdt en god del metodeutvikling. Selv om forskningsmiljøene på energiområdet er vant til å arbeide tett med næringsliv og andre brukere av forskning, er det nytt for de fleste å skulle regne så direkte på effektene av egen forskning. Vi tror dette har vært en nyttig prosess som også forskningsmiljøene vil ha glede av fremover.

Studien er gjennomført av Impello Management og Menon Economics i samarbeid med åtte av FME-ene. Prosjektet har vært omfattende og har involvert en rekke medarbeidere i forskningsmiljøer og industri. Vi takker alle som har bidratt for innsatsen og retter en spesiell takk til Frode Iglebæk i Impello Management for god gjennomføring.

Rune Volla Ane T. Brunvoll Aage Stangeland Tone Ibenholt Birgit Hernes

28. desember 2018

Innhold

Sammendrag	11
1. Innledning	13
1.1 Mål og mandat for effektstudien	13
1.2 Organisering av prosjektet.....	14
1.3 Om energiforskningen – nøkkeltall.....	15
1.4 Om departementenes finansiering.....	17
1.5 Kort om metoden	18
2. Hovedfunn	21
2.1 Innledning	21
2.2 Kvantifiserte effekter og potensial – økonomi, utslipp og energibruk	22
2.3 Ikke-quantifiserte effekter	28
2.4 Andre identifiserte effekter	33
2.5 Oppsummering.....	35
3. Deltema 1 – Energieffektivisering i industrien	38
3.1 Sammendrag	39
3.2 Om forskningstemaet energieffektivisering i industrien	40
3.3 Referansebane.....	41
3.4 Innovasjoner og utvalgte case	44
Case #1: CO ₂ -baserte kjøle- og varmepumpesystem for supermarkeder.....	45
Case #2: Reduserte utslipp fra offshore gassturbiner.....	46
Case #3: Økt utnyttelse av lavtemperatur spillvarme.....	47
Case #4: Redusert energiforbruk og klimagassutslipp i aluminiumsindustrien	48
Case #5: Energieffektiv og miljøvennlig produksjon av kobber	49
Case #6: Integrerte energisystem for industri.....	50
4. Deltema 2 – Energibruk i bygg og områder	52
4.1 Sammendrag	53
4.2 Om forskningstemaet energibruk i bygg og områder	54
4.3 Referansebane.....	55
4.4 Ulike typer innovasjoner og resultater.....	57
4.5 Innovasjoner og utvalgte case	61
Case #1: Ventilasjon i passivhus	63
Case #2: Membranvarmegjenvinner.....	64
Case #3: ZEB GHG Tool	65
Case #4: ZEB Energy Tool.....	66
Case #5: Nanoisolasjonsmaterialer	67
Case #6: Bygningsintegrert ventilasjonsløsning.....	68
Case #7: ZEB Definition: Redusert energibruk og mer lokal fornybar energi fra å bygge nullutslippsbygg.....	69
5. Deltema 3 – Vannkraft	70
5.1 Sammendrag	71
5.2 Om forskningstemaet vannkraft.....	72
5.3 Referansebane.....	73
5.4 Innovasjoner og utvalgte case	74

Case #1: Francis-turbiner – redusert fare for havari.....	75
Case #2: Miljødesignhåndboka.....	76
Case #3: Stabilitet av plastring på fyllingsdammer	77
Case #4: Feildeteksjon og prediksjon av levetid.....	78
Case #5: Oppgradering av sandfang i vannkrafttuneller	79
Case #6: SHOP – korttidsplanlegging av vannkraftproduksjon	80
6. Deltema 4 – Energisystemer	82
6.1 Sammenndrag	83
6.2 Om forskningstemaet energisystemer.....	85
6.3 Referansebane – utvikling frem mot 2030.....	86
6.4 Ulike typer innovasjoner og resultater.....	87
6.5 Innovasjoner og utvalgte case	88
Case #1: Optimal utbygging, drift og vedlikehold av transmisjonsnett.....	89
Case #2: Levetidsutnyttelse for krafttransformatorer.....	90
Case #3: AMS: Aktive kunder og intelligente distribusjonsnett.....	91
Case #4: Feilhåndtering i smarte distribusjonsnett	92
Case #5: Spenningskvalitet i smarte nett.....	93
Case #6: Overspenningsbeskyttelse av fordelingstransformatorer.....	94
Case #7: Distribuert produksjon i nettet.....	95
7. Deltema 5 – Solenergi og solcellematerialer.....	96
7.1 Sammenndrag	97
7.2 Om forskningstemaet solenergi og solcellematerialer	98
7.3 Referansebane solenergi.....	99
7.4 Innovasjoner og utvalgte case	100
Case #1: Metallurgisk fremstilling av silisium	101
Case #2: Sentrifugalreaktor for fremstilling av silisium.....	102
Case #3: Effektiv produksjon av høykvalitetswafere	103
Case #4: Systemløsninger for bygningsintegreerte solceller	104
Case #5: Avanserte systemer for drift og vedlikehold	105
8. Deltema 6 – Bioenergi.....	106
8.1 Sammenndrag	107
8.2 Om forskningstemaet bioenergi	108
8.3 Referansebane.....	109
8.4 Innovasjoner og utvalgte case	110
Case #1: Effektive enzymer for bioraffinerier	111
Case #2: Demo-anlegg for avansert biodrivstoff	112
Case #3: Biogassverdikjede for matavfall.....	113
Case #4: Bioenergi, klima og bærekraft.....	114
Case #5: Laveffekts vedovn for lavenergihus.....	115
9. Deltema 7 – CCS: Fangst, transport og lagring av CO₂.....	116
9.1 Sammenndrag	117
9.2 Om forskningstemaet CCS	118
9.3 Referansebane.....	119
9.4 Forskjellige innovasjoner innen fangst, transport og lagring av CO ₂	122
9.5 Innovasjoner og utvalgte case	123

Case #1: SOLVit: Energi- og kostnadseffektiv CO ₂ -fangst	124
Case #2: Fangst og flytendegjøring av CO ₂ for skipstransport	125
Case #3: Fangst av CO ₂ ved kjemisk sirkulasjonsforbrenning (CLC)	126
Case #4: Redusert sannsynlighet for løpende brudd i rør for CO ₂ -transport	127
Case #5: Overvåking av undergrunnslagring av CO ₂	128
Case #6: Bedre sementering av CO ₂ -brønner	129
Case #7: Smart design av CCS-kjeder	130
10. Deltema 8 – Nullutslippstransport (batterier og hydrogen)	132
10.1 Sammendrag	133
10.2 Om forskningstemaet nullutslippstransport	134
10.3 Referansebane nullutslippstransport	136
10.4 Innovasjoner og utvalgte case	137
Case #1: Silisium til batterier (Cenate)	138
Case #2: Silisium til batterier (Elkem)	139
Case #3: Hydrogen fra vannelektrolyse	140
Case #4: Batterier for elektriske skip (ZEM)	141
Case #5: Hydrogen og brenselceller for tungtransport (ASKO)	142
Vedlegg 1: Metode	143
Vedlegg 2: Effekter pr. case	152
Vedlegg 3: Hvordan kan effekt måles?	154
Vedlegg 4: Tidligere effektstudier	158
Vedlegg 5: Hvorfor støtte til energiforskning?	163
Vedlegg 6: Finansiering av RENERGI, ENERGIX, CLIMIT og FME	164

Sammendrag

Stortingets klimaforlik i 2008 innebar en sterk økning i den offentlige finansieringen av forskning innenfor miljøvennlig energi på mer enn 600 mill. kroner i året. Den ble kanalisert gjennom Forskningsrådet, og i all hovedsak gjennom de tre store programsatsingene innenfor energi; stort program for energiforskning (RENERGI/ENERGIX), program for CO₂-håndtering (CLIMIT) og forskningsentre for miljøvennlig energi (FME). Målet med rapporten er å dokumentere effekter av den offentlige finansierte forskningen innenfor miljøvennlig energi.

Tematisk dekker studien hele ansvarsområdet til ENERGIX, FME og CLIMIT, med unntak av geotermisk- og vindenergi¹, forskning på miljø- og klimavirkninger av energianlegg og samfunnsvitenskapelig energiforskning. Rapporten er utarbeidet av Impello Management og Menon Economics i samarbeid med åtte av dagens FME-er.

Energiforskning lønner seg!

Samlet støtte fra Forskningsrådet til de temaområdene som casene er valgt fra er 4 mrd. kroner. I tillegg til støtten fra Forskningsrådet har prosjektpartnerne som deltar investert et tilsvarende beløp. De 48 casene som inngår i denne studien, har bare mottatt en andel av disse midlene. Dokumentert og realisert økonomisk effekt i Norge er 16 mrd. kroner bare fra disse 48 prosjektene, og potensialet er dokumentert til å være mer enn 100 mrd. kroner.

I tillegg får samfunnet effekter i form av energieffektivisering, reduserte klimagassutslipp, stabilitet og sikkerhet i energiforsyningen, eksportrettet næringsvirksomhet og bedre forvaltning av naturressursene. Det kan derfor fastslås at samfunnseffektene er mange ganger høyere enn investeringene.

48 utvalgte prosjekter og case fra norsk energiforskning

Industri	Bygg og områder	Vannkraft	Energisystemer	Solenergi og solcellematerialer	Bioenergi	CCS	Nullutslipps-transport								
 CO ₂ som kuldemedium	 Offshore gass turbin	 Ventilasjon i passivhus	 Varmegjenvinner	 Francis-turbiner	 Miljødesign-håndboka	 Transmisjonsnett	 Økt levetid-utnyttelse	 Metallurgisk solcellesilisium	 Sentrifugalreaktor	 Enzymer for bioraffinier	 Avansert biodrivstoff	 SOLvit CO ₂ -fangst	 Flytende-gjøring av CO ₂	 Silisium til batterier	 Silisium til batterier
 Lavtemperatur spillvarme	 Aluminiums-produksjon	 ZEB GHG Tool	 ZEB Energy Tool	 Plastring på fyllingsdam	 Feldeteksjon og prediksjon	 AMS	 Smarte distribusjonsnett	 Høykvalitets Si-waferer	 Bygnings-integrerte solceller	 Biogass verdikjede	 Bioenergi, klima og bærekraft	 CO ₂ -fangst ved CLC	 Løpende brudd i CO ₂ -rør	 H ₂ fra vann-elektrolyse	 Batterier til elektriske skip
 Kobber-produksjon	 Integrert energisystem	 Nano-isolasjon	 Bygnings-integrert ventilasjon	 Oppgradert sandfang	 SHOP	 Spennings-kvalitet	 Overspennings-beskyttelse	 Drift og vedlikehold av solparker	 Laveffekts vedovn	 Overvåking av CO ₂ -lagring	 Sementering av CO ₂ -brønner	 Smart design av CCS-kjeder	 Hydrogen og brenselceller til tungtransport		
	 ZEB Definition			 Distribuert produksjon i nettet											

¹ For offshore vind ble det gjort en tilsvarende effektstudie i regi av FME NOWITECH i 2017.

Studien av 48 case viser et mangfold av effekter

Studien gir et godt innblikk i hvordan norsk energiforskning har effekter som virker inn i mange deler av samfunnet og som bidrar i den globale kunnskapsdugnaden for omlegging til lavutslippssamfunnet.

- **Økonomisk effekt:**
 - Realisert økonomisk effekt i Norge utgjør **16 mrd. kroner** fra økte inntekter, reduserte kostnader og reduserte og utsatte infrastrukturinvesteringer. Når Europa inkluderes utgjør samlet økonomisk effekt 21 mrd. kroner.
 - Identifisert fremtidig økonomisk potensial (Norge/Europa) på mer enn **100 mrd. kr.**
- **Energibruk:**
 - Realisert redusert energibruk **26 TWh/år** (2 TWh/år i Norge og 24 TWh/år i Europa).
 - Identifisert potensial på minst **70 TWh/år i Europa** for casene som inngår i studien.
- **Klima og miljø:**
 - Realiserte reduserte klimagassutslipp i Europa på **25 mill. tonn CO₂-ekvivalenter**.
 - Identifisert potensial for utslippsreduksjoner i Europa på «flere hundre» millioner tonn CO₂-ekvivalenter.
- **Andre viktige samfunnseffekter for energisektoren:**
 - Økt forsynings sikkerhet og mer stabile nett.
 - Reduserte naturinngrep.
 - Økt sikkerhet/helse og redusert risiko.
 - Bedre beslutningsgrunnlag i forvaltningen og i næringslivet.
 - Nye verktøy og standarder for nullutslippsbygg.
 - Nye bedrifter og økt sysselsetting.

I tillegg til effektene som er knyttet til utfordringer og muligheter i energisektoren, bidrar prosjektene til forskning i kunnskapsfronten, i samarbeid med internasjonale forskningsmiljøer og gir dagens og morgendagens studenter anledning til å jobbe i forskningsfronten. Prosjektene gir også vitenskapelige publikasjoner og siteringer og et høyt antall avlagte master- og dr.grader.

Oppbygging av rapporten

Effektstudien skiller mellom følgende tre begreper: *Forskningsresultater* som er resultater som kan beskrives og artikuleres, typisk kunnskap, konsepter, systemer, produkter, mv. *Effekter* som er dokumenterbare (realiserte) virkninger som følge av at forskningsresultatene er tatt i bruk og har gitt nytteverdi for andre (i Norge og i andre land). *Potensielle effekter* (fremtidig potensial) som er antatte/forventede fremtidige effekter som enten kan sannsynliggjøres eller prognostiseres.

I kapittel 2 oppsummeres hovedfunn fra de åtte deltemarapportene. Kapittelet avsluttes med et effektkart som synliggjør bredden i effekter fra de utvalgte casene, aggregert fra vurderingene i deltemarapportene. Deltemakapitlene (kapittel 3-10) beskriver alle de 48 studerte casene. Ønsker man mer informasjon om casene enn det som fremgår av kortversjonene i denne rapporten, kan fullstendige deltemarapporter lastes ned her:

<http://bit.ly/deltemarapporter>.

1. Innledning

1.1 Mål og mandat for effektstudien

” Forskningsrådet ønsker å dokumentere effekter fra investeringene i FoU på miljøvennlig energi gjennom programsatsingene RENERGI, ENERGIX, CLIMIT og FME siden 2008. Dette skal gjøres ved å identifisere en del av de viktigste resultatene og innovasjonene fra perioden, og så gjøre systematiske analyser av effektene fra disse. Arbeidet skal gjøres i samarbeid med åtte av dagens forskningscentre for miljøvennlig energi (FME).

Impello Management har utarbeidet hovedrapporten og fem deltemaerapporter:

- 01 Energieffektivisering i industrien
- 02 Energibruk i bygg og områder
- 03 Vannkraft
- 04 Energisystemer
- 07 CCS – fangst, transport og lagring av CO₂

Menon Economics har i samarbeid med Weightless Values utarbeidet tre deltemaerapporter:

- 05 Solenergi og solcellematerialer
- 06 Bioenergi
- 08 Nullutslippstransport (batteri og hydrogen)



Figur 1 Effektstudien består av en hovedrapport og åtte deltemaerapporter

For offshore vind ble det gjort en tilsvarende studie av FME NOWITECH i 2017².

Hovedrapporten (dette dokumentet) oppsummerer hovedfunn fra de åtte deltemaerapportene og beskriver metodikken som er anvendt. Det anbefales å bla gjennom deltemaerapportene (separate dokumenter) som inneholder flere detaljer om casene enn kortversjonene i kapitlene 3-10. Deltemaerapportene kan lastes ned her: <http://bit.ly/deltemaerapporter>.

² Potential and realized economic impacts of NOWITECH innovations (Impello Management, 2017)

1.2 Organisering av prosjektet

Oppdragsgiver er Forskningsrådet ved Divisjon for energi, ressurser og miljø (ERM), avdeling for Energi. Oppdraget har vært utført i perioden april til november 2018.

Involverte nøkkelpersoner er vist i tabellen under. I tillegg har Impello og Menon vært i dialog med mer enn 50 forskere som har bidratt med informasjon til casene.

Forskningsrådet	Birgit Hernes Tone Ibenholt
Impello Management	Frode Iglebæk (prosjektleder) Guttorm Nygård
Menon Economics	Annegrete Bruvoll Christian Grorud, Weightless Values
FME HighEFF	Ingrid Camilla Clausen, SINTEF Energi Petter Nekså, SINTEF Energi
FME ZEN	Arild Gustavsen, NTNU Terje Jacobsen, SINTEF Byggforsk Ann Kristin Kvellheim, SINTEF Byggforsk
FME HydroCen	Hege Brende, NTNU Gaute Egeland Sanda, Hydro
FME CINELDI	Hans Christian Bolstad, SINTEF Energi Hanne Sæle, SINTEF Energi
FME SuSolTech	Erik Stensrud Marstein, IFE
FME Bio4Fuels	Odd Jarle Skjelhaugen, NBMU
FME NCCS	Sigmund Størset, SINTEF Energi Grethe Tangen, SINTEF Industri
FME MoZEES	Øystein Ulleberg, IFE

Tabell 1 Involverte nøkkelpersoner i effektstudien

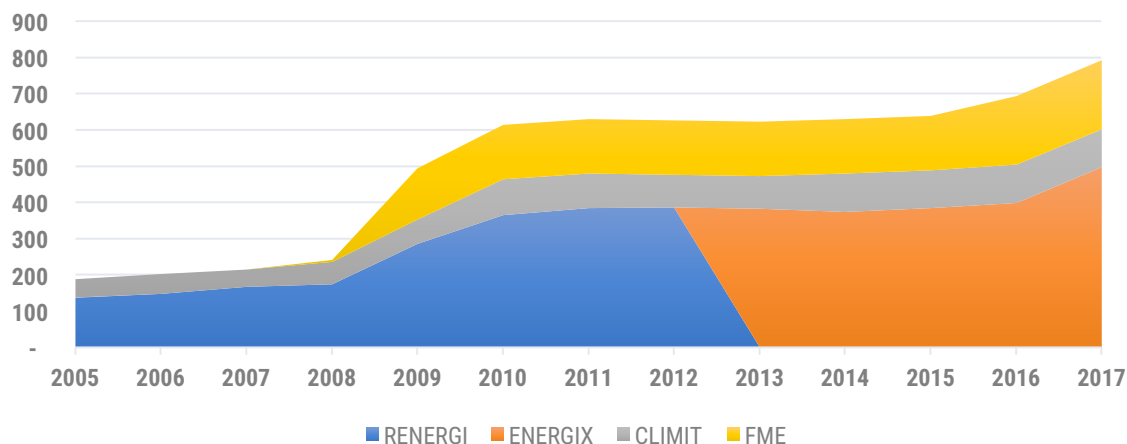
Høsten 2018 har foreløpige resultater blitt presentert for programstyret i ENERGIX, Forskningsrådets årlige FME kontaktmøte og for departementene ifm. det årlige statusmøtet for energiforskningen.

1.3 Om energiforskningen - nøkkeltall

Den offentlig finansierte energiforskningen i Norge har i hovedsak blitt organisert gjennom følgende programsatsinger i Norges Forskningsråd:

- **RENERGI (2004-2012) og ENERGIX (fra 2013):** Forskningsrådets store program for forskning på miljøvennlig energi, med hovedfokus på energibruk, produksjon av fornybar energi, energisystemer og energi til transport.
- **CLIMIT (fra 2005):** Forsking, utvikling og demonstrasjon av teknologi for CO₂-håndtering. Programmet er et samarbeid mellom Forskningsrådet og Gassnova.
- **Forskningsssentre for miljøvennlig energi (FME):** Gjennom FME-ordningen finansieres langsiktig forskningssamarbeid mellom forskningsinstitusjoner, næringsliv og forvaltning. De første åtte FME-ene ble etablert i 2009 og avsluttet i 2016/2017. Åtte nye FME-er ble etablert i 2016. I tillegg er det tre samfunnsvitenskapelige sentre som vil avsluttes i løpet av 2019.

Med klimaforliket i 2008 vedtok Stortinget å tredoble satsingen på forskning på miljøvennlig energi i løpet av en toårsperiode. Midlene ble kanalisert gjennom Norges forskningsråd, og en svært høy andel av midlene har gått til de tre hovedvirkemidlene RENERGI/ENERGIX, CLIMIT og FME.



Figur 2 Budsjettutvikling [mill. kr] for de RENERGI, ENERGIX, CLIMIT og FME. Kilde: Forskningsrådet.

Forskningsrådets finansiering (2008-2017) til deltemaene som behandles i rapporten har vært ca. 4 milliarder kroner

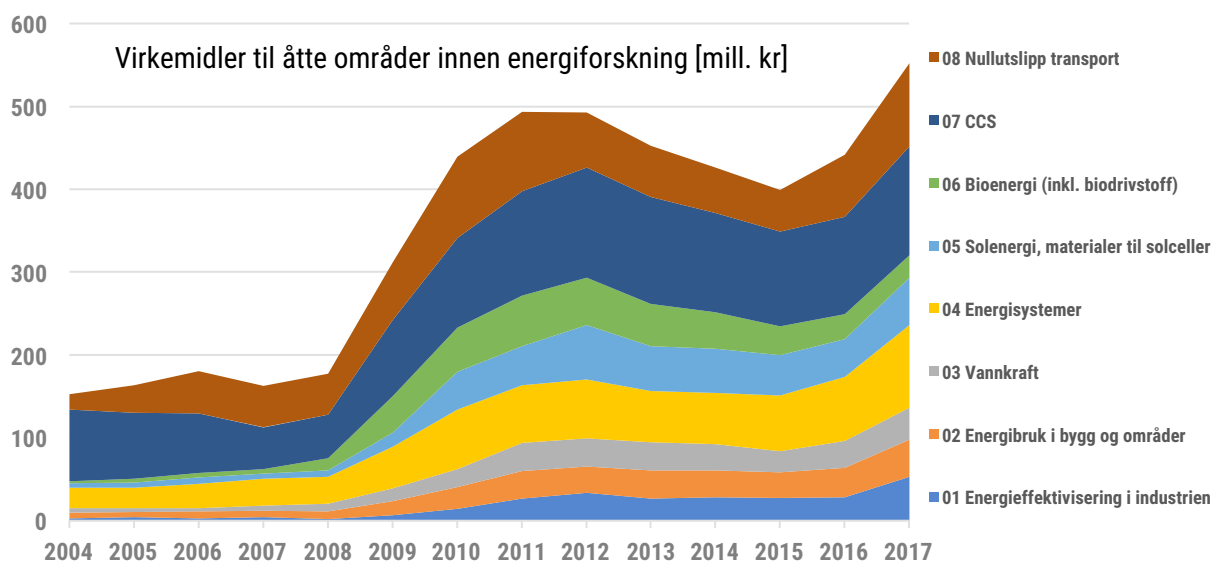
De åtte deltemaene som denne rapporten omhandler utgjør en vesentlig del av porteføljen til de målrettede programmene på energiområdet. Enkelte viktige områder er imidlertid ikke med i denne studien, dette gjelder vindkraft, havenergi og geotermisk energi. Den samfunnsvitenskapelige forskningen er heller ikke med, denne utgjør i dag rundt 10 % av den totale porteføljen i ENERGIX og rundt 15 % av FME-ordningen.

Samlede prosjektutbetalinger i perioden 2007-2017 til prosjekter i de åtte temaene som er dekket i rapporten, er om lag 4 mrd. kr. Fordelingen på tema er vist i Figur 3. Forskningsrådets FoU-investeringer har utløst et tilsvarende beløp fra andre partnere i

prosjektene. De viktigste her er næringslivet, men en del midler kommer også fra offentlig sektor (som er partnere i prosjektene) og fra egeninnsats fra FoU-miljøene. Samlede FoU-investeringer på de åtte deltemaene som rapporten omhandler er derfor rundt 8 mrd. kroner.

4 mrd. kr bevilget fra Forskningsrådet – RENERGI, ENERGIX, CLIMIT og FME (2008-2017)

4 mrd. kr i egeninnsats fra industri, næringsliv, offentlig og FoU-institusjoner



Figur 3 Grafen viser Forskningsrådets utbetalinger fra RENERGI, ENERGIX, CLIMIT og FME til åtte temaområder i perioden 2008-2017. Kilde: Norges forskningsråd

I tillegg til finansieringen fra RENERGI/ENERGIX, CLIMIT og FME, har andre programmer og virkemidler bidratt med finansiering som er viktig for energiforskningen. Dette gjelder blant annet Forskningsrådets infrastrukturprogram (oppbygging av laboratorier og forskningsinfrastruktur) og EUs rammeprogram for forskning. Enova og Innovasjon Norge har bidratt med finansiering i en senere fase av prosjektene. Ingen av disse ordningene inngår i Figur 3.

Den store budsjettøkningen i perioden 2008-2010 førte til en rask opptrapping av aktiviteten. En vesentlig del av opptrappingen var etableringen av de åtte FME-ene som ble vedtatt i 2008 og igangsatt i 2009. I en periode med stor økning i finansieringen over kort tid, vil det ta noe tid fra nye prosjekter og sentre er vedtatt og til de er i full drift. Figur 3 viser de faktiske utbetalingene til prosjektene i perioden. Nedgangen i det faktiske forbruket i perioden 2012-2015 skyldes overgangen fra RENERGI til ENERGIX.

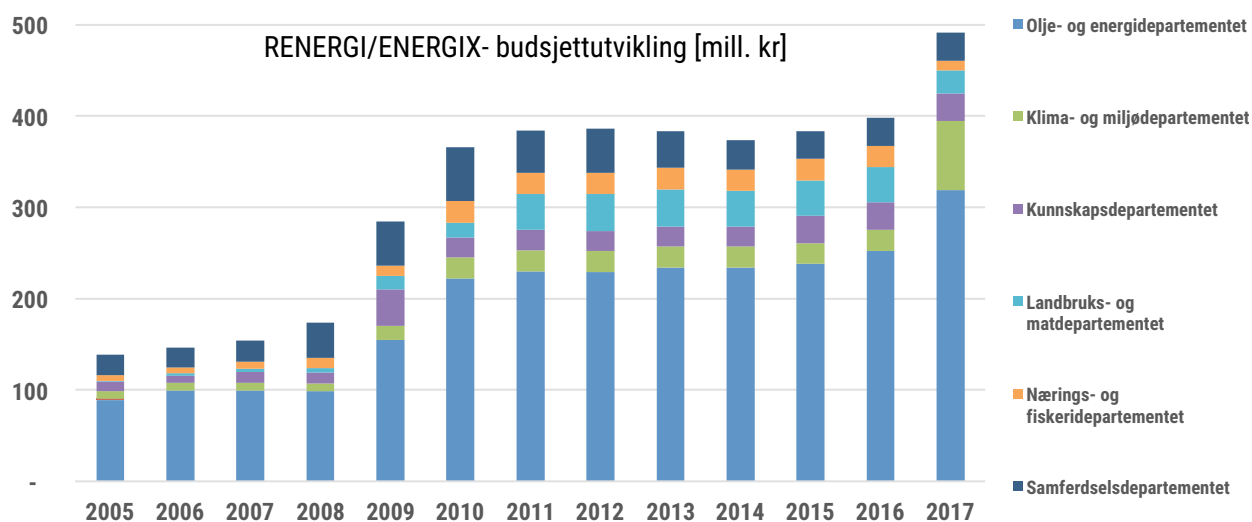
Utvalgte nøkkeltall

Deltema som inngår i effektstudien	Forskningsrådet, utbetalt [mill. kr]	Ekstern finansiering, estimat [mill. kr]	Estimert sum [mill. kr]
01 Energieffektivisering i industrien	248	248	495
02 Energieffektivisering i bygg og områder	295	295	589
03 Vannkraft	276	276	553
04 Energisystemer	664	664	1 327
05 Solenergi, materialer til solceller	444	444	888
06 Bioenergi (inkl. biodrivstoff)	416	416	832
07 CCS	1 124	548	1 672
08 Nullutslipp transport	723	802	1 525
Alle åtte temaer:	4 189	3 693	7 881

Tabell 2 Forskningsrådets bevilgninger/utbetalinger i 2008-2017 til ca. 670 prosjekter fordelt på de åtte deltemaene i denne studien (kilde: Forskningsrådet), samt estimat for ekstern finansiering i de samme prosjektene. Estimaten er gjort av Impello, det tas forbehold om feil i datagrunnlaget.

1.4 Om departementenes finansiering

Flere departementer har vært med å finansiere forskningsinnsatsen som denne studien dekker. Olje- og energidepartementet er det klart største, og OED har en svært viktig rolle i finansieringen av forskningen på miljøvennlig energi. OED har ansvar for finansieringen av FME-ordningen og CLIMIT-programmet. OED står også for hovedfinansieringen av ENERGIX. Men her har også flere andre departementer hatt en viktig finansieringsrolle.



Figur 4 Utvikling av finansieringen av ENERGIX i perioden. Kilde: Forskningsrådet

Finansieringen av ENERGIX har gjennom hele perioden vært et spleiselag der en rekke departementer har bidratt til finansieringen. Som mange av casene i denne studien viser vil effekter ofte dekke flere departementers ansvarsområde; effektene kan komme innenfor næringsutvikling, reduksjon av klimagassutslipp og redusert energibruk, samtidig som man får bedre styringsverktøy og kunnskapsgrunnlag for offentlig sektor.

1.5 Kort om metoden

Se Vedlegg 1: Metode for en mer detaljert beskrivelse av anvendt metodikk.

Definisjoner og måling av effekter

I effektstudien har vi skilt mellom tre begreper:

- *Forskningsresultater* som er resultater som kan beskrives og artikuleres, typisk kunnskap, konsepter, systemer, produkter, mv.
- *Effekter* som er dokumenterbare virkninger som følge av at forskningsresultatene er tatt i bruk og har gitt nytteverdi for andre.
- *Potensielle effekter* (fremtidig potensial) som er antatte/forventede fremtidige effekter som enten kan sannsynliggjøres eller prognostiseres.

Prosjektportefølje og utvalg av case

Effektstudien for energiforskningen i 2018 er gjennomført som en **case-studie** av 48 prosjekter eller forskningstema som har fått tildelt bevilgninger fra Forskningsrådets programmer RENERGI/ENERGIX, CLIMIT og FME i perioden 2008-2017. Totalt har ca. 670 prosjekter mottatt finansiering fra disse programmene, og casene utgjør dermed i underkant av 10 % av den totale prosjektporteføljen.

Utvalgskriterier

Casene er valgt ut i nært samarbeid med FoU-miljøene basert på følgende kriterier:

- Modenhet
- Faglig/tematisk bredde
- Tema eller enkeltprosjekter
- Kunnskap om prosjektene i eget hus
- Utført i nyere tid
- Mulig å formidle

Effekter som er vurdert i studien

1. Redusert energibruk
2. Reduserte kostnader (eventuelt økte inntekter)
3. Reduserte utslipp
4. Redusert materialbruk
5. Økt produksjon/bruk av fornybar energi
6. Økt sikkerhet, redusert risiko og helsegevinster (HMS)
7. Økt forsyningssikkerhet
8. Redusert miljøinngrep (bred definisjon, klimagassutslipp inngår ikke)
9. Bedre beslutninger (bred definisjon)
10. Styrket utdanning og rekruttering til området
11. Utvikling av sterke nasjonale forskningsmiljø
12. Flytting av kunnskapsfronten gjennom internasjonalt samarbeid.

I tillegg er det gjort vurdering av teknologisk modenhet (TRL) og industrielt potensial

Kvantitative beregninger er i hovedsak gjort for økonomi, energibruk og utslipp. For de øvrige effektområdene er kvantifisering ikke gjort systematisk i mangel av data.

Beregningen av økonomiske effekter, utslipp og energibruk er basert på flere metoder og informasjonskilder, og tilpasset det enkelte deltema og case:

- Vitenskapelige studier fra andre fagmiljø
- Nåverdi
- Scenario-basert
- Illustrerende regneeksempler
- Forenklete beregninger
- Investeringer og regnskapsdata

Kvalitative effekter – andre samfunnseffekter er beregnet som binære størrelser (påvist/ikke påvist). Eksempler på påviste effekter er:

- Kunnskapsoverføring
- Økt forskningsaktivitet
- Kommersialisering og anvendelse av teknologi
- Forskningsinfrastruktur, piloter og demo-anlegg
- Anvendelse og kommersialisering av teknologi
- Økt sysselsetting

Vi gjør oppmerksom på at Impello og Menon har løst oppdraget litt forskjellig ved utarbeidingen av deltemarapportene. Impello har forsøkt å kvantifisere realiserte og potensielle effekter for sine case og deltema, mens Menon i større grad har prioritert å beskrive historien, påvise kvalitative effekter og synliggjøre f.eks. investeringer i industrialisering og kommersialisering.

2. Hovedfunn

2.1 Innledning

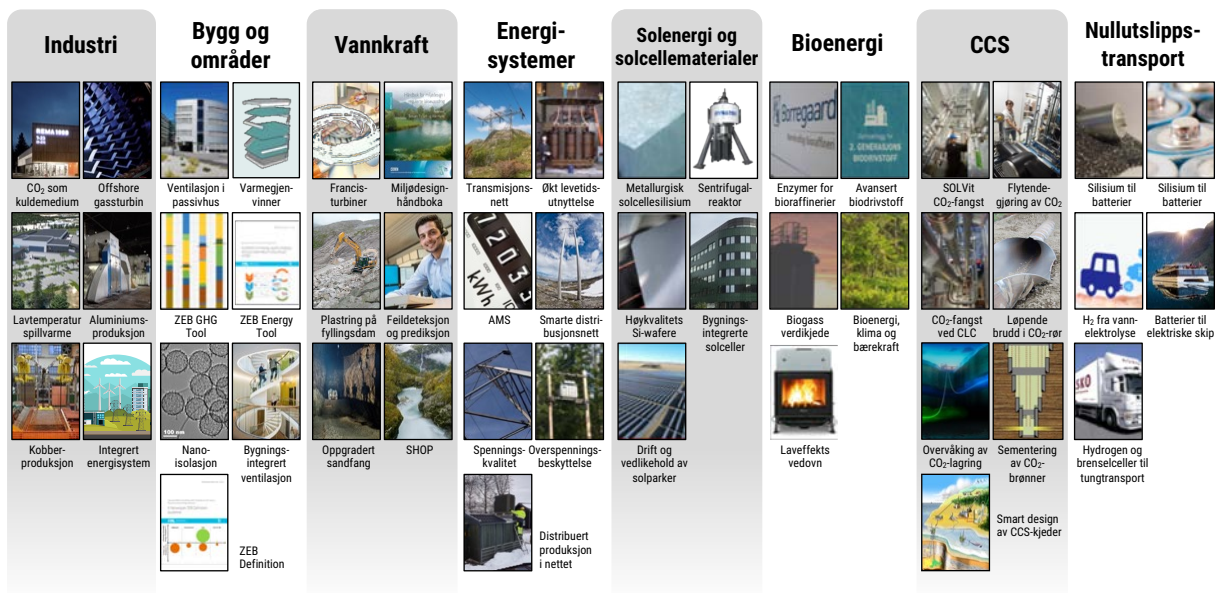
Det sentrale spørsmålet i effektstudien er:

Lønner forskning seg? ...og gir det andre påviste effekter?

Forskningsrådets finansiering av de åtte deltemaene som inngår i effektstudien er ca. 4 mrd. kr for perioden 2008-2017. Midlene har vært bevilget gjennom programsatsingene RENERGI, ENERGIX, FME og CLIMIT. **Samlet forskningsinnsats i perioden er ca. 8 mrd. kr** når egeninnsats og kontantbidrag fra forskningsinstitusjonene og prosjektpartnere i industri, næringsliv og offentlig virksomhet inkluderes.

Impello og Menon har studert *resultater, effekter og potensielle (fremtidige) effekter* for 48 prosjekter (case) som er valgt ut fra en portefølje på ca. 670 prosjekter. Vi presiserer at resten av prosjektporteføljen er *ikke* er vurdert og at funn og konklusjoner kun gjelder disse 48 utvalgte casene. Det er likevel sannsynlig at det er store realiserte effekter og potensielle effekter i den resterende porteføljen som ikke er vurdert i denne effektstudien.

48 utvalgte prosjekter og case fra norsk energiforskning



Figur 5 Effektstudien omfatter 48 case som er valgt ut fra en portefølje på ca. 670 prosjekter. Disse har fått bevilget finansiering fra Forskningsrådets programsattinger RENERGI, ENERGIX, CLIMIT og FME i perioden 2008-2017.

Casene er hentet fra åtte deltema:

- Energieffektivisering i industrien
- Energibruk i bygg og områder
- Vannkraft
- Energisystemer
- Solenergi og solcellematerialer
- Bioenergi
- CCS – fangst, transport og lagring av CO₂
- Nullutslippstransport (batteri og hydrogen)

Forskningsrådets programsatsinger innen miljø- og energiforskning omfatter også *vindkraft* og *samfunnsvitenskap*, men disse inngår ikke i effektstudien.

Impello og Menon har studert 12 typer effekter (se Vedlegg 1: Metode, side 147), og med særlig fokus på økonomi, utslipp og energibruk (side 148). I tillegg er teknologisk modenhet og industrielt potensial vurdert for alle casene, samt kvalitative effekter og samfunnseffekter som ikke nødvendigvis er like «rubriserbare» (side 151).

2.2 Kvantifiserte effekter og potensial – økonomi, utslipp og energibruk

Ti av 48 case har store realiserte og potensielle effekter knyttet til økonomi, utslipp og energibruk. Åtte av de ti casene er kvalifisert teknologi eller er i kommersiell fase (hhv. TRL 8 og 9) jfr. EUs definisjon av teknologisk modenhet³.



Figur 6 Realiserte gevinster kommer fra noen få av de 48 utvalgte casene.

³ EU Horizon 2020 TRL-definisjon: <https://publications.europa.eu/s/iDQK>

2.2.1 Økonomisk effekt

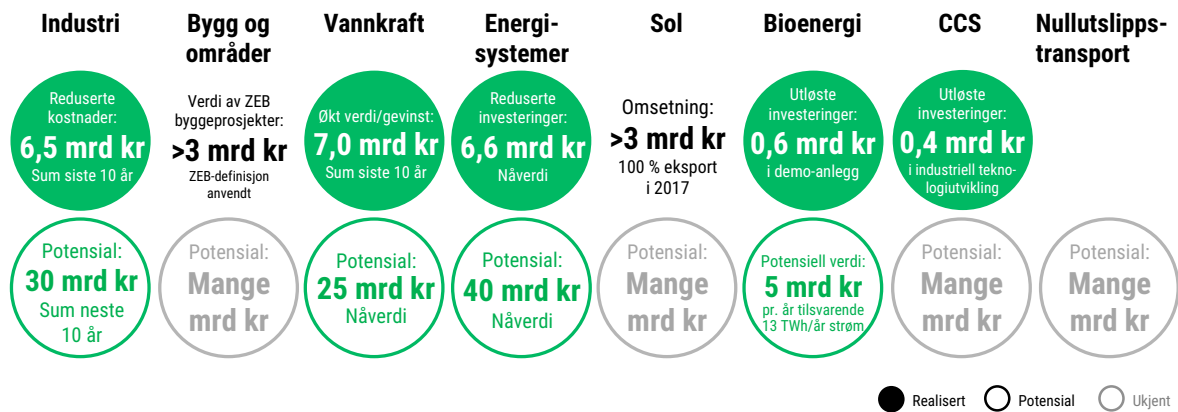
Realisert økonomisk effekt i perioden 2008-2017 utgjør minst **16 mrd. kr i Norge** og 21 mrd. kr når Europa inkluderes. Den økonomiske effekten består av økt realisert verdi/gevinst, reduserte kostnader, reduserte eller utsatte investeringer, eller realiserte investeringer i ny industriell virksomhet. Tallene som er **uthevet** under, samt noen mindre beløp som er oppstilt i vedlegg 2, utgjør den samlede økonomiske effekten på 16 mrd. kr.

Effektene er hovedsakelig realisert i følgende prosjekter:

- **Energieffektivisering i industrien:**
 - CO₂ som kuldemedium i kjøleanlegg i supermarkeder: **1 mrd. kr** i reduserte energikostnader.
- **Bygg og områder:**
 - ZEB partnere har tatt i bruk ZEB-definisjonen i reelle byggeprosjekter. Prosjektene har en verdi på mer enn 3 mrd. kr I tillegg kommer andre prosjekter (ca. 50) der ZEB miljøet har bidratt med kompetanse og å sette ambisjonsnivå.
- **Vannkraft:**
 - SHOP – korttidsplanlegging av vannkraftproduksjon: **6,8 mrd. kr** i økt verdi av produsert kraft (2 % verdiøkning for brukerne av SHOP). Potensialet de neste 15 år er mer enn 12 mrd. kr (nåverdi).
- **Energisystemer:**
 - Optimal utbygging, drift og vedlikehold av transmisjonsnett: **2,9 mrd. kr** i realiserte reduserte investeringer.
 - Levetidsutnyttelse for krafttransformatorer: **2,5 mrd. kr** i reduserte reinvesteringer. Basert på 20 års utsettelse av reinvesteringer for 50 % av transformatorene.
 - AMS: Aktive kunder og intelligente distribusjonsnett: **1 mrd. kr** i reduserte investeringer i nettinfrastruktur.
- **Solenergi og solcellematerialer:**
 - Metallurgisk fremstilling av silisium (REC Solar): 1,1 mrd. kr (omsetning 2017)
 - Avanserte systemer for drift og vedlikehold (Scatec): 1,5 mrd. kr (omsetning 2017)

Norsk solbransje har hatt en sterk vekst de siste fem årene. Case-bedriftene i deltema solenergi hadde en samlet omsetning på mer enn 3 mrd. kr i 2017, og der nær 100 % var eksport. Selv om lønnsomheten foreløpig har vært svak, så har det f.eks. gitt store sysselsettingseffekter.

Realisert økonomisk effekt: 16 mrd. kr i Norge (21 mrd. kr inkl. Europa)



Figur 7 Estimerte økonomiske effekter fra porteføljen på 48 case. Grønne kuler er realiserte effekter i Europa. Se vedlegg 2 for informasjon om hvordan effektene er summert.

Industri: Potensialet for kostnadsreduksjoner er stort (primært energikostnader). Forenklete estimer for de seks casene som inngår i deltemaet tilsier at potensialet kan være på mellom 30 og 40 mrd. kr basert på energieffektiviseringspotensialet på 10 TWh/år som er dokumentert i to av casene. Realisering er selvsagt avhengig av opptrapping og industriell implementering.

Vannkraft: Flere innovasjoner har et betydelig potensial for å bidra til reduserte eller utsatte investeringer, reduserte driftskostnader eller økt salgsværdi av produsert kraft. Nåverdien for fire av de seks vannkraft-casene er beregnet ca. 25 mrd. kr.

Havari i vannkraftturbiner er kostbart. Bruk av nye metoder og verktøy kan redusere sannsynligheten for havari i nye Francis vannkraftturbiner fra 10 % (i dag) til 5 %. Potensiell verdi utgjør 2 mrd. kr for eksisterende turbiner globalt.

Bedre kunnskap om bla. prediksjon av levetid til kritiske komponenter i vannkraftsystemet og oppgradering av sandfang i norske kraftverk har et samlet økonomisk potensial på mer enn 6 mrd. kr. De økonomiske effektene kommer kraftselskapene, forbrukerne og samfunnet til gode.

Energisystemet spiller en avgjørende rolle for å ivareta et lands eller et samfunns forsyningssikkerhet samtidig som det legger til rette for god konkurransekraft og at klima og miljøhensyn ivaretas på en god måte. Verdien av god forsyningssikkerhet er spesielt krevende å kvantifisere, og fordi tilgangen til energi er så grunnleggende viktig for alle samfunnsfunksjoner både i offentlig og privat sektor. Økonomisk effekt er primært reduserte eller utsatte investeringer i kraftnettet.

Tre av energisystem-casene representerer mer enn 6 mrd. kr i reelle utsatte investeringer i Norge som følge av bedre kunnskap om levetid og optimal utbygging av nettinfrastrukturen. Potensialet i Europa er trolig mer enn 40 mrd. kr.

FME CINELDI⁴ har tidligere estimert at smarte strømnnett kan spare kraft-Norge for anslagsvis 15 mrd. kr i fremtidige nettinvesteringer, hvorav AMS (smarte strømmålere) utgjøre en andel av dette (tallet inngår ikke i Figur 7).

Bioenergi: Ressurspotensialet for bruk av biomasse i Norge anslått til 30 TWh/år frem til 2030 av Miljødirektoratet⁵. Bioenergiforbruket er i dag ca. 18 TWh, og resterende 12 TWh utgjør et ikke utnyttet ressurspotensial. Omsatt til økonomisk potensial utgjør dette i størrelsesorden 5 mrd. kr/år (0,4 kr/kWh).

CCS (fangst, transport og lagring av CO₂) henvender seg til et foreløpig svært begrenset marked. Om det norske fullskalaprojektet blir realisert, vil norske aktører kunne stå godt rustet i konkurransen i et fremtidig marked for CO₂-håndtering i Europa. Omsetningen⁶ knyttet til kostnadene for CO₂-håndtering vil kunne ble mellom 65 og 400 mrd. kr i 2030 og mellom 190 og 900 mrd. kr i 2050. Siden det foreløpig er svært usikkert om CCS vil bli tatt i bruk i stor skala, og med lagring på norsk sokkel, så er ikke det økonomiske potensialet synliggjort i Figur 7.

For de øvrige områdene – bygg og områder, sol og nullutslippstransport – har det vært vanskelig å estimere potensialet siden fremtidig markedsutvikling og politiske prioriteringer er svært usikre. Det økonomiske potensialet er derfor karakterisert som «mange milliarder kroner».

2.2.2 Redusert energibruk

Realisert redusert energibruk er **26 TWh/år** (2 TWh i Norge og 24 TWh i resten av Europa pr. 2017). I sum tilsvarer dette 1/5 av norsk vannkraftproduksjon i 2017⁷.

Det er hovedsakelig to områder som har bidratt til redusert energibruk:

- **Industri:** CO₂ som kuldemedium i kjøleanlegg: **2 TWh/år** i Europa. Overgang til bruk av CO₂ (R-744) som kuldemedium i kjøle- og varmepumpesystemer har gitt store reduksjoner i energibruk og klimagassutslipp i europeiske supermarkeder. Anslagsvis 15 % er realisert i Norge.
- **Solenergi:** Norskprodusert solcellesilicium og solceller har erstattet fossile energikilder tilsvarende **24 TWh/år** (primært) i Europa og samtidig bidratt til lavere klimagassutslipp. Effekten er beregnet ut fra volum eksporterte råmaterialer og wafere.

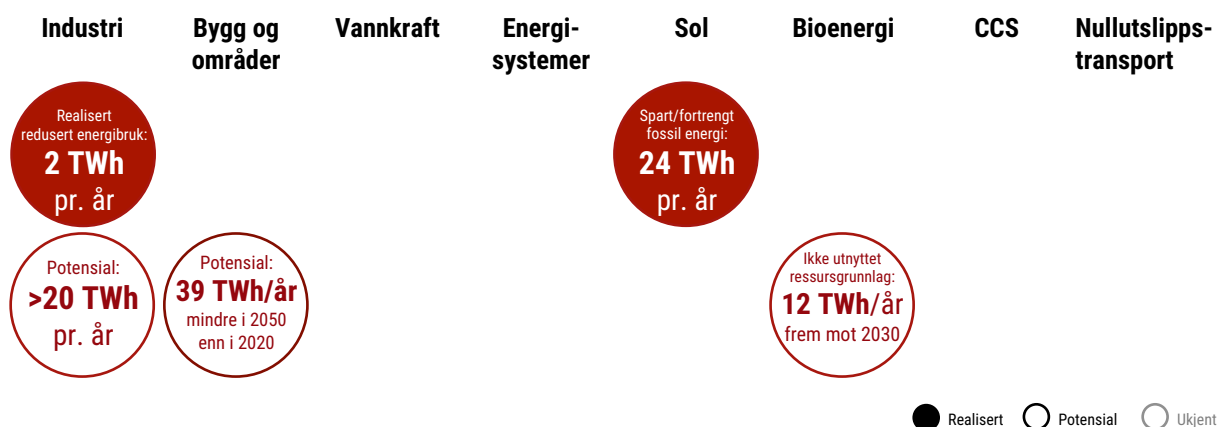
⁴ DN-artikkel 03.06.2016, gjengitt i Gemini: <https://gemini.no/2016/06/smart-strom-stor-besparelse>

⁵ Rapport M-386/2015 «Klimatiltak og utslippsbaner mot 2030 - Kunnskapsgrunnlag for lavutslippsutvikling» www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M386/M386.pdf

⁶ S. Størset, G. Tangen, O. Wolfgang, og G. Sand, «Industrielle muligheter og arbeidsplasser ved storskala CO₂-håndtering i Norge», SINTEF, 2018 .

⁷ Statistisk sentralbyrå, www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elektrisitet/aar

Realisert redusert energibruk: 2 TWh/år i Norge (26 TWh inkl. Europa)



Figur 8 Estimert reduksjon i energibruk i Europa fra porteføljen på 48 case. Røde kuler er realiserte effekter. Se vedlegg 2 for informasjon om hvordan effektene er summert.

Industri: I industrien er potensialet beregnet til mer enn 20 TWh/år og er knyttet til økt bruk av CO₂ som kuldemedium i kjøleanlegg, økt utnyttelse av spillvarme i industrien, og mer energieffektiv produksjon av aluminium og kobber.

Hydro har samarbeidet FoU-miljøene i flere tiår. Siden 1967 har energiforbruket pr kilo produsert aluminium blitt redusert fra 17 til 13,8 kWh/kgAl (snitt for Hydros fabrikker). Ved Hydro Karmøy Technology Pilot er energiforbruket nå redusert til under 12 kWh/kgAl. Realisert redusert energibruk i perioden 2008-2017 er ikke beregnet, men er betydelig.

Bygg og områder: Forskingen ved NTNU og SINTEF har gjort det mulig å innføre lavenerginivå og passivhusnivå i Byggteknisk forskrift i henholdsvis 2007 og 2017. Realisert redusert energibruk er ikke beregnet men potensialet for redusert energibruk frem mot 2050 er 8 TWh for *referansescenarioet*.

FME ZEN har utviklet scenarioer⁸ for innfasing av nullutslippsbygg i den norske bygningsmassen (bolig og yrkesbygg). Energibruken i den norske bygningsmassen forventes å bli 39 TWh mindre i 2050 enn i 2020. Av dette bidrar *ambisiøs innfasing* av nullutslippsbygg med 31 TWh. Potensialet er ikke knyttet isolert til casene, men dekker nullutslippsbygg og tilhørende teknologier og løsninger i litt bredere forstand. Vi synes likevel at det er viktig å synliggjøre dette potensialet.

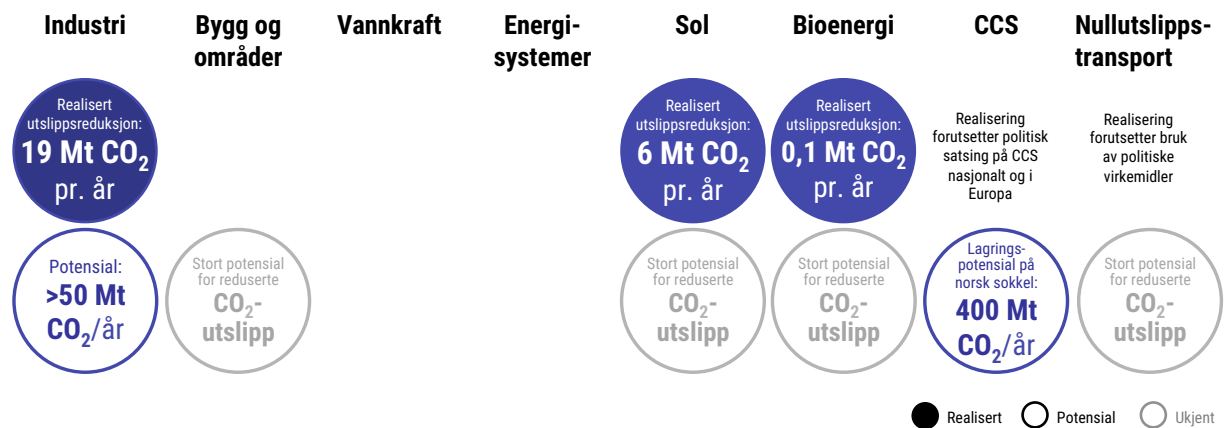
⁸ Sandberg, Næss, Brattebø, Andresen og Gustavsen (2018), «Effekter av innfasing av ZEB-teknologi i norsk bygningsmasse mot 2050»

2.2.3 Reduserte utslipp

Realiserte utslippsreduksjoner er mer enn **25 mill. tonn CO₂-ekvivalenter** pr. år, tilsvarende to ganger Norges årlige klimagassutslipp fra landbasert industri⁹:

- **Industri:** CO₂ som kuldemedium i kjøleanlegg: **19 mill. tonn CO₂/år** i Europa.
- **Solenergi:** Norsk solcellesilisium/wafere som erstatter fossile energikilder: **6 mill. tonn/år** globalt.
- **Bioenergi:** Biogassanlegg for behandling av matavfall: **0,1 mill. tonn/år** i Norge.

Realiserte reduserte klimagassutslipp: 25 Mt CO₂-e i Europa



Figur 9 Estimerte reduserte klimagassutslipp i Europa fra porteføljen på 48 case. Blå kuler er realiserte effekter. Se vedlegg 2 for informasjon om hvordan effektene er summert.

Industri: Identifisert potensial for reduserte utslipp er på mer enn 50 mill. tonn CO₂ pr. år. Dette gjelder kun for ett case, og trolig er det samlede potensialet for alle casene betydelig høyere på litt sikt. Det har dessverre ikke vært mulig å kvantifisere dette.

CCS: I dag er det ikke fullskala-CO₂-håndtering i Norge og dermed heller ikke realiserte effekter av forskningen. CO₂-håndtering er en viktig del av løsningen i alle klimascenarioer. Arbeidet norske forskningsinstitusjoner og norsk næringsliv gjør på dette området kan få avgjørende betydning for utviklingen på området. Eksempelvis er Aker Solutions sin CO₂-fangstløsning en av de mest energieffektive løsningene i verden, og selskapet har investert flere hundre millioner i utvikling av bla. Just Catch-teknologien.

SINTEF har publisert en studie¹⁰ som beskriver industrielle muligheter i Norge dersom fullskala CO₂-håndtering satses på i Norge, og realiseres i hele Europa. Potensialet er beregnet til 400 mill. tonn CO₂ i årlig lagringspotensial i 2050. En realisering vil ta i bruk langt flere forskningsresultater og teknologier enn hva som er dekket av de sju CCS-casene som inngår i effektstudien.

Innen bygg og områder, sol, bioenergi og nullutslippstransport er det ikke grunnlag for å si mer en at potensialet for fremtidig reduksjon av CO₂-utslipp er «stort».

⁹ Miljødirektoratet, www.norskeutslipp.no

¹⁰ S. Størset, G. Tangen, O. Wolfgang, og G. Sand, «Industrielle muligheter og arbeidsplasser ved storskala CO₂-håndtering i Norge», SINTEF, 2018.

2.3 Ikke-kvantifiserte effekter

Noen eksempler på realiserte, men ikke-kvantifiserte effekter er omtalt under.

2.3.1 Redusert materialbruk

Industri

- *Case 5 – Energieffektiv og miljøvennlig produksjon av kobber:* Glencore Nikkelverk har tatt i bruk større cellekar som reduserer gjennomsnittlig materialforbruk (i cellene) pr. produsert kilo kobber.

Bygg og områder

- *Case 6 – Bygningsintegrert ventilasjon:* Gjenbruk av eksisterende bygningsstrukturer (trappeløp) og mindre materialforbruk til kanaler.
- *Case 7 – ZEB Definition:* ZEB-definisjonen er en miljøambisjon for nye og eksisterende bygg. ZEB-definisjonen er allerede tatt i bruk av miljøbevisste aktører i byggebransjen. Standarden muliggjør forskriftsendringer raskere enn hva som ellers ville vært tilfelle, og omfatter blant annet materialbruk. Standarden vil bli implementert i fremtidige tekniske byggeforskrifter og vil dermed sette føringer for hvordan fremtidens boliger og yrkesbygg skal bygges. Dette vil fremtvinge økt bruk av miljøvennlige materialer.

Solenergi og solcellematerialer

- *Case 3 Effektiv produksjon av høykvalitetswaferer:* NorSun har utviklet nye løsninger for saging av waferer med diamantråd, sammen med SINTEF og verdensledende leverandører. Med de nye løsningene kan wafer-tykkelsen reduseres betydelig, samtidig som forbruket av diamantråd halveres og sagstøvet kan gjenvinnes.

Bioenergi

- *Case 1 – Effektive enzymer for bioraffinerier:* Raskere omdanningshastighet og enzymatisk nedbrytning av cellulose ved hjelp av hydrogenperoksid gjør at kapasiteten og størrelsen på prosessanleggene kan reduseres (pr. produsert volum). Hydrolysedelen i et fremtidig fullskala anlegg kan dermed være vesentlig mindre enn tidligere antatt, og med lavere materialforbruk. Foreløpig er enzymene og ny prosess tatt i bruk i et demo-anlegg.

CCS

- *Case 1 – Energi- og kostnadseffektiv CO₂-fangst (SOLVit):* Aker Solutions sin modulære løsning for CO₂-fangst («Just Catch») er 35 % mer energieffektiv enn eksisterende teknologier. En fysisk mer kompakt løsning, samt bruk av robuste/stabile væskeblandinger som skiller ut CO₂, gir redusert materialbruk i prosessanlegget.

Nullutslippstransport

- *Case 1 – Silisium til batterier:* Cenate har utviklet en ny høyvolum produksjonsprosess og nye, nanostrukturerte silisiumkompositter som gir en betydelig økning av batterikapasiteten til Li-Ion-batterier. Dette medfører at materialbruken reduseres pr. energienhet (kWh) i batteriene.

2.3.2 Økt produksjon/bruk av fornybar energi

Industri

- *Case 3 – Økt utnyttelse av lavtemperatur spillvarme:* Et nytt integrert varme- og kjøleanlegg installeres nå ved TINEs nye meierianlegg utenfor Bergen. Anlegget benytter energilagring (for å redusere effekttopper) og skal benyttes både i produksjonsprosessen og til kjøling av byggene. Dette gjør at spillvarmen utnyttes langt bedre (gjenbruk), noe som vil gi reduserte energikostnader og mindre klimagassutslipp.

Bygg og områder

- *Case 7 – ZEB Definition:* Et nullutslippsbygg produserer nok fornybar energi til å kompensere for byggets totale klimagassutslipp gjennom hele levetiden. Definisjonen (foreløpig en «miljøambisjon») er allerede tatt i bruk av miljøbevisste aktører i byggebransjen, noe som har bidratt til økt bruk av fornybar energi. Når definisjonen bli implementert i fremtidige tekniske byggeforskrifter så vil dette gi forskriftsmessige krav om økt lokal produksjon av fornybar energi.

Energisystemer

- *Case 7 – Distribuert produksjon i nettet:* Reduserte kostnader ved tilknytning av distribuert produksjon kan bidra til at utbygging av småkraftverk blir lønnsomt.

Solenergi og solcellematerialer:

- Alle casene har som grunnleggende formål å bidra til økt produksjon av fornybar energi.
- *Case 1 – Metallurgisk fremstilling av silisium:* REC Solar sin produksjon av ingots på Herøya tilsvarer en solcellekapasitet på 900 MWp og en kraftproduksjon på 1 TWh/år.

Bioenergi

- *Case 3 – Biogassverdikjede for matavfall:* Formålet med prosjektet er å produsere biogass som blant annet kan oppgraderes og erstatte fossilt drivstoff.
- *Case 5 – Laveffekts vedovn for lavenergihus:* Dovre har utviklet en ovn med høy virkningsgrad, lang brenntid og med minimale partikkelutslipp, selv ved lav effekt. Dette gjør at vedfyring blir mer egnet for lavenergihus. Om lag 1000 ovner er solgt.

Nullutslippstransport

- *Case 4 – Elektrifisering av skip:* Batterielektrisk drift er installert og i kommersiell bruk i flere norske båter og mindre skip. Norske skip med batteridrift utgjør ca. 35 % av de som hittil er bygget i verden. I løpet av tre år vil Norge ha rundt 70 el- og hybridferger.

2.3.3 Økt sikkerhet, redusert risiko og helsegevinster (HMS)

Industri

- *Case 5 – Energieffektiv og miljøvennlig produksjon av kobber:* Glencore Nikkelverk har erstattet blyanoder med anoder i titan og renser nå avgasser som inneholder tungmetaller. Dette har gitt forbedret miljø inne og ute. Dette er direkte resultater av samarbeid med forskningsmiljøene.

Bygg og områder

- *Case 6 – Bygningsintegrert ventilasjon:* Powerhouse Kjørbo (pilotbygg) har en bygningsintegrert ventilasjonsløsning (et trappeløp) som bidrar til å redusere elforbruket til ventilasjonsvifter med rundt 95 %. Løsningen tilfredsstiller alle krav i forskrifter til luftmengder og temperatur, dvs. forbedret innemiljø.

CCS

- *Case 1 – Energi- og kostnadseffektiv CO₂-fangst (SOLVit):* Aker Solutions og forskningsmiljøene har utviklet miljøvennlige væskeblandinger (solventer) som benyttes i fangstprosessen. Løsningen gir også vesentlig mindre tap av solventer.
- *Case 5 – Geofysiske metoder for overvåking av undergrunnslagring av CO₂:* Prosjektet muliggjør kostnadseffektiv overvåking og oppfyller regulatoriske krav. Dette er med på å muliggjøre sikker lagring på norsk sokkel.
- *Case 6 – Bedre sementering av CO₂-brønner:* Teknologien reduserer risikoen for lekkasje.

2.3.4 Økt forsyningsikkerhet

Energisystemer

- *Case 1 – Optimal utbygging, drift og vedlikehold av transmisjonsnett:* Metoder og verktøy er tatt i bruk av flere systemansvarlige nettselskap (TSO) – Statnett, RTE, Landsnet m.fl.
- *Case 2 – Levetidsutnyttelse for krafttransformatorer:* Bedre forståelse for teknisk tilstand og levetid til krafttransformatorer reduserer faren for havari og påfølgende bortfall av kraftproduksjon.

Solenergi og solcellematerialer

- *Case 5 – Avanserte systemer for drift og vedlikehold av solparker:* Løsningene fra Scatec Solar bidrar til økt driftssikkerhet for solparker.

2.3.5 Redusert miljøinngrep (utslipp inngår ikke, dekket i tidligere punkt)

Vannkraft

- *Case 2 – Miljødesignhåndboka:* Håndboken for miljødesign i regulerte laksevassdrag er et verktøy for å implementere miljødesign med mest mulig positiv miljøeffekt samtidig som at man opprettholder en høy utnyttelse av vassdragets kraftproduksjonspotensial. Metodikken i håndboken har blitt en faglig referanse («standard») i utforming av miljøundersøkelser og tiltak i norske laksevassdrag.

Metoden er tatt i bruk ved planleggingen av en utvidelse av Sira-Kvina vassdraget. Detaljprosjektering er vedtatt og oppstart av byggearbeider vil skje våren 2019. Det forventes blant annet økt årlig økt produksjon laksesmolt i Kvina som følge av laksetrapp i Rafoss. I tillegg blir det bedre vilkår for andre biotoper i vassdragene, og tilgjengelighet for friluftslivsaktivitet vil forbedres.

Solenergi og solcellematerialer

- *Case 4 – Systemløsninger for bygningsintegrerte solceller:* Fasadeintegrerte løsninger er installert på en rekke bygg i Norge, og på en arkitektonisk god måte med minimale visuelle inngrep.

2.3.6 Bedre beslutninger

I to tredjedeler av de 48 casene har forskningsresultater, kunnskap og verktøy gitt til bedre og mer faglig kvalifiserte beslutninger. Selv om dette i stor grad er skjønnsmessige vurderinger, så er for eksempel korttidsplanlegging av vannkraftproduksjon et konkret eksempel på beslutningsstøtteverktøy som har gitt høy økonomisk avkastning siden 2004. Bruk av ZEB-definisjonen ved planlegging av nullutslippsbygg, og Miljøhåndboka ved planlegging av vannkraftutbygging er to andre gode eksempler som både bransjen og forvaltningen tatt i bruk og har nytte av.

2.3.7 Styrket utdanning og rekruttering til området

Energiforskningen har styrket utdanning og rekrutteringen til de åtte deltemaene. Rundt 1600 Master-kandidater og 450 PhD/post.doc har blitt uteksaminert. Sammen med forskningsresultatene (også de som ennå ikke er tatt i bruk eller kommersialisert) utgjør dette avgjørende kunnskap og ressurser for å opprettholde, omstille og utvikle norsk, grønn konkurransedyktig industri.

Rapporteringen fra FME-ene på vegne av de enkelte deltemaområdene er basert på litt ulike forutsetninger og detaljeringsgrad, og Tabell 3 må derfor betraktes som veiledende.

Uteksaminert 2008-2017	Master	PhD	Post.doc
01 Industri	100	35	
02 Bygg og områder	200	30	10
03 Vannkraft	275	60	
04 Energisystemer	800	64	
05 Solenergi og solcellematerialer	75	25	20
06 Bioenergi	46	33	
07 CCS	81	104	75
08 Nullutslippstransport	20	15	10
Sum (avrundet)	1600	350	100

Tabell 3 Sum uteksaminerte Master-, PhD- og post.doc-kandidater i perioden 2008-2017 som har vært tilknyttet FME-ene som har hatt ansvar for de åtte deltemaene. Siden rapporteringen ikke er helt konsistent fra FME-ene er summene avrundet nedover. Noen masterkandidater kan ha gått videre med PhD, og noen PhD-kandidater kan ha gått videre med post.doc. Sum kandidater (antall personer) er derfor noe lavere enn summen (2050) i tabellen. Kilde: FME-sentrene.

2.3.8 Utvikling av sterke nasjonale forskningsmiljø

Som påpekt i metodekapittelet side 144 så det en overvekt av *modne* prosjekter og case som inngår i effektstudien.

FME-ene er nasjonale A-lag og som på flere fagfelt er i den internasjonale eliteklassen. Dette er dokumentert i tidligere evalueringer, f.eks. midtvegsevalueringen¹¹ i 2013 der et uavhengig evalueringspanel har gjennomgått aktiviteter og resultater i sentrene. Midtvegsevalueringen behandlet BIGCCS (forløperen for NCCS), CenBio (forløperen for FME Bio4Fuels), CEDREN (forløperen for HydroCen), Solar United (forløperen for SuSolTech) og ZEB (forløperen for ZEN). Siden flere av casene har vært en del av både de evaluerte og de etterfølgende sentrene, så kan det antas at mange av de utvalgte casene har bidratt til å utvikle disse forskningsmiljøene, enten direkte eller indirekte.

I følge egenrapportering fra sentrene (se Tabell 3) så er det uteksaminert ca. 450 PhD og post.doc-kandidater i perioden 2008-2017, noe som både gir et viktig bidrag til forskningsmiljøene og til industri og næringsliv.

2.3.9 Flytting av kunnskapsfronten gjennom internasjonalt samarbeid

Kunnskapen er utviklet i samarbeid med nasjonale og internasjonale brukerpartnere og forskningspartnere. Effekten i mange av casene er at norsk kunnskap og teknologi er eksport til utenlandske produsenter og leverandører.

Sluttrapporten¹² for FME-sentrene 2009-2017 konkluderer med at «*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*» og «*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.*»

Selv om Impello og Menon ikke har gjort detaljerte vurderinger av temaet, så er flere av casene som har gitt størst effekter mht. økonomisk gevinst, energibruk og utslipp resultater av banebrytende forskning. Hvis ikke hadde ikke disse casene hatt kommersiell verdi.

¹¹ «Midterm Evaluation of Centres for Environment-friendly Energy Research», Forskningsrådet (2013)

¹² «Forskningssentrene for miljøvennlig energi (FME). Resultater og høydepunkter fra åtte FME-er», Forskningsrådet (2018)

2.4 Andre identifiserte effekter

I gjennomgangen av de utvalgte casene så har vi notert flere effekter enn de 12 som er forsøkt systematisert. Listen under er ikke komplett, men viser flere gode eksempler:

Kunnskapsoverføring

- *Internasjonalt kompetansebidrag*: Professorene Anders H. Strømman og Francesco Cherubini ved NTNU er hovedforfattere til FNs sjette klimarapport (IPCC). Strømman er hovedforfatter for det nye transport-kapittelet om hvordan transportsystemer kan endres for å redusere klimaendringer i klimarapporten som slippes i 2021. Cherubini er hovedforfatter for kapitlet om sammenhenger mellom bruk av land og tilhørende klimarespons i spesialrapport om klimaendringer og landområder, som slippes i 2019.
- Nye (de facto) bransjestandarder tatt i bruk av industrien:
 - ZEB Definition for nullutslippsbygg (case 7, Bygg og områder).
 - Miljødesignhåndboka (case 2, Vannkraft).
 - REN-blad som beskriver «beste praksis» for utbygging av nett og nettinfrastruktur (gjelder flere case i Energisystemer).
- I HiFrancis-prosjektet (case 1, Vannkraft) har alle de store turbinprodusentene i verden deltatt, og resultatene har blitt gjort tilgjengelige for leverandørindustrien. Formålet til prosjektet har vært å redusere fare for havari i nyinstallerte Francis høytrykksturbiner.

Økt forskningsaktivitet (noen eksempler)

- HiFrancis-prosjektet (jfr. forrige avsnitt) har ført til at flere av industripartnerne har styrket sin interne forskningsaktivitet. EDR Medeso har f.eks. firedoblet FoU-aktiviteten innen vannkraft etter oppstarten av prosjektet.
- Aker Solutions har gjennom de siste årene investert mer enn 400 mill. kr i utviklingen av CO₂-fangstløsningen «Just Catch». Dette er både intern og ekstern forskning.
- Resultatene fra forskningen har ført til nye kommersielle forskningsoppdrag, eksempelvis for case 4 (CCS) innen rør for CO₂-transport og case 7 (CCS) innen design av smarte CCS verdikjeder.

Forskningsinfrastruktur, piloter og demo-anlegg

- Det er bygget opp viktige laboratorier og forskningsinfrastruktur på de fleste av områdene. Disse er finansiert gjennom Forskningsrådets infrastrukturprogram, andre offentlige midler og privat finansiering. Noen eksempler på laboratorier er:
 - På CCS-området er infrastrukturen ECCSEL og Tiller CCS lab etablert.
 - IFE har utviklet nasjonalt senter for testing av hydrogenteknologi (IFE Hynor) og den nasjonale forskningsinfrastrukturen – the Norwegian Fuel Cell and Hydrogen Centre er nylig åpnet.
 - Norwegian laboratory for silicon-based solar cell technology representerer en avansert infrastruktur for solcelleteknologi. På byggområdet er det bygget en Living Lab ved NTNU og prosjekteringen av et større fullskala kontorbygg som skal teste ut nullutslippsteknologi er i gang.

- En rekke demoanlegg og piloter er etablert, disse har ofte også hatt annen offentlig og privat finansiering, f.eks. fra ENOVA, Innovasjon Norge eller andre offentlige kilder:
 - Hydro Karmøy Technology pilot (case 4, Industri) for energieffektiv aluminiumsproduksjon.
 - Glencore Nikkelverk kobberpilot (case 5, Industri), ni nullutslipps pilotbygg (Bygg og områder)
 - Demoinfrastruktur i FASaD-prosjektet (case 4, Energisystemer) er etablert i det fysiske nettet hos tre nettselskaper.
 - Borregaard (case 1, Bioenergi) har investert 120 mill. kr i et demoanlegg som blant annet prosesserer cellulose ved hjelp av enzymer.
 - Silva Green Fuel (case 2, Bioenergi) har vedtatt å bygge et demo-anlegg for avansert biodrivstoffproduksjon til 500 mill. kr.
 - IFE Kjeller og SINTEF Oslo (case 5, Nullutslippstransport) gjennomfører demonstrasjon av lokal produksjon, lagring, komprimering og tilførsel av hydrogen til transportformål.
 - Pilotbyggene knyttet til FME ZEB viser at det er fullt mulig å bygge, renovere og drifte nullutslippsbygg.

Anvendelse og kommersialisering av teknologi

- Produktkommersialisering:
 - **Flexit** har besluttet å kommersialisere en membranvarmegjenvinner for lav- og nullutslippshus (case 2, Bygg og områder).
 - **SINTEF Energi** selger SHOP programvare til kraftbransjen (case 7, Vannkraft).
 - Solcellesilisium fra **REC Solar** (case 1, Sol) og bygningsintegreerte solceller fra **Solenergi Fusen** (case 4, Sol) er kommersielle produkter.
 - Biogassanlegg (case 3, Bioenergi) er kommersialisert av **Cambi**.
 - **Dovre** sine laveffekts vedovner for lavenergihus (case 5, Bioenergi) er i kommersielt salg.
 - **Aker Solutions** (tidligere Aker Clean Carbon) har kommersialisert fangstløsningen «Just Catch» (case 1, CCS).
 - **Elkem** selger *Silgrain® e-Si* (case 2, Nullutslippstransport) til industrielle kunder, optimalisert for bruk som anodemateriale i batterier.
- Beregningsverktøy er tatt i bruk i undervisning, til interne og industrielle formål:
 - Eksempler som ikke er omtalt tidligere er ZEB GHG Tool (case 3) og ZEB Energy Tool (case 4), begge fra Bygg og områder.
 - Flere av de øvrige casene har utviklet interne verktøy som er å betrakte som eksperimentelle verktøy og prototyper.
- Patenter (eksempler – antall patenter og søknader er ikke systematisk kartlagt):
 - Patentsøknad for hydrogen fra PEM vannanalyse (case 3, Nullutslippstransport) – patentsøknad.
 - Patent for enzymer for biokjemisk omdanning av biomasse til glukose (case 1, Bioenergi). I 2011 kjøpte danske Novozymes bruksrett til patentet, og produserer nå enzymene for salg til den internasjonale bioraffineribransjen.

- Bedriftsetableringer:
 - Cenate (case 1, Nullutslippstransport) er etablert som en spin-off fra Dynatec. Cenate skal benytte en modifisert versjon av Dynatec sin reaktor for solcelleproduksjon til produksjon av nano-Si for anodematerialer til batterier.
 - Statkraft og svenske Södra etablerte selskapet Silva Green Fuel i 2015 for å utvikle produksjon av biodrivstoff fra skogbiomasse (case 2, Bioenergi).
 - Aker Clean Carbon (nå Aker Solutions) ble etablert i 2007 og drift startet opp i 2008. Formålet var å utvikle og kommersialisere CO₂ fangstløsninger (case 1, CCS).

Økt sysselsetting

Forskningsaktivitetene har i sum gitt store sysselsettingseffekter, både internt i forskningsmiljøene og ved FME-ene, og ikke minst i eksternt i industri og næringsliv. Siden det er svært krevende å kartlegge direkte og indirekte sysselsettingseffekter så har vi valgt å ikke gjøre dette i denne studien.

2.5 Oppsummering

Hva viser effektstudien av 48 case?

- (1) Ja, forskning lønner seg: Akkumulert, *realisert* økonomisk effekt for perioden 2008-2017 er **16 mrd. kr i Norge** – ca. fire ganger Forskningsrådets bevilgninger til de deltema rapporten dekker. Identifisert *potensiell* økonomisk effekt er 25 ganger dette når Europa inkluderes.
- (2) Norsk og europeisk industri har redusert energibruken med 26 TWh/år og klimagassutslipp med 25 mill. tonn CO_{2ekv}/år, dels gjennom energieffektivisering industrien og dels ved at norske solcellematerialer har erstattet bruk av fossil energi.
- (3) Forskningen har gitt viktige bidrag til å styrke energiforsyningssikkerheten i Norge.
- (4) Potensialet fremover er betydelig i de 48 casene – mye er ikke realisert ennå. Potensialet i de øvrige prosjektene som ikke er valgt ut som case er ikke vurdert, men kan være høyt.

Påviste og potensielle effekter for åtte deltema

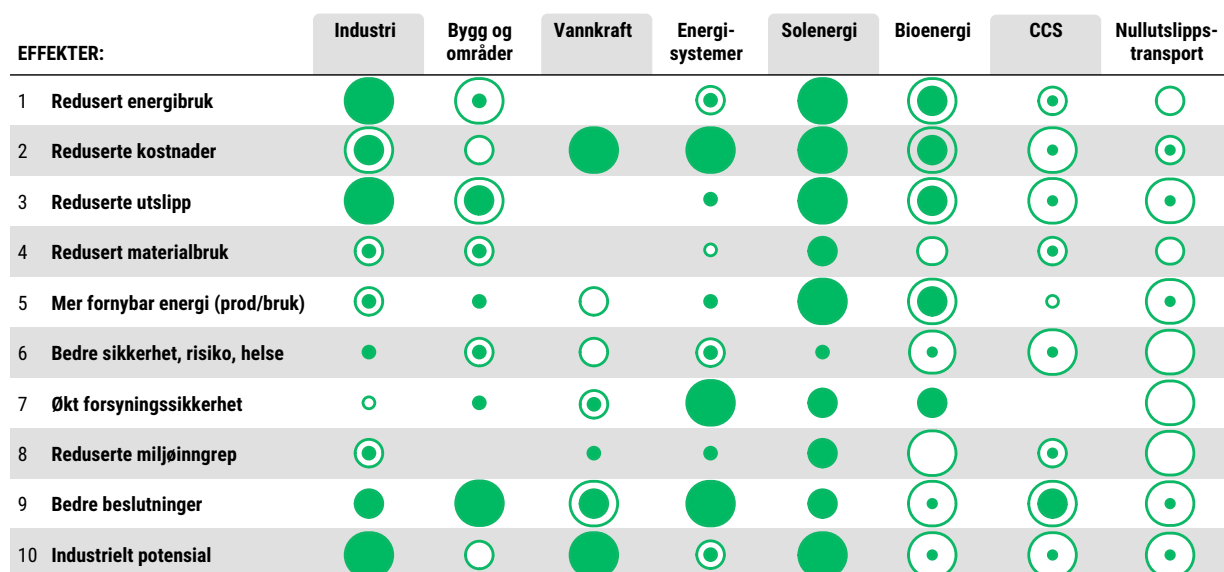
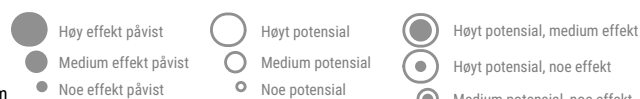
Figuren under er en visualisering av effektene av forskningsinnsatsen innenfor de åtte deltemaene. Effektene er en skjønsmessig aggregering av de individuelle case-vurderingene som er gjort i deltemarapportene.

Effektkartet gjelder kun for de 48 casene som er beskrevet i rapporten – kartet gir derfor ikke en helhetlig analyse av *hele* forskningsfeltet som består av ca. 670 prosjekter.

Fargene på sirklene illustrerer om et område har påviste/realiserte effekter, om det i all hovedsak er potensielle effekter eller om det er en kombinasjon. Den relative størrelsen for effektene kan variere mer enn det figuren viser. Områdene er ulike. Solenergi-casene er kommersialisert og har dermed høy påvist effekt på et flertall av effektområdene. Innenfor CCS og nullutslippstransport er det i større grad er potensielle effekter som er synliggjort.

Effektkart for 48 case

NB: Kartet gjelder kun for 48 utvalgte case fra en portefølje på 670 prosjekter som har mottatt bevilgninger fra Forskningsrådet i 2008-2017.



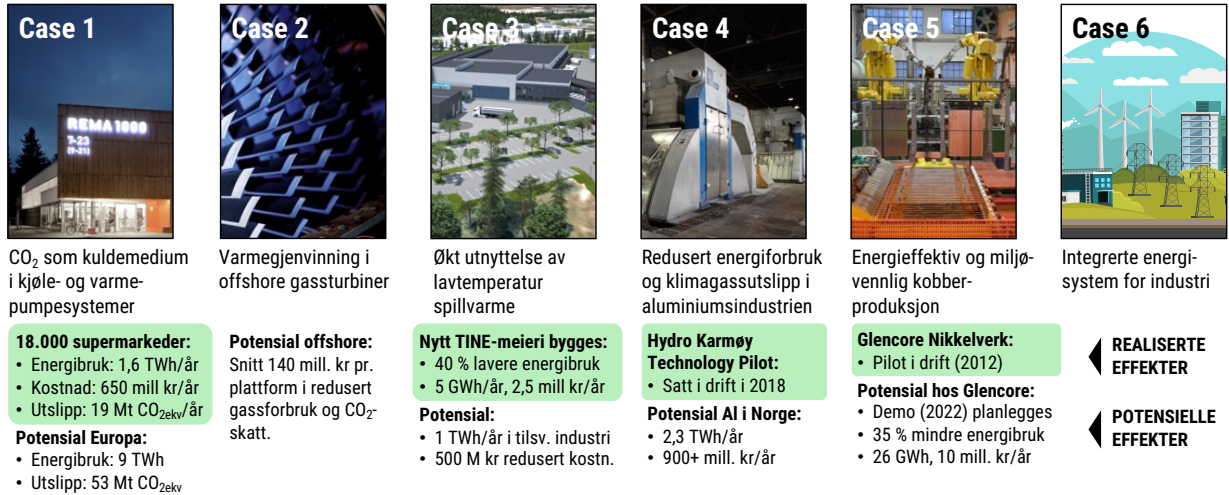
Figur 10 Visualisering av realiserte og potensielle effekter for åtte deltema. Effektene er en aggregering av individuelle case-vurderinger innenfor hvert deltema og er skjønsmessig vurdert. Gjelder kun de 48 casene som inngår i studien.

3. Deltema 1 – Energieeffektivisering i industrien



3.1 Sammendrag

Effektvurderingen av deltema «Energieffektivisering i industrien» er utarbeidet av Impello i samarbeid med SINTEF Energi. Seks prosjekter er studert mht. *resultater, effekter og potensielle effekter*:



Figur 11 Utvalgte case fra forskningstemaet energieffektivisering i industrien.

Resultater

Innenfor temaet energieffektivisering i industrien er det gjennomført ca. 30 store forskningsprosjekter de siste ti årene. Det er utviklet minst 50 innovasjoner med potensial for industriell anvendelse, blant annet metoder og simuleringsmodeller, komponenter, systemer og prosesser. Flere av de pågående forskningaktivitetene er forankret i FME HighEFF (Centre for an Energy Efficient and Competitive Industry for the Future, 2016 – 2024).

Siden 2008 er det uteksaminert 35 PhD-kandidater og utdannet ca. 100 masterkandidater. Disse representerer viktig kunnskap for norsk og europeisk energikrevende industri som skal gjennom store endringer de kommende årene.

Realiserte og potensielle effekter

Energieffektivisering i industrien

- Realiserte effekter
- Potensielle effekter

	Modenhet (TRL)	Redusert energibruk	Reduserte kostnader	Reduserte utslipp	Redusert materialbruk	Økt bruk av fornybar energi	Bedre sikkerhet, risiko helse	Økt forsyningsikkerhet	Reduserte miljømgrep	Bedre beslutninger	Industrielt potensial	Utdanning og rekruttering	Stryket nasjonale FoU miljø	Internasjonalt samarbeid
Case 1 CO ₂ som kuldemedium i supermarkeder (Rema 1000)	9	●	●	●					●	●		●	●	●
Case 2 Reduserte utslipp fra offshore gassturbiner	2/3	○		○	○				○	●		●	●	●
Case 3 Utnyttelse av lavtemperatur spillvarme (TINE)	4/8	●	●	●	●				●	●		●	●	●
Case 4 Energibruk/utslipp i aluminiumsindustrien (Hydro)	7	●	●	●	●				●	●		●	●	●
Case 5 Energieffektiv produksjon av kobber (Glencore Nikkelverk)	7	○	●			●			●	●		●	●	●
Case 6 Integrerte energisystem for industriklynger	2/8	○	○	○	○	○	○	○	●	●		●	●	●

Figur 12 Realiserte effekter, potensielle effekter og teknologisk modenhet (EUs TRL-skala 0-9, EU Horizon 2020 TRL-definisjon: <https://publications.europa.eu/s/iDQK>)

Realiserte effekter: Forskning initiert av SINTEF og NTNU har vært en svært viktig pådriver for å gjeninnføre CO₂ (R-744) som kuldemedium i kjøle- og varmepumpesystem, blant annet i

supermarkeder. SINTEF og NTNU er i dag blant verdens fremste forskningsmiljøer på dette området. Denne kunnskapen har vært sentral i minst tre av casene i studien.

- CO₂ benyttes som kuldemedium i 18.000 supermarkeder globalt. Kunnskap og teknologi ved NTNU og SINTEF har allerede bidratt til betydelig reduksjon i energibruk og klimagassutslipp, hhv. 1,6 TWh/år og 19 mill. tonn CO_{2ekv}/år.
- Energieffektive prosesser er tatt i bruk i industrien, bla. i piloter hos Hydro og Glencore Nikkelverk.
- TINE bygger nå nytt meieri utenfor Bergen som vil ha 40 % lavere årlig energibruk.
- Forskningen har bidratt til styrket utdanning og rekruttering til området, utvikling av sterke nasjonale forskningsmiljø, og flytting av kunnskapsfronten gjennom internasjonalt samarbeid.

Potensielle effekter: Store reduksjoner i energibruk og utslipp er identifisert gjennom ulike FoU-prosjekter og kan realiseres i norsk industri i årene fremover. Dette vil bidra til styrket konkurransekraft hos norsk prosessindustri. Innovasjonene og forskningsresultatene vil gi redusert energibruk, utslipp, miljøinngrep og reduserte energikostnader. Alle case er vurdert til å ha et industrielt potensial.

3.2 Om forskningstemaet energieffektivisering i industrien

I løpet av de ti siste årene har norske forskningsmiljø gjennomført om lag 30 store prosjekter innen temaet «energieffektivisering i industrien». Norske aktører har ledet og/eller deltatt i flere prosjekter med finansiering fra EU (FP7, H2020). Sentrale forskningsinstitusjoner på området er SINTEF, NTNU, Nofima, IFE, NORCE og Nord Universitet.

Flere store prosjekter har hatt stor betydning for utviklingen:

- KPN CREATIV (2009-2015)
- ROMA (2007-2013)
- EFFORT (2010-2014)
- SUPREME (2013-2018)
- IPN HalUP (2010-2014)
- STEP (2015-2019)
- FME HighEFF (2016-2024)

Sentrale forskningstema er:

- Prosesseffektivisering
- Materialteknologi
- Utnyttelse av overskuddsvarme
- Energilagring
- Varmepumpende prosesser og systemer, inkl. kuldeanlegg
- Industriklynger og termiske nett
- Optimalisering av fjernvarme- og nærvarmenett

En bærekraftig, energieffektiv og miljøvennlig industri, utvikles gjennom tett samarbeid mellom forskere, industri og akademia. Sentralt står kunnskapsoverføring mellom industri og FoU for å sikre relevans, teknologi/ kunnskapsoverføring og rekruttering.

Prosjektpartnere inkluderer Equinor, Hydro, Orkla, Danfoss, Nortura, REMA1000, Valeo, Skiforbundet, Glencore Nikkelverk, Elkem, FHF, Marine Harvest, Statkraft Varme, TINE, Vedde, Alcoa, Johnson Controls, GE, Epcon, Nortekstil, ToCircle, Nortura, Norgesgruppen, NSB, Finnfjord, Aker BP, Shell, Gassco og FFF.

Nøkkeltall 2008-2017

Samlet forskningsinnsats:	
RENERGI, ENERGIX	373 mill. kr
FME HighEFF	47 mill. kr
Uteksaminerte PhD-kandidater	30
Post.doc	25
Uteksaminerte master-kandidater	100

Tabell 4 Samlet forskningsinnsats består av finansiering fra Forskningsrådet, egeninnsats fra forskningsinstitusjonene og fra deltakende partnere (industri, næringsliv, offentlig virksomhet, mv.). Kilde: FME HighEFF

3.3 Referansebane

3.3.1 Energieffektivisering som en del av den globale løsningen

En bærekraftig og energieffektiv industri er viktig for å dekke behovene til en voksende verdensbefolkning. Viktigheten av energieffektivisering for å beskytte og forbedre det globale miljøet er vektlagt blant annet i den europeiske strategiske energiteknologiplanen (EUs SET-plan) hvor det slås fast at 19 % av bidraget for å nå 2-gradersmålet må komme fra forbedringer i energieffektiviseringstiltak i industrien¹³ IEA slår i tillegg fast at energieffektivisering i industrien bør stå for det største bidraget for å nå dette målet¹⁴.

I europeisk sammenheng utgjør overskuddsvarme eller spillvarme fra industrien 812 TWh pr. år¹⁵, som potensielt kan utnyttes. Utvikling av muliggjørende teknologi for innfangning, oppgradering og omforming av termisk overskuddsenergi er avgjørende. Prosess-optimalisering, styring, regulering, energiforvaltning (energy management) og politiske føringer, vil i tillegg øke intensiteten for energieffektivisering i industrien.

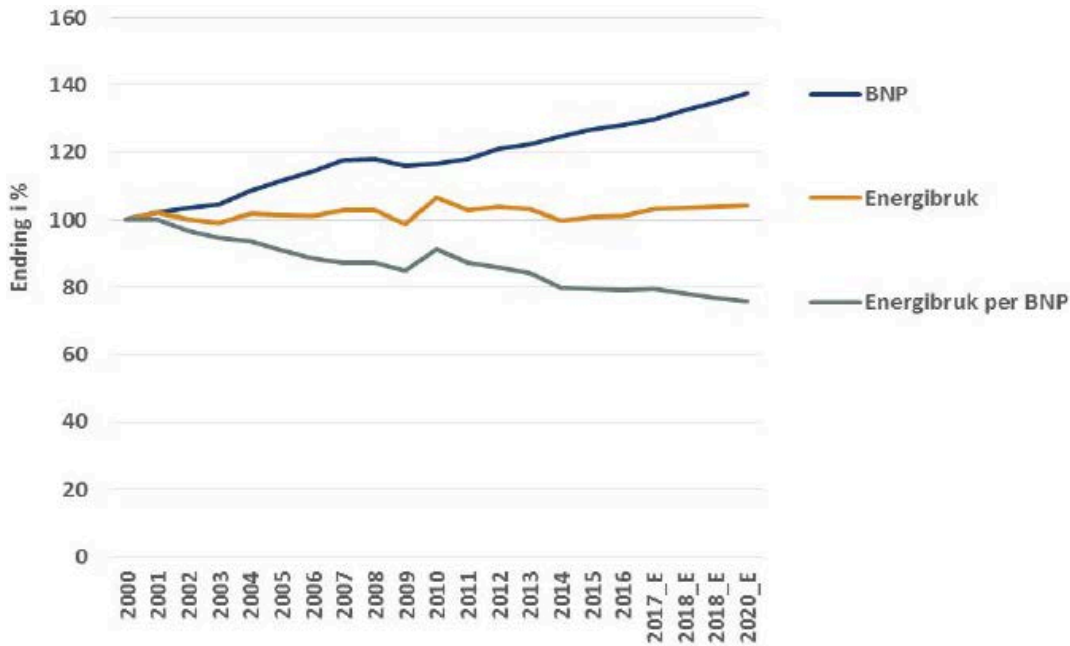
Norsk landbasert industri består av ca. 20 000 bedrifter og står for 30 % av energibruk på det norske fastlandet. 22 % av klimagassutslippene stammer fra fastlandsindustrien i Norge.¹⁶ Samlet energibruk i norsk fastlands-industri var i 2016 rundt 77 TWh/år, totalt inkludert energinæringer er tallet 93 TWh.

¹³ European Commission (2007). A European Strategic Energy Technology Plan (SET-plan): "Towards a low carbon future".

¹⁴ IEA (2014). Energy Technology Perspectives 2014: Harnessing Electricity's Potential.

¹⁵ Persson U. et al. Heat Roadmap Europe, Journal Energy Policy (2014)

¹⁶ Markedutviklingen 2017. Hovedtrender i Enovas satsingsområder



Figur 13 Sluttbruk av energi i GWh per BNP i milliarder kroner (Faste 2005-priser).
Kilde: SSB. Indeksform. År 2000=100

Energiintensiteten (energibruk per produserte vare) ser ut til å minke som vist i figuren over, og er redusert med ca. 20 % siden 2000 for de bedriftene som har rapportert. Blant faktorene som påvirker energibruken er energieffektivisering spesielt nevnt¹⁷. Forbedring i energieffektivitet har redusert energibruken med 15,3 TWh de siste årene. Det forventes at reduksjon i spesifikt energiforbruk skal øke. Om dette skal skje må det skje en betydelig forsknings- og utviklingsaktivitet, siden enkle tiltak i stor grad allerede er implementert.

3.3.2 Reduserte utslipp

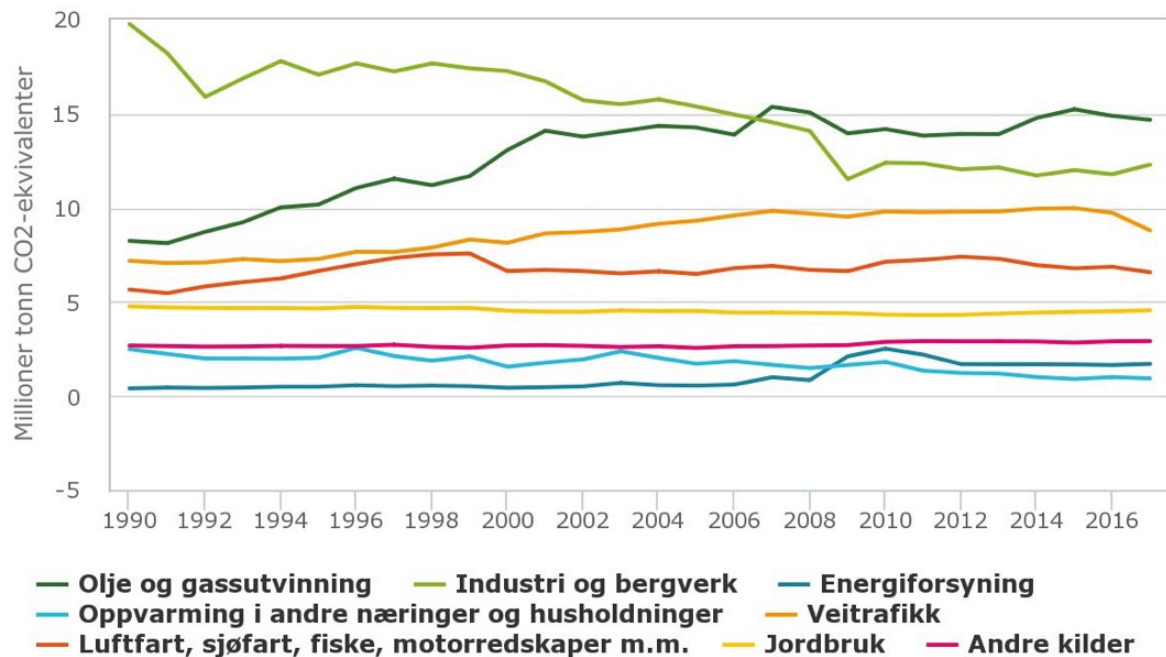
Over 50 % av Norges utslipp kommer fra industri, inkl. olje og gass. Reduserte utslipp kommer som et resultat av energieffektiviserings-tiltak, i tillegg til en omlegging til mer miljøvennlige teknologier og innsats-faktorer. En god del av den globale utslippsreduksjonen i industrien har skjedd pga. oppstart av nye industrier i såkalt energiintensive bransjer (metall, etc.), hvor bruk av ny teknologi har redusert utslipp per enhet betydelig.

Andre eksempler på hvordan industrien har redusert sine utslipp er:

- Overgang til mer miljøvennlige prosesser hvor for eksempel oljefyrte kjeler byttes ut med varmepumper.
- Bruk av naturlige arbeidsmedier.
- Utnyttelse av overskuddsvarme i industriklynger.

¹⁷ NVE: Energibruk i Fastlands-Norge. Rapport nr 25-2017

Utslipp av klimagasser i Norge fordelt på kilder

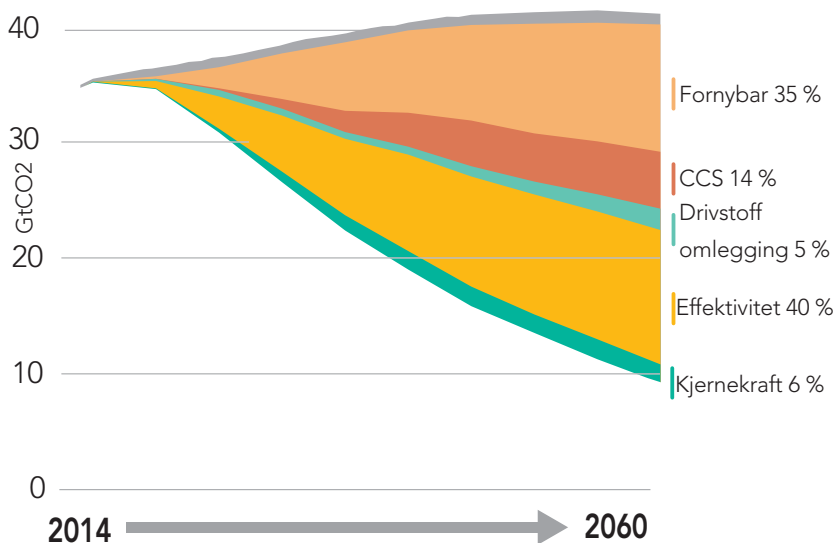


Figur 14 Utslipp av klimagasser i Norge. Kilde: Statistisk sentralbyrå

Energieffektivisering og CO₂-håndtering representerer det viktigste fremtidige bidraget til utslippskutt. Ifølge IEA (ETP 2017) i et 2060-perspektiv må 20 % av bidragene for å følge 2-gradersscenariet komme fra industrien, hvorav 7 % kommer fra energieffektivisering. Internasjonalt har man stort innslag av fossile energikilder. Følgelig vil energieffektivisering ha relativt sett større betydning for reduksjon av utslipp.

Globale CO₂-utslippsreduksjoner

Fordelt på ulike teknologier i togradersscenariet



Figur 15 Verden og oss. Næringslivets perspektivmelding 2018 (NHO)

3.4 Innovasjoner og utvalgte case

Av ca. 30 prosjekter er følgende case valgt ut:

- **Case 1 Rema 1000:** Energieffektive og miljøvennlige kjøle- og varmepumpesystem for supermarkeder – CO₂ som kuldemedium.
- **Case 2 Olje/gass:** Reduserte utslipp fra offshore gassturbiner ved bruk av varme-gjenvinning.
- **Case 3 TINE:** Økt utnyttelse av lavtemperatur spillvarme.
- **Case 4 Hydro:** Redusert energiforbruk og utslipp av klimagasser i aluminiumsindustrien.
- **Case 5 Glencore Nikkelverk:** Energieffektiv og miljøvennlig produksjon av kobber.
- **Case 6 Industriklynger:** Integrerte energisystem for industri

Case #1: CO₂-baserte kjøle- og varmepumpesystem for supermarkeder

SINTEF og NTNU har bidratt til utvikling av systemløsninger og komponenter for å benytte CO₂ som kuldemedium.

For supermarkeder er det utviklet innovative løsninger som integrerer kjøling, oppvarming og ventilasjon. Løsningen er nå enerådende i Norge og på full fart inn i andre markeder.

Kommersielle kuldeanlegg benytter syntetiske stoffer som HKFK og HFK som kuldemedium. De er kraftige klimagasser¹⁸, og ved utslipp bidrar stoffene til nedbrytning av ozonlaget (HKFK). Et typisk supermarked slipper ut over 20 % av kuldemediefyllingen pr. år. Dette tilsvarer årlige utslipp til atmosfæren fra hvert anlegg på 500 tonn CO_{2ekv}.

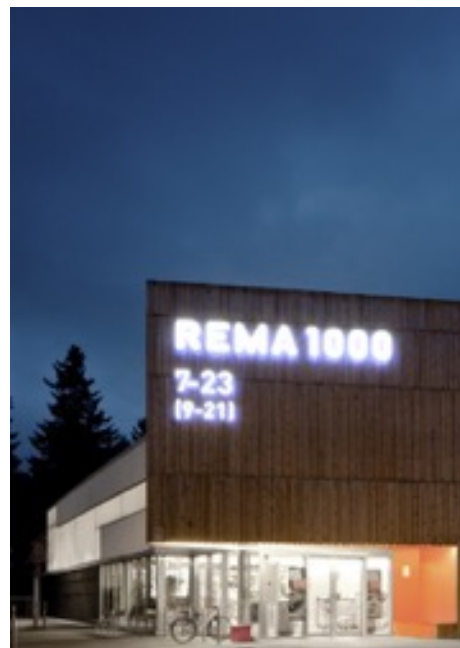
Som følge av internasjonale avtaler slik som Montreal-protokollen (Kigali-tillegget) og EU sin F-gass forordning skal disse syntetiske stoffene fases ut eller ned. Det er derfor et stort behov for alternativ teknologi. Naturlige arbeidsmedier, stoffer som forekommer naturlig i biosfæren, kan benyttes som alternativ. Eksempler er CO₂, ammoniakk og hydrokarboner. Høy effektivitet, sikker bruk og akseptabel systemkostnad er da en viktig forutsetning.

Effekter

- **18.000** av verdens supermarkeder har tatt i bruk CO₂ som kjølemedium allerede. Antall og geografisk utbredelse er raskt økende.
 - **19 Mt CO_{2ekv} i årlig utslippsreduksjon** ved å fjerne klimagasser fra kjøleanlegg og redusere energiforbruk.
 - **1,6 TWh/år (30 %)** i redusert energibruk.
 - **650 mill. kr/år** i reduserte energikostnader som tilfaller eiere av bygg/butikker..
- Effektene for norske supermarkeder utgjør ca. 15 % disse tallene.

Potensial

- **9 TWh/år** i samlet potensial for redusert energibruk i europeiske supermarkeder.
- Tilsvarer **53 Mt CO_{2ekv}** i reduserte utslipp pr. år.



Rema 1000 Kroppanmarka i Trondheim har installert moderne kjøleanlegg som benytter CO₂ som arbeidsmedium.
Foto: Rema 1000

Prosjektinfo: Forskningen på bruk av CO₂ som kuldemedium har mer enn 30 års historie. De seneste ti årene har forskningsaktivitetene i hovedsak vært delfinansiert av ENERGIX og industrien gjennom blant annet IPN og KPN. Fra 2017 har FME HighEFF vært sentral i forskningen.

¹⁸ HFK-404A har GWP=4200, CO₂ er referanse med GWP=1

Case #2: Reduserte utslipp fra offshore gassturbiner

Innovasjonen består av løsninger for å gjenvinne overskuddsvarme fra offshore gassturbiner. En varme-til-kraft maskin utnytter restvarmen fra gass-turbinen til å produsere mer kraft.

Prinsippet kalles «bottoming cycle» og kan benytte vanddamp eller karbondioksid som arbeidsmedium. Det kombinerte anlegget oppnår økt strømproduksjon for samme mengde gass.

Innovasjonen ligger i utvikling av svært kompakte damp- og gassturbiner som har lavere vekt, er rimeligere å produsere og dermed er mulig å ettermontere, samtidig som systemeffekten opprettholdes.

80 % av CO₂-utslippene fra offshore plattformer (11 mill. tonn totalt i 2017¹⁹) kommer fra gassturbinene som forsyner plattformene med elektrisitet. Lite av overskuddsvarmen (eksos) gjenvinnes og utnyttes. Strengt vektbegrensninger knapphet på areal gjør det svært utfordrende å ettermontere løsninger for energigjenvinning på offshore rigger. Modifikasjon og installering av nytt utstyr er dessuten svært kostbart.

Potensielle effekter

- **30 % økt effekt²⁰** fra en offshore gassturbin ved å gjenvinne overskuddsvarme.
- Antall gassturbiner på riggen kan i noen tilfeller reduseres fra f.eks. 4 til 3 og dermed frigjøres plass og vekt til bunnsyklene.
- **Inntil ca. 20 % lavere utslipp** for offshore gasskraftanlegg. Tilsvarende **2,2 Mt CO₂ekv/år** for plattformer på norsk sokkel.
- **>50 % vektreduksjon muliggjør retrofit:** Redusert vekt og plass kan muliggjøre at plattformer som normalt ikke kan modifiseres eller elektrifiseres likevel kan redusere utslipp.
- **140 mill. kr** redusert gassforbruk og CO₂-skatt pr. plattform (gjennomsnitt).

Tilsvarende teknologi²¹ er allerede tatt i bruk på Oseberg, Snorre og Eldfisk.



Prosjektinfo: Bunnsykelteknologien for gassturbiner er utviklet gjennom flere prosjekter, blant annet KPN-prosjektene EFFORT (2010-2014) og COMPACTS (2014-2018) som er delfinansiert av Petromaks og industrien. SINTEF har samarbeidet med Equinor, Total, Shell, Petrobras og NTNU i EFFORT, og med Neptune Energy, AlfaLaval, Equinor, Marine Aluminium og NTNU i COMPACTS.

¹⁹ www.norskpetroleum.no/miljo-og-teknologi/utslipp-til-luft

²⁰ Mazetti et al, Soc. of Petroleum Eng paper 169811, February 2014, pp 89-96

²¹ COMPACTS: www.forskningsradet.no/prosjektbanken/#/project/NFR/233947

Case #3: Økt utnyttelse av lavtemperatur spillvarme

Innovasjonen er teknologi for økt utnyttelse av lavtemperatur spillvarme, og omfatter blant annet ny varmepumpeteknologi (HTVP) som kan oppgradere temperaturen fra 30-40°C til 130°C, eller kombinere kjøleprosessen med varmeproduksjon til 130°C. Teknologien er benyttet i planleggingen av nytt TINE-meieri i Bergen. Et nytt integrert varme/kjøleanlegg skal benyttes både i produksjonsprosessen og til kjøling av bygg.

Spillvarme fra industrien utgjør et høyt men lite utnyttet energipotensial. Lav temperatur på spillvarmen (vann og damp) og høye investeringskostnader er barrierer for å utnytte energien. I Europa er potensialet for å utnytte termisk overskuddsenergi anslått til 750 TWh pr. år²². I Norge er potensialet 27 TWh²³, noe som tilsvarer 15 % av elforbruket. Landbasert industri utgjorde 35 % (79 TWh) av Norges totale energiforbruk i 2007.

I meieriindustrien produserer kjøleprosessene overskuddsvarme, typisk i temperaturområdet 30-40°C. Varmebehovet er opp mot 120°C og utfordringen er enten å oppgradere lavtemperatur spillvarme, eller direkte å kombinere kjøleprosessen med varmeproduksjon til bruk i produksjonsprosessen og andre formål. Dette vil bidra til redusert energiforbruk og reduserte klimagassutslipp.

Effekter

Effekt for nytt TINE-meieri i Bergen (*se case 3 i Deltemarapport 1 for nærmere informasjon*):

- 40 % reduserte energikostnader (~5 GWh/år, tilsvarende 2,5 mill. kr/år).
- 30 % redusert kjølebehov.

Potensielle effekter

Potensiell effekt for industri med kjølebehov -10 til +10°C og varmebehov opp til 105°C:

- **10 % redusert energibruk**, tilsvarende 1 TWh/år og 500 mill. kr/år i energikostnad.
- **45 % reduksjon i klimagassutslipp.**



Skisse av TINEs nye meieri på Flesland utenfor Bergen. Det nye meieriet blir Nordens mest effektive, fremtidsrettede og lønnsomme anlegg for produksjon av melk, juice og fløte, samt klargjøring for distribusjon til kunder i Hordaland og Sogn og Fjordane. Samlet bygningsmasse er 18.000 m² og skal ferdigstilles i løpet av 2019. Samlet investering er 300 mill. kr. Illustrasjon: Sweco

Prosjektinfo: KPN-prosjektet HeatUP-prosjektet (2015-2018) er finansiert av ENERGIX. Partnere er Equinor, Hydro Aluminium, Statkraft Varme, Vedde, Mars GmbH, TINE, Cadio, Hybrid Energy og EPCON Evaporation Technology.

²² Wolf, S., et.al., 2014

²³ Enova, 2009

Case #4: Redusert energiforbruk og klimagassutslipp i aluminiumsindustrien

Gjennom flere forskningsprosjekter har SINTEF og NTNU utviklet kunnskap som vil bidra til å redusere energiforbruk og utslipp i nye aluminiumsverk. Eksempler er metoder for å redusere celledesign, nye materialer som reduserer varmetap i cellene, og ulike løsninger for økt varme-gjenvinning.

Høyt energiforbruk og klimagassutslipp er to av de viktigste utfordringene til aluminiumsindustrien:

- **CO₂-utslipp:** En økende andel av energien som benyttes til produksjon av aluminium globalt kommer fra kullkraftverk. 1 kg råaluminium gir et samlet CO₂-utslipp på 12,8 kg (snitt globalt), der kraftproduksjonen alene utgjør 8,5 kg (66 %).
- **PFC-utslipp:** Perfluorkarbon er en kraftig klimagass som dannes når elektrolytten spaltes i stedet for aluminiumoksidet (råstoffet i elektrolyseprosessen). Fenomenet kalles «anodeeffekt» (AE) og oppstår hvis anoden «slokner» på grunn av for lite oksid i cellene. En del av PFC-utslippene er vanskelig å oppdage og utgjør en økende bekymring i industrien. Rapportert utslipp globalt er estimert til 0,6 kg CO_{2ekv} pr. kilo aluminium og kommer i tillegg til CO₂-utslippet på 12,8 kg.

Effekter

- SINTEF og NTNU har siden 90-tallet utviklet fundamental kunnskap som vil bidra til redusert energiforbruk og klimagassutslipp i aluminiumsindustrien. SINTEF har fått flere oppdrag for internasjonal aluminiumsindustri som følge av denne kunnskapen.
- Kunnskapen til SINTEF og NTNU er anvendt i planleggingen av Hydro Karmøy Technology Pilot som ble satt i drift i 2018.

Potensielle effekter

- **20 % redusert energiforbruk** i nye aluminiumsverk, primært internasjonalt.
- **2,3 TWh/år** i redusert energiforbruk i norsk aluminiumsindustri.
- **>900 mill. kr/år** i redusert energikostnad.
- Vesentlig reduksjon i utslipp:
 - CO₂ når det ikke benyttes kullkraftverk
 - PFC-gass (perfluorkarbon)



Hydro Karmøy Technology Pilot med 60 HAL4e celler. Foto: Hydro

Prosjektinfo: Kunnskap, metoder og teknologi er utviklet gjennom flere forskningsprosjekter siden 90-tallet. Prosjektene har vært finansiert av RENERGI, ENERGIX, CLIMIT, SFI og FME, i samarbeid med store industriaktører som Hydro og Alcoa.

Case #5: Energieffektiv og miljøvennlig produksjon av kobber

Innovasjonen består av teknologiutvikling og kompetansebygging innenfor energieffektiv og miljøvenning produksjon av kobber.

I samarbeid med Glencore Nikkelverk og Permascand har prosjektet SUPREME bidratt i kompetanseoppbygging i deler av disse innovasjonene:

- Ny stålkatode som gir færre prosesstrinn.
- Ny titananode belagt med katalyserende belegg som erstatter blyanoder og potensielt kan anvendes i sinkproduksjon.
- Lavere energiforbruk (-35 %).
- Større cellekar med høyere arealutnyttelse.
- Bedre prosesskontroll ved å måle strøm på hver elektrode. Reduserer kortslutninger mellom anode og katode.
- Lukkede celler med rensing av avgass.
- Robotisering av uttak av kobber fra katoden.

Effekter

- **Industrialisering:** SINTEF og NTNU har bidratt med supplerende kunnskap som er anvendt i planlegging og design av to kobberproduksjonsanlegg:
 - Pilotanlegg (i drift fra 2012)
 - Demoanlegg (settes i drift i 2022)
- **Helse- og miljøeffekter:** Blyanoder erstattes av anoder i titan. Rensing av avgasser som inneholder tungmetaller. Forbedret miljø inne og ute.

Potensielle effekter

- **Redusert energiforbruk:** 26 GWh/år²⁴ i Glencore Nikkelverk sitt planlagte demoanlegg i Kr.sand. Planlagt årskapasitet er 30.000 tonn kobber.
- **Reduserte energikostnader:** >10 mill. kr/år²⁵ for demoanlegget. Estimert² er basert en antatt energikostnad på 0,40 kr/kWh og 30.000 tonn produsert Cu.
- **6-7 TWh/år** (globalt, teoretisk potensial) dersom alle kobber- og sink-produsenter tar ny teknologi i bruk.



Bildet viser Glencore Nikkelverk sitt pilotanlegg for kobberproduksjon i Kristiansand. Foran er elektrolysetankene. Cellen til venstre er dekket med en ventilasjonshette som reduserer utslipp av avgasser. En robotisert strippemaskin for kobberkatoder kan sees i bakgrunnen. Foto: Glencore Nikkelverk, Oluf Bøckman..

Prosjektinfo: Forskingen har vært delfinansiert av ENERGIX gjennom KPN-prosjektet SUPREME (2013-2018). Partnere er NTNU, SINTEF, Hydro, Glencore Nikkelverk, Boliden Odda og Permascand. Glencore Nikkelverk har i tillegg fått støtte fra Skattefunn og Innovasjon Norge. Enova har gitt tilsagn om delfinansiert støtte i planlagt bygging av demoanlegg for ny Cu elektrolyseteknologi.

²⁴ Estimerer fra Glencore Nikkelverk/leverandører

²⁵ Estimert fra Impello

Case #6: Integrerte energisystem for industri

Innovasjonen er en ny type kuldager for næringsmiddelindustri med høyt kuldebehov. Teknologien benyttes til å produsere kulde når det er billig strøm tilgjengelig, og så benytte kulden ved høyt effektbehov.

Innovasjonen egner seg for næringsmiddelindustri som har høyt og varierende kulde- og varmebehov, f.eks. meieri, foredlingsindustri for kjøtt og fisk, og i andre næringer med høyt kjølebehov.

For å redusere kostbare effekttopper og å kunne utnytte spillvarmen er det behov for:

- Integrerte energisystem (oppvarmings- og kjølesystem) og samspill mellom el- og varmenettene for å redusere effekttoppene.
- Termisk lagring der energi lagres i form av varme eller kulde.

Potensielle effekter

- Termisk lagring sammen med smart styring bidrar til å redusere strømforbruket i perioder når strømmen er dyr, noe som vil gi en vesentlig reduksjon i energikostnadene.
- **Økt drifts- og forsyningssikkerhet:** Grunnet reduksjon i spisslast vil varmepumpen kunne kjøres med mer jevn kapasitet, noe som vil øke effektiviteten og driftssikkerhet.
- **20 % redusert effektbehov**²⁶ til kompressorene i lagringssystemet. Dette gir en tilsvarende reduksjon i installert kapasitet og dermed reduserte investeringer (installasjonskostnader).
- **40 % lavere utslipp** i næringsmiddelindustri med integrert energisystem og termisk lagring sammenliknet med standardløsninger.
- **90 % reduksjon**²⁷ i spisslastbehov ved bruk av termisk lagring sammen med optimal styring¹.
- Dersom spisslastkildene er fossile, betyr dette **90 % reduksjon** i utslippene.



Prosjektinfo: Utvikling av kuldager og modellering av et integrert energisystem med termisk lagring og optimal styring er aktiviteter som er en del av FME HighEFF.

²⁶ Selvnes H., Hafner A., Kauko H., CTES integration in a large industrial refrigeration system, 13IIR-GL Conf. on nat. refrig., 2018

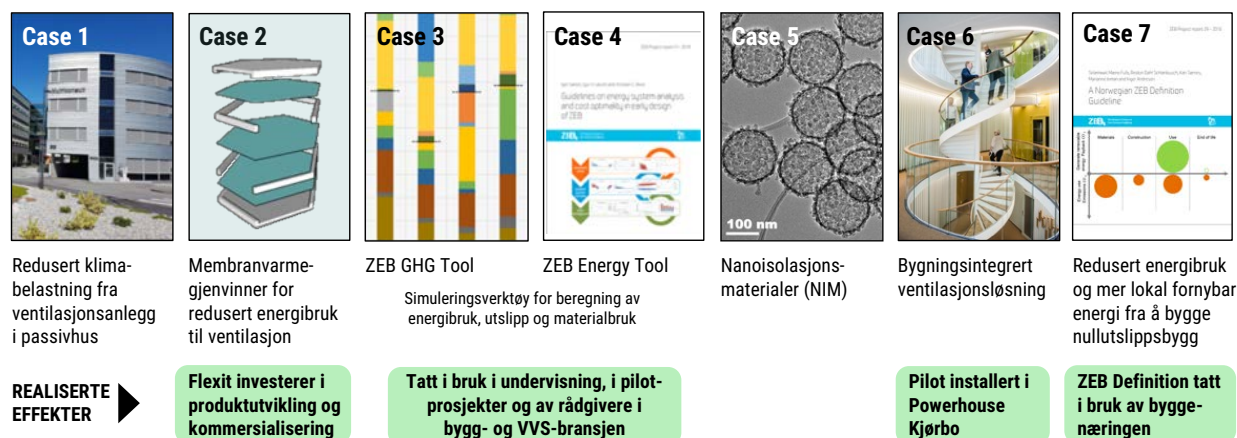
²⁷ B. R. Knudsen, H. Kauko, T. Andresen. An Optimal-Control Scheme for Coordinated Exchange of Time-Varying Surplus Heat in Industry Clusters. Under review in *Journal of Cleaner Production*.

4. Deltema 2 – Energibruk i bygg og områder



4.1 Sammendrag

Effektvurderingen av deltema «Energibruk i bygg og områder» er utarbeidet av Impello i samarbeid med NTNU og SINTEF Byggforsk. Sju prosjekter er studert mht. *resultater, effekter og potensielle effekter*:



Figur 16 Utvalgte case fra forskningstemaet energibruk i bygg og områder.

Resultater

Innenfor energibruk i bygg og områder er det gjennomført 50 store forskningsprosjekter de siste ti årene. Det er utviklet minst 15 innovasjoner med potensial for fremtidig industriell anvendelse. Disse representerer tidligfaseteknologier, markedsnære produktinnovasjoner, konsepter og strategier, analysemetoder, simuleringsverktøy, rettleidninger og standarder. Alle er gjennomført i tilknytning til FME ZEB (2009-2017) og FME ZEN (2017-2024).

Siden 2008 er det uteksaminert 30 PhD-kandidater, 10 post.doc og mer enn 200 masterkandidater i tilknytning til disse fagmiljøene.

Realiserte og potensielle effekter

Energibruk i bygg og områder

- Realiserte effekter
- Potensielle effekter

Case	Metode/verktøy	Modenheter (TRL)	Redusert energibruk	Reduserte kostnader	Reduserte utslipp	Økt prod. av fornybar energi	Bedre sikkerhet, risiko, helse	Økt forsynings sikkerhet	Reduserte miljøingrepp	Bedre beslutninger	Industrielt potensial	Utdanning og rekruttering	Sytter nasjonale FOU miljø	Internasjonalt samarbeid
Case 1	Metode/verktøy: Ventilasjon i passivhus	5	○	○	○	○			●	●		●	●	●
Case 2	Produkt: Membranvarmegjenvinner (Flexit)	5	○	○		○						●	●	●
Case 3	Verktøy: ZEB GHG Tool	7	○	○	○				●	●		●	●	●
Case 4	Verktøy: ZEB Energy Tool	7	○	○	○				●	●		●	●	●
Case 5	Teknologi: Nanoisolasjonsmaterialer	3	○	○	○							●	●	●
Case 6	Konsept: Bygningsintegret ventilasjonsløsning	8	●	●	●	●						●	●	●
Case 7	ZEB Definition: Redusert energibruk i nullutslippsbygg	8	●	●	●	●	●		●	●		●	●	●

Figur 17 Realiserte effekter, potensielle effekter og teknologisk modenheter (EUs TRL-skala 0-9, EU Horizon 2020 TRL-definisjon: <https://publications.europa.eu/s/iDQK>)

Realiserte effekter: ZEB-definisjonen for nullutslippsbygg er en definisjon og klassifisering av ulike typer nullutslippsbygg og strategier. Den anvendes nå av miljøbevisste aktører i byggebransjen, nasjonalt og internasjonalt. Standarden muliggjør forskriftsendringer raskere enn hva som ellers ville vært tilfelle og vil dermed kunne gi regulatoriske føringer for hvordan fremtidige bygg skal utformes. Definisjonen er basert på akkumulert kunnskap fra hele prosjektporteføljen og vil bli implementert i fremtidige byggeforskrifter. Dette er et svært viktig bidrag til innfasing av lavenergi- og nullutslippsbygg, spesielt siden den vil gi regulatoriske føringer.

- Ni pilotbygg er oppført (Figur 23), hvorav sju er helt ferdigstilt.
- Flere innovasjoner er testet (demo/pilot) og gir påviste effekter (se Figur 17).
- Flexit skal kommersialisere en membranvarmegjenvinner (case 2).
- Flere verktøy er utviklet og tatt i bruk av byggenæringen (blant annet case 3 og 4).
- Bygningsintegriert ventilasjonsløsning (case 6) er tatt i bruk i Powerhouse Kjørbo.
- Forskningen har bidratt til styrket utdanning og rekruttering til området, utvikling av sterke nasjonale forskningsmiljø, og flytting av kunnskapsfronten gjennom internasjonalt samarbeid.

Potensielle (fremtidige) effekter: Innovasjonene og forskningsresultatene vil gi redusert energibruk, økt bruk av miljøvennlige materialer og reduserte utslipp når/dersom de tas i bruk industrielt. Som del av effektstudien har FME ZEN utviklet scenarier for innfasing av nullutslippsbygg i Norge fra 2020 til 2050. Scenariene viser at det er potensial for å redusere energibruken med 39 TWh/år frem til 2050. Av dette bidrar ambisiøs innfasing med 31 TWh.

Alle case er vurdert til å ha et industrielt potensial. Siden markedet foreløpig er umodent, ZEB-definisjonen ikke er formelt implementert i tekniske byggeforskrifter og at investeringskostnadene er høyere enn for konvensjonelle bygg, så vil det ennå gå noen år før det kommersielle potensialet kan realiseres.

4.2 Om forskningstemaet energibruk i bygg og områder

Norske forskningsmiljø har gjennomført ca. 50 store prosjekter innen temaet «energi i bygg og områder» i løpet av de ti siste årene. De store prosjektene har vært tverrfaglige, og har på den måten involvert flere fagområder og flere typer partnere. Dette har vært nødvendig for å adressere hvordan bygg og områder kan bli en del av løsningen på klimakrisen, i stedet for å være et problem. Arkitekter, ingeniører, fysikere, samfunnsvitere og økonomer er blant de som deltar. Mye av forskningen har vært knyttet til PhD og masterutdanning, og egne MSc-programmer har blitt utviklet som følge av forskningen.

Forskningen har vært organisert gjennom to FME-er – ZEB (Zero Emission Buildings, 2009-2017) og ZEN (Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities, 2017-2024) – og med NTNU og SINTEF som de to viktigste forskningsinstitusjonene.

Sentrale forskningstema:

- Avanserte materialer
- Klimatilpassede energieffektive bygningskonstruksjoner
- Energiforsyning og tekniske installasjoner
- Energibruk, drift og implementering
- Konsepter og strategier for nullutslippsbygg og områder
- Energipolitikk, innovasjon og forretningsmodeller
- Energifleksible bygg og områder
- Lokal energioptimalisering
- Levende laboratorier, pilotbygg og pilotområder

Partnere innen næringsliv og offentlig sektor har utvidet og utviklet grunnlaget for sin forretningsvirksomhet og strategi i samarbeid med de to FME-ene.

Eksempler er Asplan Viak, Aventa, BNL – Byggenæringens landsforbund, Brødrene Dahl, ByBo, Caverion, DFB, DuPont, Energi Norge, Enova, Entra, Flexit, Forsvarsbygg, Glava, Husbanken, Hydro/SAPA, Isola, Mestergruppen, Multiconsult, Norconsult, NorDan, Norek Energi, Norsk fjernvarme, Norsk Teknologi, NTE, Protan, Sikom, Skanska, Snøhetta, Statkraft, Statsbygg, Trøndelag fylkes-kommune, Velux og Weber.

Nøkkeltall 2008-2017

Samlet forskningsinnsats:	
RENERGI, ENERGIX	330 mill. kr
FME: ZEB, ZEN	260 mill. kr
Uteksaminerte PhD-kandidater	30
Post.doc	10
Uteksaminerte master-kandidater	200

Tabell 5 Samlet forskningsinnsats består av finansiering fra Forskningsrådet, egeninnsats fra forskningsinstitusjonene og fra deltakende partnere (industri, næringsliv, offentlig virksomhet, mv.). Kilde: FME ZEN

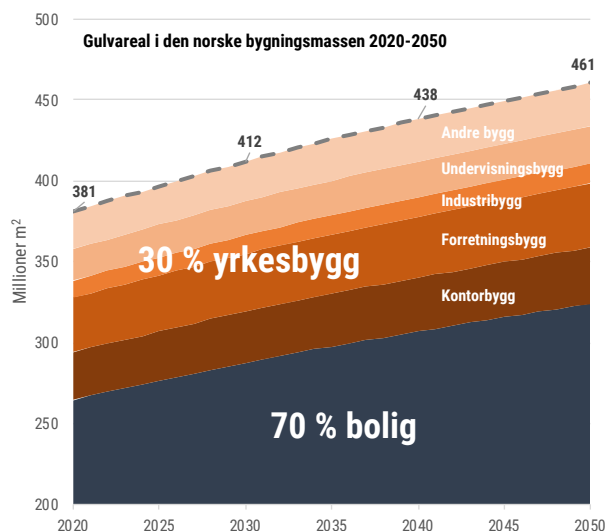
4.3 Referansebane

4.3.1 Utvikling frem mot 2050

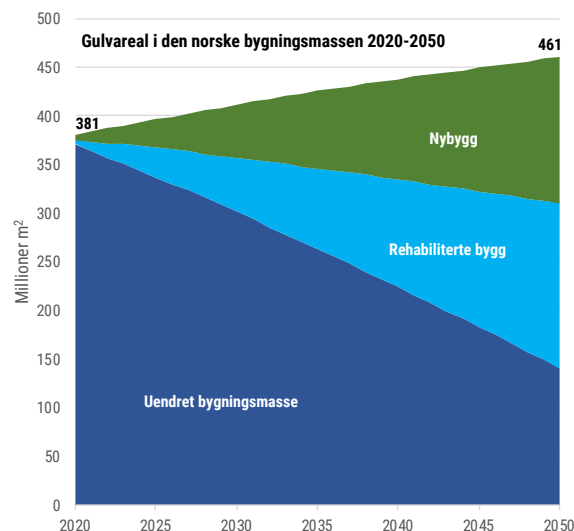
Den norske bygningsmassen²⁸ består i 2018 av totalt 375 mill. m², fordelt på 70 % i boliger og 30 % i yrkesbygg. Figur 18 viser hvordan bygningsmassen, på grunn av befolkningsvekst, er ventet å vokse i perioden 2020-2050, og hvordan bygningsmassen fordeler seg på ulike bygningstyper. Det er et betydelig potensial for reduksjon i energibruk og klimagassutslipp fra den norske bygningsmassen.

²⁸ Datagrunnlag: For boligmassen er datagrunnlaget basert på Sandberg et al., 2017, *Modelling the future energy demand using a segmented dynamic stock model: Scenario analysis exploring possible future development paths for the housing stock of Norway 2016-2050*. Energy and Buildings, 146, 220-232. For yrkesbygg er datagrunnlaget utarbeidet av Sandberg, Næss, Brattebø, Andresen og Gustavsen (2018). *Effekter av innfasing av ZEB-teknologi i norsk bygningsmasse mot 2050*.

Figur 19 viser i hvilke andeler av bygningsmassen det er mulig å gjennomføre energi-effektiviseringstiltak, fordi det skal blir bygget nytt eller rehabiliteres, og hvilken andel av bygningsmassen som er ventet å forbli uendret i perioden fram mot 2050.



Figur 18 Forventet utvikling av bygningsmassen i Norge fram mot 2050, fordelt på ulike bygningskategorier. Økningen skyldes hovedsakelig forventet befolkningsutvikling fremover.



Figur 19 Forventet gulvareal fordelt på nybygg, rehabiliterte bygg og uendrede bygg.

4.3.2 Scenarioanalyse – energiintensitet som følge av innfasing av nullutslippsbygg

Bygninger står for ca. 35 % av energibruken internasjonalt og på Fastlands-Norge og 40-50 % av alle materialer som brukes i byggebransjen.

Klimagassene knyttet til bygg ligger mellom 20 og 30 % internasjonalt. I Norge er de direkte klimagassutslippene lavere på grunn av god tilgang til vannkraft, men dersom man inkluderer indirekte utslipp knyttet til bygging (f.eks. transport relatert til bygging) og tilvirkning og vedlikehold av materialer, blir utslippene betydelige.

Med en økende befolkningsutvikling og levestandard kan energibruk, materialbruk og klimagassutslipp potensielt bli to eller tre ganger så stort²⁹. En helhetlig tilnærming til utforming av framtidens bygg, områder og byer er derfor nødvendig.

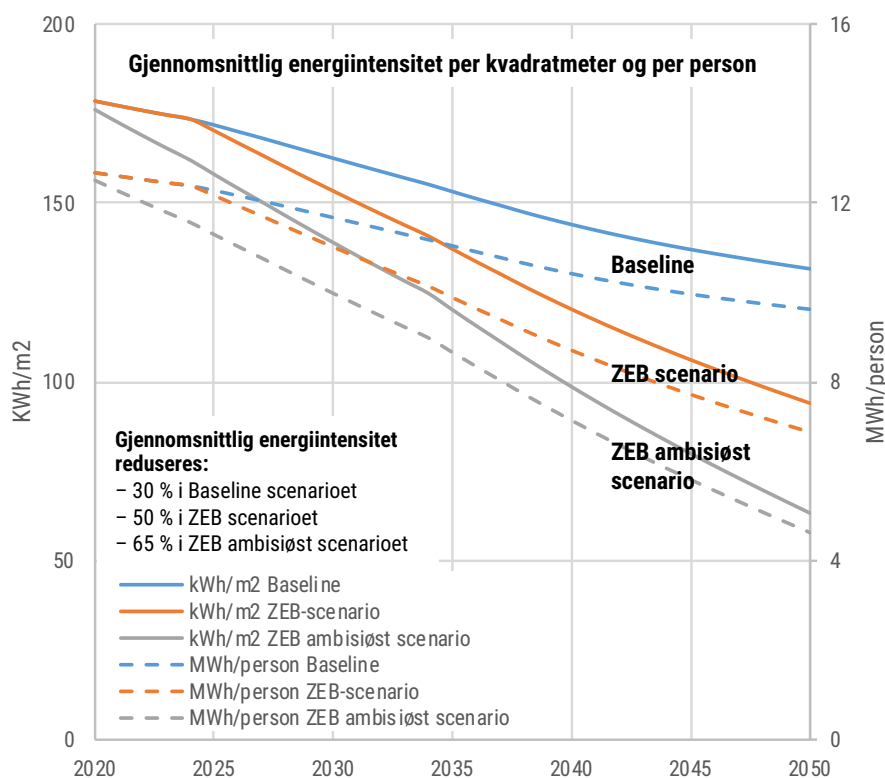
Internasjonalt og i Norge etableres det derfor måltall for hvor mye klimagassutslippene skal kuttes fram mot 2050. Det er også etablert mål for energieffektivisering og ny fornybar energi.

4.3.3 Videre utvikling

Målet til FME ZEB og ZEN er å sørge for at bygninger og områder blir forbundet med null utslipp av klimagasser over deres livsløp. Resultatet er mindre klimagassutslipp fra bygg og

²⁹ IPCC (2014). Climate Change: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

områder, mer energieffektive bygg og mer lokal fornybar energiproduksjon. Bygninger vil dermed bidra til overgangen til lavutslippssamfunnet i stedet for å utgjøre problemet. FME ZEB har utviklet ulike ambisjonsnivåer (og scenarioer) for nullutslippsbygg. Disse forventes gradvis implementert i bygningsmassen, dels på grunn av endringer i forskriftsverket, og dels og fordi flere ambisiøse private og offentlige utbyggere går lengre enn dagens forskriftsverk. Scenarioene er anvendt i Case 7.



Figur 20 Energiintensitet for tre scenarioer:

- **Baseline** (referansescenario): Antar TEK 17 og passivhus nybygg og standard rehabilitering av eksisterende bygg.
- **ZEB-scenario**: Antar en gradvis og moderat innfasing av ZEB nybygg og økt bruk av lokal fornybar energi og mer omfattende energieffektivisering i rehabiliterte bygg.
- **ZEB ambisiøst scenario**: Antar en raskere innfasing enn i ZEB-scenariet.

4.4 Ulike typer innovasjoner og resultater

Forskningen innen energibruk i bygg og områder har stor bredde. Resultatene består av tidligfaseteknologier, markedsnære produktinnovasjoner, konsepter, strategier og interne/eksterne verktøy. Målsetting kan være forskjellige fra prosjekt til prosjekt, og med ulik grad av målbarhet.

4.4.1 Eksempler på innovasjoner

- **Tidligfaseteknologier** er innovasjoner som er generiske av natur og som potensielt kan få mange anvendelser i fremtiden. Disse må utvikles videre før det er mulig å forutsi hvilke anvendelser som vil være kommersielt interessante. Eksempler er nano-isolasjonsmaterialer, aerogel benyttet sammen med betong og glass.

- **Produktinnovasjoner:** Forskningsmiljøene og partnerne har utviklet ulike bygningskomponenter og materialer som enten er tatt i bruk eller som vil bli kommersialisert i fremtiden. Kommersielt potensial vil være avhengig av hva som implementeres i norske og europeiske byggeforskrifter. Eksempler er Leca-blokk med innebygget isolasjon og mineralull med redusert varmeledningsevne.
- **Arkitektur- og designkonsepter:** I mange tilfeller er det mulig å benytte bygningskroppen som en del av energisystemet i bygget. Et eksempel er å benytte eksisterende trappeløp som bygningsintegrerte ventilasjonssjaker. Et annet eksempel er utnytte de termiske egenskapene til betong for å lagre varme.



Figur 21 Bruk av eksponert betong (bak plisséforhengen) for å lagre varme. Fra Powerhouse Kjørbo. Foto: Bo Mathisen

- **Livsløptilnærming (LCA):** Flere av forsknings-prosjektene har resultert i metoder for å kombinere kjente løsninger som samlet vil gi reduserte utslipp og lavere energibruk over levetiden til et bygg. Analyse av utslipp fra produksjon av bygningsmaterialer, i bygge-fase, driftsfase og ved senere riving vil kunne gi andre svar enn hva byggebransjen i dag regner seg frem til.
- **Rettledninger og «standarder»:** Forskningen ved FME ZEB har resultert i «The ZEB Definition» – en åpen definisjon av fem standarder for nullutslippsbygg. Standardene varierer etter hvor stor del av livsløpet til bygget som er inkludert. Definisjonene anvendes i dag som en faglig referanse i bygnæringen og sikrer dermed at alle snakker samme «språk». The ZEB Definition vil trolig inngå i fremtidige byggstandarder og regelverk.

- **Simuleringsverktøy:** Mye av forskningen innebærer simulering og beregning av energi- og miljøeffekter av ulike tiltak, teknologier og løsninger. Verktøyene er i kontinuerlig utvikling og kan bli kommersielt tilgjengelige om noen år.
- **Pilotbygg:** Sammen med industri, næringsliv og offentlige aktører har FME ZEB etablert ni pilotbygg/prosjekt der ulike innovasjoner og konsepter er testet ut og implementert i full skala.
- **Forretningsutvikling:** Næringspartnere og offentlig sektorpartnere har utvidet og utviklet grunnlaget for sin forretningsvirksomhet og strategi.

4.4.2 Merverdi for samfunnet, næringsliv og sluttbrukere

Energiforskningen i Norge skal bidra til³⁰:

- 1) Økt verdiskaping på grunnlag av nasjonale energiressurser og energiutnyttelse,
- 2) energiomlegging gjennom utvikling av ny teknologi for å begrense energibruk og klimagassutslipp samt produsere mer miljøvennlig energi på en effektiv måte og,
- 3) internasjonalt konkurransedyktig næringsliv og kompetanse innenfor energisektoren.

Forskningen innen energibruk i bygg og områder har stor bredde og bidrar til målene for energiforskningen på ulike måter. Det er store bidrag fra energieffektivisering (39 TWh frem mot 2050) og ny miljøvennlig energi (8TWh frem mot 2050) i egen sektor, men dette gir også store nye muligheter i andre sektorer som ikke alltid er like lett å kvantifisere. Her er likevel noen refleksjoner rundt dette.

Verdiskaping for samfunnet: Behovet for mindre levert energi til bygninger vil redusere behovet for nettinvesteringer. Med redusert energibehov følger også redusert effektbehov. Det er forventet investeringer på ca. 6 mrd. kr i sentral- og regionalnett grunnet økt lastbehov og ca. 4 mrd. kr grunnet forsyningssikkerhet³¹. Investeringsbehovet bør kunne reduseres ved innfasing av nullutslippsbygg og ny teknologi for nullutslippsområder i bygningsmassen.

Redusert energibehov til bygg vil videre gjøre det mulig å elektrifisere hele transportsektoren fram mot 2050, med tilhørende reduksjon av klimagassutslipp. NVEs beregninger viser at elektrifisering av alle kjøretøy innen veitransport, all banetransport og alle båter og skip kan gi en elektrisitetsbruk på over 20 TWh i 2050.

Verdiskaping i næringslivet og offentlig sektor: Partnere innen næringsliv og offentlig sektor har utvidet og utviklet grunnlaget for sin forretningsvirksomhet og strategi. Næringslivet som er med å bygge framtidens bygninger, nullutslippsbygg og pluss-hus, allerede i dag vil være foretrukne samarbeidspartnere i mange av byggeprosjektene som etableres fremover (se eks. Powerhouse-alliansen).

³⁰ Energi21 (2018). STRATEGI 2018 Nasjonal strategi for forskning, utvikling, demonstrasjon og kommersialisering av ny klimavennlig energiteknologi.

³¹ NVE (2018). Hvordan vil en omfattende elektrifisering av transportsektoren påvirke kraftsystemet? www.nve.no/Media/4117/nve-notat-om-transport-og-kraftsystemet.pdf

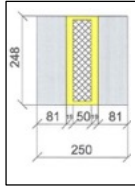
Verdi/verdiskaping for sluttbrukere: Energieffektivisering og lokal produksjon av miljøvennlig energi gir økonomiske besparelser og mulighet for inntekter hos den enkelte bygningseier:

- Bruk av membranvarmeveksler i stedet for tradisjonell varmeveksler vil spare bruker for ca. 2500 kr pr år (se Case 2).
- For et av pilotprosjektene i FME ZEB, Powerhouse Kjørbo i Sandvika, ble energibruken til drift etter rehabilitering målt til 44 kWh/m² pr år (inkludert brukerstyr) og elektrisitets-produksjonen ble målt til 44 kWh/m² pr år. Før rehabilitering var levert energi ca. 240 kWh/m² pr år. Antas en energipris på 1 kr/kWh tilsvarer dette en besparelse på 196 kr/m² (ca. 1 mill. kr pr år for to bygninger på 5150 m²). I tillegg kommer besparelser og inntekt på grunn av egenproduksjon og bruk av solstrøm. Powerhouse Kjørbo var Norges første plusshus, og verdens første rehabiliterte plusshus. FME ZEB og Enova har vært sentrale samarbeidspartnere for realiseringen av prosjektet.
- Kommunene går foran (strekker seg lengre en dagens byggeforskrifter) og setter ambisiøse miljø-krav til nye bygg, krav som ofte bygger på resultater fra forskning og utvikling ved NTNU og SINTEF.

Internasjonalt konkurransedyktighet: Aktører i den norske byggenæringen, som arbeider internasjonalt, styrker seg i konkurransen (eks. Snøhetta). Vi ser at kunnskapen som er utviklet i prosjektene etterspørres internasjonalt.

4.5 Innovasjoner og utvalgte case

Innovasjon hos industripartner



VIP Leca®
Isoblock wall
building element

**Saint-Gobain
Weber**



Solar thermal
collector for
easy integration
in the facade

NorDan



Mineral wool
with reduced
conductivity

Glava

Innovasjon fra samarbeid mellom industri og forskere



Sliding glass
doors with VIP in
opaque elements

NorDan



New ways of
using reflective
foils

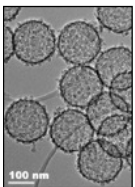
Isola



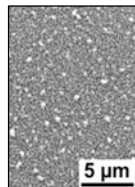
Double-skin
window

Sapa

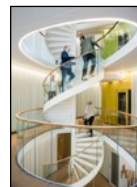
Innovasjoner fra SINTEF og NTNU



Nano insulation
material made
of hollow
nanoparticles



Ag nano-
particles as
low-emissivity
coatings



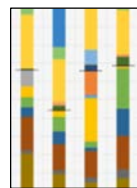
Architectural
concept/
ventilation
duct



Lightweight
and thermally
insulating
aerogel glass



Membrane
energy
exchanger



ZEB Tools



Aerogel
concrete



ZEB definition



Reduced GHG
emissions
from improved
ventilation
systems

Figur 22 Innovasjoner fra forskningsområdet energibruk bygg og områder. Sju av disse er studert nærmere mht. resultater, potensielle effekter og realiserte effekter.



Living Lab. Foto: Geir Mogen



Powerhouse Brattørkaia. Illustrasjon: Snøhetta/Mir



Visund, Haakonvern. Hundven Clemets



Multikomfort. Foto: Bo Mathisen



Campus Evenstad. Leikny Havik Skjærseth



Powerhouse Kjørbo. Foto: Bo Mathisen



Zero Village Bergen. Illustrasjon: Snøhetta/Mir



Heimdal Videregående skole. Illustrasjon: Rambøll/STFK/Skanska



Skarpnes. Foto: Skanska

Figur 23 ZEB-definisjonen er tatt i bruk i ni reelle byggeprosjekter (pilotprosjekter). Sju av prosjektene er ferdige, ett er under bygging og ett er til godkjenning (pr. høst 2018). Powerhouse, Kjørbo, Visund og Skarpnes har vært i drift lenge nok til å gi minst ett år med målinger.

Case #1: Ventilasjon i passivhus

Innovasjonen er en simuleringsmodell og en evolusjonær optimaliseringsalgoritme som finner optimale dimensjoner til ventilasjonssystemer i null- og lavutslipps kontorbygg, avhengig av el-mix.

Simuleringsverktøyet bidrar til å gi lavere miljøbelastning enn hva en oppnår ved normal prosjektering. Målet er å finne optimale kanal-dimensjoner og -konfigurasjon, samt en bygningskropp som gir lavest mulig klimabelastning fra vifte-drift og materialbruk over levetiden, hensyntatt el-mix.

Null- og lavutslippsbygg har tett og godt isolert bygningskropp, og krever god ventilasjon. Ventilasjonssystemet har ofte store dimensjoner og kan påvirke bygningens behov for sjakter og etasjehøyde. utfordringen er hvordan interaksjonen av bygning og kanalnett skal designes for å være mest mulig miljøvennlig over anleggets levetid.

Samlet miljøpåvirkning og utslipp (CO₂-ekvivalenter) påvirkes blant annet av:

- Material- og energibruk til produksjon av kanaler, kanalisolasjon, vifter, ventiler, automatikk samt bygningskropp.
- Drift av vifter: Energibruk i driftsfasen.
- El-mix: Utslipp knyttet til produksjon og transport av strøm.

Potensielle effekter

I norske kontorbygninger bygd etter forskriftskravene er vifteenergien i størrelsesorden 8 kWh/m² pr. år. Med 25 % forbedring tilsvarer dette 7000 kWh/år for case-bygningen. En annen viktig potensiell effekt er forbedret innemiljø: Optimalisering gir redusert støy fra ventilasjonsanlegget. Optimalisert kanalisolasjon gir frem riktige tilluftstemperaturer.



Simuleringene i caset er basert på Multiconsult sitt passivhus i Bergen. Byggeår 2013, areal 3500 m² fordelt på fire plan. Standarder: NS 3701, BREEM Excellent, Energimerking A. Foto: Multiconsult

Prosjektinfo: Metoden og simuleringsverktøyet er utviklet gjennom et doktorgradsarbeid³² tilknyttet FME ZEB. Prosjektet er finansiert av ENERGIX. Verktøyet må utvikles videre før det kan kommersialiseres.

³² Life cycle approach as a method for optimizing building services systems in extremely low energy buildings, Jens Tønnesen, Torhildur Kristjansdottir, 2015.

Case #2: Membranvarmegjenvinner

Innovasjonen er en varmegjenvinner sammensatt av flere lag membraner som overfører varme og fuktighet fra avtrekksluft til tilluft.

Dermed unngås kondensering og frostdannelse i varmegjenvinneren ved lave utetemperaturer. Løsningen gjenvinner opptil 90 % av energien. Dette er høyere enn for eksisterende plategjenvinnere og kan øke gjenvinning der små luftlekkasjer ikke er akseptable.

Nye bygninger er godt isolert, har svært små luftlekkasjer og ingen ventiler i yttervegger for direkte tilførsel av frisk luft. God mekanisk ventilasjon er derfor avgjørende for et godt inneklima, også på kalde vinterdager. Det er ønskelig å oppnå høyest mulig gjenvinning av varmen fra avtrekksluften og overføre den til tilluften (frisk luft) for å redusere energibruk til romoppvarming.

To hovedutfordringer:

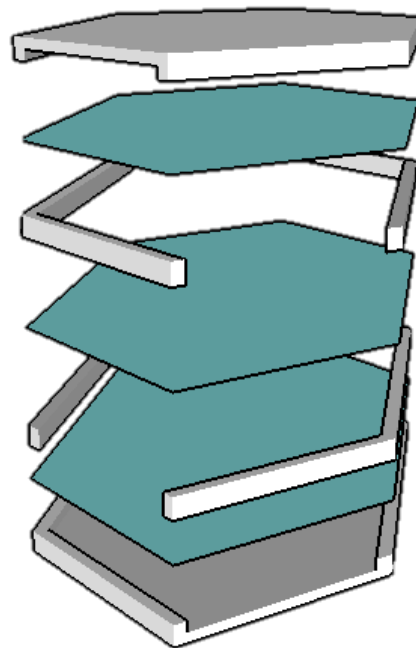
- Forurensning overført fra avtrekksluft til tilluft, f.eks. ved luftlekkasjer i roterende varmevekslere.
- Kondens- og frostdannelse ved lave utetemperaturer. Dette oppstår når kald uteluft varmeveksler med varm og fuktig avtrekksluft. Ofte må varmegjenvinningen reduseres til 70 % virkningsgrad for å unngå frostdannelse.

Effekter

- Flexit investerer i videre utvikling og skal kommersialisere produktet.

Potensielle effekter

- **Bedre inneklima** med flere anvendelses-muligheter for kalde klimaer.
- Mindre behov for frostsikring.
- **Mer energisparing** som følge av høyere virkningsgrad (opptil 90 %) og lavere risiko for frostdannelse. Eksempelvis 2500 kWh ekstra energibesparelse for en enebolig på 180 m² i Oslo-klima.



Prosjektinfo: Prinsippet for membranvarmeveksleren er utviklet av SINTEF og NTNU innenfor FME ZEB. Innovasjonen bringes videre sammen Flexit i IPN-prosjektet «Fremtidens energiløsninger for boligkomplekser» (ENERGIX).

Illustrasjon: NTNU

Case #3: ZEB GHG Tool

Innovasjonen er et Excel-basert verktøy som beregner utslipp og materialbruk for alle faser og alle deler av bygget.

Verktøyet, som er gratis tilgjengelig, henter informasjon om utslipp fra ulike kilder, blant annet www.epd-norge.no/epder. Det brukes for å evaluere, kvantifisere og fremskaffe en oversikt over klimagasser over byggets levetid og oppnå en netto ZEB-balanse.

Det er utfordrende å gjøre gode beregninger for å finne balansen i prosjekter med ambisjon om nullutslipp. Det er få verktøy på markedet, og ulempen er ofte at de mangler transparens, er vanskelige å bruke og/eller er kostbare.

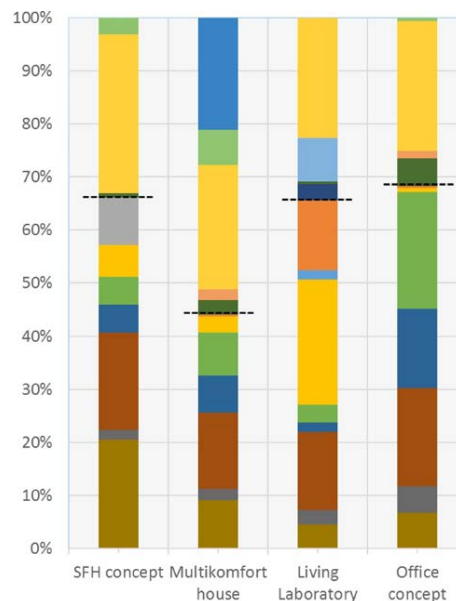
Det er et stort behov for rimelige og brukervennlige verktøy fra pålitelige og objektive leverandører der metoder og forutsetninger som anvendes er transparente. Dette vil gjøre det enklere å nå nullutslippsambisjonen i prosjekter som velger dette.

Effekter

- Verktøyet tatt i bruk i undervisning ved NTNU, i kursvirksomhet ved SINTEF, samt i pilotprosjekter.

Potensielle effekter

- Verktøyet gir større sikkerhet for at nullutslippsambisjonen nås:
 - Metoder og beregninger er transparente og er dermed godt egnet for sammenlikning og etterprøving.
 - Reduserer tidsbruk i prosjekteringsfasen.
 - Optimaliserer materialbruk mhp. utslipp og kostnader.
- Verktøyet muliggjør en helhetlig evaluering (bedre beslutninger) i valg av materialer og tekniske løsninger slik at problemforskyvning kan unngås.



Prosjektinfo: ZEB GHG Tool er utviklet av SINTEF og NTNU innenfor **FME ZEB** med bidrag fra blant annet Brødrene Dahl, Skanska, Snøhetta, Statsbygg og Sør-Trøndelag fylkeskommune. Verktøyet kan videreutvikles for eventuell kommersialisering.

Illustrasjon: NTNU

Case #4: ZEB Energy Tool

Innovasjonen er et simuleringsverktøy for tidligfase design av energisystem i nullutslipps-bygninger. Verktøyet består av et beregningsverktøy og en informasjonsdatabase.

ZEB Energy Tool er utviklet med bakgrunn i at norske entreprenører og konsulenter har uttrykt ønske om bedre kunnskap og mer systematisk informasjon for å kunne ta kvalifiserte beslutninger om valg av energiforsyningsystem til nullutslipps-bygninger. Verktøyet er et Excel-basert postprosesseringsverktøy som brukes for å analysere og visualisere resultater fra andre verktøy som beregner energibruk i bygninger, f.eks. IDA ICE. Verktøyet utfører både en teknisk analyse og en analyse av kostnadsoptimalitet. Veiledning som ledsager *ZEB Energi Tool* viser også hvordan simulering i IDA ICE kan forbedres.

Når nye bygg skal prosjekteres benyttes ulike verktøy for å beregne byggets energibehov (bla. SIMIEN og TEK Sjøkk). Disse verktøyene har god funksjonalitet for simulering av bygningsfysikken, men kun en forenklet metode for valg av energiforsyningsløsninger i tidlig prosjektdesignfase.

Effekter

- Verktøyet er tatt i bruk i undervisning og kursing, samt i pilotprosjekter og av rådgivere i bygg- og VVS-bransjen.

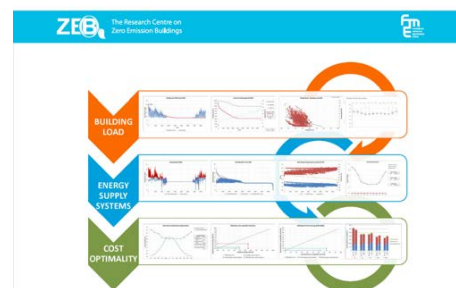
Potensielle effekter

- ZEB Energy Tool gir et bedre beslutnings-grunnlag ved dimensjonering av energiforsyningsystem.
- Godt utformet energiforsyningsystem gir lavere energibruk og bedre komfort.
- Gir mer kostnadseffektive løsninger.

ZEB Project report 41 – 2018

Igor Sartori, Sjur V. Løtveit and Kristian S. Skeie

Guidelines on energy system analysis and cost optimality in early design of ZEB



Prosjektinfo: ZEB Energy Tool er utviklet av SINTEF og NTNU innenfor FME ZEB. Aktører som har vært involvert gjennom testing og utprøving av verktøyet er SWECO, Multiconsult, Asplan Viak, Erichsen & Horgen, COWI, Caverion og Rambøll.

Illustrasjon: NTNU

Case #5: Nanoisolasjonsmaterialer

Innovasjonen er et varmeisolasjonsmateriale basert på hule, kuleformede nanopartikler av silika (silisiumdioksid).

Ved bruk av ekstremt små porer (nanostørrelse) og utnyttelse av Knudsen-effekten reduseres den samlede varmeledningsevnen, og da spesielt gassledningsevnen. Sluttmaterialet må gjøres vannavstøtende (hydrofobt).

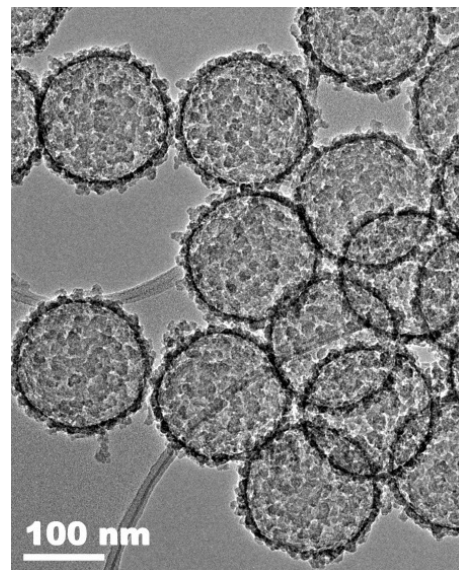
Et fremtidig kommersielt isolasjonsprodukt vil ha svært høy isolasjonsevne (lav varmeledningsevne). Isolasjonstykkelsen kan derfor reduseres vesentlig sammenliknet med dagens løsninger.

Energieffektive bygninger krever høy varmeisolasjonsgrad. For å oppnå passivhusstandard kan veggtykkelsene bli 40-50 cm ved bruk av tradisjonelle varmeisolasjonsmaterialer (mineralull, polystyren, etc.).

Bruk av standard isolasjonsmaterialer gir flere utfordringer for slike bygg: Lønnsomhet, arealutnyttelse, transportvolumer, arkitektoniske begrensninger, bygg- og branntekniske krav. Det er et behov for nye, kostnadseffektive isolasjonstyper som reduserer samlet materialbruk. Foreløpig er ikke teknologien kommersialisert – dette i påvente av industri som har vilje og mulighet til å finansiere videre utvikling.

Potensielle effekter

- Redusert materialbruk i bygninger som følge av tynnere isolasjon.
- Økt anvendbarhet da tynnere isolasjonslag kan benyttes, f.eks. ved rehabilitering og etterisolering.
- Redusert varmetap der tykkere isolasjonslag ikke kan benyttes.
- Mer isolasjon for samme transportvolum eller samme isolasjon for mindre transportvolum.
- Økt boareal og dermed økt markedsverdi.



Prosjektinfo: Nanoisolasjonsmaterialene er utviklet av SINTEF og NTNU innenfor FME ZEB samt forskerprosjektet Hi-Per NIM, High-Performance Nano Insulation Materials (Nano2021).

Foto: NTNU

Case #6: Bygningsintegrert ventilasjonsløsning

Innovasjonen er en bygningsintegrert ventilasjonsløsning som bidrar til å redusere elforbruket til ventilasjonsvifter med rundt 95 %. Beregnet og målt er 2,3 kWh/m² på pilotbygget Powerhouse Kjørbo.

Friskluft blir tilført ved hjelp av fortrengings-ventilasjon fra kjernen av bygget, mens brukt luft trekkes ut via trappesjakter. Ventilasjonssystemet har få ventilasjonskanaler med lav lufthastighet og får dermed ekstremt lavt trykkfall. Dette egner seg spesielt godt for bygg med store internlaster slik som forsamlingshus og kinosaler.

Arkitekter og ventilasjonsingeniører hos Snøhetta og Skanska Teknikk har utviklet konseptet for FME ZEB-pilotbygget på Kjørbo. Løsningene kan anvendes både i nybygg og ved rehabilitering.

Effekter

- Løsningen er installert i Powerhouse Kjørbo (pilotbygg).

Potensielle effekter

- Redusert energibruk til vifter, og dermed reduserte klimagassutslipp.
- Potensial i alle nybygg og rehabilitering, men særlig i yrkesbygg med høye internlaster.
- Noe tillegg av timer i prosjekteringsfasen. Noe besparelser i form av færre kanalmeter.



Trappeløp i Powerhouse Kjørbo i Oslo.

Prosjektinfo: Piloten er utviklet av næringspartnere (Snøhetta, Skanska, ZERO, Hydro, Entra Eiendom, Asplan Viak og Sapa) i samarbeid med SINTEF og NTNU innenfor FME ZEB. Foto: Powerhouse

Case #7: ZEB Definition: Redusert energibruk og mer lokal fornybar energi fra å bygge nullutslippsbygg

ZEB-definisjonen er en miljøambisjon for nye og eksisterende bygg.

Et nullutslippsbygg (ZEB – Zero Emission Building) produserer nok fornybar energi til å kompensere for byggets totale klimagassutslipp gjennom hele levetiden. ZEB forskningscenter har definert ulike grader av nullutslippsbygg – avhengig av hvor mange faser av byggets livsløp som er regnet med.

Bygninger står for ca. 35 % av energibruken i Norge, Europa og i verden for øvrig. Utfordringen er hvordan framtidens bygninger kan realiseres på en bærekraftig måte med en stadig økende befolkning og økende levestandard.

Samlet miljøpåvirkning og utslipp (CO₂-ekvivalenter) fra bygninger påvirkes bla. av:

- **Materialene:** Type materialer, levetid og framstilling av materialene.
- **Bygging:** Klimagassutslipp knyttet til oppføring av bygninger.
- **Drift av bygningene:** Energi- og klimagassutslipp knyttet til drift.
- **Avhending:** Andel av teknologiene og materialene som kan gjenvinnes og gjenbrukes.

Effekter

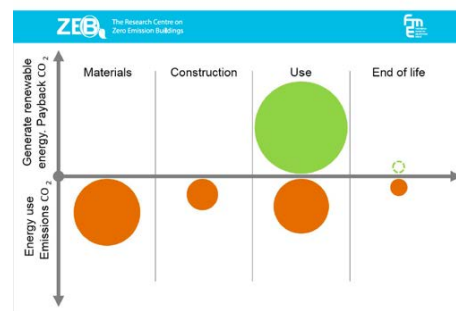
- ZEB-definisjonen er tatt i bruk av miljøbevisste aktører i byggebransjen. Standarden muliggjør forskriftsendringer raskere enn hva som ellers ville vært tilfelle.
- ZEB partnere har tatt i bruk ZEB-definisjonen i reelle byggeprosjekter. Prosjektene har en verdi på mer enn 3 mrd. I tillegg kommer andre prosjekter (ca. 50) der ZEB miljøet har bidratt med kompetanse og å sette ambisjonsnivå.
- Forskningen ved NTNU og SINTEF har gjort det mulig å innføre lavenerginivå og passivhusnivå i Byggteknisk forskrift i henholdsvis 2007 og 2017. Realisert energibruk er ikke beregnet men potensialet for redusert energibruk frem mot 2050 er 8 TWh for referansescenariot.

Potensielle effekter

- FME ZEN har gjennomført en mulighetsstudie for innfasing av nullutslippsbygg frem mot 2050. Studien viser at «Ambisiøst ZEB scenario» har et stort potensial for å redusere energibruk sammenliknet med «Baseline» (referansescenariot):
 - Energibruken i den norske bygningsmassen er 39 TWh mindre i 2050 enn i 2020.
 - Av dette bidrar ambisiøs innfasing av nullutslippsbygg med 31 TWh.

Selamawit Mamo Fufa, Reidun Dahl Schlanbusch, Kari Sarnes, Marianne Inman and Inger Andresen

A Norwegian ZEB Definition Guideline



Prosjektinfo: ZEB-definisjonen er utviklet av FME ZEB og industripartnere i senteret. ZEB-definisjonen videreutvikles til områdenivå i FME ZEN.

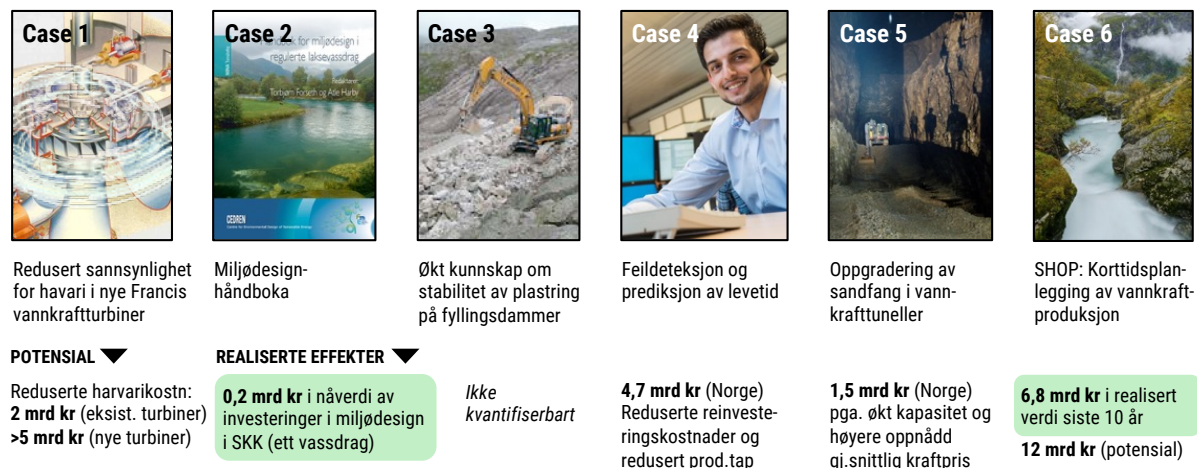
Illustrasjon: NTNU

5. Deltema 3 – Vannkraft



5.1 Sammendrag

Effektvurderingen av deltema «Vannkraft» er utarbeidet av Impello i samarbeid med NTNU, SINTEF og NINA. Seks prosjekter er studert mht. *resultater, effekter og potensielle effekter*:



Figur 24 Utvalgte case fra forskningstemaet vannkraft.

Resultater

Innenfor temaet vannkraft er det gjennomført 55 store forskningsprosjekter de siste ti årene. Det er utviklet minst 24 innovasjoner og der flere har potensial for industriell anvendelse. Innovasjonene omfatter blant annet økt kunnskap om fysiske forhold i dammer, vannveier og turbiner, Måling og anvendelse av data for å kunne bedre planlegge vedlikehold og unngå ikke-planlagt svikt, simuleringsverktøy for optimal utnyttelse av vannressurser, og metodeverk for systematisk miljøanalyse.

Siden 2008 er det uteksaminert 60 PhD/post.doc-kandidater og utdannet 275 masterkandidater. Kandidatproduksjon har vært et prioritert område for senterpartnerne.

Realiserte og potensielle effekter

Vannkraft

- Realiserte effekter
- Potensielle effekter

Case	Modenheter (TRL)	Redusert energibruk	Reduserte kostnader	Reduserte utslipp	Redusert materialbruk	Økt prod. av fornybar energi	Bedre sikkerhet, risiko, helse	Økt forsyningsikkerhet	Reduserte miljøingrepp	Bedre beslutninger	Industrielt potensial	Utdanning og rekruttering	Stryket i nasjonale FOU-miljø	Internasjonalt samarbeid
Case 1	Francis-turbiner - redusert fare for havari	5/8	○				○			●		●	●	●
Case 2	Miljødesignhåndboka	7		○				●	●			●	●	●
Case 3	Plastring på fyllingsdammer	6	○		○				●			●	●	●
Case 4	Feildeteksjon og prediksjon av levetid	4	○		○	○			○	●		●	●	●
Case 5	Oppgradering av sandfang i vannkrafttuneller	4	○	○	○	○			○	●		●	●	●
Case 6	SHOP - korttidsplanlegging av vannkraftproduksjon	9	●				●		●	●		●	●	●

Figur 25 Realiserte effekter, potensielle effekter og teknologisk modenhet (EUs TRL-skala 0-9, EU Horizon 2020 TRL-definisjon: <https://publications.europa.eu/s/iDQK>)

Realiserte effekter:

- SHOP (programvare fra SINTEF Energi) for kort-tidsplanlegging av vannkraftproduksjon har gitt en akkumulert, realisert verdi på 6,8 mrd. kr for nordiske kraftprodusenter (2008-2017). Fremtidig potensial er beregnet til 12 mrd. kr (nåverdi).
- Verdien av miljødesign hos Sira-Kvina kraftselskap utgjør 220 mill. kr for (ett vassdrag).
- Forskningen har bidratt til styrket utdanning og rekruttering til området, utvikling av sterke nasjonale forskningsmiljø, og flytting av kunnskapsfronten gjennom internasjonalt samarbeid.

Potensielle effekter: Vannkraftforskningen har hatt særlig fokus på å redusere drifts-kostnader og redusere investeringsbehov (eller utsette reinvesteringer), og store potensialer er identifisert i casene. Økt kunnskap og bedre beslutningsstøtteverktøy i planleggings-, drifts- og vedlikeholdsfasen vil gi økt forsyningssikkerhet i det norske kraftsystemet. Fire av casene er vurdert å ha et industrielt potensial ut over forskning.

5.2 Om forskningstemaet vannkraft

I løpet av de ti siste årene har norske forskningsmiljø gjennomført 55 store prosjekter innen temaet «vannkraft». Sentrale forskningsinstitusjoner er NTNU, SINTEF Energi, Norsk institutt for naturforskning (NINA) og Norut.

Mye av forskningen har vært organisert gjennom store KPN-prosjekter støttet av RENERGI/ENERGIX og gjennom to FMEer:

- CEDREN (Centre for Environmental Design of Renewable Energy, 2009-2017)
- HydroCen (Norwegian Research Centre for Hydropower Technology, 2016-2024)

I tillegg etablerte vannkraftbransjen på eget initiativ Norsk vannkraftsenter (NVKS) i 2014 som et ledd i å styrke vannkraftmiljøet på NTNU gjennom økt satsing på studieprogram og en paraply for vannkraftrelatert forskning. NVKS fikk tildelt flere store prosjekter i ENERGIX.

Sentrale forskningstema:

- Sedimenthåndtering i magasin, vannvei, turbin og vassdrag.
- Fleksibel drift av vannkraftmaskiner.
- Beregning av utmatting og restlevetid av vannkraftkomponenter.
- Ombygging til pumpedrift.
- Optimalisere utnyttelse av vannressurser.
- Samspill mellom økonomisk utnyttelse av vannressursen, teknisk tilstand på komponentene og bærekraftig samspill med miljøet.
- Miljødesign i lakseførende vassdrag.

Eksempler på prosjektpartnere er Statkraft, Agder Energi, Sira Kvina, E-CO, BKK, Hydro, Eidsiva, TrønderEnergi, NTE, Skagerak, Multiconsult, Sweco, Norconsult, Rainpower, Dynavec, Sedicon, ABB, Voith, Andritz, Energi Norge, NVE og Miljødirektoratet.

Nøkkeltall 2008-2017

Samlet forskningsinnsats: RENERGI, ENERGIX, FME	532 mill. kr
Uteksaminerte PhD-kandidater og post.doc	60
Uteksaminerte master-kandidater	275

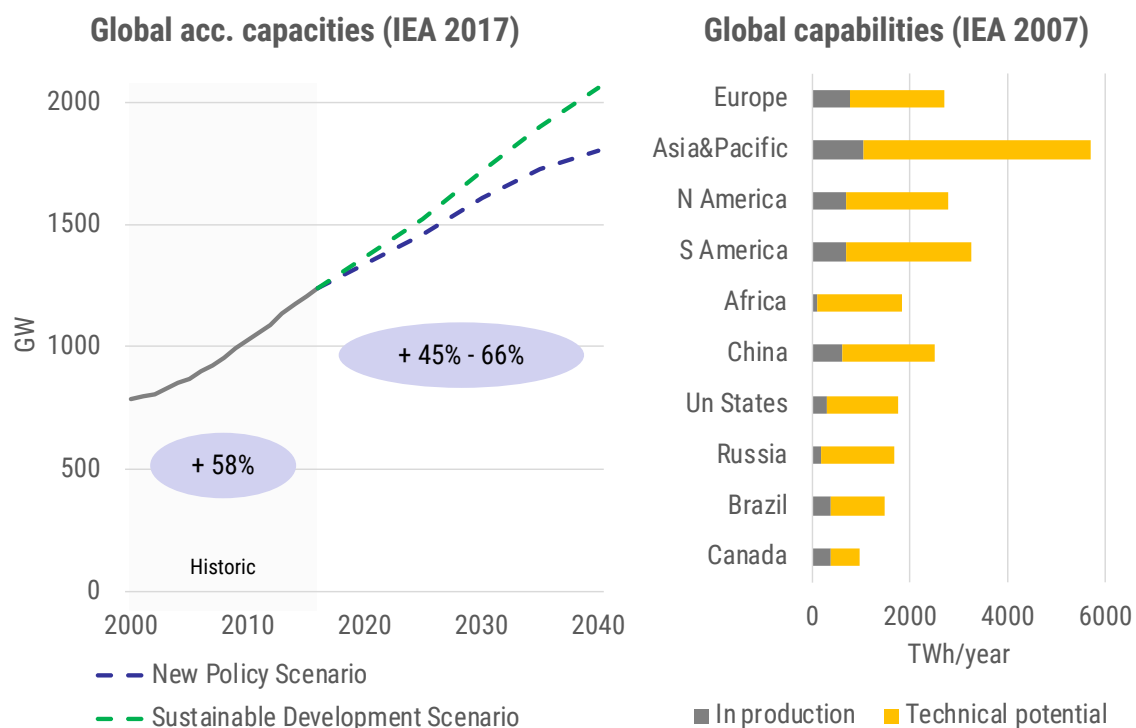
Tabell 6 Samlet forskningsinnsats består av finansiering fra Forskningsrådet, egeninnsats fra forskningsinstitusjonene og fra deltakende partnere (industri, næringsliv, offentlig virksomhet, mv.).

Kilde: FME HydroCen

5.3 Referansebane

Global relevans for vannkraft

- Vannkraft er moden og konvensjonell teknologi.
- Vannkraft med magasin er den eneste nåværende teknologien som muliggjør langsiktig og storskala lagring av energi
- Utbredelsen av vannkraft vil være begrenset av lokale forhold som høydeforskjeller og muligheten for å etablere magasin.
- Vannkraft er forutsett å øke i lignende takt som de siste 15 årene, opp fra ca. 1200 GW til opp mot 2100 GW i 2040.
- I Norden vil det være mindre økning i ny kapasitet, men høy aktivitet knyttet til rehabilitering og reinvesteringer.



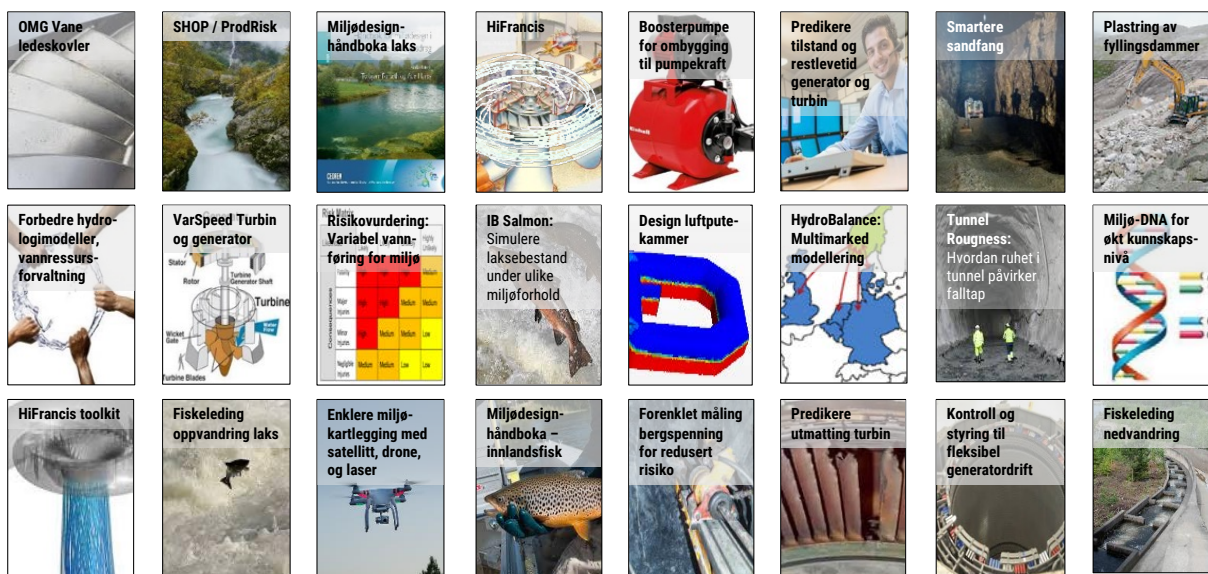
Figur 26 Kilde: IEA World Energy Outlook 2017

New Policies Scenario: Incorporates existing energy policies as well as an assessment of the results likely to stem from the implementation of announced policy intentions.

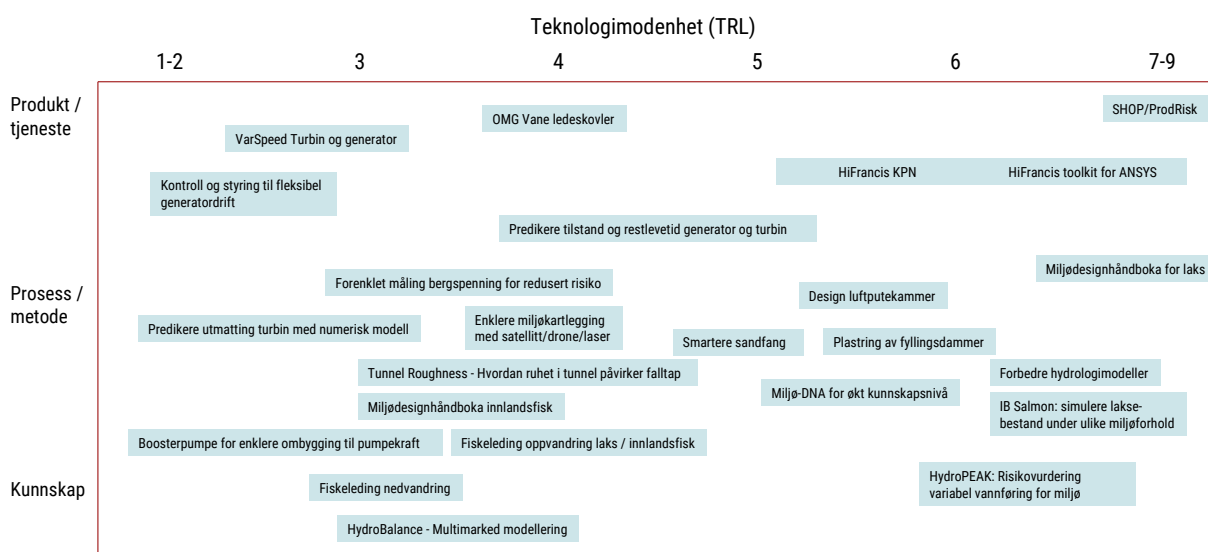
Sustainable Development Scenario: Outlines an integrated approach to achieving internationally agreed objectives on climate change, air quality and universal access to modern energy.

https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/hydropower_essentials.pdf

5.4 Innovasjoner og utvalgte case



Figur 27 Innovasjoner fra forskningsområdet vannkraft. Seks av disse er studert nærmere mht. resultater, potensielle effekter og realiserte effekter.



Figur 28 Teknologisk modenhet (EUs Technology Readiness Level skala) for 24 innovasjoner.

Av 24 prosjekter er følgende case valgt ut:

- **Case 1** Redusert sannsynlighet for havari i nye Francis vannkraftturbiner.
- **Case 2** Miljødesignhåndboka
- **Case 3** Stabilitet av plastring på fyllingsdammer.
- **Case 4** Feildeteksjon og prediksjon av levetid.
- **Case 5** Oppgradering av sandvang i vannkrafttuneller.
- **Case 6** SHOP – programvare for korttidsplanlegging av vannkraftproduksjon.

Case #1: Francis-turbiner - redusert fare for havari

Innovasjonen er avgjørende kunnskap om fysikken i turbinenes løpehjul i Francis vannkraft-turbiner. Sannsynligheten for havari kan reduseres fra 10 % til 5 % for nye turbiner.

I HiFrancis-prosjektet gjennomføres omfattende målinger og eksperimenter for å forstå fysikken i turbinenes løpehjul. Resultatene brukes til å utvikle simuleringsmetoder og dokumenterte og validerte prosedyrer som turbinprodusentene kan anvende når nye turbiner skal designes.

Høytrykks Francis (HF) vannkraftturbiner har ved flere tilfeller havarert som følge av resonans i løpehjulet i turbinen. Erfaringsdata viser at det er 10 % sannsynlighet for at en ny HF-turbin havarerer i løpet av første driftsår.

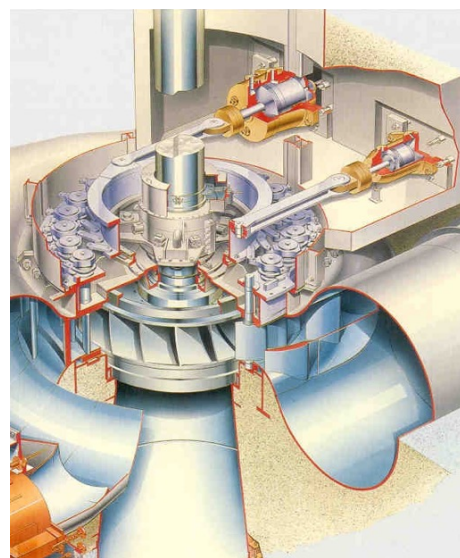
Havari kan således ha enorme konsekvenser både for vannkraftprodusentene og samfunnet. Etter et havari kan det ta opp til ett år å få produksjonen i gang igjen. I 2010 havarte en 250 MW vannkraftturbin ved Svartisen kraftverk, noe som medførte svært høye kostnader for Statkraft.

Effekter

- Prosjektet har ført til økt forskningsaktivitet i vannkraftindustrien. EDR Medeso har f.eks. firedoblet sin aktivitet.
- Alle de store produsentene av HF-turbiner deltar i HiFrancis-prosjektet.

Potensielle effekter

- **Økt drifts- og forsyningssikkerhet:** Sannsynligheten for resonans og påfølgende havari i nye HF-turbiner antas å bli redusert fra 10 % til 5 %.
- **Økonomisk potensial:** Reduserte investerings- og havarikostnader for vannkraftprodusentene og turbin-leverandørene. Estimert nåverdi (40 år) for utskifting av eksisterende HF-turbiner:
 - 500 mill. kr i Norge
 - 1,5 mrd. kr i resten av verden
- For nye HF-turbiner kan reduserte havari-kostnader utgjøre mer enn 5 mrd. kr globalt.



Prosjektinfo: HiFrancis-prosjektet (2016-2019) er gjennomført av NTNU og SINTEF i samarbeid med norske og internasjonale turbinleverandører, kraftselskaper og konsulentmiljø. Prosjektet har vært finansiert av ENERGIX.

Illustrasjon: Kværner

Case #2: Miljødesignhåndboka

**Håndboken for miljødesign i regulerte lakse-
vassdrag er et verktøy for å implementere miljø-
design med mest mulig positiv miljøeffekt
samtidig som at man opprettholder en høy
utnyttelse av vassdragets kraftproduksjons-
potensial.**

Regulering av vassdrag for vannkraftproduksjon medfører betydelige inngrep i miljøet. Utfordringen er å finne ut hvilke tiltak som vil være mest effektive når hensynet til både miljø og kraftproduksjon skal ivaretas.

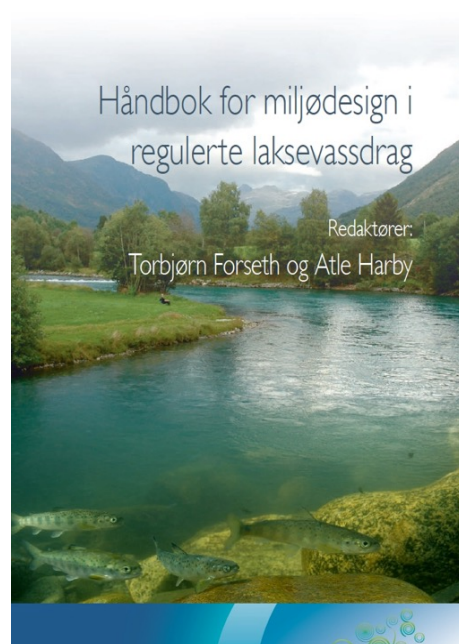
Selv om mange vassdrag har gjennomført miljøtiltak som har gitt positive effekter så har det manglet en enhetlig tilnærming for å utvikle tiltak basert på forskningsmessige metoder og kunnskap.

Effekter

- Metodikken i håndboken har blitt en faglig referanse («standard») i utforming av miljøundersøkelse og tiltak i norske laksevassdrag.
- Håndboken vil ha stor bruksverdi i andre typer vassdrag (ikke bare laks) og i andre land med vannkraftproduksjon. Håndboken er også oversatt til engelsk og kinesisk.

Potensielle effekter

- Håndboken og konseptet har potensial til å forbedre miljøforhold i de fleste regulerte vassdragene i verden.
 - Valg av de mest effektive investeringene og samtidig forbedre miljøtilstanden.
 - Sikre høyest mulig kraftproduksjon i vassdragene uten at det går på bekostning av miljøet.
 - Åpne for ny vannkraftproduksjon som følge av nye tiltak for miljødesign.



Prosjektinfo: Miljødesignhåndboka ble utviklet gjennom NFR prosjektet EnviDORR, som etter hvert ble innlemmet i FME CEDREN. Senteret var finansiert av ENERGIX og 19 brukerpartnere (bla. Statkraft, AEV, SKK, BKK, ECO, NVE & Miljødirektoratet).

Illustrasjon: FME CEDREN

Case #3: Stabilitet av plastring på fyllingsdammer

Innovasjonen består i økt kunnskap og utvikling av teknologi for stabilitet av plastring på fyllingsdammer.

Forsøk har vist at plastring, som beskrevet i damforskriften, gjennomsnittlig tålte å bli overstrømt med en sju ganger høyere vannføring, enn rauset steinsikring. Det ble videre identifisert forskyvinger i steinene, påført av vannstrømmen som er beskrevet som ny bruddmekanisme for plastring. Prosjektet bidro også til utvikling av nytt måleutstyr «Smartstones», som registrerer bevegelsene til steinen.

Med revisjon av damsikkerhetsforskriften i 2010, ble krav om plastring på nedstrøms side tatt med for alle fyllingsdammer med full tilbakevirkende kraft. Størrelsen på steinen som skal legges på er basert på erfaring fra rauset steinsikring, og dimensjonerende gjennomstrømning i støttefyllinger. Estimert kostnad for å oppfylle krav om plastring i eksisterende dammer, er på ca. 8 mrd. kr (Energi Norge 2011).

Motivasjonen for prosjektet var å kvantifisere økt sikkerhet mellom plastring og rauset steinsikring, samt å øke kunnskapen slik at ny plastring kan bli utført på best mulig måte.

Potensielle effekter

- **Kvantifisert økt sikkerhet:** Plastring som sikringstiltak av fyllingsdammer er kvantifisert til gjennomsnittlig sju ganger høyere enn rauset steinsikring.
- Ny bruddmekanisme ble oppdaget i form av forskyvning av stein: Viktig bidrag til stabilitet av plastring generelt.
- **Samfunnsøkonomisk spørsmål:** Vassdragsbransjen og myndighetene, samt politikerne, må finne hvilket sikkerhetsnivå de ønsker til hvilken pris. Dvs. kost/nytteforholdet for å plastre eksisterende fyllingsdammer uten plastring.



Plastring på fyllingsdammer.

Foto: NTNU (Priska H. Hiller)

Case #4: Feildeteksjon og prediksjon av levetid

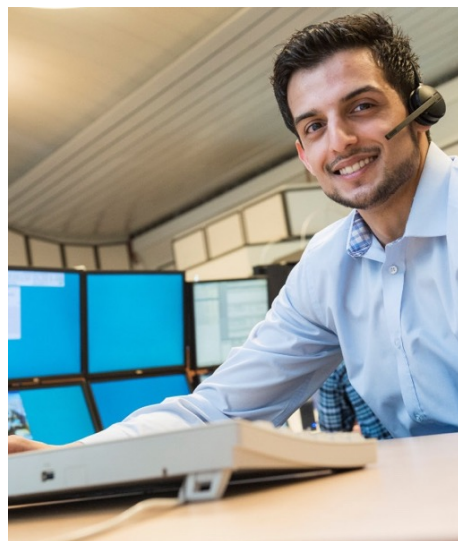
Innovasjonen består av et sett med modeller og algoritmer som skal predikere tilstand og optimere vedlikeholdsstrategien til operatøren. Modellene bygges med kapabilitet for maskinlæring og kunstig intelligens.

I kombinasjon med faktiske driftsdata predikeres teknisk tilstand som gir grunnlag for å en tilstandsstyrt vedlikeholdsfilosofi.

Vedlikeholdsstans og utskifting av komponenter i vannkraftverk er i stor grad tidsstyrt og basert på antatt teknisk levetid. Det genereres mye driftsdata gjennom lokalkontroll og vern, men disse dataene brukes i liten grad til beslutninger om vedlikehold og reinvesteringer.

Potensielle effekter

- **650 mill. kr i utsatte og reduserte reinvesteringskostnader** som følge av bedre kunnskap om komponentenes faktiske tilstand og gjenstående levetid.
- **4 mrd. kr i redusert produksjonstap** pga. redusert utetid gjennom færre korrektive og forebyggende vedlikeholdstiltak.
- Reduserte inspeksjonskostnader og produksjonsstopp ved å gå fra faste tidsbaserte til tilstandsbaserte inspeksjoner.
- Reduserte kostnader for korrektivt (ikke planlagt) vedlikehold som følge av redusert sannsynlighet for havari.
- Grunnlag for økt kunnskap blant kraftverksoperatører, leverandører og konsulenter for hvordan tilstanden til komponenter i vannkraftverk utvikler seg.



Prosjektinfo: MonitorX-prosjektet (2015-2019) er organisert av Energi Norge og gjennomført av SINTEF og NTNU i samarbeid med norske og svenske kraftselskaper, og to selskaper fra leverandørindustrien. Prosjektet er et IPN-prosjekt finansiert av ENERGIX.

Case #5: Oppgradering av sandfang i vannkrafttuneller

NTNU, Sira-Kvina kraftselskap og Graz tekniske universitet har utviklet en kostnads- og tids-effektiv løsning for å forbedre eksisterende sandfang. En strømningsretter kombineres med automatiske spyleanordninger som forbedrer strømningsforholdene og dermed sedimenteringen.

Vannet som føres inn i kraftproduksjons-systemet drar med seg mye sand og stein inn i rør og vannkrafttuneller. For å sedimentere ut sanden benyttes såkalt «sandfang».

Dagens sandfang har flere utfordringer:

- Utvidelser av kapasitet til vannkraftverk kan begrenses pga. av mangelfullt sandfang.
- Erosjon og redusert virkningsgrad til turbiner på grunn av sand.
- Manuell jobb å tømme sandfang (spade og gravemaskin).

Potensielle effekter i Norge

Løsningen for oppgradering av sandfang er ikke installert eller verifisert.

Det teoretiske potensialet er likevel stort:

- **5-10 % økt produksjonskapasitet:**
 - Forbedret sandfang gir mulighet for større vannslipp gjennom produksjons-systemet i magasinkraftverk.
 - 0,25 % økt virkningsgrad i turbinene pga. redusert sand i vannstrømmen.
- **Forbedret lønnsomhet:**
 - Høyere oppnådd gjennomsnittlig kraftpris grunnet økt produksjonskapasitet. Gir mulighet til å selge mer kraft i perioder med høy strømpris.
 - Reduserte vedlikeholdskostnader pga. mindre erosjon på turbiner.
 - Lavere driftskostnader siden fjerning av sand kan effektiviseres/automatiseres.
- **1500 mill. kr i teoretisk verdi** (netto nåverdi) dersom alle norske kraftverk oppgraderer sine sandfang.



Prosjektinfo: Fleksible sandfang (FlekS) (2017-2019) er gjennomført av NTNU, Sira-Kvina kraftselskap og Graz tekniske universitet. Prosjektet har vært finansiert av Regionale forskningsfond for Agder. Sandfangs-forskningen videreføres nå av en stipendiat i FME HydroCen.

Foto: Sira-Kvina kraftselskap

Case #6: SHOP – korttidsplanlegging av vannkraftproduksjon

SHOP er et programvareverktøy med avanserte algoritmer som utarbeider detaljerte produksjonsplaner basert på informasjon om tilsig, markedspris og last.

SHOP er tilpasset et bredt spekter med vassdrags-topologier og inkluderer detaljerte beskrivelser av teknisk utstyr som aggregater, pumper, luker og tunneller. I tillegg kan en rekke miljø- og konsesjons-avhengige restriksjoner modelleres. SHOP hjelper kraftprodusentene til optimalisere driften og maksimere verdien av produksjonen.

Viktigste funksjoner i dag:

- Beregning av optimale produksjonsplaner.
- Støtte for handel i energi- og reservemarked
- Optimal fordeling av reserveforpliktelser.
- Simulering av flyt i vassdragene.

Vannkraft er en av Norges viktigste natur-ressurser. For å maksimere økonomisk verdi fra må vannkraft produseres når prisen er høy og reduseres til et minimum når prisen er lav. Det er likevel ingen enkel oppgave å oppnå kostnadseffektiv drift av komplekse vassdrag samtidig som det skal tas hensyn til miljø og livet i vassdragene.

Effekter

- **Kommersialisert:** SHOP har 25 kunder som benytter systemet i daglig drift. Brukerne er de fleste vannkraftprodusentene i Norden, og produsenter i Sveits, Italia, Østerrike og Chile.
- **2 % verdiøkning** av vannkraftproduksjon gjennom optimal produksjon og flyt i vassdragene. SHOP gjør at man til enhver tid får mest mulig verdi av vannressursene som er tilgjengelige i magasinene.
- **6,8 mrd. kr** i akkumulert realisert verdi for nordiske SHOP-brukere (2008-2017).

Potensial

- **>12 mrd. kr** i potensiell nåverdi dersom alle nordiske kraftprodusenter tar i bruk SHOP-systemet.



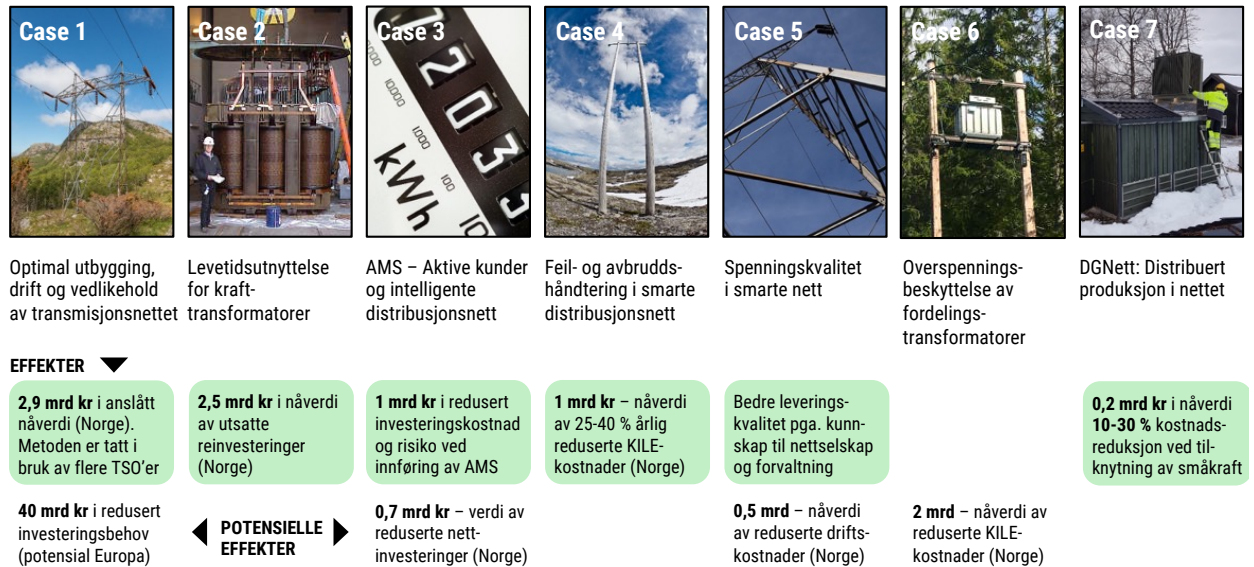
Prosjektinfo: SHOP har blitt utviklet gjennom et stort antall prosjekter som har vært delfinansiert av industrien, RENERGI og ENERGIX.

6. Deltema 4 – Energisystemer



6.1 Sammendrag

Effektvurderingen av deltema «Energisystemer» er utarbeidet av Impello i samarbeid med SINTEF Energi. Sju prosjekter er studert mht. *resultater, effekter og potensielle effekter*:



Figur 29 Utvalgte case fra forskningstemaet energisystemer.

Resultater

Innenfor temaet energisystemer er det gjennomført ca. 100 store forskningsprosjekter de siste ti årene. Forskingen har stor bredde, med fokus på både systeminnovasjon og nye/forbedrede komponenter. Innovasjonene fra denne forskningen er blant annet nye metoder, analyseverktøy, strategier og testprosedyrer.

Resultatene fra de sju casene er i hovedsak økt kunnskap hos nettselskapene og i kraftbransjen for øvrig om hvordan redusere eller utsette kommende investeringer i nettet, og hvordan redusere drifts- og vedlikeholdskostnadene. Siden 2008 er det uteksaminert 64 PhD-kandidater og utdannet ca. 800 masterkandidater fra fagmiljøene som er tilknyttet FME-en. Dette representerer et betydelig kunnskapsbidrag til kraftsektoren.

Realiserte og potensielle effekter

Realiserte effekter: De tallfestede effektene av forskningen består i hovedsak av reduserte kostnader til investeringer og reinvesteringer i kraftnettet til en samlet nåverdi på 6,6 mrd. kr. I tillegg kommer reduserte KILE³³-kostnader på 1 mrd. kr.

- Innen området «Optimal utbygging, drift og vedlikehold av transmisionsnett» har flere systemansvarlige nettselskaper (TSO'er) som Statnett, RTE og Landsnet tatt i bruk metoder fra forskningen. 10 % reduksjonen i forventede investeringer i transmisionsnett i Norge³⁴ for perioden 2018-2025 gir en nåverdi på 2,9 mrd. kr.

³³ KILE: Kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi, dvs. samfunnsøkonomiske avbruddskostnader

³⁴ Status og prognoser for kraftsystemet 2016. Sammenstilling av data fra kraftsystemutredningene for regionalnettet fra 2016 (NVE, 2016)

Resultatene er også relevante ved utbygging av transmisjonsnettet i hele EU³⁵ som er 14 ganger størrelsen til de norske investeringene i samme periode (40 mrd. kr).

- Transformatorforskningen har bidratt med kunnskap som tillater utsettelse av reinvesteringer med en nåverdi estimert til 2,5 mrd. kr. Forskningen relatert til AMS (smarte strømmålere) har blant annet bidratt til besparelser gjennom en felles kravspesifikasjon for AMS-anskaffelsen i Norge og redusert risiko ved å samle erfaringer fra pilot- og demoprojekt.
- Kunnskapen og metoder fra energisystemforskningen bidrar til bedre beslutninger hos forvaltning og nettselskaper, som understøtter et sikkert, kostnadseffektivt og miljøvennlig kraftsystem.
- Forskningen har bidratt til styrket utdanning og rekruttering til området, utvikling av sterke nasjonale forskningsmiljø, og flytting av kunnskapsfronten gjennom internasjonalt samarbeid.

Energisystemer

- Realiserte effekter
- Potensielle effekter

		Modenhet (TRL)	Redusert energibruk	Reduserte kostnader	Reduserte utslipp	Økt bruk av materialbruk	Bedre sikkerhet, risiko, helse	Økt forsyningssikkerhet	Reduserte miljøingrep	Bedre beslutninger	Industrielt potensial	Utdanning og rekruttering	Syrker nasjonale FoU-miljø	Internasjonalt samarbeid
Case 1	Optimal utbygging, drift og vedlikehold av transmisjonsnettet	6-8	●	●	●	●	●	●	○			●	●	●
Case 2	Levetidsutnyttelse for krafttransformatorer	8	●		○		●		●	●		●	●	●
Case 3	AMS: Aktive kunder og intelligente distribusjonsnett	8	○	●			●		●	●		●	●	●
Case 4	Feilhåndtering i smarte distribusjonsnett	6		○				○	●	○		●	●	●
Case 5	Spenningskvalitet i smarte nett	5-8		○			●	●	●	○		●	●	●
Case 6	Overspenningsbeskyttelse i fordelingstransformatorer	8		○			○	○	●	○		●	●	●
Case 7	DGNett: Distribuert produksjon i nettet	8	●	●	●	●	●	●	○			●	●	●

Figur 30 Realiserte effekter, potensielle effekter og teknologisk modenhet (EUs TRL-skala 0-9, EU Horizon 2020 TRL-definisjon: <https://publications.europa.eu/s/iDQK>)

Potensielle effekter:

- Flere av innovasjonene og forskningsresultatene har potensial for å gi videre reduserte kostnader og økt forsyningssikkerhet.
- Flere av casene er pågående eller nylig avsluttede prosjekt, slik at effekter vil vise seg senere. Et eksempel er case 6, hvor det er ventet færre transformatorhavari som følge av lynnedslag. Det er ventet å gi økt forsyningssikkerhet og reduserte avbruddskostnader med en nåverdi på inntil 2 mrd. kr.
- Etter innføring av AMS vil det bli mulig å benytte metoder som reduserer topplasten i kraftnettet. Nåverdien av det er anslått til 0,6 mrd. kr. Andre demonstrerte metoder kan bidra til økt sikkerhet for mennesker og materiell.
- To case er vurdert til å ha et industrielt potensial, dvs potensial for kommersialisering, lisensiering eller bedriftsetablering/spin-off.

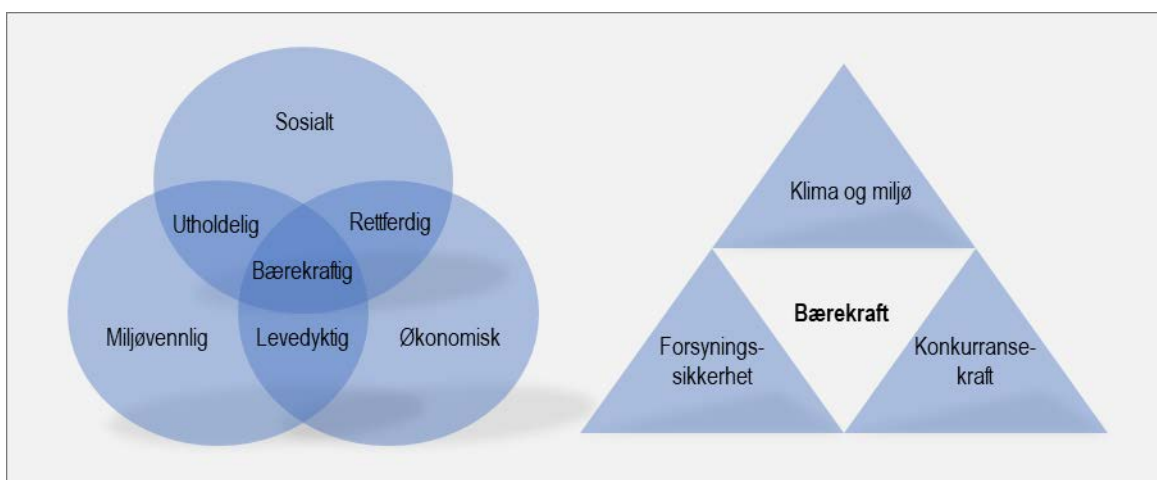
³⁵ World Energy Investment Outlook 2014 (IEA/OECD, 2014)

6.2 Om forskningstemaet energisystemer

Nettselskaper/systemoperatører og offentlig forvaltning er viktige mottakere av energisystemforskning. Disse aktørene har et samfunnsansvar, og en viktig motivasjon for å initiere eller støtte forskningsprosjekter er målsettingen om å gjøre samfunnsøkonomisk riktige beslutninger. Teknologileverandører er andre viktig oppdragsgivere til forskningen. Den norske forskningen på energisystemer bidrar på denne måten til samfunnsøkonomisk utvikling av fremtidens kostnadseffektive, robuste, intelligente, miljøvennlige og fleksible energisystem.

Kraftsystemet er i endring, og vil utsettes for gjennomgripende forandringer i tiårene som kommer. Nye produksjonskilder og nye forbruksmønster fører til at kraftsystemet blir mer kompleks og dynamisk, samtidig som elektrifiseringen av samfunnet medfører høye krav til leveringskvalitet. Endringene vil være spesielt store i distribusjonsnettet, hvor strømmen bringes ut til forbruker.

Samfunnet er kritisk avhengig av høy forsyningssikkerhet når det gjelder elektrisitet, og dette stiller økte krav til påliteligheten til komponentene i systemet, samt hvordan systemet driftes. Brundtlandkommisjonens arbeid³⁶ har gitt føringer for definisjon av bærekraft som en funksjon av sosiale, økonomiske og miljømessige påvirkninger. Innenfor energiområdet kan dette oversettes til *bærekraftstrekanten* eller *the energy trilemma*³⁷.



Figur 31 Bærekraft og «The Energy Trilemma»

Innenfor energiområdet er forsyningssikkerhet ett av «beina i trekanten», og representerer store nasjonale interesser med hensyn på nasjonens sikkerhet for innbyggere, konkurransekraft og nasjonal integritet. Energisystemet spiller en spesielt viktig rolle for å ivareta et lands eller et samfunns forsyningssikkerhet samtidig som det legger til rette for god konkurransekraft og at klima og miljøhensyn ivaretas på en god måte. Verdien av god forsyningssikkerhet

³⁶ Verdenskommisjonen for miljø og utvikling, ble nedsatt av FNs generalsekretær 1983 med Gro Harlem Brundtland som leder.

³⁷ Se for eksempel <https://www.worldenergy.org/publications/2018/trilemma-report-2018/>

er spesielt krevende å kvantifisere, fordi tilgangen til (ren) energi er så grunnleggende viktig for alle samfunnsfunksjoner både i offentlig og privat sektor.

Forskningen har vært organisert med NTNU og SINTEF som de to viktigste forskningsinstitusjonene og gjennom FME CINELDI (2016 – 2024).

Sentrale forskningstema er:

- Forsyningsikkerhet
- Pålitelige kraftsystemkomponenter
- Spenningskvalitet
- Forbrukerfleksibilitet
- Distribuert produksjon
- Elektrifisering av transportsektoren
- Intelligente distribusjonsnett
- Digitalisering av komponenter og system
- Transmisjonssystem
- HVDC-teknologi og kraftelektronikk
- Utnyttelse av batterier og andre typer energilager
- Markedsløsninger og nettariffer
- Forvaltning og modernisering av eksisterende infrastruktur for kraftproduksjon og overføring.

Nasjonale industri- og forskningspartnere har vært sentrale deltakere i forskning på energisystemer. Eksempler er norske og internasjonale nettselskap, systemoperatør, myndigheter, leverandører og ulike bransjerelaterte medlemsbedrifter.

Nøkkeltall 2008-2017

Samlet forskningsinnsats:

RENERGI, ENERGIX, FME 600 mill. kr

Antall store prosjekter 100

Uteksaminerte PhD -kandidater 64

Uteksaminerte master-kandidater 800

Tabell 7 Samlet forskningsinnsats består av finansiering fra Forskningsrådet, egeninnsats fra forskningsinstitusjonene og fra deltakende partnere (industri, næringsliv, offentlig virksomhet, mv.). Kilde: FME Cineldi

6.3 Referansebane - utvikling frem mot 2030

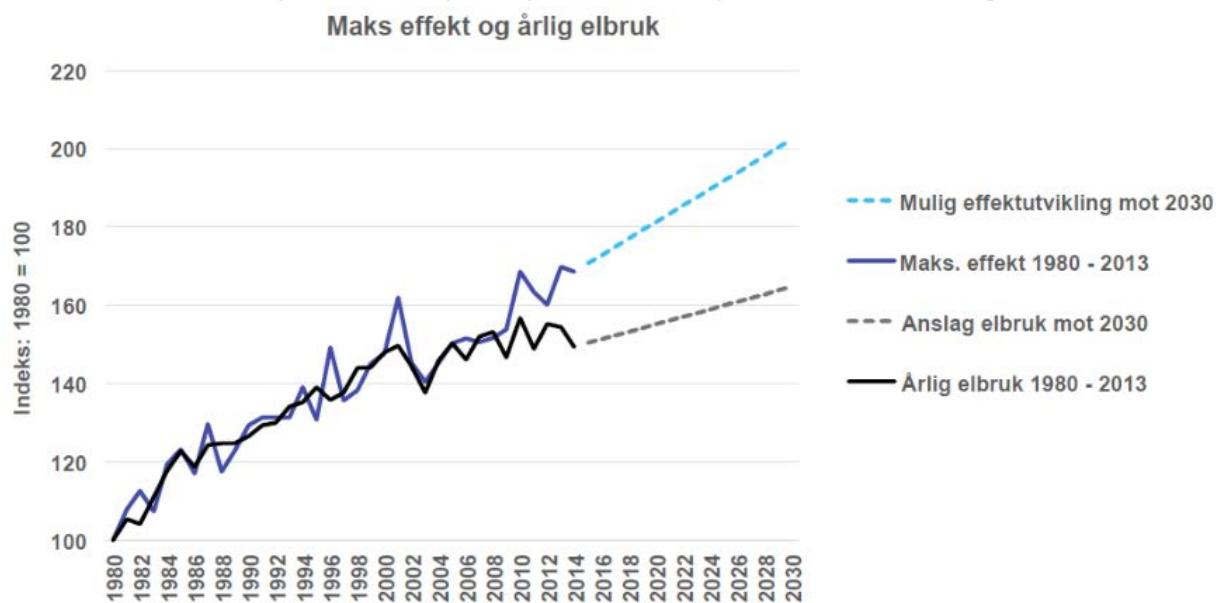
I følge NVE-rapport 2016-94³⁸ er det den kommende tiårsperioden (2016-2025) planlagt investeringer for totalt 140 mrd. kr i kraftnettet, hvorav bl.a. 50-70 mrd. kr er forventet i sentralnettet, 31 mrd. kr i regionalnettet, 48 mrd. kr er planlagt i distribusjonsnettet og i underkant av 10 mrd. kr vil være knyttet til AMS. Forskning er forventet å bidra til mer

³⁸ http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_94.pdf

kostnadseffektive løsninger som begrenser noe av investeringsbehovet, samtidig som risikoen for feilinvesteringer reduseres.

På kundesiden er trenden at strømforbruket er stadig mer energieffektivt, men også mer effektkrevene. Dette bidrar til en økende maksimalbelastning og en redusert brukstid av strømmettet. Det er viktig at nettkapasiteten er tilstrekkelig til å håndtere maksimalbelastningen. Det vil ikke alltid være kostnadseffektivt å investere i ny nettkapasitet, slik som tradisjonen normalt har vært, og derfor kan alternative løsninger være aktuelle.

En forventet utvikling av effekt- og energiuttaket i Norge fram mot 2030 er presentert under.



Figur 32 Utvikling av effekt- og energiuttaket i Norge 1980 - 2030 (kilde: Statnett og NVE)³⁹

Med den fortsatte elektrifiseringen av samfunnet, vil kravene til forsyningssikkerhet i kraftsystemet øke. På samme tid er det en forventning om store omskiftninger i kraftsystemet, med mer variabel distribuert produksjon, nye typer elektrisk forbruk, høyere utnyttelse av eksisterende nett og videre digitalisering av kritiske vern- og styringssystemer. I en slik kontekst vil det bli stadig mer krevende å identifisere og kvantifisere de faktorene som påvirker forsyningssikkerheten.

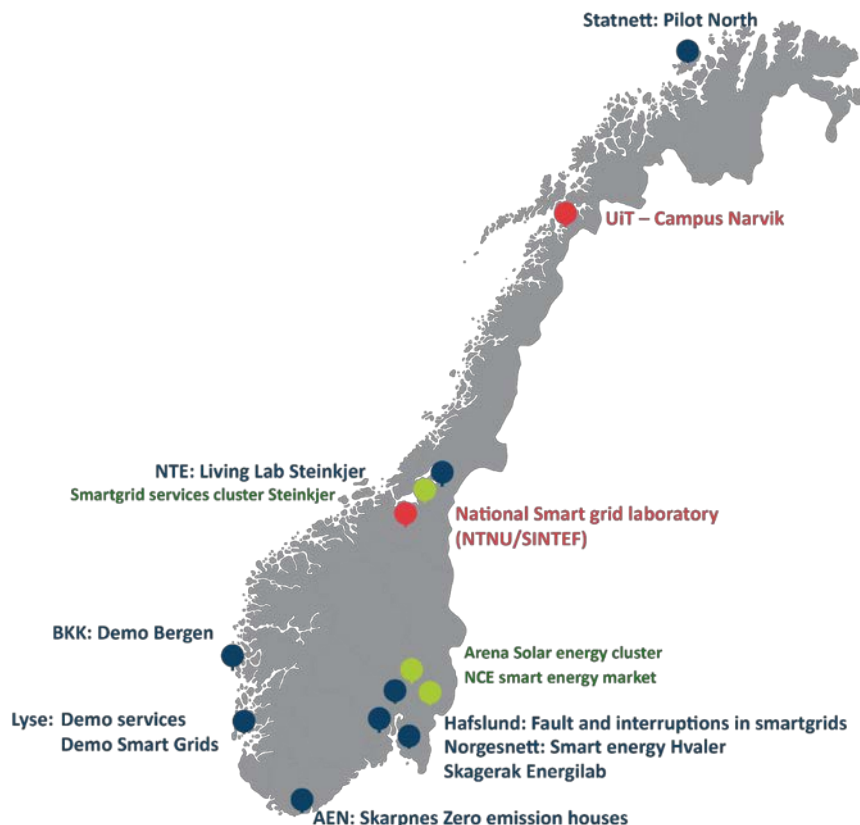
6.4 Ulike typer innovasjoner og resultater

Forskningen innen energisystemer har stor bredde, med fokus både på systeminnovasjon og nye/forbedrede komponenter. Målsetting kan være forskjellig fra prosjekt til prosjekt, men et generelt utgangspunkt er å bidra til utviklingen av fremtidens energisystem.

Forskningen gjennomføres i samarbeid med norske nettselskap, leverandører og offentlig forvaltning. Nye metoder/løsninger/prosesser/komponenter testes ut ved bruk av både laboratorier (spesielt Smartgrid-lab) og i «Living labs» hos nettselskapene (Figur 33).

³⁹ <http://gasskonferansen.com/Foredrag2015/Sanderud.pdf>

Nye, forbedrede metoder/arbeidsprosesser som beskriver hvordan dagens oppgaver kan løses på en mer kostnadseffektiv måte, bl.a. ved å ta i bruk nye data som etter hvert blir tilgjengelig. Eksempel på slike datakilder er smarte strømmålere og sensorer ute i nettet. Økt tilgang til data vil muliggjøre reduserte drifts- og vedlikeholdskostnader, reduserte investeringskostnader, økt levetid for komponenter i kraftsystemet, økt forsyningsikkerhet. Nye modeller og verktøy som bidrar til økt pålitelighet til lavest mulig samfunnsøkonomisk kostnad, gir muligheter til å analysere virkning og konsekvens av ny teknologi i kraftsystemet, f.eks. ved å ved økende grad av fleksibilitet på kundesiden, økt introduksjon av distribuert produksjon og energilager.



Figur 33 Pilotprosjekter og laboratorier som er relevante for forskning på energisystemer (kilde: www.smartgrids.no)

6.5 Innovasjoner og utvalgte case

Av ca. 100 prosjekter er følgende case valgt ut:

- **Case 1** Optimal utbygging, drift og vedlikehold av transmisjonsnettet.
- **Case 2** Levetidsutnyttelse for krafttransformatorer.
- **Case 3** AMS – aktive kunder og intelligente distribusjonsnett.
- **Case 4** Feilhåndtering i smarte distribusjonsnett.
- **Case 5** Spenningskvalitet i smarte nett.
- **Case 6** Overspenningsbeskyttelse i fordelingstransformatorer.
- **Case 7** Distribuert produksjon i nettet.

Case #1: Optimal utbygging, drift og vedlikehold av transmisjonsnett

Innovasjonen er en sannsynlighetsbasert metode for utbygging, drift og vedlikehold av transmisjonsnett som tar hensyn til samfunnsøkonomiske kostnader.

Metoden er utviklet av SINTEF Energi i en serie av prosjekter rettet mot forsyningsikkerhet i transmisjonsnett. Innovasjonen består blant annet av:

- Matematiske modeller som optimaliserer for høyest mulig ytelse og pålitelighet i kraftsystemet til en lavest mulig samfunnsøkonomisk kostnad.
- Programvareverktøy som benyttes til å beregne leveringspålitelighet og til å sammenlikne ny og gammel praksis.

Effekter

- Flere TSO'er (Statnett, Landsnet, Fingrid, RTE m.fl.) har tatt i bruk hele eller deler av metoden. Anslått nåverdi ved 10 % reduksjon i forventede investeringer i transmisjonsnett i Norge (2018 – 2025) er **2,9 mrd. kr.**
- **Økt bruk av fornybar energi:** Økt utnyttelse av transmisjonsnett muliggjør tilknytning av mer fornybar energi.
- **Reduserte utslipp og reduserte naturinngrep:** Metoden medfører blant annet færre eller mindre omfattende nettutbygginger.
- Verktøyene gir økt kunnskap og dermed **bedre beslutninger** i forvaltning.

Potensielle effekter

- Reduserte drifts- og vedlikeholdskostnader i transmisjonsnett.
- **Internasjonalt potensial:** Metoden er relevant for utbygging, drift og vedlikehold av transmisjonsnett i hele EU. Dette vil gi ytterligere økonomiske gevinster da investeringene i EU er ca. 14 ganger størrelsen til de norske investeringene, **40 mrd. kr.**
- **Industrialisering:** Det kan være ytterligere kommersielt potensial hos andre nettselskaper og nettplanleggere.



Prosjektinfo: SAMREL (2010-2014) og Sårbarhetsprosjektet (2009-2013) (KMB/KPN-prosjekter, RENERGI/ENERGIX) utført av SINTEF Energi. GARPUR (2013-2017) (EU FP7) koordinert av SINTEF Energi, med 20 europeiske partnere, bl.a. 7 transmisjonsnettoperatører inkl. Statnett.

Case #2: Levetidsutnyttelse for krafttransformatorer

SINTEF Energi har gjennomført en rekke KPN-prosjekter på aldring og tilstandskontroll for transformatorer rettet både mot forvaltning av en aldrende transformatorpark, og mot spesifisering og kontroll av nyinnkjøp. Innovasjonsprosjektet TrafoTiltak, er et verktøy som tilrettelegger en systematisk bruk av kunnskapene for en flere bedrifter.

I Norge er det ca. 3000 krafttransformatorer, hvorav halvparten er eldre enn 35 år. Etter 1990 falt reinvestringsraten i elkraftsystemet fra 7 % til under 1 %. Med designlevetider på 30 år så man for seg en kommende krise i elkraftsystemet, og forskning på tilstandskontroll og levetid ble nødvendig.

SINTEF har utviklet levetidsmodeller og tilstandskontrollmetoder som er tatt bruk av deltakende verk (Statnett og Hafslund). En oppdaget at mulighetene utsettelse reinvesteringer var gode. Etter ca. 2000 økte investeringene igjen og ca. 800 nye transformatorer med en ytelse på ca. 60.000 MVA er installert. Resultatene er tatt i bruk for spesifisering av nye transformatorer.

Effekter

- Aktivert levetidsforlengelse/ reduserte reinvesteringer med nåverdi (sum 40 år) beregnet til ca. **2,5 mrd. kr** for 20 års utsettelse for 50 % av transformatorene som er eldre enn 35 år.
- Metoder for tilstandskontroll (elektrisk og akustisk feillokalisering) muliggjør reparasjon framfor utskifting, eller i ytterste konsekvens havari.
- SINTEF Energi er etablert som en internasjonalt ledende aktør på transformatorforskning.
- Kunnskap om tilstand og feilmekanismer i krafttransformatorer bidrar til økt forsyningssikkerhet.

Potensielle effekter

- Et nytt verktøyet anvender anleggsdata, generelle og lokale driftserfaringer, samt feil- og tilstandsinformasjon til å estimere tilstand, risiko og restlevetid. Dette danner utgangspunktet for å vurdere feilsannsynligheter og vil hjelpe til med å redusere antall havarier og unngå leveringsavbrudd.



Prosjektinfo: KPN-prosjektene (2002-2014) er støttet av Statnett, Hafslund Nett, Statkraft, ABB og EDF. TrafoTiltak (2014-2017) er et ENERGIX IPN-prosjekt utført av Energi Norge og SINTEF Energi. Deltakende partnere er Hafslund Nett, SKS Produksjon, Skagerak Nett, BKK Nett, Statnett, Sira Kvina, Kraftselskap, Mørenett, Lyse Elnett, Statkraft og Troms Kraft Nett.

Foto: Brukergruppen for kraft- og industritransformatorer
(www.transformatorbruker.org)

Case #3: AMS: Aktive kunder og intelligente distribusjonsnett

Forskning på smarte strømmålere (AMS) har gitt økt kunnskap og nye metoder knyttet til at AMS, som kan bidra til å redusere eller utsette nett-investeringer, øke utnyttelse av eksisterende nett, avdekke feil, og ivareta spenningskvalitet og forsyningssikkerhet.

AMS har vært en viktig del i flere forskningsprosjekter de siste 20 årene, hvor fokus har vært både på bruk av teknologien for realisering av kunder som en aktiv ressurs i nettet, og å bruke AMS-data for en mer effektiv drift av distribusjonsnettet. I løpet av denne perioden har kunden gått fra å kun være et punkt i nettet der det ble tatt ut strøm, til å bli en ressurs for kraftsystemet. I samme periode har forskning gitt kunnskap om hvordan nettnytte kan realiseres når AMS rulles ut til alle kunder innen 1. januar 2019.

Strømnettet står overfor store investeringer og reinvesteringer i aldrende nett. Frem mot 2025 er det planlagt investeringer for totalt 140 mrd. kr, hvorav AMS-investeringer forventes å utgjøre ca. 10 mrd. kr.

Effekter

- **Reduserte kostnader:** Utarbeidelse av **felles kravspesifikasjon ved fullskala utrulling av AMS** (M-AMS-prosjektet) og praktiske erfaringer fra DeVID-prosjektet har gitt økt nytteverdi og redusert risiko i AMS-investeringen for norske nettselskap. Antas 10% redusert investeringskostnad i AMS, er realisert effekt på **1 mrd. kr.**

Potensielle effekter

- **Jordfeildeteksjon** (inkludert i kravspesifikasjonen til AMS utover forskriftskrav), kan gi økt sikkerhet og redusert kostnad for nettselskapene med nåverdi på **100 mill. kr.**
- **Reduserte kostnader:** Redusert maksimalbelastning i nettet i time 9 (gjennom utkobling av varmtvannsberedere i 50% av husholdningene) kan gi reduserte investeringer i distribusjonsnettet med en nåverdi på rundt **600 mill. kr.** I tillegg kunne utskifting av transformatorer vært unngått/utsatt hvis nettplanlegging hadde vært basert på AMS-data og ikke historiske profiler. I DeVID ble det anslått at 7 av 10 trafoskifter i et avgrenset område kunne vært unngått/utsatt.
- **Bedre sikkerhet ved lokalisering av feil:** Kombinasjon av målte spenninger og forbruk kan avdekke feilkoblinger og har bl.a. avverget en potensiell brann.



Prosjektinfo: M-AMS (2009-2012, RENERGI), ElDeK (2009-2012, RENERGI), DeVID – Demonstrasjon og verifikasjon av intelligente distribusjonsnett (2012-2015, ENERGIX). Prosjektene er utført av SINTEF Energi i samarbeid med norske nettselskap, systemoperatør, konsulenter og leverandører.

Case #4: Feilhåndtering i smarte distribusjonsnett

Innovasjonen består av metoder og bruk av ny smartgridteknologi som kan lokalisere og isolere feil i nettet mye raskere enn man kan i dag.

Teknologien er utviklet for det norske distribusjonsnettet, men kan også anvendes i andre land. Hva som er optimal løsning vil variere fra land til land, basert på hvilket nett man har, og investeringskostnader for utstyret som er nødvendig.

Metodene er videreført i såkalte selvhelende løsninger som gjør at feillokalisering, feilseksjonering og gjenoppbygging av forsyningen dels også kan foregå automatisk. Det er også utviklet metoder for å beregne tekniske og økonomiske nytteeffekter ved å ta i bruk slik teknologi.

Det er utviklet en prototyp av et verktøy for å gjøre analyser av nytteverdier i form av forbedret leveringspålidelighet og reduserte KILE-kostnader. Verktøyet kan videreutvikles til å finne optimale løsninger for ulike kombinasjoner av teknologier i ulike typer nett.

Effekter

- Demoinfrastruktur i FASaD-prosjektet er etablert i det fysiske nettet hos tre nettselskaper for å teste og demonstrere effekten av sensorer, fjernstyrte brytere og selvhelende løsninger.
- **Reduserte driftskostnader for nettoperatorene:** Effektivisering av arbeidsprosesser gjennom automatisering av feillokalisering og feilseksjonering i nettet.
- **25-40 % reduksjon av samfunnsøkonomiske avbruddskostnader (KILE)** ved å redusere varigheten for kunder ved strømvbrudd. Tilsvarende et potensial for ca. 125 mill. kr i redusert KILE⁴⁰ årlig i Norge, tilsvarende ca. **1 mrd. kr i nåverdi** (10 år).
- **Økt forsyningssikkerhet** gjennom redusert varighet av avbrudd. Dette gir også reduserte samfunnskostnader.
- **Kommersialisering:** Verktøyet har et kommersielt potensial og kan videreutvikles til å gi beslutningsstøtte for nettoperatører både i drift og planlegging av nettet.



Prosjektinfo: Innovasjonen er utviklet av SINTEF i samarbeid med nettselskaper i prosjektet FASaD (2015-2018). Prosjektet er finansiert av ENERGIX og industripartnerne Hafslund Nett, Skagerak Nett, Eidsiva Nett, Lyse Elnett og Istad Nett.

⁴⁰ KILE = Kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi-

Case #5: Spenningskvalitet i smarte nett

Programvareverktøyet AHA (Automatisk Hendelsesanalyse) er utviklet av SINTEF gjennom SPESNETT-prosjektet. AHA analyserer måleserier som innhentes fra ulike målepunkter i nettet.

Prosjektet har også bidratt med målinger og analyse av spenningskvalitetsfenomen, og forsøk med måling av spenningskvalitet med AMS. Dette har gitt kunnskap som prosjektpartnerne har tatt i bruk for bedre investeringer, effektiv problemløsning og bedre regelverk (NVE).

Feilhendelser og driftsforstyrrelser i kraftsystemet kan medføre strømbrudd. I dag må nettselskapene manuelt søke og finne feilårsakene og feillokasjonen basert på måledata og interne analyseverktøy. Feilanalyse er ressurskrevende, tar ofte lang tid og krever spesialkompetanse som ikke alle nettselskapene har selv, og de etterspør derfor løsninger som automatiserer dette arbeidet.

SPESNETT-prosjektet har bidratt til økt kunnskap i kraftbransjen om ulike typer feilhendelser i nettet, og hvorfor de oppstår. AHA klargjør data for bruk av maskinlæring i kraftsystemet, som vist i pågående prosjekt (EarlyWarn).

Effekter:

- Ny kunnskap om spenningskvalitet og forbedringsmuligheter må antas å gi **økt leveringskvalitet**, blant annet gjennom bedre investeringer, effektiv problemløsning og bedre regelverk (NVEs oppfølging av leveringskvalitet).
- Innspill til endringer i felles kravspesifikasjon for AMS har økt nytteverdien av AMS.

Potensielle effekter

- **Økonomisk potensial:** 60 mill. kr i årlig reduserte driftskostnader i dersom halvparten av Norges 120 nettselskaper tar i bruk teknologien og automatiserer dagens manuelle arbeidsprosesser. Utgjør ca. **500 mill. kr i netto nåverdi**.
- Økt driftsstabilitet og færre feil og hendelser vil ha stor indirekte samfunnsøkonomisk verdi.
- **Kommersielt potensial:** Verktøyet har et kommersielt potensial hos nettselskapene.



Prosjektinfo: SPESNETT-prosjektet er delfinansiert av ENERGIX og norske netttaktører. Prosjektet er utført av SINTEF Energi i samarbeid med Energi Norge, NVE, Agder Energi NTT, BKK Nett, Eidsiva Nett, Hafslund Nett, Helgeland Kraft Nett, Istad Nett, Lyse Elnett, NTE Nett Skagerak Nett, Statnett, TrønderEnergi Nett og REN.

Foto: Camilla M. Granheim / Energi Norge

Case #6: Overspenningsbeskyttelse av fordelingstransformatorer

I prosjektet ProTrafo er det utviklet verktøy for teknisk/økonomisk modellering av transformatorer, jordingsystemer og overspenningsanalyser. Eksempler er riktig plassering av overspenningsavledere og korrekt design av impulsjordingsystemer. Det er også utarbeidet oppdaterte retningslinjer (REN-blad) for bruk av overspenningsvern i fordelings- og regionalnettet.

Hvert år havarerer et stort antall fordelingstransformatorer hos norske nettselskaper. I noen tilfeller skjer det også havari i hovedtransformatorer som følge av hurtige overspenninger og lynnedslag. Årlige KILE-kostnader⁴¹ i Norge som skyldes feil på fordelingstransformatorer relatert til lynnedslag utgjør 320 mill. kr pr år.

Overspenningsbeskyttelse i form av egnet overspenningsvern og jordingsystemer reduserer faren for havari. Økt kunnskap om hva som er teknisk og økonomisk optimalt vil redusere antall feil og samtidig redusere driftskostnadene.

Effekter

- Internasjonalt samarbeid (CIGRE) ledet av SINTEF med deltakelse fra ledende transformatorfabrikanter gir globale ringvirkninger.
- REN-blad med oppdaterte retningslinjer for bruk av overspenningsvern i fordelings- og regionalnettet er utarbeidet og gjort tilgjengelig for bransjen.

Potensielle effekter

- **Økt forsyningssikkerhet** med 80 % reduksjon av KILE-kostnader forårsaket av overspenninger og lynnedslag i fordelingstransformatorer. Dette utgjør ca. 250 mill. kr pr år i Norge, tilsvarende ca. **2 mrd. kr** i nåverdi.
- **Reduserte drifts- og reparasjonskostnader** for skader i transformatorer og isolatorer.



Prosjektinfo: ProTrafo-prosjektet (2017-2021) er et IPN-prosjekt utført av SINTEF Energi i samarbeid med REN AS, nettselskaper og leverandørindustri. Prosjektet er delfinansiert av ENERGIX og industripartnerne. Prosjektet følger opp en spesifikk anvendelse av resultatene fra EMTransients (KPN, 2011-2015) som har fått flere anvendelser nasjonalt og internasjonalt.

⁴¹ KILE = Kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi

Case #7: Distribuert produksjon i nettet

Innovasjonen er ny metodikk for planlegging og drift av nett med distribuert produksjon som legger til rette for at ny teknologi og nye metoder tas i bruk av nettselskapene.

Gjennom prosjektet DGNett (2014-2017) har SINTEF Energi kartlagt, beskrevet og delvis testet alternative teknologier og metoder. Dette vil gjøre det lettere for nettselskapene å øke tilknytningskapasiteten i nettet.

Ny metodikk fører til at spenningskvaliteten overholdes, tap i nettet reduseres og at eksisterende kapasitet utnyttes maksimalt.

Resultatene er gjort tilgjengelig gjennom REN-blad (www.ren.no) som beskriver «beste praksis», dvs. faglige råd og retningslinjer.

Nye småkraftverk som tilknyttes distribusjonsnettet vil i noen tilfeller kreve nettinvesteringer på grunn av manglende kapasitet i nettet. Dette blir i dag hovedsakelig løst ved nettoppgraderinger eller bygging av nytt nett.

De siste årene har det kommet flere nye komponenter og metoder som skal kunne øke tilknytningskapasiteten i nettet til en lavere kostnad enn tradisjonell nettoppgradering. Disse løsningene er i liten grad testet ut og dokumentert, noe nettselskapene er avhengig av for å innføre de i nettet.

Effekter

- Resultatene er gjort tilgjengelig gjennom REN-blad og har bidratt til økt kunnskapsnivå og standardisering i bransjen.
- 10-30 % reduserte kostnader (anslag) ved tilknytning av distribuert produksjon. Gevinsten vil variere fra type verk, linje lengde, dagens kapasitet, mm. Anslått nåverdi **200 mill. kr.**
- Blant annet bedre spenningsregulering i småkraftverk gir bedre spenningskvalitet og reduserte energitap i nettet.
- Reduserte kostnader ved tilknytning av fornybar kraftproduksjon vil gjøre flere kraftverk lønnsomme og øke fornybarkraftproduksjon.



Prosjektinfo: DGNett (2014-2017) er et IPN-prosjekt utført av SINTEF Energi i samarbeid med REN AS og norske nettselskap. Prosjektet er delfinansiert av ENERGIX og industripartnerne.

Foto: SINTEF

7. Deltema 5 – Solenergi og solcellematerialer



7.1 Sammendrag

Effektvurderingen av deltema «Solenergi og solcellematerialer» er utarbeidet av Menon Economics og Weightless Values i samarbeid med IFE og FME SuSolTech. Fem prosjekter er studert mht. *resultater, effekter og potensielle effekter*:



Figur 34 Utvalgte case fra forskningstemaet solenergi og solcellematerialer.

Resultater

Innenfor temaet solenergi og solcellematerialer er det gjennomført flere store forskningsprosjekter de siste ti årene med finansiering fra RENERGI, ENERGIX, FRINATEK, BIA, NANOMAT og NANO2021. Siden 2008 er det uteksaminert mer enn 20 PhD-kandidater, 25 post.doc og 75 masterkandidater.

Realiserte og potensielle effekter

Solenergi, materialer til solceller

- Realiserte effekter
- Potensielle effekter

	Modenhet (TRL)	Redusert energibruk	Reduserte kostnader	Reduserte utslipp	Redusert materialbruk	Økt bruk av fornybar energi	Bedre sikkerhet, risiko, helse	Økt forsyningsikkerhet	Reduserte miljøinngrep	Bedre beslutninger	Industrielt potensial	Utdanning og rekruttering	Stryker nasjonale FoU-miljø	Internasjonal samarbeid
Case 1 Metallurgisk fremstilling av silisium	9	●	●	●	●	●			●			●	●	●
Case 2 Sentrifugalreaktoren	7	●	●	●	●	●			●			●	●	●
Case 3 Effektiv produksjon av høykvalitetswafere	9	●	●	●	●	●			●			●	●	●
Case 4 Systemløsninger for BIPV	8	●	●	●	●	●			●	●		●	●	●
Case 5 Avanserte systemer for drift og vedlikehold	7	○	●	○	●	●	●	○	●	●		●	●	●

Figur 35 Realiserte effekter, potensielle effekter og teknologisk modenhet (EUs TRL-skala 0-9, EU Horizon 2020 TRL-definisjon: <https://publications.europa.eu/s/iDQK>).

Realiserte effekter: På tross av vedvarende prisfall har norsk solcelleindustri opprettholdt sin posisjon som leverandør av materialer og produkter til en voksende, internasjonal industri. Forskningen har bidratt til reell innovasjon i en rekke selskaper, styrket utdanning og rekruttering til området, og utvikling av sterke nasjonale forskningsmiljø.

Potensielle effekter:

- Reduserte kostnader for solcellepaneler og solstrøm.
- Reduserte utslipp fra bygningssektoren.
- Norsk verdiskapning innen prosessindustri, installasjon og byggebransjen og drift av solparker internasjonalt.

7.2 Om forskningstemaet solenergi og solcellematerialer

Forskningen innen solenergi og materialer for solceller har stor bredde, og resultatene og innovasjonene er av svært forskjellig karakter. En styrke med den norske forskningen er nærheten til en teknologisk ledende bransje, og flere utviklingsløp er derfor drevet av etterspørselssiden.

Norge har forskningsgrupper som er blant Europas ledende, spesielt innen silisium-materialer: IFE, NMBU, NTNU, SINTEF, UiA og UiO. To FME-er har vært sentrale i utviklingen siden 2009:

- FME Solar United (2009 – 2017)
- FME SUSOLTECH (2017 – 2025)

Sentrale forskningstema:

- Prosessteknologier og utstyr for silisiumbaserte innsatsfaktorer på flere ledd i verdikjedene: kostnadsreduksjoner, høyere kvalitet og lavere energibruk. Forskningen skjer i tett samarbeid med norsk prosess- og leverandørindustri, og gir næringsaktørene viktige konkurransefortrinn.
- Modeller og regneverktøy som for eksempel SiSim har blitt utviklet gjennom FME Solar United, og brukes til å utvikle bedre industriprosesser.
- Forskning innenfor solcelleteknologi har vokst raskt frem de siste årene, og dekker bla.:
 - Bruk av solenergi i Norge
 - Produksjon av silisium, ingots og wafere
 - Bygningsintegrert solenergi
 - Solparker internasjonalt
 - Flytende solcelleanlegg

Prosjektpartnere: Aktører fra næringslivet, samt flere viktige offentlige aktører med betydelig aktivitet innen solcelleanlegg i bygg har deltatt i FoU-prosjekter, blant andre Code, Dynatec, REC Silicon, REC Solar Norway, FUSen, Scatec Solar, Equinor, Bondelaget, Prediktor, Asplan Viak, Getek, Isola, Statsbygg, Undervisningsbygg, Omsorgsbygg, Steuler Solar, The Quartz Corp, PVA, Norsun, Norwegian Crystals, Mosaic og Glass og Fasadeforeningen.

Nøkkeltall 2008-2017

Uteksaminerte PhD-kandidater	25
Post.doc	20
Uteksaminerte master-kandidater	75

Tabell 8 Kilde: FME SuSolTech

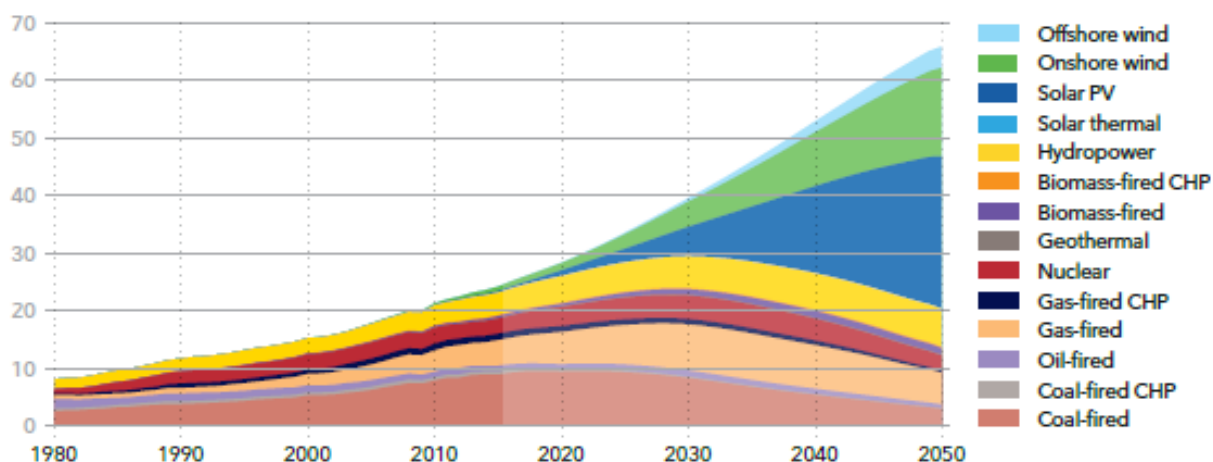
7.3 Referansebane solenergi

Solenergi på vei mot toppen

- Til tross for varierende tall i ulike langsiktige analyser er det nå klart at solenergi kommer til å bli en av de største energikildene innen 2050 og den største elektrisitetsprodusenten.
- I dag er solcelleanlegg den typen kraftverk det bygges mest av i verden, målt som installert effekt. Bransjen omsetter årlig for rundt regnet 1000 mrd. kr i verden.
- Omsetningen antas å øke betydelig. Dette gir store muligheter også for utviklingen av en bred norsk næring innen dette feltet.
- Videre forventet markeds- og teknologiutvikling vil gi lavere priser.
- Synergier med smart grid- og lagringsteknologier kan bidra til økt vekst.

World electricity generation by power station type

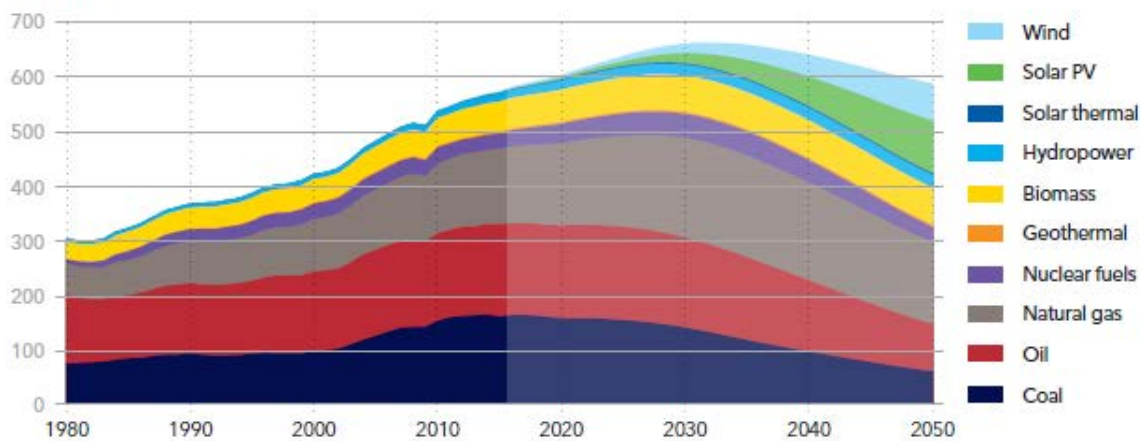
Units: PWh/yr



Figur 36 Kilde: DNV GL

World primary energy supply by source

Units: EJ/yr



Figur 37 Kilde: DNV GL

7.4 Innovasjoner og utvalgte case

Følgende case valgt ut:

- **Case 1 REC Solar:** Metallurgisk fremstilling av silisium
- **Case 2 Dynatec:** Sentrifugalreaktoren
- **Case 3 Norsun:** Effektiv produksjon av høykvalitetswaferer
- **Case 4 Solenergi Fusen:** Systemløsninger for BIPV
- **Case 5 Scatec Solar m.fl.:** Avanserte systemer for drift og vedlikehold

Case #1: Metallurgisk fremstilling av silisium

Caset er utarbeidet av Menon Economics og Weightless Values.

REC Solar Norway (tidligere Elkem Solar) har utviklet en metallurgisk prosess for fremstilling av solcellesilisium som gir lavt energiforbruk og solceller med høy virkningsgrad.

Basisråvaren for all produksjon av solcellesilisium er metallurgisk silisium med en renhetsgrad på ca. 99 %. Denne relativt rimelige råvaren behandles i kjemiske og termiske prosesser på veien videre til tilnærmet helt rent solcellesilisium. Det har lenge vært kjent at metallurgisk silisium kan foredles direkte til solcellesilisium i metallurgiske prosesser, men utfordringen har vært å oppnå tilstrekkelig renhetsgrad uten store investeringer i prosessanlegg.

REC Solar Norway har utviklet en metallurgisk prosess for fremstilling av solcellesilisium. REC Group benytter i stor grad solcellesilisium fra det norske datterselskapet i produksjonen av ingots og wafere.

Fordi REC Solar Norways' produksjon krever mindre energi enn konkurrentenes, reduseres klimafotavtrykket og energiinntjeningstiden for RECs solcellepaneler. Produksjonskostnadene er halvert siden 2014.

Effekter

- Full produksjon ved Fiskå-verket i Kristiansand, om lag 8000 tonn/år.
- Produksjonskostnaden er halvert siden oppstart, og ligger nå på om lag 10 USD/kg
- Produksjon av ingots på Herøya, 900 MW/år.
- Omsetningsvekst 2013-2017: 200-1100 mill. kr.

Utslippsvirkninger: Årsproduksjonen av ingots på Herøya tilsvarer om lag 900 MWp solcellekapasitet, 1 TWh/år kraftproduksjon, 1 mill. tonn CO₂-e/år redusert utslipp når kraft fra fossile kilder fortrenses. Utslippsreduksjonen er ikke spesifikt knyttet til den nye produksjonsprosessen for solcellesilisium, men illustrerer betydningen av lavere priser og større produksjon.

Potensial

- Omsetningsvekst og produksjonsvekst.
- Ytterligere halvering av produksjonskostnadene for solcellesilisium.
- Produksjon av solcellesilisium basert på spillmateriale (kerf) fra wafer-produksjon. (forstudie igangsatt, med finansiering fra Enova.)



Prosjektinfo: Mange prosjekter de siste ti årene. Blant annet: «Performance and Reliability In Compensated Elkem Solar Silicon», Prosjektnummer 256271, ENERGIX. Foto: REC Solar Norway

Case #2: Sentrifugalreaktor for fremstilling av silisium

Caset er utarbeidet av Menon Economics og Weightless Values.

Dynatec har utviklet en ny prosess for fremstilling av silisium til solcelleproduksjon. I den nye prosessen benyttes en sentrifugalreaktor, den eneste av sitt slag i verden i dag.

- Rask produksjonsrate for silisium
- Meget lavt energiforbruk
- Svært høy materialkvalitet

Dynatec tar sikte på å utvikle og selge reaktorer og tilhørende prosessutstyr til internasjonale produsenter av silisium for anvendelse innenfor solcelle- og elektronikkindustrien.

Effekter

- **Finansiering:** Oppskalert reaktorsamarbeid med industrikunde der ca. 110 mill. kr er sikret i finansiering.
- **Spin-offs:**
 - Etablering av Cenate AS, som skal benytte en modifisert versjon av reaktoren til produksjon av nano-Si for anodematerialer til batterier.
 - Etablering av Nacamed AS, som skal benytte en (annen) modifisert versjon av reaktoren til produksjon av nano-Si for medisinsk industri.
 - Produksjon av sentrifugeelektrolysører for industrikunde. Verdi 10-20 mill. kr.

Potensial

- Eksport av sentrifugalreaktorer og tilhørende prosessutstyr tilsvarende 1-4 mrd. kr/år (utgjør anslagsvis 10-15 % av det aktuelle markedssegmentet, globalt)



Prosjektinfo: Tre prosjekter siden 2010.
Det siste: «Dynatec lav-energi produksjonsreaktor for silisium»
Prosjektnummer: 235328, ENERGIX

Foto: Dynatec

Case #3: Effektiv produksjon av høykvalitetswaferer

Caset er utarbeidet av Menon Economics og Weightless Values.

NorSun har utviklet nye løsninger for saging av waferer med diamanttråd, sammen med SINTEF og verdensledende leverandører. Med de nye løsningene kan wafer-tykkelsen reduseres betydelig, samtidig som forbruket av diamanttråd halveres og sagstøvet kan gjenvinnes.

Den internasjonale solcelleindustrien er i hovedsak (90 %) basert på Si-waferer, som fremstilles ved å sage ingots (blokker av mono- eller multikrystallinsk silisium) i tynne skiver. Produksjonen av ingots er kostbar og energikrevende, og det er derfor viktig å få flest mulig waferer ut av hver ingot, med minst mulig materialsvinn.

- Jo *tynnere* waferer, desto flere kan det produseres av hver enkelt ingot.
- *Smalere sagsnitt* vil også gi flere waferer per ingot, samtidig som materialsvinnet reduseres.

Utfordringen består i å utvikle egnet prosessteknologi og utstyr for saging av waferer med god kvalitet.

Effekter

- Som første produsent i verden implementerte NorSun wafer-saging med diamanttråd i full skala.
- Selskapet har videreutviklet løsningene, med stadig tynnere og mer presise sagsnitt, og har investert mer enn 100 mill. kr i saging med diamanttråd. Dette har vært avgjørende for NorSuns overlevelse i et krevende marked, der wafer-prisene har falt mer enn 80 prosent de siste ti årene.
 - Ca. 200 ansatte
 - Årsomsetning: ca. 500 mill. kr
 - Eksportandel: 100 prosent

Potensial

- Etter en periode med omfattende produksjonsomstillinger og krevende markeds-svingninger har NorSun som en av få produsenter i solbransjen levert positiv EBITDA siden september 2017.
- Selskapet er godt posisjonert i den mest krevende delen av det internasjonale wafer-markedet, med høy produktkvalitet og høy virkningsgrad. NorSun forventer omsetningsvekst de kommende årene.



Prosjektinfo: Flere store prosjekter siden 2008., blant annet: «Ultra-lean consumption fixed abrasive wire sawing»,
Prosjektnummer: 219395, ENERGIX

Foto: NorSun

Case #4: Systemløsninger for bygningsintegreerte solceller

Caset er utarbeidet av Menon Economics og Weightless Values.

I samarbeid med forskningsmiljøene har Solenergi Fusen utviklet systemløsninger for bygningsintegreerte solceller (BIPV):

- BIPV-anlegg med skjult innfesting for solcellepanelene.
- Løsninger for skreddersøm av bygnings-tilpassede farger.
- Metoder for tilpasning og installasjon av solcellepaneler med stor variasjon i størrelse og form.
- BIPV-fasader til lave kostnader for industribygg.

Arkitekter, entreprenører og eiendomsutviklere møter mange utfordringer når solcelleanlegg skal integreres i bygninger og knyttes sammen med andre bygningsinstallasjoner:

- Manglende standardisering av mekaniske og elektrotekniske komponenter og systemer bidrar til høye kostnader.
- Begrenset utvalg av panelformer og -farger gir lite handlingsrom ved valg av estetisk uttrykk og visuelt samspill med andre bygningsselementer.
- Tilgjengelige produkter og systemer er ikke tilpasset norske forhold, verken mht prosjektering, bygging eller drift.

Effekter

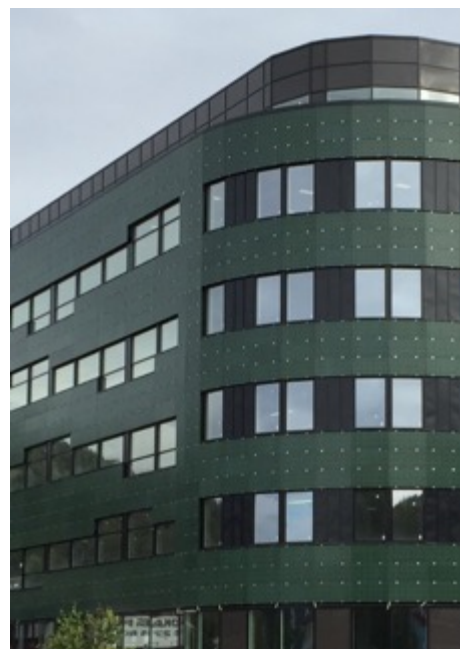
Resultatene er tatt i bruk i leveranser til norske kunder, blant andre:

- Solsmaragden i Drammen
- Kiwi Dalgård i Trondheim
- Spar-butikk på Snarøya
- Asko, Brumunddal

Potensial

Viktig for videre utbredelse av BIPV i Norge:

- Systemkostnader og -funksjoner
- Estetikk og valgmuligheter
- Kraftpriser og incentivordninger



«Smaragden» i Drammen, med fasade av solpaneler. Foto: Solenergi Fusen

Prosjektinfo: Building Integrated Photovoltaics for Norway, Prosjektnummer: 244031, ENERGIX

Case #5: Avanserte systemer for drift og vedlikehold

Caset er utarbeidet av Menon Economics og Weightless Values.

Tidligere forskning har vist at det er mulig å øke produksjonen og redusere kostnadene dersom det kan etableres kostnadseffektive systemer for innhenting og analyse av drifts- og tilstandsdata. I pågående FoU utvikler Scatec Solar, IFE, Equinor og Prediktor slike systemer.

Resultater til nå:

- Metoder for praktisk innhenting og behandling av «big data» fra solparker.
- Algoritmer for lokal beregning av tilsmussingsrater («soiling»).

Antallet og størrelsen på installerte solparker i verden har vokst raskt de siste årene, og det børsnoterte selskapet Scatec Solar er en ledende, internasjonal aktør på feltet. Selskapet utvikler og tar eierposisjoner i solparker i alle verdensdeler, og hatt en sterk omsetningsvekst de siste fire årene.



Prosjektinfo: Solutions and strategies for operation and maintenance of utility-scale solar power plants. Prosjektnummer: 282405, ENERGIX. Foto: Scatec Solar

I samme periode ble har markedet for *utility-scale* solcelleanlegg blitt stadig mer transparent, og prisene har falt med bortimot 50 %. En konsekvens av denne utviklingen er at effektiv *forvaltning og drift* blir en stadig viktigere konkurransefaktor. Utfordringen er å optimalisere løpende driftsoperasjoner og energiproduksjon, samtidig som anleggsmidlene forvaltes med et langsiktig perspektiv.

Markedet blir stadig mer attraktivt pga. av fallende solcelle-kostnader, men preges også av sterkere konkurranse og profesjonalisering. Den pågående forskningen er derfor viktig for å legge til rette for videre vekst.

Effekter

- Konsernomsetningen i Scatec Solar ble tidoblet i perioden 2013 til 2017, fra om lag 150 mill. kr til 1500 mill. kr.

Potensielle effekter

- **Reduserte kostnader:** 10 % reduksjon i driftskostnader fra dagens nivå kan gi en årlig besparelse for Scatec Solars nåværende produksjon på 10 mill. kr.
- **Økt produksjon:** En økning av årlig kraftproduksjon på 1 % på en 100 MWp park kan anslagsvis være verdt godt over 1 mill. kr i året.

8. Deltema 6 – Bioenergi



8.1 Sammendrag

Effektvurderingen av deltema «Bioenergi» er utarbeidet av Menon Economics og Weightless Values i samarbeid med NMBU, SINTEF og FME Bio4Fuels. Fem prosjekter er studert mht. *resultater, effekter og potensielle effekter:*



Figur 38 Utvalgte case fra forskningstemaet energieffektivisering i industrien.

Resultater

Innenfor temaet bioenergi er det gjennomført ca. 60 store forskningsprosjekter de siste ti årene. Eksempler på innovasjoner er enzymer, teknologi for produksjon av biodiesel, biogassanlegg for matavfall, gjødselproduksjon basert på matavfall, flytende biogass og laveffekts peisinsats.

Siden 2008 er det uteksaminert 33 PhD-kandidater og utdannet 46 masterkandidater fra miljøene som er tilknyttet FME Bio4Fuels.

Realiserte og potensielle effekter

Bioenergi

- Realiserte effekter
- Potensielle effekter

	Modenhet (TRL)	Redusert energibruk	Reduserte kostnader	Reduserte utslipp	Økt bruk av tomnybar energi	Betere sikkerhet, risiko, helsete	Økt forsytningssikkerhet	Reduserte miljøpåring	Betere beslutninger	Industrielt potensial	Utdanning og rekruttering	Styrker nasjonale FoU-miljø	Internasjonalt samarbeid
Case 1 Enzymer	8	●	●	●	○	○	○	○	○	○	●	●	●
Case 2 Biodrivstoff	8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Case 3 Biogass	9	●	●	●	●	○	○	○	○	○	●	●	●
Case 4 Klima & bioenergi	6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●
Case 5 Biovarme	9	●	●	●	●	○	○	○	○	○	●	●	●

Figur 39 Realiserte effekter, potensielle effekter og teknologisk modenhet (EUs TRL-skala 0-9, EU Horizon 2020 TRL-definisjon: <https://publications.europa.eu/s/iDQK>)

Realiserte effekter:

- Ny kunnskap om klimaeffekter av bioenergi er tatt i bruk av Miljødirektoratet og FNs klimapanel IPCC.
- Ny mikrobiologisk og enzymatisk kunnskap er tatt i bruk av norsk og dansk industri.
- Forbedret og ny teknologi for konvertering av biomasse er tatt i bruk av norske fjernvarme-, vedovn- og biodrivstoffprodusenter.
- Styrket utdanningen og dermed rekrutteringen til næringsliv og forvaltning.
- Utviklet nasjonale forskningsmiljø.
- Flyttet kunnskapsfronten gjennom internasjonalt samarbeid.

Potensielle effekter:

- Redusert energibruk og reduserte klimagassutslipp.
- Større forutsigbarhet i forvaltningen av bioressurser; redusert risiko for næringsaktørene.
- Tre av casene er vurdert til å ha et industrielt potensial.

8.2 Om forskningstemaet bioenergi

Forskningen er rettet mot teknologier som kan erstatte fossil energi med bioenergi, å produsere bioenergi på en energieffektiv, klimavennlig og lønnsom måte, og samhandling mellom industri og FoU. Eksempler på forskningstema er råstofftilgang og råstoffkvalitet, logistikk, teknologi for konvertering av biomasse til energi for oppvarming og transport, klimagass-utslipp fra utvalgte verdikjeder.

Ressursgrunnlaget: I dag benyttes bioenergi i ulike former tilsvarende ca. 17 TWh/år i Norge. Det bærekraftige ressursgrunnlaget i 2030 er anslått til ca. 30 TWh.

Potensial: Ytterligere 13 TWh vil kunne benyttes innenfor bærekraftige rammer i 2030:

- Biodrivstoff i transportsektoren
- Bygningsoppvarming
- Diverse industrielle formål

Sentrale forskningsmiljøer er SINTEF, NTNU, NMBU, NIBIO. Sentrene har bidratt til å etablere assosierte FoU-prosjekter. Master- og PhD-studenter, deriblant nærings-PhD'er, har vært tilknyttet forskningen, og egne MSc-programmer er utviklet. Mye av forskningen har vært knyttet til FME CenBio (Bioenergy Innovation Centre, 2009-2016) og FME Bio4Fuels (The Norwegian centre for sustainable biobased fuels and energy, 2017-2024).

Prosjektpartnere:

- **FME CenBio:** Statkraft Varme, Cambi, Oslo EGE, Jøtul, Norsk Kleber, Vattenfall AB, Nordic Heat, Hafslund Varme, Akershus Energi Varme, Norges Skogeierforbund og Energos.
- **KPN-prosjekter:** Greve Biogass, FREVAR, Borregaard, Novozymes (DK)
- **FME Bio4Fuels:** Silva Green Fuel, Perstorp Bioproducts (SE), UMOE, Biozin, Biokraft, Ragn Cells, Hyperthermix, Johnson Matthey (UK), Pervatech (NL), Haldor Topsøe (DK), Steeper Energy (DK), Solenis Norway, Ecopro, Norske Skog Saugbrugs, St1 Norge, Eco1 og Volvo Trucks (SE).

Nøkkeltall 2008-2017

Antall store prosjekter	60
Uteksaminerte PhD -kandidater	33
Uteksaminerte master-kandidater	46

Tabell 9 Kilde: FME Bio4Fuels

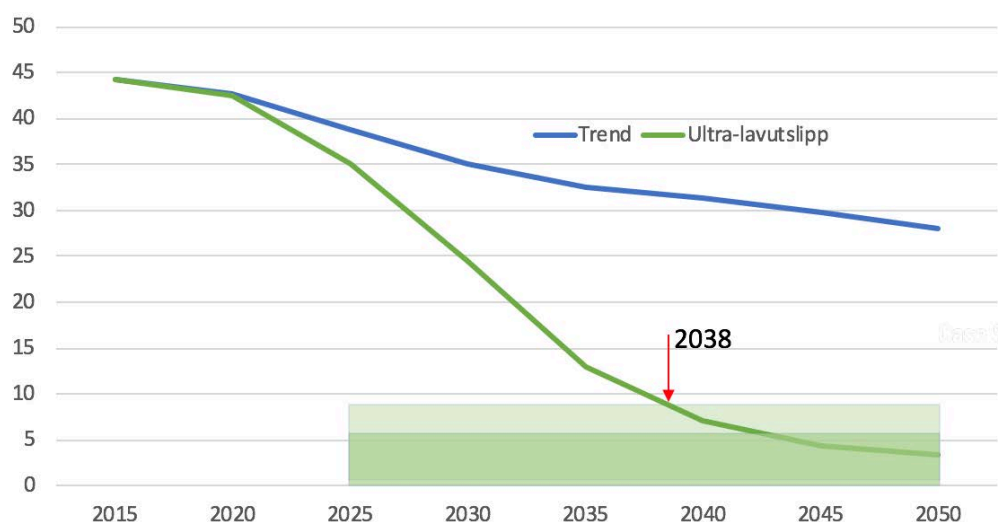
8.3 Referansebane

I et lavutslippsscenario kan biodrivstoff erstatte alt fossilt drivstoff i veitrafikken fra 2038. I TØI-rapport 1518/2016 presenteres to scenarier for utslipp fra veitrafikken frem til 2050, med forutsetninger som er konsistente med grunnlagsdokumentet for Nasjonal transportplan 2018–2029.

Trendbanen representerer en videreføring av utviklings-trekkene mht kjøretøy-teknologi de siste årene, og blir dermed det nærmeste vi kommer en referansebane for bruk av flytende drivstoff (fossilt og bio-basert). Ultra-lavutslippsbanen viser en utvikling som er konsistent med nullutslippsmålene for nye kjøretøy i 2025 og 2030.

Flytende drivstoff (fossilt og bio-basert) dekker en stor del av energibehovet i veisektoren flere år fremover i begge utviklingsforløpene. Andelen avtar raskt i ultra-lavutslippsbanen etter 2025, hovedsakelig på grunn av elektrifisering.

Bruk av flytende drivstoff i veisektoren mot 2050 [TWh/år]



Figur 40 Figur basert på modelldata fra TØI-rapport K 1518/2016. Kjøretøyparkens utvikling og klimagassutslipp. Framskrivninger med modellen BIG.

Bærekraftig, norsk biodrivstoff kan på mellomlang sikt dekke 6-9 TWh av energibehovet i transportsektoren⁴² (i figuren fra 2025 med grønne rektangler):

- Trendbanen: Biodrivstoff kan dekke ca. 30% av behovet for flytende drivstoff i 2050.
- Ultra-lavutslippsbanen: Biodrivstoff kan erstatte alt fossilt drivstoff fra 2038.

⁴² Erik Trømborg, NMBU (28.2.2017)

8.4 Innovasjoner og utvalgte case

Av ca. 60 prosjekter er følgende case valgt ut:

- **Case 1:** Effektive enzymer for bioraffinerier.
- **Case 2:** Demo-anlegg for avansert biodrivstoff.
- **Case 3:** Biogassverdikjede for matavfall.
- **Case 4:** Bioenergi, klima og bærekraft.
- **Case 5:** Laveffekts vedovn for lavenergihus.

Case #1: Effektive enzymer for bioraffinerier

Caset er utarbeidet av Menon Economics og Weightless Values.

Forskere ved NMBU oppdaget i 2010 og 2016 hittil ubeskrevne enzymer og deres virkemåter:

- Funnene av både et nytt enzym CBP21, og virkemåten til en viktig enzym gruppe (LPMOer) gir raskere omdanningshastigheter, og åpner for mindre kapitalintensive prosessanlegg.
- Metoden for anvendelse av LPMOene ble patentert av NMBU.
- I 2016 fant forskerne at både kjemikalie- og energikostnader kunne reduseres vesentlig ved å tilføre hydrogenperoksid i stedet for oksygen.

Effekter

- I 2011 kjøpte danske Novozymes bruksrett til NMBU-patentet, og produserer i dag disse enzymene for salg til den internasjonale bioraffineribransjen.
- Borregaard investerte i 2012 ca. 120 mill. kr i et demoanlegg med kapasitet til å prosessere ca. 1 tonn råstoff per døgn, med LPMO- enzymer og tilsetning av H₂O₂.

Potensielle effekter

Dobbelt så rask omdannelse av råstoff i hydrolysetrinn med bruk av enzymer indikerer at investeringene i slike delprosesser kan bli vesentlig lavere enn i tilsvarende, konvensjonelle prosesstrinn. Andre kostnadselementer er fremdeles usikre, og prosessene må videreutvikles før de kan oppskaleres med akseptabel risiko.



Prosjektinfo:

- Enzyme development for Norwegian biomass (NorZymeD) 2012-2018 – Biotek NMBU.
- Innovative enzyme technology for sustainable biofuels (Enzymes4Fuels) 2017-2021 – ENERGIX NMBU & SINTEF 268002
- Norwegian centre for Sustainable Bio-based Fuels and Energy (Bio4Fuels) 2017-2024 – FME NMBU 257622

Foto: NMBU

Case #2: Demo-anlegg for avansert biodrivstoff

Caset er utarbeidet av Menon Economics og Weightless Values.

Statkraft og svenske Södra etablerte selskapet Silva Green Fuel i 2015 for å utvikle produksjon av biodrivstoff fra skogbiomasse.

I løpet av to år ble 30 prosesseteknologier vurdert, samtidig som selskapet deltok i flere forskningsprosjekter. Forskningsdeltagelsen inngikk i selskapets kvalifisering av konseptvalg.

I Norge kan det avvirkes betydelige mengder skog innenfor bærekraftige rammer. Utfordringen er å produsere biodrivstoff i energieffektive prosesser med konkurranse-dyktige kostnader.

Effekter

Silva Green Fuel har vedtatt å bygge et demonstrasjonsanlegg for produksjon av biodrivstoff basert på råstoff fra skog. Prosessteknologien skal demonstreres, og det skal gjennomføres brukertester av biodrivstoff.

- Produksjonskapasitet: 4000 liter/dag.
- Investering: ca. 500 mill. kr, hvorav ca. 25 prosent fra Enova.
- Testperiode: 2019 – 2021

Potensielle effekter

Hvis gode erfaringer med demonstrasjonsanlegget, planlegges flere anlegg for industriell produksjon i og utenfor Norge. Investeringsbeslutning fattes tidligst i 2020. Årsproduksjon per anlegg antas å bli i overkant av 80.000 tonn (ca. 100 mill. liter). Til sammenligning var produksjonskapasiteten for flytende biodrivstoff i EU28 ca. 33 mill. tonn i 2016.



Prosjektinfo: Gasification and FT-Synthesis of Lignocellulosic Feedstocks
Prosjektnummer 244069 ENERGIX
Illustrasjon: Statkraft

Case #3: Biogassverdikjede for matavfall

Caset er utarbeidet av Menon Economics og Weightless Values.

De siste ti årene er det gjennomført mange FoU-prosjekter innenfor biogass, med ulike innfalls-vinkler og formål. Forskningen har gitt bedre kunnskap om blant annet forbehandling av råstoff, stabil drift av bioreaktorer og avvanning av utråtnet slam.

Biogass kan produseres fra de fleste former for biomasse, og oppgradert gass kan erstatte fossilt drivstoff. Fosfor- og nitrogenforbindelser i råstoffene kan benyttes som erstatning for mineral-gjødsel i landbruket. Teknologier, systemer og komponenter er umodne.



EGE-anlegget på Romerike. Foto: Cambi AS

Prosjektinfo: Mange prosjekter siden 2008, blant annet:

- Co-digestion: Fleksible systemer for forbehandling av biomasse - Mer biogass fra eksisterende råtnetanker.
Prosjektnummer: 192938, RENERGI
- Biogass fra organisk avfall og husdyrgjødsel som drivstoff.
Prosjektnummer: 228747, ENERGIX

Effekter

- EGE har investert ca. 460 mill. kr i Romerike biogassanlegg for behandling av matavfall fra Oslo, med blant annet:
 - Produksjon av biogjødsel for salg
 - Høy grad av varmegjenvinning
 - Oppgradering av gass til flytende biometan
- Flere andre biogassanlegg er bygget de seneste årene, med ulik utnyttelse av FoU-resultater. Tre av de største har samlet produksjonskapasitet i underkant av 300 GWh/år, tilsvarende en utslipps-reduksjon på omlag 100 000 tonn CO₂-e/år.
- Leverandøren av EGE-anlegget, Cambi AS, har implementert forskningsresultater i sin produkt- og teknologi-portefølje i en årrekke, og har levert anlegg til mer enn 20 land, blant annet for behandling av kloakkslam fra ca. 70 mill. personekvivalenter.

Potensielle effekter

Fra EGE-anlegget høstes erfaringer som andre, blant annet i kommunesektoren, vil ha nytte av i både eksisterende og nye anlegg. Cambis internasjonale konkurranseposisjon styrkes med EGEs anlegg som referanse.

Case #4: Bioenergi, klima og bærekraft

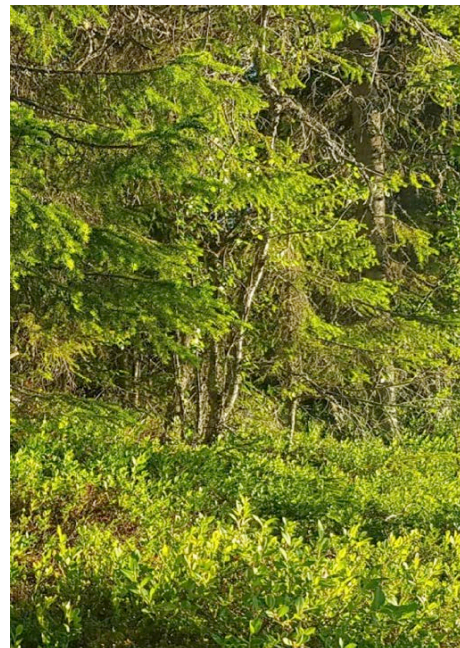
Caset er utarbeidet av Menon Economics og Weightless Values.

Kunnskaper om bioenergi verdikjedene og tilhørende klimaeffekter er betydelig styrket gjennom internasjonalt forskningssamarbeid de siste ti årene.

Norske forskere har bidratt til ny og viktig innsikt, særlig med hensyn til:

- Albedo (refleksjon av sollys)
- Det korte og lange karbonkretsløpet

Usikkerhet mht til nasjonal og internasjonal lovgivning og regulering har stor betydning for næringsaktørens risikovurderinger innenfor bioenergi. Et forsterket kunnskapsgrunnlag kan bidra til redusert usikkerhet om bærekraftsrelaterte krav som vil bli stilt til bio-baserte verdikjeder med opp- og nedstrøms produksjon og bruk av bioenergi.



Prosjektinfo: Comparative climate impact assessment of the forest based bio-economies of Norway, Sweden and Finland
Prosjektnummer: 244074, ENERGIX

Effekter

- Forskningsresultatene blir brukt i norsk offentlig forvaltning og myndighetsutøvelse, og i internasjonalt klimapolitisk arbeid.
- To av de norske forskerne på området er hovedforfattere i arbeidet med IPCCs sjette hovedrapport.
- Forskningsresultatene og de norske forskernes roller i IPCCs arbeid skaper kontakter og gir norske fagmiljøer tilgang til forskningsfronten.

Potensielle effekter

- Bedre forvaltning av areal- og bioressurser i Norge og andre land.
- Større forutsigbarhet vedr lovgivning og regulering vil redusere markedsaktørens risiko, og kan øke satsingen på teknologiutvikling og andre kommersielle aktiviteter.

Case #5: Laveffekts vedovn for lavenergihus

Caset er utarbeidet av Menon Economics og Weightless Values.

I Dovres prosjekt «Vedfyrte ildsteder til boligoppvarming: Ny teknologi for lav last og lang brenntid», ble det utviklet nye løsninger for brennkammer, lufttilførsel og interne gasstrømmer.

Norge har lang tradisjon for vedfyring. I 2017 var forbruket i underkant av 6 TWh, tilsvarende 12 % av energiforbruket i hus og hytter. Av 3,6 mill. ovner og peiser i Norge har mange lav virkningsgrad og høye partikkelutslipp. De fleste ovner, nye og gamle, brenner mest effektivt ved høy ytelse og god fyringsteknikk.

Utfordringen er derfor å utvikle ovner:

- med høy virkningsgrad og minimale partikkelutslipp, selv ved lav effekt og lang brenntid
- som passer seg selv – med automatikk som styrer forbrenningsprosessen optimalt etter ilegg av ved.

Effekter

- Dovre videreutviklet forskningsresultatene og satte ovnen i produksjon.
- Da peisinnsettsen ZEN 100 kom i salg i 2015 kunne ingen andre ildsteder på markedet levere så lav effekt og så lang brenntid som ZEN 100.
- Dovre har hittil solgt i overkant av 1000 ovner, ca. halvparten for eksport.

Potensial

- Salg av ZEN 100 i 10-15 år, tilsvarende en omsetning på 20-40 mill. kr



Prosjektinfo: Vedfyrte ildsteder til boligoppvarming: Ny teknologi for lav last og lang brenntid
Prosjektnummer: 203427
RENERGI/ENERGIX

Foto: Dovre

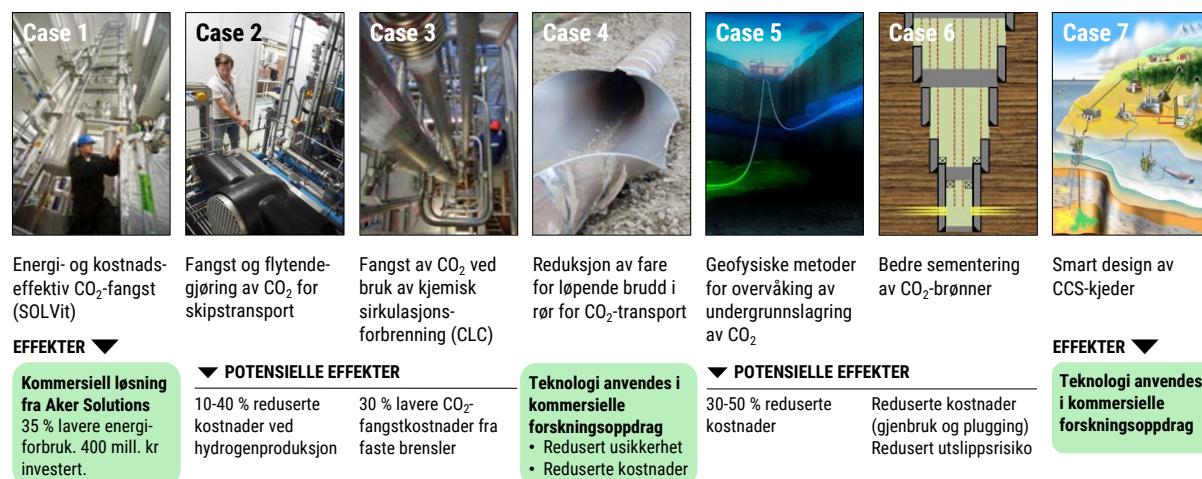
9. Deltema 7 – CCS

Fangst, transport og lagring av CO₂



9.1 Sammendrag

Effektvurderingen av deltema «CCS – fangst, transport og lagring av CO₂» er utarbeidet av Impello i samarbeid med SINTEF. Sju prosjekter er studert mht. *resultater, effekter og potensielle effekter*:



Figur 41 Utvalgte case fra forskningstemaet CCS – fangst, transport og lagring av CO₂.

Resultater

Innenfor temaet CCS er det utviklet anslagsvis 50 innovasjoner med fremtidig potensial for industriell anvendelse, blant annet CO₂-fangstteknologier, modeller og regneverktøy, innovative metoder og strategier, f.eks. hvordan best sementere en brønn for å unngå lekkasjer, og nye standarder og retningslinjer. Forskningaktivitetene har vært forankret i FME SUCCESS, FME BIGCCS, FME NCCS og CLIMIT.

Siden 2008 er det uteksaminert 104 PhD-kandidater, 75 post.doc og utdannet 81 masterkandidater. Disse vil bli sentrale når samfunnet skal ta i bruk CCS i full skala.

Realiserte og potensielle effekter

Fangst, transport og lagring av CO₂ (CCS)

- Realiserte effekter
- Potensielle effekter

	Modenheter (TRL)	Redusert energibruk	Reduserte kostnader	Reduserte utslipp	Økt prod. av fornybar energi	Bedre sikkerhet, risiko, helse	Økt forsyningsikkerhet	Reduserte miljøpånngrerp	Bedre beslutninger	Industrielt potensial	Utdanning og rekruttering	Syrker nasjonale FOL-miljø	Internasjonalt samarbeid
Case 1 SOLVit: Energi- og kostnadseffektiv CO ₂ -fangst	8-9	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Case 2 Fangst og flytendegjøring av CO ₂ for skipstransport	6	○	○	○							●	●	●
Case 3 Fangst av CO ₂ ved kjemisk sirkulasjonsforbrenning (CLC)	5	○	○	○							●	●	●
Case 4 Reduksjon av fare for løpende brudd i rør for CO ₂ -transport	4	○	○	○	○				●	●	●	●	●
Case 5 Overvåking av undergrunnslagring av CO ₂	5	○	○	○		○	○	○	●	●	●	●	●
Case 6 Bedre sementering av CO ₂ -brønner	5-6	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	●	●
Case 7 Smart design av CCS-kjeder	5	○			○				●	●	●	●	●

Figur 42 Realiserte effekter, potensielle effekter og teknologisk modenhet (EUs TRL-skala 0-9, EU Horizon 2020 TRL-definisjon: <https://publications.europa.eu/s/iDQK>)

Realiserte effekter: Norske forskningsmiljø har bidratt med kunnskap og teknologi til utvikling av bla. Aker Clean Carbon og Technology Centre Mongstad. Forskningsmiljøene har styrket kunnskapsgrunnlaget og er sentrale i planleggingen av det norske CCS fullskala-prosjektet for CO₂-fangst. Implementering er aktuelt for to industrielle utslippspunkter – Norcem (sement) og Klemetsrudsanlegget (avfall).

- Aker Solutions har investert 400 mill. kr i sin CO₂-fangstløsning som er basert på teknologi utviklet i samarbeid med SINTEF og NTNU.
- Teknologien er installert ved Technology Center Mongstad (TCM) og skal installeres hos Norcem i Brevik i 2022.
- Forskingen har bidratt til styrket utdanning og rekruttering til området, utvikling av sterke nasjonale forskningsmiljø, og flytting av kunnskapsfronten gjennom internasjonalt samarbeid.

Potensielle effekter: Dersom CCS realiseres i Europa og Norge så representerer casene viktige, muliggjørende teknologier for sikker og kostnadseffektiv implementering av CCS. Seks av casene er vurdert å ha et industrielt potensial.

9.2 Om forskningstemaet CCS

Den norske CCS-forskningen bidrar med løsninger kritisk viktig for å realisere en komplett kjede for CO₂-håndtering, og dermed for å realisere CCS som sikker og kostnadseffektiv teknologi for betydelig reduksjon av globale CO₂-utslipp.

Verden har mange tusen energi- og industrianlegg som slipper ut store mengder CO₂. For mange av dem er fangst, transport og lagring av CO₂ (CCS) den eneste løsningen for å bli utslippsfrie. Uten CCS er det urealistisk å nå målene i Parisavtalen.

Den norske CCS-forskningen startet i 1986 da SINTEF/NTNU lanserte tanken om CO₂-fangst fra kraftproduksjon og lagring under havbunnen. I dag lagres CO₂ separert naturgass fra Sleipner og Snøhvit. Fullskala CO₂-fangst for to industrielle utslippspunkter er under forberedelse.

De siste årene har noen prosjekter vært sentrale:

- KMB CO₂ (2003-2007), BIGCO₂ (2007-2011) og SOLVit (2009-2016)
- FME BIGCCS (2009-2017), FME SUCCESS (2010-2018) og FME NCCS (2016-2024)
- ECCSEL (felles-europeisk lab-infrastruktur)

Sentrale forskningstema:

- Teknologi for fangst av CO₂ fra industri- og energianlegg. Fangst før forbrenning av fossilt brensel, etter forbrenning eller som en integrert del av prosessen.
- Sikker CO₂-transport i rør eller på skip.
- CO₂-injeksjon via brønner til steinformasjoner under havbunnen, optimal utnyttelse av lagringskapasitet i undergrunnen, lekkasjedeteksjon og overvåking for permanent lagring.
- Kostnadseffektive CO₂ kjeder – fra fangst til lagring.

Bidrag til samfunnsdebatt og strategi:

- Prosjektet CO₂ Sentrallager satte storskala CO₂-lagring på agendaen (FME SUCCESS, BIGCCS, Tel-Tek, IRIS, NORSAR, støtte fra Gassnova)

Nasjonale og internasjonale industri- og forskningspartnere har vært sentrale deltakere i CCS-forskningen. Eksempler er Aker Solutions, Ansaldo, Conoco-Phillips, Coorstek, DEA Norge, DNV GL, EGE Energigjenvinningsetaten, Engie, Equinor, Gassco, GE Power, Hydro, Krohne, Larvik Shipping, Norcem-Heidelberg, Norsk olje og gass, Octio, Quad Geometrics, Shell, Statkraft og TOTAL E&P.

Nøkkeltall 2008-2017

Samlet forskningsinnsats:	
FME: BIGCCS, SUCCESS, NCCS	600 mill. kr
CLIMIT FoU	1100 mill. kr
CLIMIT Demo	1000 mill. kr
Infrastruktur	600 mill. kr
Uteksaminerte PhD-kandidater	104
Post.doc	75
Uteksaminerte master-kandidater	81

Tabell 10 Samlet forskningsinnsats består av finansiering fra Forskningsrådet, egeninnsats fra forskningsinstitusjonene og fra deltakende partnere (industri, næringsliv, offentlig virksomhet, mv.). Kilde: FME NCCS.

9.3 Referansebane

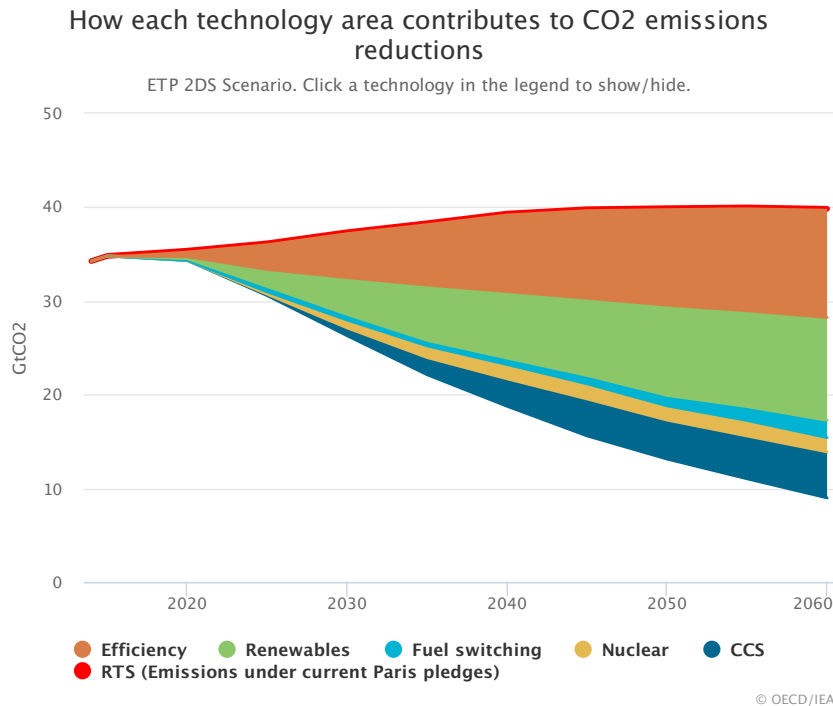
9.3.1 CCS i 2-gradersscenarioet (globalt)

Om vi skal hindre at jorda varmes opp mer enn 2°C (dvs. innfri 2-gradersmålet), vil CCS være en avgjørende del av løsningen. Dette slås fast både av det Internasjonale Energibyrådet (IEA) og FNs klimapanel (IPCC).

I IEAs 2-gradersscenario utgjør CCS 12 % av kumulative utslippsreduksjoner frem til 2050. Dette representerer 95 mrd. tonn CO₂ fanget og lagret i denne tids-perioden. Om vi skal øke sjansen for å begrense oppvarmingen med 2 grader, må enda større andeler av CO₂-utslippene elimineres. Dette gjenspeiles i flere av IPCCs 2-gradersscenarioer der mengdene CO₂ som elimineres gjennom CCS er langt høyere, over 20 mrd. tonn per år i 2050.

De samlede utslippene i Europa i 2015 var på 4.450 millioner tonn CO₂-ekvivalenter, som er 20 % lavere enn i 1990. EUs mål om 80 % reduksjon i utslippene sammenliknet med 1990-nivå innen 2050, tilsier ytterligere reduksjon av om lag 3.300 mill. tonn CO₂-ekvivalenter.

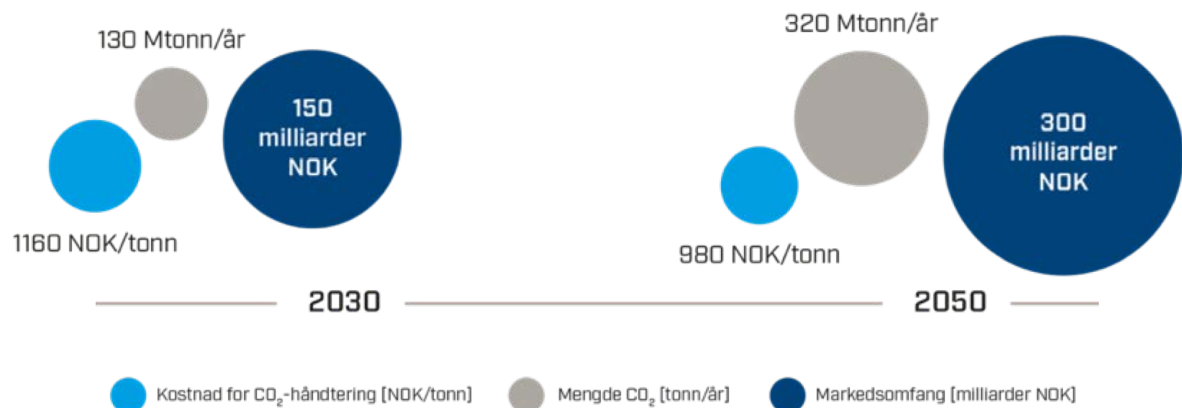
Med andre ord – for å nå disse målene vil det være nødvendig med en massiv utrulling av teknologi for CO₂-fangst, transport og lagring. Dette må komme innen fastlandsindustrien, kraftindustrien, og innen olje og gass, for eksempel ved å produsere hydrogen fra naturgass og fange og lagre CO₂en som produseres.



Figur 43 CCS (karbonfangst og lagring) vil utgjøre en stor andel av utslippsreduksjonene som er nødvendige for nå 2-gradersmålet (www.iea.org/etp2017/summary/)

9.3.2 CCS i 2-gradersscenarioet (Europa)

Figuren under viser hvor store mengder CO₂ som må fanges og lagres i Europa i 2030 og 2050, for å være i tråd med IEAs 2-gradersscenario. I tillegg vises antatt kostnad for CCS i disse utrullingsscenariene, og den samlede omsetningen knyttet til markedet for CCS i 2030 og 2050⁴³.



Figur 44 Mengder CO₂ som må fanges og lagres i Europa i 2030 og 2050 i hht. IEAs 2-gradersscenario.

⁴³ S. Størset, G. Tangen, O. Wolfgang, og G. Sand, «Industrielle muligheter og arbeidsplasser ved storskala CO₂-håndtering i Norge», SINTEF, 2018. www.nho.no/contentassets/e41282b08ceb49f18b63d0f4cc9c5270/industrielle-muligheter-og-arbeidsplasser-ved-storskala-co2-handtering-i-norge.pdf

9.3.3 Status for CCS-prosjekter

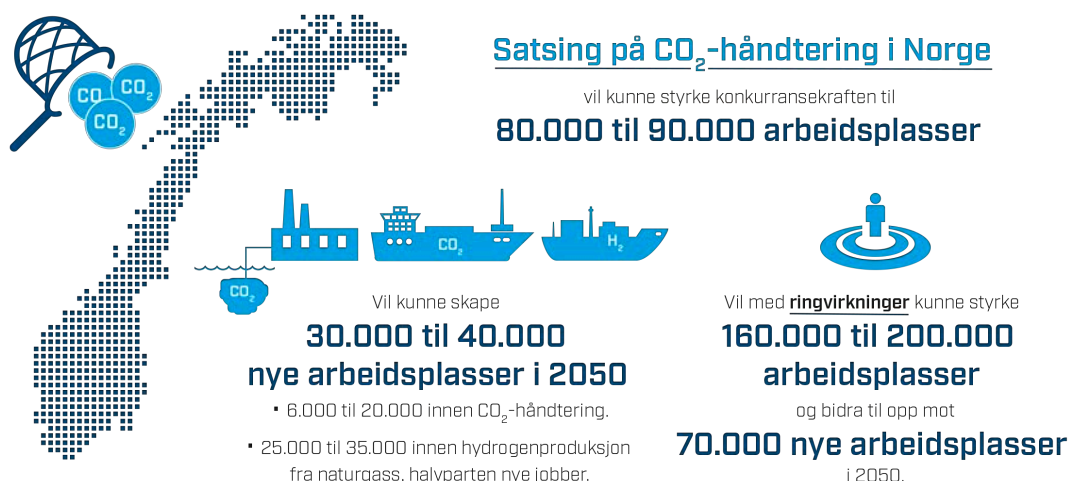
- **Technology Centre Mongstad (TCM):** TCM ble etablert i 2012 som et samarbeidsprosjekt mellom den norske stat, Equinor, Shell og Total. Anlegget har kapasitet til å fange 100.000 tonn CO₂ pr. år og er dermed verdens største anlegg for utvikling og testing av fangstteknologier. Gjennom TCM har Norge tatt en ledende rolle internasjonalt i teknologiutvikling knyttet til CO₂ fangst.
- **Det norske CCS fullskalaprojektet:** Norske myndigheter har ambisjon om realisere en kjede for CCS med minst ett fullskala fangstanlegg for CO₂. To utslippskilder er aktuelle: Norcem (sement) og Klemetsrudsanlegget i Oslo (avfall). Parallelt har Gassco, Equinor, Shell og Total arbeidet med å utrede løsninger for transport og lagring av CO₂ i tre reservoarer i Nordsjøen.
- **Antall fullskala CCS-prosjekter** globalt har økt de senere år. Totalt er 17 anlegg i drift, mens fem er under bygging⁴⁴. Til sammen vil disse prosjektene bidra til lagring av ca. 38 mill. tonn CO₂ per år. Prosjektene er spredt over store deler av kloden.
- **15 prosjekter er under planlegging** og åtte av disse kommer i Kina eller Sør-Korea. Samlet lagringspotensial for prosjektene under planlegging er ca. 27 mill. tonn CO₂ per år. Total gir dette en samlet kapasitet for å fange og lagre 65 mill. tonn CO₂ per år på verdensbasis når prosjektene er ferdig utbygget.
- For anlegg under planlegging er det en større andel prosjekter med CO₂-fangst innen kraftproduksjon enn for industri, men prosjektene inkluderer også industriprosesser, som produksjon av kjemikalier og gjødsel.

9.3.4 Innovasjoner for et fremtidig marked

Det er per i dag begrenset antall kommersielle CCS prosjekter i verden, og markedet er i et veldig tidlig stadium. På grunn av dette har ikke mange av innovasjonene og nyvinningene fra forskningsinnsatsen enda blitt tatt i bruk. Likevel har innsatsen vært essensiell for å bygge kompetanse som setter industrien i stand til utvikle løsninger for CO₂-fangst, transport og lagring. Norske industribedrifter og leverandører er i dag godt posisjonert for å ta andeler i stort, internasjonalt marked når dette kommer.

Disse perspektivene ble belyst i en rapport med tittelen «Industrielle muligheter og arbeidsplasser ved storskala CO₂-håndtering i Norge» utarbeidet av SINTEF våren 2018 på oppdrag fra NHO, LO, Fellesforbundet, Norsk olje og gass og Industri Energi. Rapporten viser til store industrielle muligheter og muligheter for nye arbeidsplasser i Norge, knyttet til et fremtidig marked for CCS i Europe, som vist i figuren under. Innovasjonene som er beskrevet i dette dokumentet vil kunne bli viktige for at norske aktører kan ta ut potensialet som er beskrevet i rapporten.

⁴⁴ Large-scale CCS facilities, Global CCS Institute. April 2018.
<http://www.globalccsinstitute.com/projects/large-scale-ccs-projects>.



Figur 45 Industrielle muligheter ved satsing på CO₂-håndtering i Norge (SINTEF, 2018)

9.4 Forskjellige innovasjoner innen fangst, transport og lagring av CO₂

Forskningen innen CO₂-fangst, transport og lagring er flerfaglig og har stor bredde. På grunn av dette er også resultatene og innovasjonene av forskjellig karakter både knyttet til type innovasjon/resultat, modenhet og anvendbarhet i CCS-kjeden.

Felles for de fleste utviklingsløp er at de primært av drevet av såkalt «technology push» (i motsetning til «market pull»), i mangel av et sterkt marked. I tillegg til typiske teknologier, har CCS-forskningen også levert andre typer innovasjoner:

- **Teknologiinnovasjoner** er teknologiske nyvinninger som er utviklet til et tidlig stadium og vist å ha et stort potensial gjennom simuleringer og eksperimenter. Et eksempel på en teknologisk nyvinning innen CCS-området er en ny og forbedret metode for å fange CO₂ fra en gitt prosess.
- **Modeller og regneverktøy** er nyutviklede datamodeller som på en ny eller bedre måte gir mulighet til å analysere et problem, forstå et fenomen, beregne kostnader og liknende. Ved hjelp av slike modeller og verktøy vil man typisk enklere og sikrere kunne designe optimale løsninger innen deler av eller hele CCS-kjeden.
- **Nye, innovative metoder** beskriver hvordan man bør angripe en gitt oppgave for å få et best mulig resultat, eller for å bruke minst mulig ressurser for å gjennomføre oppgaven. Metodene er viten-skapelig fundamentert, og viser at den nye fremgangsmåten vil gi et bedre resultat enn etablerte metoder. Et eksempel på en ny metode innen CCS-området er hvordan man best kan sementere enn brønn for å unngå lekkasjer gjennom livsløpet til brønnen.
- **Nye standarder og retningslinjer.** Grunnleggende forskning og kompetansebygging innen et nytt område bidrar ofte til å styrke kunnskapen til et slikt nivå at dette blir grunnlag for nye standarder og «best practice» innen området. Dette har også vært tilfellet innen CCS-området, hvor man nå er i ferd med å etablere en rekke ISO-standarder for hvordan fangst, transport og lagring skal gjøres best og tryggest mulig. Dette hadde ikke vært mulig uten den brede innsatsen innen CCS-forskningen.

9.5 Innovasjoner og utvalgte case

Følgende case er valgt ut:

- **Case 1:** SOLVit: Energi- og kostnadseffektiv CO₂-fangst
- **Case 2:** Fangst og flytendegjøring av CO₂ for skipstransport
- **Case 3:** Fangst av CO₂ ved kjemisk sirkulasjonsforbrenning (CLC)
- **Case 4:** Redusert sannsynlighet for løpende brudd i rør for CO₂-transport
- **Case 5:** Overvåking av undergrunnslagring av CO₂
- **Case 6:** Bedre sementering av CO₂-brønner
- **Case 7:** Smart design av CCS-kjeder

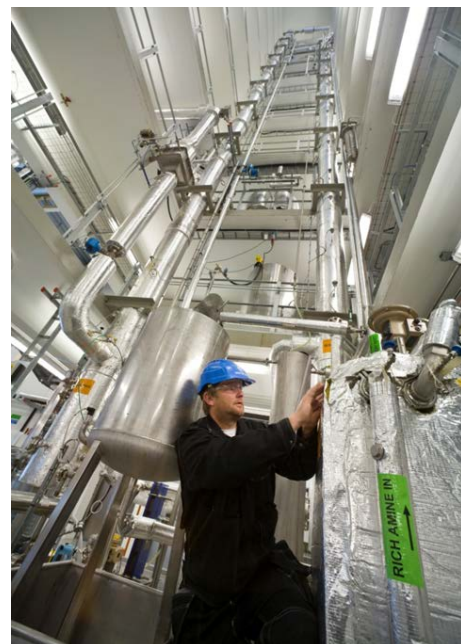
Case #1: SOLVit: Energi- og kostnadseffektiv CO₂-fangst

I SOLVit-prosjektet er det utviklet en ny fangst-teknologi basert på avanserte væskeblandinger som binder CO₂. Teknologien reduserer energiforbruket vesentlig og tillater kompakte fangst-anlegg.

Kunnskapsgrunnlaget og forskningsinfrastrukturen bygget i SOLVit vil bidra til at kommersiell, fullskala CO₂-fangst kan bli realisert – også utenfor Norge.

Fullskala CO₂-fangst er dyrt og energikrevende. Om lag 40 % av verdens CO₂-utslipp kommer fra 4000 punktkilder – mange i lavkost land som India, Kina og Russland. Dersom CO₂-fangst skal tas i bruk i stor skala globalt må følgelig kostnadene vesentlig ned.

SOLVit-prosjektet (2008-2015) ble initiert av Aker Clean Carbon, SINTEF og NTNU. Målet var å utvikle bedre og mer kostnadseffektive fangstløsninger, samt å bidra til å etablere Aker som en ledende teknologi-leverandør til et internasjonalt marked for CO₂-fangst.



Prosjektinfo: SOLVit bygger på flere forskningsprosjekt: Utvikling av absorpsjonsteknologi med støtte fra Forskningsrådet (CLIMIT og forløperen Klimatek), Kværner og Equinor; EU prosjektet CASTOR med mange internasjonale industripartnere; og BIGCO₂ støttet av CLIMIT FoU, Equinor, GE Global Research, Statkraft, Aker Clean Carbon (nå Aker Solutions), Shell, TOTAL, ConocoPhillips, og Alstom. Foto: SINTEF

Effekter

- **Aker Solutions** (tidligere Aker Clean Carbon) tilbyr kommersielle CO₂ fangstanlegg som er basert på teknologi utviklet i SOLVit-prosjektet.
 - Er installert og testet ved Technology Center Mongstad (TCM).
 - Skal installeres på sementfabrikken til Norcem i Brevik i 2022.
 - Har investert 400 mill. kr i teknologien.
- **Konkurransedyktig løsning** med stort internasjonalt kommersielt potensial:
 - 35 % lavere energiforbruk
 - Redusert materialbruk – kompakt løsn.
 - Teknologi for reduserte CO₂-utslipp fra industri og kraftsektor
 - Miljøvennlige væskeblandinger og prosessløsninger som fanger CO₂
- **Verdensledende norske forskningsmiljø** ved SINTEF og NTNU
- Etablering av flere **storskala laboratorier**:
 - SINTEF Tiller CCS lab
 - Technology Center Mongstad (TCM)
 - Aker MTU

Case #2: Fangst og flytendegjøring av CO₂ for skipstransport

I prosjektene DECARBit, BIGCCS og NCCS er det utviklet konsepter for lavtemperatur flytendegjøring og separasjon av CO₂. Disse konseptene kan kombineres med konvensjonelle og nye avanserte hydrogenseparasjons-prosesser for å gi høyere CO₂-fangst-effektivitet, og dermed fornybarparitet.

Flytendegjøring av CO₂, dvs. fangst og omgjøring av gass til væske, er en forut-setning for å realisere det norske fullskala-prosjektet for CO₂-fangst. Dette må gjøres som en integrert del av CCS-kjeden for at gassen kan transporteres videre med skip.

Avkarbonisering av norsk naturgass gjennom hydrogenproduksjon kombinert med CCS har et stort potensial for utslippsreduksjon. Minimale CO₂-utslipp, og dermed svært høy CO₂-fangsteffektivitet, må til for å gi hydrogenet fra naturgass et fotavtrykk tilsvarende hydrogen basert på fornybar kraft.

Potensielle effekter

- **Reduserte utslipp og kostnader** for produksjon av avkarbonisert hydrogen:
 - Redusert energibehov og -kostnad. Potensial for inntil 30-40 % kostnadsreduksjon i avkarboniseringsprosessen.
 - Mer fysisk kompakt prosessenhet og dermed lavere material- og produksjonskostnader.
- **Hydrogenproduksjon**
 - Høyt potensial innen fremtidig hydrogen-produksjon med CO₂-fangst og -lagring.
 - Stort potensial ved produksjon av hydrogen fra norsk naturgass, og spesielt ved integrasjon av komplementære separasjonsteknologier.
 - Flere virksomheter i Norge er i ferd med å utvikle nye teknologier for effektiv produksjon av hydrogen, basert på norsk forskning, bla. Hydrogen MemTech og CoorsTek Membrane Sciences.



Prosjektinfo: Utviklingen av konseptet for fangst av CO₂ ved flytendegjøring startet i prosjektet DeCARBIT (EU FP7). Utviklingen har fortsatt i FME BIGCCS og NCCS. Et ett-årig forprosjekt ble finansiert av CLIMIT Demo/Gassnova i 2013. En pilotinfrastruktur har blitt bygget gjennom ECCSEL (Forskningsrådet INFRASTRUKTUR). Anvendelsen av teknologien innen sementproduksjon har blitt utviklet i CEMCAP-prosjektet (EU Horizon 2020).

Foto: SINTEF

Case #3: Fangst av CO₂ ved kjemisk sirkulasjonsforbrenning (CLC)

CLC (Chemical Looping Combustion) er en CO₂-fangstteknologi ved oxy-forbrenning hvor oksygenet produseres som en integrert del av prosessen. Man trenger ikke et eget luft-separeringsanlegg og kan spare betydelige kostnader og energiforbruk.

CLC baseres på at metalloksider i form av små partikler sirkulerer mellom to reaktorer som opererer på temperatur 900 – 1000 °C. I den ene reaktoren vil metalloksidet ta opp oksygen fra luft. I den andre reaktoren vil oksygenet avgis og brukes til å forbrenne et brensel.

I FME BIGCCS er det utviklet et reaktorkonsept som baseres på at to CFB-reaktorer (Circulating Fluidized Bed) kobles sammen for å gi en full CLC-prosess. CFB-teknologi er kommersielt tilgjengelig og bruk av denne for å realisere CLC er ansett som en svært aktuell vei for å få bygd et storskala anlegg. Konseptet er videre testet i en industriskala pilot (150 kW), hvor også nye metalloksider er validert.

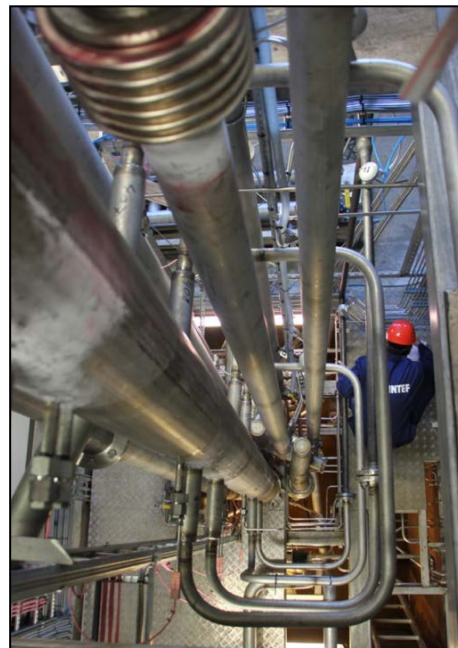
Som en del av CCS-kjeden må man fange CO₂ på en mest mulig effektiv måte fra forbrennings- og industrielle prosesser. Det er tre hovedmetoder for CO₂ fangst:

- (1) Post-forbrenning (fjerne CO₂ etter forbrenningsprosessen).
- (2) Pre-forbrenning (fjerne karbon fra brenslent slik at CO₂ ikke dannes).
- (3) Oxy-forbrenning (forbrenning med oksygen i stedet for luft slik at CO₂ kan separeres bare ved kondensering av vann).

Hovedutfordringene for realisering av CO₂-fangst er kostnader og energiforbruk. Teknologier som kan redusere dette vil være svært viktige for CCS.

Potensielle effekter

- Fangstkostnad for CO₂ er potensielt lavere enn 26 EUR/tonn (240 NOK/tonn).
- Høy virkningsgrad som følge av mulig høyere damptemperaturer.
- CO₂ fangstrate rundt 90 % eller høyere.
- CLC med biomasse vil bidra til såkalte negative CO₂ utslipp, dvs. fjerne CO₂ fra atmosfæren.



Prosjektinfo: CLC-forskningen har blitt gjennomført i FME BIGCCS, og i flere prosjekter i CLIMIT. Nå tas også forskningen videre innen en stort prosjekt i EU Horizon 2020.

Foto: SINTEF

Case #4: Redusert sannsynlighet for løpende brudd i rør for CO₂-transport

Innovasjonen er en avansert simuleringsmodell som kan forutsi om en sprekk eller skade på et CO₂-transportrør vil utvikles til et løpende brudd. Modellen kan brukes til å avgjøre om eksisterende naturgassrør kan gjenbrukes til CO₂-transport, samt vurdere situasjoner med endrede driftsforhold.

Behovet for fullskala-forsøk reduseres. Modellen kan også brukes i design av nye rør og til å finne pålitelige sikkerhetsfaktorer til de semi-empiriske metodene.

Transport av store mengder CO₂ i rørsystemer frem til brønn krever at CO₂ komprimeres under høyt trykk (ca. 100 atm). Et mulig problem ved transport i høytrykksrør er løpende brudd. En liten sprekk eller skade på røret kan utvide seg og løpe langs røret i begge retninger. I verste fall sprekker røret over flere hundre meter, noe som kan gi store skader i tillegg til farlige lekkasjer. Risikoen for brudd kan reduseres ved å øke veggtykkelsen eller bruke stål med høyere kvalitet, men dette er kostbart.

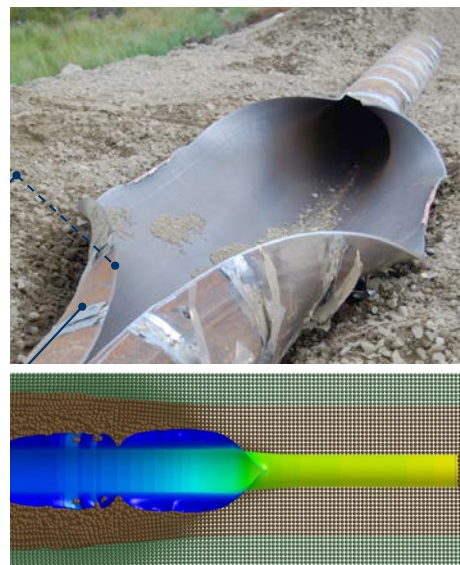
For å forutse om en sprekk kan bli til et løpende brudd, benyttes semi-empiriske metoder basert på fullskala eksperimenter på naturgassrør. For CO₂ legges sikkerhetsfaktorer inn.

Effekter

- Anvendes i kommersielle forskningsoppdrag

Potensielle effekter

- Redusert usikkerhet:
 - Eksisterende naturgassrør kan rekvalifiseres til CO₂-transport.
 - Høyere trygghet i design gjør at rør kan legges nærmere bebodde områder.
- Reduserte kostnader:
 - Lavere materialkostnader (stål) pga. mindre veggtykkelse.
 - Optimalisering av materialkostnad, materialkvalitet og veggtykkelse.
 - Færre fullskalaforsøk.
- Forutsetning for å realisere CO₂-transport.



Prosjektinfo: Verktøyet har blitt utviklet gjennom FME BIGCCS og FME NCCS (delfinansiert av CLIMIT FoU), samt norsk og internasjonal industri, blant annet Equinor, Gassco, Total, Shell og Engie.

Foto/illustrasjon: SINTEF

Case #5: Overvåking av undergrunnslagring av CO₂

Innovasjonen består av metoder som både forbedrer nøyaktigheten og reduserer behovet for geofysiske måledata gjennom optimal utnyttelse av innsamlet informasjon.

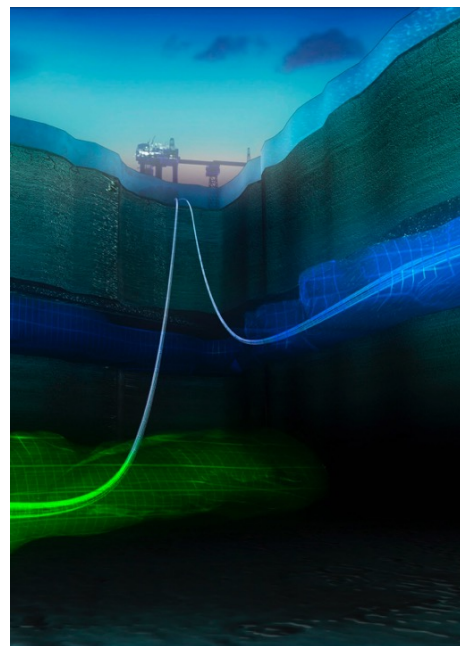
Metoder basert på nye geofysiske algoritmer, integrasjon av flere typer av (rå)data og ny innsamlingsteknologi, gir operatører mer kvantitativ og detaljert informasjon om CO₂ i undergrunnen og kunnskap om usikkerhet i informasjonen. En strategi for å beregne kostnad og verdi av informasjon vil bli utviklet som et hjelpemiddel for planlegging av målinger.

Fullskala CO₂-fangst i Norge og Europa, og undergrunnslagring av CO₂ på norsk sokkel vil stille svært strenge krav til operasjonell sikkerhet. Kontinuerlig overvåking av CO₂ i reservoaret og av mulige uønskede migrasjonsveier er derfor nødvendig.

Geofysiske metoder, hovedsakelig seismikk, anvendes for å kartlegge og overvåke undergrunnen, men dagens metoder er svært kostbare. utfordringen er å utvikle kostnadseffektive metoder med tilstrekkelig nøyaktighet for å sikre at de riktige operasjonelle beslutningene blir tatt og injeksjonen går som ønsket.

Potensielle effekter

- Økonomisk potensial (anslag):
 - 50 % reduserte kostnader for innsamling av geofysiske data.
 - 30 % reduserte kostnader for håndtering av uforutsette hendelser.
- Miljø og sikkerhet:
 - Oppfyller regulatoriske krav som muliggjør lagring på norsk sokkel.
 - Redusert risiko for CO₂-lekkasje.
- Nytt marked for leverandørindustrien.



Prosjektinfo: Metodene er utviklet i FME BIGCCS og NCCS (industripartnere Equinor, Gassco, Shell, TOTAL, Engie, m.fl.), uniCQue (CLIMIT FoU og BIGCCS-partnere) og prosjektet Pre-ACT (Forskningsrådet, CLIMIT Demo, EU Horizon 2020, BEIS, RVO, BMWi, Equinor, Shell, TOTAL og TAQA).

Illustrasjon: Equinor

Case #6: Bedre sementering av CO₂-brønner

Innovasjonen består i flere deler:

- Ny metode for bedre sementheft til stål.
- Nytt verktøy for å simulere sementpumping inn i brønnen.
- Forståelse av hvordan operasjonelle parametere påvirker sementens forseglingssevne i CO₂-brønner over tid.
- Nye sementtyper som er skreddersydd for CO₂-brønner.

Brønner boret inn i lagringsreservoaret i undergrunnen utgjør en fare for lekkasje i CCS-kjeden. Dette gjelder både de aktive brønnene, og de gamle som er plugget.

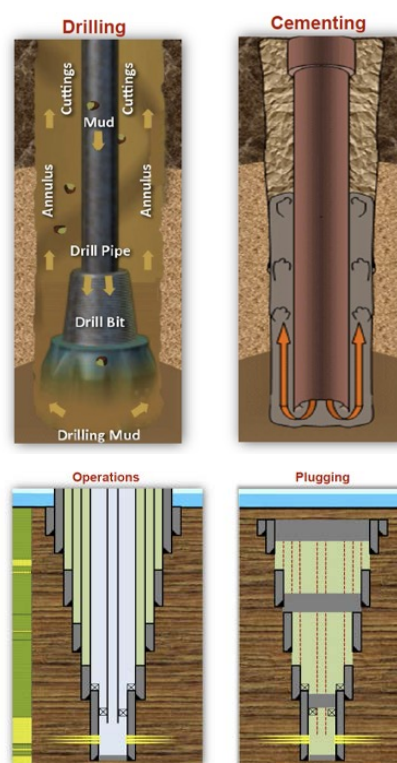
Sement er hovedmaterialet som hindrer lekkasje. Det pumpes inn mellom stål og stein når man borer brønnen, og det brukes til å tette eller *plugge* brønnen når man er ferdig med å bruke den.

For CO₂-brønner er det spesielt vanskelig å sørge for at sementen holder tett: CO₂ har sterk oppdrift, den påvirker sementen negativt (kjemisk degradering), og CO₂-injeksjon gir større temperaturforandringer enn det man er vant til fra olje- og gassindustrien. Det er også svært dyrt å reparere dårlig sement i brønner. For pluggede brønner finnes det ingen metoder for å reparere dårlig sement.

God brønnsementering – både under boring og plugging – er en forutsetning for sikker lagring av CO₂.

Potensielle effekter

- Redusert risiko for lekkasje
- Økt levetid på brønnene
- Redusert behov for nye brønner
- Reduserte vedlikeholdskostnader og pluggekostnader
- Økt aksept i samfunnet for at CO₂-lagring er trygt.



Prosjektinfo: Innovasjonen er utviklet i FME BIGCCS og NCCS i samarbeid med industri (Equinor, Gassco, Shell, TOTAL, Engie, m.fl.), samt i prosjektene «Ensuring well integrity during CO₂ injection» (KPN støttet av CLIMIT og BIGCCS partnere) og «Closing the gaps in CO₂ well plugging» (forskerprosjekt finansiert av CLIMIT).

Illustrasjon: SINTEF

Case #7: Smart design av CCS-kjeder

iCCS er et programvareverktøy for holistisk systemoptimalisering av en fullstendig CCS-kjede. iCCS gjør at brukeren kan sammenlikne kjeder med ulike konfigurasjoner, simulere forskjellige scenarier og finne en optimal løsning for valg av teknologi, miljøhensyn og økonomi/kostnader.

Potensialet for kostnadsreduksjon er knyttet til integrering og optimalisering i grense-flatene mellom de ulike delementene i verdikjeden.

En CCS-kjede omfatter hele verdikjeden fra CO₂-fangst til lagring. Siden ingen CCS-kjeder er like, og at de ofte vil være scenario- og case-sensitive, så må hver kjede designes individuelt for å finne optimal løsning. Optimalisering av hvert delement i CCS-kjeden gir risiko for suboptimalisering. En av forskningsutfordringene er derfor å utvikle transparente og konsistente metoder som tar hensyn til teknologi, miljø og økonomi når CCS-kjeder skal vurderes. Forbedret kunnskap og bedre beslutningsstøtteverktøy vil bidra til å redusere usikkerheten og risikoen når integrerte kjeder for CO₂-fangst, transport og lagring skal designes og evalueres.

Effekter

- SINTEF har fått flere forskningsoppdrag basert på kunnskapen som er utviklet i prosjektet.

Potensielle effekter

- Potensial for 15-20 % kostnadsbesparelse pr. CCS verdikjede ved å benytte iCCS.
- Økt forståelse for sammenhenger og elementer i CCS-kjeden vil gi bedre beslutninger.



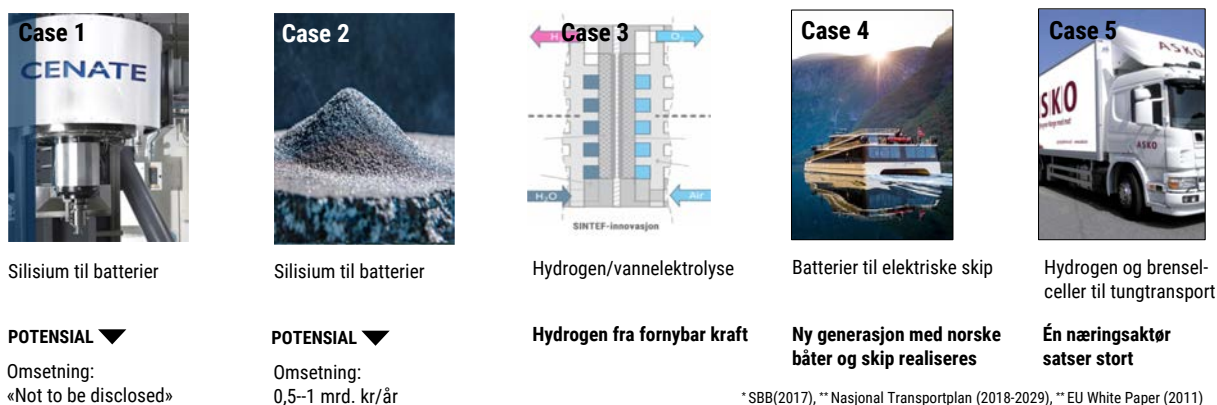
Prosjektinfo: Verktøyet har blitt utviklet gjennom FME BIGCCS og NCCS og i samarbeid med norsk og internasjonal industri, blant annet Equinor, Gassco, Total, Shell og Engie.
Illustrasjon: SINTEF

10. Deltema 8 - Nullutslippstransport (batterier og hydrogen)



10.1 Sammendrag

Effektvurderingen av deltema «Nullutslippstransport (batterier og hydrogen)» er utarbeidet av Menon Economics og Weightless Values i samarbeid med IFE og FME MoZEEs. Fem prosjekter er studert mht. *resultater, effekter og potensielle effekter*:



Figur 46 Utvalgte case fra forskningstemaet nullutslippstransport (batterier og hydrogen).

Resultater

Innenfor temaet nullutslippstransport er det gjennomført ca. 30 store forskningsprosjekter de siste ti årene innen blant annet elektrifisering av transport med fornybar kraft, produksjon av hydrogen fra fornybar energi, og utvikling og demonstrasjon av brenselcelle- og batteriteknologi for elektrisk transport.

Siden 2008 er det uteksaminert 45 PhD-, post.doc- og masterkandidater knyttet til disse fagmiljøene.

Realiserte og potensielle effekter

Nullutslippstransport (batterier og hydrogen)

- Realiserte effekter
- Potensielle effekter

		Modenhet (TRL)	Redusert energibruk	Reduserte kostnader	Reduserte utslipp	Redusert materialbruk	Økt bruk av fornybar energi	Bedre sikkerhet, risiko, helsete	Økt forsyningssikkerhet	Reduserte miljøpålegg	Bedre beslutninger	Industriell potensial	Utdanning og forskning	Syrker nasjonale FoU-miljø	Internasjonalt samarbeid
Case 1	Silisium til batterier (Cenate)	7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●
Case 2	Silisium til batterier (Elkem)	8	●	●	●	○	○	○	○	●	●	○	○	●	●
Case 3	Hydrogen fra vannelektrolyse	6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Case 4	Batterier for elektriske skip (ZEM)	8	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Case 5	Hydrogen og brenselceller for tungtransport (ASKO)	8	●	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Figur 47 Realiserte effekter, potensielle effekter og teknologisk modenhet (EUs TRL-skala 0-9, EU Horizon 2020 TRL-definisjon: <https://publications.europa.eu/s/iDQK>)

Realiserte effekter

- Batterier:
 - Tett samarbeid mellom norsk industri og forskningsmiljøer har ført til konkrete kommersielle aktiviteter i flere deler av batteriverdikjeden, fra materialproduksjon til sluttbruk i maritim sektor.
 - Batterier tas nå i bruk i de fleste elektriske drivlinjer i mindre skip i Norge.
 - Tre nye selskapsetableringer innenfor batteriteknologi.
 - Industrielle prøveproduksjon av silisium for Li-ion batterier.
- Hydrogen:
 - Hydrogen vurderes som et reelt alternativ for varebiler og tungtransport i Norge.
 - Aktiv deltagelse i og ledelse av utviklings- og demonstrasjonsprosjekter (EU og Forskningsrådet) har ført til bred norsk kompetanse innen hydrogen og transport.
- Forskningen har bidratt til:
 - Videreutvikling og styrking av FoU-miljøer ved forskningsinstitutter, universiteter og store industriselskaper.
 - Teknologiutvikling og demonstrasjonsprosjekter i små og mellomstore bedrifter.
 - Økt breddekunnskap om batteri- og hydrogenteknologi og systemer.
 - Økt samarbeid i Norge og med partnere i EU.

Potensielle effekter

- Økt bruk av fornybar energi til transport.
- Reduserte utslipp fra transport, nullutslipp i deler av transportsektoren.
- Økt modenhet på batteri- og hydrogenteknologi.
- Industriell batteriproduksjon.
- Kommersiell anvendelse av hydrogen i transportsektoren.

10.2 Om forskningstemaet nullutslippstransport

Norske forskningsmiljøer har gjennomført om lag 30 prosjekter innen nullutslippstransport (elektrisk transport, batterier og hydrogen) de ti siste årene. IFE har ledet en rekke store forskningsrådsprosjekter på materialer (silisium) for Li-ion batterier og bruk av Li-ion batterier i maritim sektor, NTNU har fokusert på batterimaterialer. SINTEF har ledet en rekke store EU-prosjekter på lavtemperatur vannelektrolyse og brensel-celler, UiO har fokusert på høytemperatur vannelektrolyse og brenselceller.

IFE har utviklet nasjonalt senter for testing av hydrogenteknologi (IFE Hynor), FFI og USN har etablert laboratorier for testing av batteri- og hydrogensikkerhet. FoU-miljøene har vært sterkt involvert i flere bruker- og industristyrte utviklings- og demonstrasjonsprosjekter.

Sentrale forskningsinstitusjoner er IFE, SINTEF, NTNU, UiO, USN, FFI og TØI. FoU-miljøene har samlet seg om en langsiktig felles satsning på nullutslippstransport gjennom FME MoZEES (2017-2024).

Sentrale forskningstema:

- Hydrogen
 - Hydrogenproduksjon fra vannelektrolyse
 - Hydrogenstasjoner for brenselcelle-kjøretøy
 - Brenselceller for anvendelse i transport (vei, bane og sjø)
- Batterier
 - Produksjon av silisium som anodemateriale i Li-ion batterier
 - Bruk av Li-ion batterier i maritim sektor
- Prosjekter
 - 80 prosjekter innenfor elektriske systemer, batterier (bruk, transport, hydrogen, batterier)
 - 30 prosjekter med direkte relevante for nullutslippstransport (batterier og hydrogen)

Prosjektpartnere (eksempler):

- Næringslivet: ABB, ASKO, DNV GL, Dynatec Engineering, Elkem, Equinor, Gexcon, Grenland Energy, Hexagon, Hynor Lillestrøm AS (nå IFE), Lindum, Lloyds Register, NEL, Rolls-Royce Marine, Unibuss og ZEM.
- Offentlig sektor: Enova, Fylkeskommuner (Akershus, Hordaland, Rogaland, Sogn- og fjordane, Trøndelag), Jernbanedirektoratet, Ruter, Statens vegvesen.

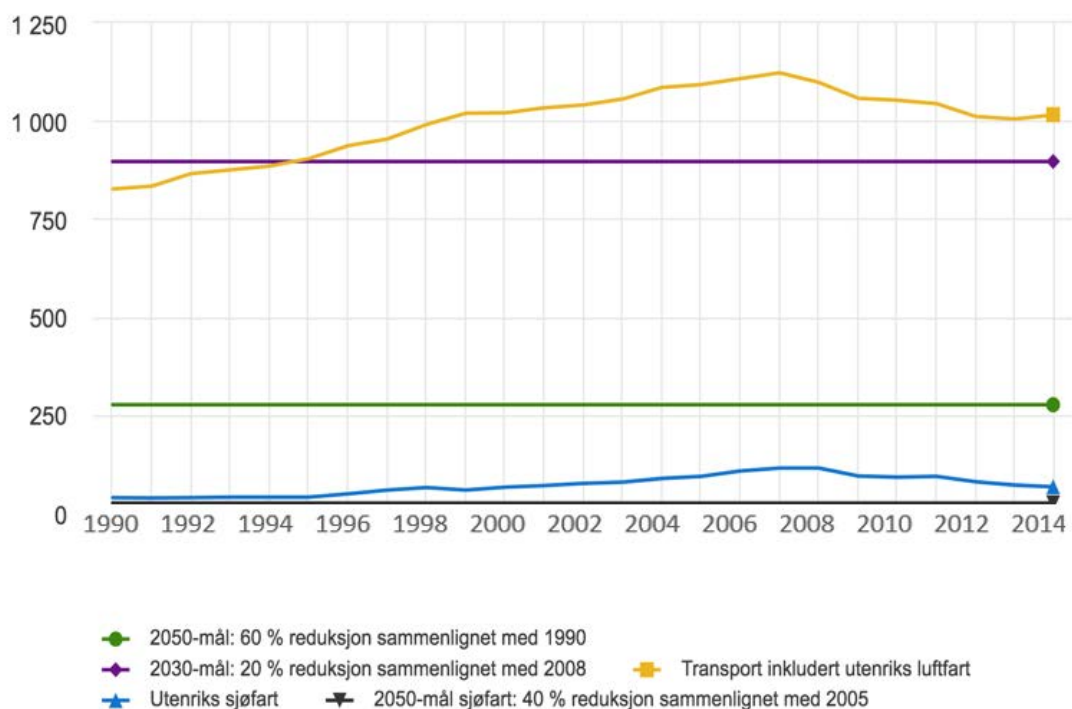
Nøkkeltall 2008-2017

Forskningsrådet: RENERGI, ENERGIX	275 mill. kr
EU prosjektstøtte (FCH-JU)	30 mill. kr
Hydrogendemonstrasjoner	30 mill. kr
Uteksaminerte PhD-kandidater	15
Post.doc	10
Uteksaminerte master-kandidater	20

Tabell 11 Kilde: FME MoZEES

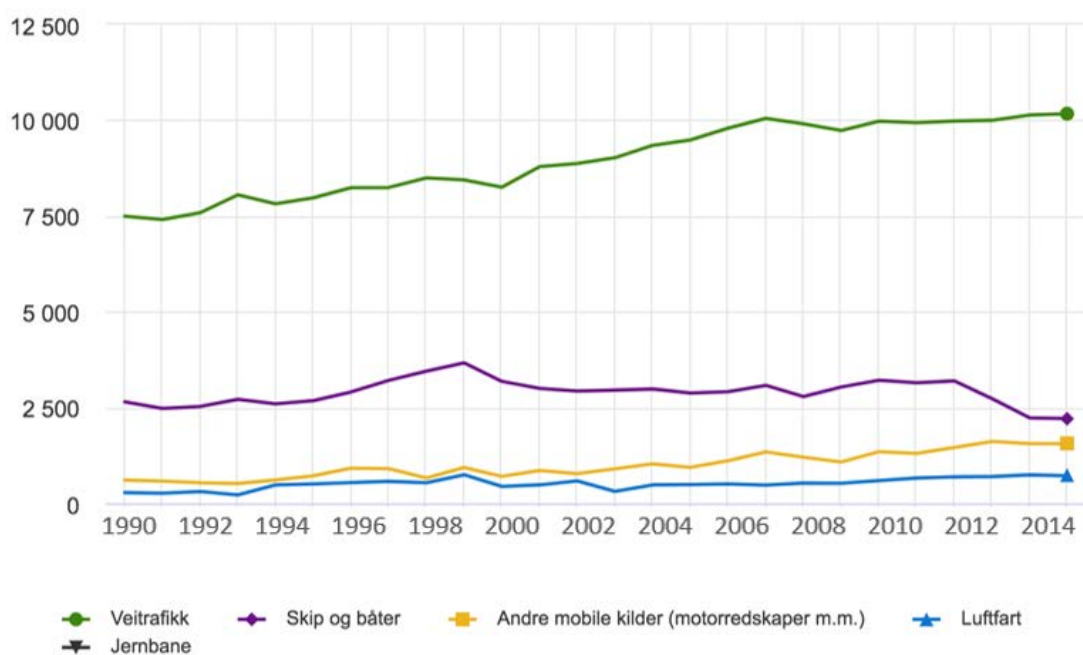
10.3 Referansebane nullutslippstransport

10.3.1 Historisk utvikling – utslipp i transportsektoren



Kilde: Det europeiske miljøbyrået - EEA/TERM 02 Transport emissions of GHG og <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/>

Figur 48 EU-28: Utslipp av klimagasser fra transport, inkludert utenriks luftfart og utenriks sjøfart 1990-2013 [mill. tonn CO₂-ekvivalenter]



Kilde: Statistisk sentralbyrå. ¹ Omfatter all mobil forbrenning. Omfatter ikke utslipp fra utenriks sjøfart og luftfart.

Figur 49 Norge: Utslipp av klimagasser fra transport, fordelt på transportmåter 1990-2013 [tusen tonn CO₂-ekvivalenter]

10.3.2 Politiske nullutslippsmål, utviklingsbaner

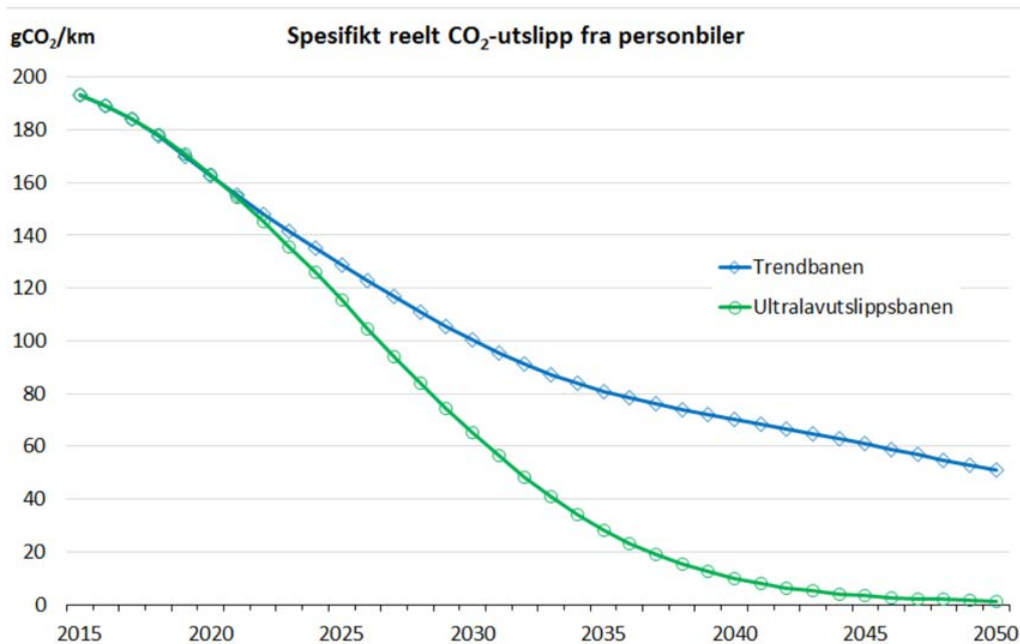
Overgang til batteri- og hydrogenelektriske kjøretøy skal bidra til at Norge innfrir sine klimaforpliktelser i ikke-kvotepiktig sektor. I Nasjonal transportplan 2018–2029 (NTP) (Meld. St. 33 2016-2017) og i klimastrategien mot 2030 (Meld. St. 41 2016–2017) har regjeringen satt som mål at alle nye personbiler solgt i 2025 skal ha nullutslipp, dvs. batteri- eller hydrogenelektrisk drift. Det samme skal gjelde bybussene (med forutsetning om at biogass regnes som klimanøytral energibærer). Innen 2030 skal i tillegg alle nye varebiler, tre fjerdedeler av alle langdistansebusser og halvparten av alle tunge lastebiler ha nullutslipp.

Konsekvenser og forutsetninger

I TØI-rapport 1518/2016 presenteres to scenarier for utslipp fra veitrafikken frem til 2050, med forutsetninger som er konsistente med NTP.

- Trendbanen representerer en videreføring av utviklingstrekkene de siste årene.
- Ultralavutslippsbanen viser en utvikling som er konsistent med at nullutslippsmålene for nye kjøretøy i 2025 og 2030 innfris.

Trendbanen er ikke en referansebane, men en forholdsvis optimistisk framskrivning basert på utviklingstrekkene de siste årene.



Figur 50 Framskrivninger av personbilparkens spesifikke, reelle CO₂-utslipp 2015-2050 i to scenarier. Kilde: Figur fra TØI-rapport K 1518/2016 Kjøretøyparkens utvikling og klimagassutslipp. Framskrivninger med modellen BIG

10.4 Innovasjoner og utvalgte case

Fem case er valgt ut:

- **Case 1:** Silisium til batterier (Cenate)
- **Case 2:** Silisium til batterier (Elkem)
- **Case 3:** Hydrogen fra vannelektrolyse
- **Case 4:** Batterier for elektriske skip (ZEM)
- **Case 5:** Hydrogen og brenselceller for tungtransport (ASKO)

Case #1: Silisium til batterier (Cenate)

Caset er utarbeidet av Menon Economics og Weightless Values.

Cenate har rettigheter til bruk av Dynatec Engineerings sentrifugalreaktor for silisiumproduksjon og kjører et av Europas største FoU-prosjekter for utvikling av avanserte silisium-baserte nano-komposittmaterialer til anoder i Li-ion batterier.

Dynatec Engineering har utviklet en ny prosess for fremstilling av silisium til solcelleproduksjon med bruk av en sentrifugalreaktor, den eneste av sitt slag i verden. Det har vist seg at denne prosessen kan modifiseres for produksjon av nano-silisiumpartikler. På dette grunnlaget ble selskapet Cenate AS etablert i 2015, med formål å produsere silisium for anoder til Li-ion batteri-industrien.

Med utgangspunkt i silan (SiH_4) produseres avanserte silisiumbaserte nano-komposittmaterialer for anvendelse som anodemateriale i Li-ion batterier.

- Materialene har blitt testet og analysert med lovende resultater.
- Det er mulig å produsere skreddersydd nano-strukturert silisium i høy hastighet til en langt lavere kostnad enn med andre metoder.

Effekter

FoU videreført i nytt prosjekt 2018-2019:

- Utvikling av en ny høyvolum produksjonsprosess og nye, nano-strukturerte silisiumkompositter til bruk i litiumion-batterier.
- Materialene vil bli forsøkt tilpasset både til dagens verdikjede for batteriproduksjon - og til fremtidige, lovende batterikonsepter. Slik legges det til rette for kommersialisering av teknologien relativt raskt, samtidig som selskapet kan finne sin plass i verdikjedene for nye, fremtidige batteriløsninger.
- Samarbeid med store, internasjonale kunder.

Potensielle effekter

Dersom det pågående FoU-prosjektet lykkes fullt ut, forventer Cenate at materialet vil kunne øke kapasiteten til dagens litiumionbatterier med opptil 40 prosent. Dette er konsistent med US DoE roadmap fra 2016. Selskapet ser muligheter for en virksomhet som på sikt har:

- Årsproduksjon på 3000 – 6000 tonn
- Årsomsetning 500 – 1000 mill. kr
- 120 - 250 årsverk



Prosjektinfo: Forskningsprosjekter i FCH JU med finansieringsstøtte fra RENERGI og ENERGIX: NEXPEL & NOVEL (2008-2016) og MEGASTACK (2015-2017). Utviklingsprosjekt på PEM-vannelektrolyse (2018) med støtte fra FORNY. Foto: Cenate

Case #2: Silisium til batterier (Elkem)

Caset er utarbeidet av Menon Economics og Weightless Values.

Elkem har gjennom flere års forskning utviklet spesialmaterialer med utgangspunkt i metallurgisk silisium, med sikte på salg av anodematerialer til Li-ion batterier.

Med utgangspunkt i metallurgisk silisium har Elkem i flere år arbeidet med sikte på å utvikle Si-kvaliteter for anvendelse i anoder for Li-ion batterier. For å optimalisere materialene for dette formålet har Elkem i samarbeid med IFE, SINTEF og NTNU opparbeidet kunnskap om silisium i kombinasjon med ulike bindemidler og elektrolytter.

Silisium-komposittmaterialer har blitt utviklet og testet som anodemateriale ved hjelp av elektro-kjemiske målemetoder.

- En tredobling av anodekapasiteten ble oppnådd i forhold til dagens teknologi.
- Materialet kan skreddersys med tanke på kjemisk sammensetning og partikkelstørrelse.

Effekter

Elkems Silgrain® e-Si tilbys til industrielle kunder, optimalisert for bruk som anodemateriale i batterier .

- Produktet er kompatibelt med flere ulike batterikjemier og vil kunne gi betydelige forbedringer av batteriytelse, både i biler, elektronisk utstyr og til andre formål.
- Produktet produseres gjennom en metallurgisk prosess, i volumer som er store nok for batteriindustrien.
- Samarbeid med store, internasjonale kunder.

Potensielle effekter

Elkem har med sitt Silgrain® e-Si anodemateriale etablert seg som leverandør til batteri-produzentene. Produksjonen av materialet er i dag industriell og Elkem vil ha tilstrekkelig produksjonskapasitet til å møte etterspørselen når silisium blir en standardkomponent i batterier. Silgrain® e-Si antas å bli et viktig produkt for Elkem Bremagner i fremtiden. Sammen med Elkem Carbons grafittmaterialer vil Elkem Bremangers Silgrain® e-Si gi Elkem mulighet bli en komplett leverandør av aktive anodematerialer basert på silisium- og grafittmaterialer.



Prosjektinfo: SiNODE (2012-2015) og SiCANODE (2015-2018). Finansiering fra ENERGIX.

Foto: Elkem

Case #3: Hydrogen fra vannelektrolyse

Caset er utarbeidet av Menon Economics og Weightless Values.

SINTEF har de siste 10 årene bygget opp mye kompetanse på PEM-vannelektrolyse. En ny metode for design og drift av PEM vannelektrolyse er utviklet ved hjelp av tynnere membraner og billigere konstruksjonsmaterialer.

Innovasjonen har et potensial for 10-20 % høyere virkningsgrad og en halvering av material kostnadene. Forskingen har fokusert på økt levetid og reduksjon av materialkostnader. FoU-områder med ny fundamental kompetanse:

- Mekanismer for degradering av cellene.
- Mulige forbedringer i materialbruk.
- Mekanismer for masse- og varmetransport i store PEM-vannelektrolysører.

Andelen med fornybar energi vokser og utslippene av drivhusgasser søkes redusert i alle sektorer. Hydrogen til nullutslippstransport kan produseres ved hjelp av fornybar kraft og PEM vannelektrolyse (proton-ledende membraner).

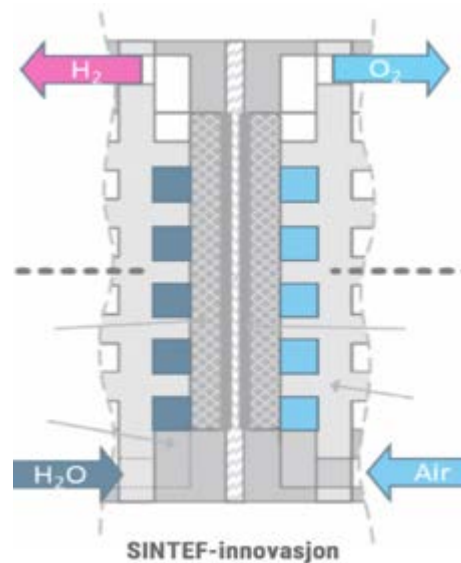
PEM-vannelektrolyse er mer kompakt enn tradisjonell vannelektrolyse og godt egnet til å håndtere ikke-regulerbar kraft, men krever fortsatt teknologi-utvikling for å bli konkurransedyktig med tradisjonelle metoder for produksjon av hydrogen.

Effekter

- Det er søkt patent på et nytt konsept for design og drift av PEM-vannelektrolyse.
- SINTEF deltar i mer enn ti europeiske hydrogenprosjekter, inkludert prosjekter på storskala PEM-vannelektrolyse.

Potensielle effekter

- Norsk og europeisk kompetanse på PEM-vannelektrolyse kan ha betydelig verdi, spesielt innenfor transportsektoren.
- Markedsmulighetene for hydrogen til transport og PEM-vannelektrolyse påvirkes i stor grad av norsk og internasjonal klimapolitikk.



Prosjektinfo: Forskningsprosjekter i FCH JU med finansieringsstøtte fra RENERGI og ENERGIX: NEXPEL & NOVEL (2008-2016) og MEGASTACK (2015-2017). Utviklingsprosjekt på PEM-vannelektrolyse (2018) med støtte fra FORNY.

Illustrasjon: SINTEF

Case #4: Batterier for elektriske skip (ZEM)

Caset er utarbeidet av Menon Economics og Weightless Values.

Innovasjonen er diagnostiske metoder som viser hvordan batterier forandrer seg i løpet av livs-syklusen, og ny og viktig kunnskap om brann- og andre sikkerhetsegenskaper for allerede Li-ion battericeller.

Elektrifiseringen av skip reduserer energi-forbruket, og bidrar til mindre utslipp av klimagasser pga. lavere forbruk av drivstoff.

Empiri og kunnskap om bruk av Li-ion batterier i andre sektorer er ikke direkte overførbare til maritim sektor. Utfordringen er derfor å etablere spesifikk kunnskap om egenskapene til de forskjellige typene av Li-ion batterier før de tas i bruk i skip. Dette gjelder særlig forhold som har større betydning i skip enn for andre formål, slik som brannegenskaper, belastningsforhold og levetid.



Vision of the Fjords, Brødrene Aa
Foto: Sverre Hjørnevik, Flåm AS

Prosjektinfo: KPN-prosjektet «Levetid og sikkerhet for Li-ion batterier under maritime forhold (SafeLiLife)» ble ledet av IFE. Prosjektet var finansiert av PILOT-E og industripartnerne DNV GL, ZEM, FMC SubSea, Rolls-Royce og ABB.

Effekter

Forskningsresultatene er tatt i bruk ved installering av batterielektrisk drift i flere norske båter og mindre skip.

- Batteridrevne Vision of the Fjords vant i 2017 den norske innovasjonsprisen for universell utforming i kategorien transport.
- Søsterskipet Future of The Fjords ble til-delt «Ship of the Year award 2018» ved SMM, en ledende, internasjonal sjøfartsmesse i Hamburg.

Potensielle effekter

Norske skip med batteridrift utgjør ca. 35 prosent av de som hittil er bygget i verden. 30 fartøy er allerede kontrahert, og i løpet av tre år vil Norge ha rundt 70 el- og hybridferger. Kunnskaper og dokumentasjon vedr levetid og sikkerhet for Li-ion batterier til maritime formål kan representere et konkurransefortrinn.

Case #5: Hydrogen og brenselceller for tungtransport (ASKO)

Caset er utarbeidet av Menon Economics og Weightless Values.

IFE Kjeller og SINTEF Oslo gjennomfører demonstrasjon av lokal produksjon, lagring, komprimering og tilførsel av hydrogen til transportformål. Det utvikles metoder og simuleringsverktøy for design og drift av hydrogen-stasjoner (IFE) og brenselceller i kjøretøyer (SINTEF).

Utslipp fra varebiler, lastebiler og andre tyngre kjøretøy utgjør en stor andel av de totale utslippene fra transportsektoren.

- **Hydrogenproduksjon:** Hydrogen kan produseres på en miljøvennlig måte via fornybar kraft og vannelektrolyse. Dette krever energi- og kostnadseffektive løsninger for produksjon, kompresjon og lagring av hydrogen. Det totale energiforbruket i en H₂-stasjon bør være <60-70 kWh/kg_{H₂}.
- **Brenselceller:** Brenselceller for hydrogendrevne biler og busser har blitt demonstrert i pre-kommersielle prosjekter, men det finnes kun noen få demonstrasjonsprosjekter på tyngre kjøretøyer. Dette krever brenselceller med lang levetid (>25.000 timer) og kostnadseffektive systemløsninger (<100 USD/kW per stack).

Effekter

- IFE Hynor Hydrogen Technology Center, etablert i Akershus EnergiPark, Kjeller.
- ASKOs hydrogenstasjon for lastebiler og gaffeltrucks i Trondheim.

Potensielle effekter

- Stort potensielt norsk marked for anvendelse av hydrogen og brenselceller i vare- og lastebiler.



Prosjektinfo: Forskningsrådsprosjektet «Hynor Romerike» (192968) ble organisert av Hynor Lillestrøm AS og ledet av IFE. I prosjektet fikk H2Logic (nå Nel) videreutviklet et nytt H₂-stasjonskonsept. EU-prosjektet «Hydrogen powered fuel cell forklifts, field demonstration and durability studies» (207245) ble ledet av SINTEF og gav viktig kunnskap på *heavy duty* brenselceller. Begge prosjektene involverte en rekke sentrale nasjonale og internasjonale industri- og teknologipartnerne på hydrogen. Finansiering fra RENERGI.

Foto: ASKO/Norgesgruppen

Vedlegg 1: Metode

Definisjoner og måling av effekter

I effektvurderinger er det sentralt å skille mellom tre begreper:

- Forskningsresultater
- Effekter
- Potensielle effekter (fremtidig potensial)

Forskningsresultater er resultater som kan beskrives og artikuleres. Dette kan typisk være ny kunnskap, konsepter, systemer, produkter, teknisk utstyr, algoritmer, data, mv. som er utviklet i ett eller flere forskningsprosjekter. Resultatene kan f.eks. være beskrevet i notater, forskningsrapporter, presentasjoner og patentsøknader. I hovedrapporten og deltema-rapportene omtales forskningsresultater også som innovasjoner.

Effekter er dokumenterbare virkninger som følge av at forskningsresultatene er tatt i bruk. Litt forenklet er en effekt at forskningsresultatet er *tatt i bruk* og har gitt *nytteverdi for andre* enn for forskeren eller forskningsmiljøet. Effekter kan være reelle disposisjoner og beslutninger som har utløst f.eks. økonomiske investeringer, økonomiske gevinster, nye aktiviteter, regulatoriske endringer, teknologianvendelse.

Målbare effekter kan i konteksten av energiforskning være:

- Økonomisk gevinst eller finansiell investering (økonomisk forpliktelse)
- Reduksjon av klimautslipp
- Økt energi- og forsyningssikkerhet
- Økt produksjon av fornybar energi
- Energieffektivisering
- Industrialisering og kommersialisering
- Bedriftsetableringer, sysselsetting
- Kunnskapsutvikling og styrket internasjonalt samarbeid
- Videre forskning (resultatene har utløst nye forskningsaktiviteter)
- Andre sekundær- og tertiærvirkninger

Potensielle effekter er antatte/forventede fremtidige effekter. De kan ikke dokumenteres, men kan enten sannsynliggjøres eller prognostiseres basert på forutsetninger.

Effekter og potensielle effekter er altså to helt forskjellige nivåer i effektstudien. Effektene kan beskrives nøkternt ut fra observasjoner av faktiske disposisjoner og aktiviteter som bygger på forskningsresultater, mens sannsynlige/mulige effekter *i fremtiden* utgjør potensialet.

Prosjektportefølje og utvalg av case

Effektstudien for energiforskningen i 2018 er gjennomført som en **case-studie** av 48 prosjekter eller forskningstema som har fått tildelt bevilgninger fra Forskningsrådets programmer i perioden 2008-2017.

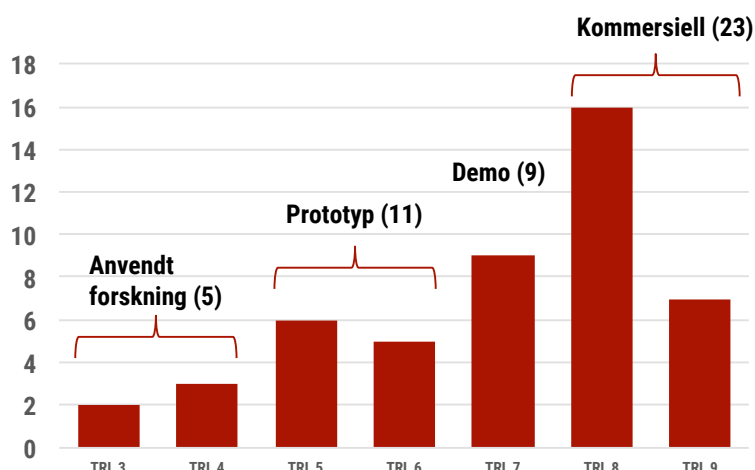
Casene er valgt ut av en samlet portefølje på ca. 670 prosjekter fra programmene RENERGI, ENERGIX, CLIMIT og FME. Casene utgjør dermed i underkant av 10 % av den totale prosjektporteføljen.

Deltema	Prosjekter 2008-2017
01 Energieffektivisering i industrien	35
02 Energibruk i bygg og områder	50
03 Vannkraft	55
04 Energisystemer	100
05 Solenergi og solcellematerialer	40
06 Bioenergi	60
07 CCS – fangst, transport og lagring av CO ₂	250
08 Nullutslippstransport (batteri og hydrogen)	80
Sum	670

Tabell 12 Antall prosjekter som har mottatt bevilgning fra RENERGI, ENERGIX, CLIMIT og FME i perioden 2008-2017. Kilde: Forskningsrådet.

Av en portefølje på 670 prosjekter har Impello og Menon valgt ut 48 case. 32 av disse ble vurdert å være i demonstrasjonsfase (TRL 7) eller kommersiell fase (TRL 8-9). TRL angir teknologisk modenhet (Technology Readiness Level) og benyttes som felles rammeverk i vurdering av prosjekter innenfor bla. Horizon 2020⁴⁵.

32 av 48 case i demo eller kommersiell fase



Figur 51 Teknologisk modenhet til 48 utvalgte case (status pr. høsten 2018) er vurdert av Impello, Menon og de involverte forskningsmiljøene.

⁴⁵ EU Horizon 2020 TRL-definisjon: <https://publications.europa.eu/s/iDQK>

Vurderingene av teknologisk modenhet er gjort høsten 2018 og viser et bilde av **dagens modenhet for casene**, altså ikke modenheten tilbake i tid da prosjektene mottok prosjektbevilgningen fra Forskningsrådet.

Utvalgskriterier

48 case er valgt ut i nært samarbeid med forskningsmiljøene basert på følgende kriterier:

- **Modenhet:** Utgangspunktet er at det ikke er en triviell oppgave å dokumentere realiserede effekter av resultater som i sin natur er kommersielt umodne og ofte er på et lavt teknologisk modenhetsnivå (lav TRL). Modne prosjekter har derfor blitt prioritert siden det er mer sannsynlig å påvise effekter og gi kvalifiserte antakelser om fremtidige effekter (potensial) for prosjekter på høyt TRL-nivå.
- **Faglig/tematisk bredde:** Flere av forskningsmiljøene har ønsket at casene skal gi et representativt bilde og vise bredden innenfor det aktuelle deltemaområdet. I mange tilfeller har bredde derfor blitt prioritert fremfor å kun velge de mest modne prosjektene.
- **Tema eller enkeltprosjekter:** Et flertall av casene er basert på enkeltprosjekter som har mottatt finansiering fra Forskningsrådet i perioden 2008-2017. I noen av casene har det imidlertid vært naturlig å slå sammen to eller flere enkeltprosjekter til ett forskningstema. Majoriteten av prosjektene og casene har et forutgående forskningsløp (før 2008), selv om sporene ikke alltid er like tydelige som for f.eks. aluminiumsforskning eller bruk av CO₂ som kuldemedium (jfr. deltema Industri).
- **Kunnskap om prosjektene i eget hus:** Prosjektene innenfor et enkelt deltema er utført av mange forskningsmiljø, og med NTNU og SINTEF som tyngdepunkt. Av praktiske hensyn så har tilgang til informasjon og nøkkelpersoner i som kjenner prosjektene vært avgjørende for valg av case. Tids- og ressursmessig ville det vært vanskelig å vurdere case fra forskningsinstitusjoner som ikke var tilknyttet de ansvarlige FME-ene.
- **Utført i nyere tid:** Tilgang til nøkkelpersoner (prosjektansvarlige) og deres kunnskap om resultater og effekter har vært avgjørende for valg av prosjekter (jfr. ovenstående punkt). Enkelte prosjekter som er utført tidlig i perioden er valgt bort siden nøkkelpersonene f.eks. har byttet jobb eller ikke lenger er involvert i forskningstemaet.
- **Mulig å formidle:** Enkelte av prosjektene i porteføljen er såpass komplekse eller abstrakte at det vil være utfordrende i seg selv å formidle essensen og resultatene av prosjektene. Disse prosjektene har blitt nedprioritert. Det også utfordrende å påvise effekter fra slike prosjekter siden de ofte har lav teknologisk og kommersiell modenhet.

Ovenstående utvalgskriterier gjør at det i sum er en overvekt av *modne* prosjekter og case. I praksis er disse enten prosjekter hos FME-ene, eller er nært knyttet til vertsinstitusjonene for FME-ene. Dette har vært en bevisst prioritering for å sikre god tilgang til nøkkelpersoner og informasjon om prosjektene. Vi tror likevel at summen av utvalgte case gir et godt og representativt bilde av bredden i norsk energi- og miljøforskning anno 2018.

Arbeidsprosess og kvalitetssikring

Arbeidet med effektvurderingen startet medio april 2018 der representanter fra Forskningsrådet, Impello, Menon og FME-ene deltok på et oppstartsmøte i Trondheim. Mandat, målsetting, arbeidsprosess og forventninger til sluttleveransen ble gjennomgått og diskutert.

Arbeidsmøter

I perioden mai til september har det vært gjennomført et stort antall arbeidsmøter mellom Impello, Menon og de åtte FME-ene som har representert forskningsmiljøene. Arbeidsmøtene har hatt som formål å velge ut prosjekter og case, beskrive casene og resultatene, og identifisere og beregne effekter og potensial.

Parallelt har det vært en individuelle møter og telefonsamtaler med nøkkelpersoner og faglig ansvarlige for de enkelte prosjektene for å sikre at case-beskrivelsene har blitt presise. Mer enn 50 personer fra forskningsmiljøene vært direkte involvert i dett arbeidet.

Siden juni har det vært jevnlige statusmøter mellom Impello/Menon og Forskningsrådet. Foreløpige resultater har blitt presentert for programstyret i ENERGIX (september), for alle FME-ene ifm. Forskningsrådets årlige FME kontaktmøte (september), og for departementene ifm. Forskningsrådets årlige statusmøte for energiforskningen (oktober). Dette har gitt nyttige innspill og vært retningsgivende for hvilke hovedfunn som er løftet fram senere i denne rapporten.

Kvalitetssikring

Deltemarapportene har blitt kvalitetssikret av de ansvarlige FME-ene og av forskerne som har vært sentrale i case-prosjektene. De mest industrinære casene har blitt kvalitetssikret gjennom dialog med de involverte industripartnerne. I hovedsak er det forskningsmiljøene selv som har hatt denne dialogen.

Hovedrapporten har blitt kvalitetssikret internt i Impello og Menon, av Forskningsrådet og av programstyret i ENERGIX.

Beregningsmetodikk og tilnærming

Det er absolutt ikke er trivielt å dokumentere realiserte effekter, eller sannsynliggjøre fremtidige effekter av forskningsresultater som i sin natur er kommersielt umodne.

Siden de åtte deltemaområdene har ulik målsetting og fokus i forskningen, og at casene har stor bredde i effekter, så er det knapt mulig å finne en enhetlig tilnærming og metodikk som kan anvendes på alle casene. Det er for eksempel ikke mulig å legge sammen effektforbruk og kroner, selv om effektforbruk – under visse forutsetninger – kan omregnes til en kostnad. Metodikken og beregningsmetodene som har blitt benyttet har derfor blitt tilpasset de enkelte deltema og de enkelte case og gir dermed tall og tallstørrelser som ikke nødvendigvis kan adderes eller sammenliknes. Vi er fullstendig klar over at dette er en metodisk svakhet. Samtidig er det viktig å poengtere at kvantifiseringen av effekter og potensialer er et resultat av «det muligens kunst» og der utgangspunktet har vært at det er bedre å ha et tall enn ingen

tall. Forutsetningene til beregningene fremgår i deltemarapportene (ikke i hovedrapporten) og kan eventuelt benyttes som grunnlag for videre diskusjon eller mer detaljerte utredninger.

Ulike (og ikke-sammenliknbare) effekter/potensial

Deltema	Forskningsfokus og måling av effekter
01 Industri	Energibruk (TWh, kr, %) og utslipp (CO ₂)
02 Bygg og områder	Energibruk (TWh, kr, %) og utslipp (CO ₂)
03 Vannkraft	Kostnader og investeringer (kr, %), forsyningsikkerhet
04 Energisystemer	Kostnader og investeringer (kr, %), forsyningsikkerhet
05 Sol	Omsetning, eksportandel (kr, %) og utslipp (CO ₂)
06 Bioenergi	Bioenergiforbruk (TWh) og verdi (kr)
07 CCS	Kostnader og investeringer (kr, %), sikkerhet, muliggjøring
08 Nullutslippstransport	Utslipp (CO ₂), kostnader og investeringer (kr, %)

Tabell 13 Tabellen viser forskningsfokus og kvantifiserbare effekter pr. deltema. Selv om oversikten ikke er uttømmende, så illustrerer den utfordringen med å summere effekter på tvers av forskningsområder.

Effekter som er vurdert i studien

12 effekter er studert:

1. Redusert energibruk
2. Reduserte kostnader (eventuelt økte inntekter)
3. Reduserte utslipp
4. Redusert materialbruk
5. Økt produksjon/bruk av fornybar energi
6. Økt sikkerhet, redusert risiko og helsegevinster (HMS)
7. Økt forsyningsikkerhet
8. Redusert miljøinngrep (bred definisjon, klimagassutslipp inngår ikke)
9. Bedre beslutninger (bred definisjon)
10. Styrket utdanning og rekruttering til området
11. Utvikling av sterke nasjonale forskningsmiljø
12. Flytting av kunnskapsfronten gjennom internasjonalt samarbeid.

I tillegg er det gjort vurdering av:

- Teknologisk modenhet (TRL)
- Industrielt potensial

Alle case er vurdert individuelt og sammenstilt i hver av de åtte deltemarapportene:

Realisert effekt (●) betyr at det er påvist/identifisert en effekt, men uten at størrelse eller signifikans er nærmere angitt.

Potensiell effekt (○) betyr at caset er vurdert til å ha en fremtidig effekt, men uten å angi størrelsen på potensialet.

Selv om begge forhold er vurdert ut fra beste tilgjengelige kunnskap, så må rubriseringen oppfattes som skjønnsmessig.

Solenergi, materialer til solceller

- Realiserte effekter
- Potensielle effekter

		Modernitet (TRL)	Redusert energibruk	Reduserte kostnader	Reduserte utslipp	Redusert materialbruk	Økt bruk av fornybar energi	Bedre sikkerhet, risiko helse	Økt forsyningsikkerhet	Reduserte miljøinngrep	Bedre beslutninger	Industrielt potensial	Utdanning og rekruttering	Syrker nasjonale for miljø	Internasjonalt samarbeid
Case 1	Metallurgisk fremstilling av silisium	9	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Case 2	Sentrifugalreaktoren	7	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Case 3	Effektiv produksjon av høykvalitetswafere	9	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Case 4	Systemløsninger for BIPV	8	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Case 5	Avanserte systemer for drift og vedlikehold	7	○	●	○	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●

Figur 52 Eksempel på vurdering av effekter og potensielle effekter for deltema Solenergi og solcellematerialer.

Beregning av kvantifiserbare effekter

Kvantitative beregninger er i hovedsak gjort for økonomi, energibruk og utslipp. For de øvrige effektområdene er kvantifisering ikke gjort systematisk i mangel av data.

Økonomi:

Måleparameter: Realisert gevinst, reduserte investeringer og kostnader, økte inntekter, omsetning og eksport oppgitt i norske kroner. Siden usikkerheten er høy i alle beregninger er ikke inflasjon og f.eks. skattemessige effekter hensyntatt.

Periode: Angitt pr. år, akkumulert for effektstudien periode (2008-2017), eller for kommende tiårsperiode (2018-2027).

Netto nåverdi: For potensielle effekter (fremtidig økonomisk gevinst) er det beregnet netto nåverdi av fremtidig netto kontantstrøm i flere av casene. Det er enten benyttet ti år frem i tid (2018-2027) eller for 40 år frem i tid (tidshorisont ofte brukt i vannkraftbransjen for anlegg og faste installasjoner).

Omsetning/eksport: For deltema solenergi er effektene uttrykt gjennom økonomiske nøkkeltall (omsetning, eksportandel) som er hentet offisielle regnskapsdata.

Utslipp:

Måleparameter: Redusert klimagassutslipp (CO₂ og CO₂-ekvivalenter) oppgitt i tonn.

Periode: Angitt pr. år eller akkumulert for effektstudien periode (2008-2017).

Energibruk:

Måleparameter: Redusert energiforbruk oppgitt typisk i kWh eller TWh.

Periode: Angitt pr. år eller akkumulert for effektstudien periode (2008-2017).

Beregningsmetodikk og kilder

Beregningen av økonomiske effekter, utslipp og energibruk er basert på flere metoder og informasjonskilder, og tilpasset det enkelte deltema og case.

Vitenskapelige studier: For noen av casene foreligger det vitenskapelige studier som har beregnet f.eks. investeringsbehov, potensielle kostnads- og inntektseffekter, mv. Denne informasjonen er benyttet av Impello og Menon.

Eksempler:

- *Industri (case 2)* der SINTEF Energi har beregnet investeringsbehov, sparte gasskostnader og redusert CO₂-skatt dersom overskuddsvarme fra offshore gassturbiner gjenvinnes. Her foreligger en publisert artikkel⁴⁶.
- *Industri (case 3)* der redusert energibruk ved nytt TINE-meieri i Bergen er beregnet av SINTEF Energi. Effekter og potensial er basert på interne prosjektrapporter.
- *Vannkraft (case 2)* der realisert økonomisk effekt av miljødesign er beregnet av Sira Kvina kraftselskap (SKK) i samarbeid med forskningsmiljøene. Informasjon fra konsesjonssøknad til NVE⁴⁷ og effekter oppgitt eller beregnet av SKK er benyttet.

Nåverdi: I case der hovedmålet er å redusere driftskostnader, redusere/utsette investeringer eller å synliggjøre en alternativkostnad, så er det utarbeidet nåverdiberegninger for fremtidig potensial/effekt. Det er benyttet 2 % prisstigning, 5 % som diskonteringsrente og en tidsperiode som er standard for den aktuelle bransjen (eksempelvis 40 år i vannkraftbransjen). For teknologi som erfaringsmessig har kortere levetid (f.eks. programvare) er 10 år valgt som periode. Forutsetninger er oppgitt i vedleggene i deltemarapportene. Eksempler:

- *Vannkraft (case 1):* Nåverdi av redusert forventet fremtidig havarikostnad i høytrykks Francis vannkraftturbiner for en periode på 40 år.
- *Energisystemer (case 4):* Nåverdi av reduserte KILE⁴⁸-kostnader ti år frem i tid. KILE er samfunnsøkonomiske avbruddskostnader ved uteblitt levering av energi og medfører en reell, regnskapsmessig reduksjon av inntektene til kraftselskapene.

Scenario-basert: For deltema som har lav kommersiell modenhet er det utviklet scenarioer for å illustrere fremtidig potensial. Det er to typer scenarioer som er anvendt:

- *Bransjesenarioer:*
 - *CCS:* SINTEF har publisert en studie⁴⁹ som beskriver scenarioer for fremtidig industriutvikling og sysselsetting i Norge dersom CO₂-håndtering satses på i Norge, og realiseres i hele Europa. Selv om sysselsettingsscenarioene ikke er benyttet direkte i vår effektstudie, så er kunnskapen om temaet anvendt i utarbeidingen av illustrerende regneeksempler (se avsnitt under).
 - *Bygg og områder:* FME ZEN har utarbeidet tre scenarioer⁵⁰ for innfasing av nullutslippsbygg i Norge. For å ta ut potensialet som ligger i flere av casene/innovasjonene så forutsetter det at utviklingen fremover blir mer ambisiøs enn hva referansescenarioet beskriver.
- *Case-scenarioer:* I enkelte case er det beregnet nåverdi for flere mulige utfallsrom (typisk høyt/medium/lavt). Det mest konservative scenarioet (lavt) er benyttet. Eksempel:

⁴⁶ Mazetti et al, Soc. of Petroleum Eng paper 169811, February 2014, pp 89-96

⁴⁷ <http://webfileservice.nve.no/API/PublishedFiles/Download/201001316/1616592>

⁴⁸ KILE = Kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi

⁴⁹ S. Størset, G. Tangen, O. Wolfgang, og G. Sand, «Industrielle muligheter og arbeidsplasser ved storskala CO₂-håndtering i Norge», SINTEF, 2018

⁵⁰ Sandberg, Næss, Brattebø, Andresen og Gustavsen (2018), «Effekter av innfasing av ZEB-teknologi i norsk bygningsmasse mot 2050»

- *Vannkraft (case 1)*: Nåverdi av redusert forventet fremtidig havarikostnad i høytrykks Francis vannkraftturbiner. Lavt scenario er benyttet (50 % av høyt scenario).

Illustrerende regneeksempler: CCS (deltema 07) er et umodent markedsområde med foreløpig få industrielle kunder og anvendelser. Her er det utarbeidet regneeksempler som synliggjør potensialet for fremtidige kostnadsbesparelser og reduserte utslipp dersom karbonfangst, transport og lagring blir en realitet. Eksempel:

- *CCS (case 4)*: Simuleringsverktøy som gir økt nøyaktighet ved beregning av f.eks. veggtykkelse til rør for CO₂-transport. Regneeksempelet viser at 3 mm reduksjon av veggtykkelsen til en 500 km rørledning kan gi en direkte kostnadsreduksjon på 250 mill. kr (stålkostnad) og mer enn 60.000 tonn reduserte CO₂-utslipp.

Forenklete beregninger: I flere case mangler det gode data for å estimere effekter. Vi har derfor benyttet forenklete tilnærminger i noen av casene, selv om de nærmest er å regne for «servi Greggestykker». Siden det er så mange usikre variable, så gir en slik metode sannsynligvis like gode svar som en mer avansert regnemodell. Eksempler:

- *Industri (case 3)*: Beregning av økonomisk potensial for økt utnyttelse av spillvarme er beregnet ut fra at totalt varmebehov i norsk landbasert industri (inkl. næringsmiddel) er 10 TWh/år. En antatt 10 % reduksjon utgjør 1 TWh og tilsvarende 500 mill. kr/år ved kraftpris 0,5 kr/kWh.
- *Vannkraft (case 7)*: Bruk av SHOP til korttidsplanlegging hos kraftselskapene har i gjennomsnitt økt verdien av kraftproduksjonen med 2 % (optimal produksjon og flyt i vassdragene). SHOP-brukerne har oppgitt 2-4 % forbedring til SINTEF, men laveste nivå er anvendt i estimatet. Det er forutsatt at SHOP påvirker 80 % av kraftsalget (noe kraft må produseres uavhengig av pris). Samlet produksjon hos nordiske brukerne har vært stabil de siste årene (ca. 145 TWh/år). Estimaten er basert på 2 % verdiøkning av dagens produksjon (145 TWh/år) multiplisert med kraftpris (0,294 kr/kWh) i perioden 2008-2017 (10 år) multiplisert med relevansfaktor 0,8. Det er ikke justert for inflasjon. Det forenklete regnestykket ser slik ut:
*Økonomisk gevinst: 2 % * 145 TWh * 0,294 kr/kWh * 10 år * 0,8 = 6,8 mrd kr*

Investeringer og regnskapsdata: For markedsområder der forskningsresultater har blitt tatt i bruk kommersielt, så er omsetningstall, eksportandel og realiserte investeringer benyttet som effektparametere. Eksempler:

- *Bioenergi (case 1)*: Borregaard investerte i 2012 ca. 120 mill. kr i et demoanlegg for prosessering av LPMO-enzymen til bioraffinerier.
- *Bioenergi (case 2)*: Silva Green Fuel har vedtatt å bygge et demo-anlegg for produksjon av biodrivstoff basert på råstoff fra skog. Samlet investering er 500 mill. kr.
- *Sol (case 3)*: Norsun produserer høykvalitets silisium-wafere og har økt omsetningen fra 200 mill. kr (2013) til 500 mill. kr (2017). Eksportandel var 100 % i 2017.

Utdanning og rekruttering til fagfeltet: For alle deltema er det talt opp antall uteksaminerte kandidater (master, PhD og post.doc). Tallene er rapportert av FME-ene på vegne av de respektive deltemaområdene. Siden tellingen er basert på litt ulike forutsetninger og detaljeringsgrad, så må tallene derfor betraktes som veiledende.

Kvalitative effekter – andre samfunnseffekter

Vi har påvist flere kvalitative effekter i de 48 casene. Effektene er vurdert som en binær størrelse (påvist/ikke påvist) uten at videre implikasjoner og sekundær/tertiærvirkninger er vurdert nærmere. Vurderingene fremgår i deltemarapportene, se også kapittel 3-0.

Eksempler på påviste effekter er:

- Kunnskapsoverføring
- Økt forskningsaktivitet
- Kommersialisering og anvendelse av teknologi
- Forskningsinfrastruktur, piloter og demo-anlegg
- Anvendelse og kommersialisering av teknologi
- Økt sysselsetting

Vi gjør oppmerksom på at Impello og Menon har løst oppdraget litt forskjellig ved utarbeidingen av deltemarapportene. Impello har forsøkt å kvantifisere realiserte og potensielle effekter for sine case og deltema, mens Menon i større grad har prioritert å beskrive historien, påvise kvalitative effekter og synliggjøre f.eks. investeringer i industrialisering og kommersialisering.

Vedlegg 2: Effekter pr. case

Økonomiske effekter

Tabellen viser realiserte og potensielle økonomiske effekter pr. case. Merk at tallene representerer litt ulike størrelser, for eksempel kostnadsreduksjoner, økt gevinst/lønnsomhet, realiserte og reduserte investeringer). Tallene må derfor anvendes med varsomhet.

Case	Case navn [alle tall i mrd. kr]	Realisert		Potensial		Kommentar
		Norge	ROW			
D1-C1	CO ₂ som kuldemedium i kjøle- og varmepumpesystemer	1,0	5,5	30,0		Redusert energikostn. for supermarkeder (0,4 kr/kWh), sum 10 år
D1-C2	Varmegjenvinning i offshore gassturbiner					
D1-C3	Økt utnyttelse av lavtemperatur spillvarme			0,5		Potensial redusert energibruk 1 TWh (0,5 kr/kWh)
D1-C4	Redusert energiforbruk i alu-industrien			0,9		2,3 TWh, energikostnad 0,4 kr/kWh
D1-C5	Energieffektiv og miljøvennlig kobberproduksjon					
D1-C6	Integrerte energisystem for industri					
D2-C1	Ventilasjon i passivhus					
D2-C2	Membranvarmegjenvinner					
D2-C3	ZEB GHG Tool					
D2-C4	ZEB Energy Tool					
D2-C5	Nanoisolasjonsmaterialer					
D2-C6	Bygningsintegrert ventilasjonsløsning					
D2-C7	Redusert energibruk i nullutslippsbygg	3,0*				ZEB-definisjon tatt i bruk i reelle byggeprosjekter med samlet verdi mer enn 3 mrd. kr (totalentreprise)
D3-C1	Francis-turbiner - redusert fare for havari			7,0		Eksisterende og nye turbiner globalt (se case)
D3-C2	Miljødesignhåndboka	0,2				Økonomisk gevinst. Info fra Sira-Kvina kraftselskap
D3-C3	Plastring på fyllingsdammer					
D3-C4	Feildeteksjon og prediksjon av levetid			4,7		Reduserte reinvestering og produksjonstap
D3-C5	Oppgradering sandfang i vannkrafttuneller			1,5		Økt kapasitet og økt oppnådd snitt kraftpris
D3-C6	SHOP - kortidsplanlegging av vannkraftproduksjon	6,8		12,0		Gevinst basert på 2 % økt verdi av produsert kraft. Realisert gevinst er primært hos norske produsenter.
D4-C1	Optimal utbygging, drift og vedlikehold av transmisijsnett	2,9		40,0		Gevinst basert på 10 % reduserte investeringer, beregnet av SINTEF og i GARPUR-prosjektet
D4-C2	Levetidsutnyttelse for krafttransformatorer	2,5				20 års utsettelse av reinvesteringer for 50 % av transformatorene over 35 år
D4-C3	AMS: Aktive kunder og intelligente distribusjonsnett	1,0		0,7		10 % redusert investeringskostnad i nettinfrastruktur
D4-C4	Feilhåndtering i smarte distribusjonsnett			1,0		Nåverdi av reduserte KILE-kostn. (125 mill kr/år, 10 år)
D4-C5	Spenningskvalitet i smarte nett			0,5		Nåverdi av reduserte driftskostnader (60 mill/år, 10 år)
D4-C6	Over spenningsbeskyttelse i fordelingstransformatorer			2,0		Nåverdi av reduserte KILE-kostn. (250 mill kr/år, 10 år)
D4-C7	DGNett: Distribuert produksjon i nettet	0,2				Nåverdi basert på regneeksempel
D5-C1	Metallurgisk fremstilling av silisium	1,1*				Omsetning 2017 i REC Solar Norway
D5-C2	Sentrifugalreaktoren			2,0*		Omsetningsmål (1-4 mrd kr) anslått av selskapet
D5-C3	Effektiv produksjon av høykvalitetswafere	0,5*				Omsetning 2017 i Norsun
D5-C4	Systemløsninger for BIPV	0,1*				Omsetning 2017 i Solenergi Fusen
D5-C5	Avanserte systemer for drift/vedlikehold	1,5*				Omsetning i Scatec Solar
D6-C1	Enzymer	0,1				Investert 120 mill. kr i demo-anlegg
D6-C2	Biodrivstoff	0,5				Investert 500 mill. kr i demo-anlegg for biodrivstoff
D6-C3	Biogass	0,1*				Omsetningsverdi av 300 GWh/år produsert kraft
D6-C4	Klima og bioenergi					
D6-C5	Biovarme					
D7-C1	SOLVit Energi/kostnadseff. CO ₂ -fangst	0,4				Investert av Aker Solutions. Kilde selskapspresentasjon
D7-C2	Fangst og flytendegjøring av CO ₂ for skipstransport					
D7-C3	Fangst av CO ₂ ved kjemisk sirkulasjonsforbrenning (CLC)					
D7-C4	Redusert fare for løpende brudd i rør for CO ₂ -transport					
D7-C5	Overvåking av undergrunnslagring av CO ₂					
D7-C6	Bedre sementering av CO ₂ -brønner					
D7-C7	Smart design av CCS-kjeder					
D8-C1	Silisium til batterier (Cenate)			0,5*		Omsetningspotensial 500-1000 mill. kr/år
D8-C2	Silisium til batterier (Elkem)			0,5*		Omsetningspotensial 500-1000 mill. kr/år
D8-C3	Hydrogen vannelektrolyse					
D8-C4	Batterier for elektriske skip					
D8-C5	Hydrogen / brenselceller for tungtransport					
Sum gevinst/verdiøkning/investeringer		15,6	5,5	100,8		
Sum omsetning (markert *)		6,3	-	3,0		

Tabell 14 Økonomiske realiserte effekter og potensielle effekter pr. case som inngår i effektstudien.

Redusert energibruk

Tabellen viser realiserte/potensielle effekter pr. case eller deltema for redusert energibruk. På grunn av kompleksiteten i casene så har det ikke vært mulig å kople effektene til geografi på en konsistent måte.

Case	Case/deltema [alle tall i TWh/år]	Realisert	Potensial	Kommentar
D1-C1	CO ₂ som kuldemedium i kjøle- og varmepumpesystemer	1,6	9	CO ₂ benyttes som kuldemedium i 18.000 supermarkeder globalt. Kunnskap og teknologi ved NTNU og SINTEF har allerede bidratt til 1,6 TWh/år i redusert energibruk. Samlet potensial for alle europeiske supermarkeder er 9 TWh/år.
D1-C3	Økt utnyttelse av lavtemperatur spillvarme	0,05	1	5 GWh/år er realisert ved TINEs meieri på Flesland. Anslått potensial på 1 TWh/år utgjør 10 % av norsk industris energibruk for tilsvarende varme/kjøleprosesser og temperaturnivåer.
D1-C4	Redusert energiforbruk i alu-industrien		2,3	Potensial for 20 % lavere energiforbruk i norsk aluminiumsindustri.
D1-C5	Energieffektiv og miljøvennlig kobberproduksjon		7	Anslått globalt potensial dersom alle kobber- og sinkprodusenter tar teknologien i bruk. Kilde: Glencore Nikkelverk.
D2-C7	Redusert energibruk i nullutslippsbygg		39	FME ZEN har utviklet scenarier for innføring av nullutslippsbygg i den norske bygningsmassen. Realisert redusert energibruk er ikke beregnet men potensialet for redusert energibruk frem mot 2050 er 8 TWh for <i>referansescenariot</i> . Energibruken i den norske bygningsmassen forventes å bli 39 TWh mindre i 2050 enn i 2020. Av dette bidrar <i>ambisiøs innføring</i> av nullutslippsbygg med 31 TWh.
D5	Solenergi (generelt)	24		Norskprodusert solcellesilisium og solceller har erstattet fossile energikilder tilsvarende 24 TWh/år (primært) i Europa. I perioden 2013-2018 er det eksportert solcellesilisium/ingots/wafers tilsvarende ca. 6 MWp (se deltemarapport 05 for detaljer).
D6	Bioenergi (generelt)		12	Ressurspotensialet for bruk av biomasse i Norge anslått til 30 TWh/år frem til 2030 av Miljødirektoratet. Bioenergiforbruket er i dag ca. 18 TWh, og resterende 12 TWh utgjør et ikke utnyttet ressurspotensial.
Sum redusert energibruk [TWh/år]		26	70	

Tabell 15 Redusert energibruk – realiserte effekter og potensielle effekter pr. case eller deltema som inngår i effektstudien. Case der det ikke er beregnet effekter/potensial inngår ikke i tabellen.

Klimagassutslipp

Tabellen viser realiserte/potensielle effekter pr. case eller deltema for reduserte klimagassutslipp. På grunn av kompleksiteten i casene så har det ikke vært mulig å kople effektene til geografi på en konsistent måte.

Case	Case/deltema [tall i Mt CO ₂ -e/år]	Realisert	Potensial	Kommentar
D1-C1	CO ₂ som kuldemedium i kjøle- og varmepumpesystemer	19	53	CO ₂ benyttes som kuldemedium i 18.000 supermarkeder globalt. Kunnskap og teknologi ved NTNU og SINTEF har allerede bidratt til 19 mill. tonn CO ₂ -e/år i reduserte klimagassutslipp. Samlet potensial for alle europeiske supermarkeder er 53 mill. tonn CO ₂ -e/år.
D1-C2	Varmegjenvinning i offshore gassturbiner		2,2	Potensialet gjelder for plattformer på norsk sokkel.
D5	Solenergi (generelt)	6		Beregnet utslippseffekt er 6 TWh elektrisitet pr. år som er produsert av norskproduserte solceller og norsk solcellesilisium (substitusjon av fossile energikilder). Med utslippskoeffisient på 1 kg CO ₂ /kWh gir dette en utslippsreduksjon på 6 Mt CO ₂ /år (se deltemarapport 05 for detaljer).
D6-C3	Biogass	0,1		Tre av de største biogassanleggene i Norge har samlet produksjonskapasitet på ca. 300 GWh/år, tilsvarende en utslippsreduksjon på ca. 100.000 tonn CO ₂ -e/år.
D7	CCS – fangst, transport og lagring av CO ₂ (generelt)		400	Potensial for lagring av 400 mill. tonn CO ₂ /år på norsk sokkel i 2050 dersom CO ₂ -håndtering satses på i Norge, og realiseres i hele Europa (SINTEF-studie).
Sum reduserte utslipp [CO₂-e/år]		25		

Tabell 16 Reduserte klimagassutslipp – realiserte effekter og potensielle effekter pr. case eller deltema som inngår i effektstudien. Case der det ikke er beregnet effekter/potensial inngår ikke i tabellen.

Vedlegg 3: Hvordan kan effekt måles?

Vedlegget er utarbeidet av Magnus Gulbrandsen ved Universitetet i Oslo og NIFU. Han er leder for OSIRIS-prosjektet som ser på effekter av forskning. Teksten er publisert i Forskningsrådets indikatorrapport 2017 side 155 og gjengitt med tillatelse fra Gulbrandsen/Forskningsrådet.

Impact (effekt) er et relativt nytt begrep i norsk forskningspolitikk. Det brukes vanligvis om brede og langsiktige effekter av forskning, og det uttrykker dermed et sentralt mål med samfunnets satsing på forskning i ulike organisasjoner og sektorer. Om begrepet er nytt, har måling av impact likevel vært gjort i nesten 50 år. Tross store metodiske problemer utvikles det stadig nye metoder.

Kvantitative metoder

De vanligste tilnærmingene til effektmåling dreier seg om å kartlegge den økonomiske avkastningen av investeringer i forskning og utviklingsarbeid (FoU). Her er det blitt utført undersøkelser både av offentlig finansiert og privatfinansiert FoU og hva slags effekter disse har hatt, særlig på aspekter som innovasjon, vekst og omsetning i private bedrifter. Ofte har dette blitt brukt til såkalte summative evalueringer som grunnlag for beslutning om hvorvidt bestemte støtteordninger skal videreføres eller legges ned. Denne formen for evaluering belyser som regel relasjonen mellom innsatsfaktorer og resultater.

Det kan skilles mellom to hovedtilnærminger i slike undersøkelser:

- Den første innebærer bruk av ulike former for databaser hvor en ser etter sammenhenger mellom indikatorer for forskning og indikatorer for effekter. For eksempel er det gjort studier av i hvor stor grad kommersielt vellykkede patenter er basert på publisert forskning, og i hvor stor grad bedrifter som får bestemte typer offentlig støtte til FoU, scorer bedre på ulike økonomiske indikatorer sammenlignet med bedrifter som ikke får slik støtte.
- Den andre hovedtilnærmingen er basert på spørreundersøkelser, noen ganger kombinert med databaser, for å se etter erfaringer med gjennomføring og bruk av forskning i bedrifter eller andre organisasjoner. Den store innovasjonsundersøkelsen som gjennomføres i Norge og mange andre land, er et eksempel på en slik undersøkelse. I mange tilfeller brukes databaser og spørreundersøkelser både til å si noe om nytten for den enkelte bedrift og den videre nytten for samfunnet i form av ringvirkninger av forskningen.

Felles for begge tilnærmingene er at de ofte finner høy avkastningsgrad, gjerne 20 % eller mer, for bedrifter som investerer i eller får støtte til forskning. Mange undersøkelser finner imidlertid en enda høyere avkastning for samfunnet – her er det ikke uvanlig at kvantitative studier indikerer tall på 50 til 100 %. Tallene er svært omdiskuterte, ikke minst på grunn av store metodiske problemer med slike undersøkelser.

Måleproblemer

Attribusjon er et sentralt og komplekst metodeproblem: Forskning har som regel ikke en effekt alene, det er forskningsresultater sammen med en rekke andre forhold som gjør en forskjell for en bedrift eller samfunnet som helhet. Så hvor mye av æren skal forskningen ha generelt, eller de enkelte individene og miljøene som har vært med på bestemte prosjekter og resultater? Hva annet trengs for å skape effekt – og bør dette tas med i målinger slik at ikke effekt blir et ansvar for forskningen alene?

Latenstid er et annet sentralt problem – det kan i mange tilfeller gå lang tid mellom forskning og målbar nytte. Systematiske undersøkelser av landbruksforskning, som sannsynligvis er det hyppigst studerte fagområdet når det gjelder effekter, indikerer at gjennomsnittlig tid fra FoU til effekt kan være flere tiår. Dette er selvsagt avhengig av hva en måler, men det skaper uansett store utfordringer for målesystemer og indikatorer – og for vurderingen av attribusjon.

Kausalitet er også omdiskutert. Mange har argumentert for at forholdet mellom samfunns-effekter og forskning er mer komplisert enn at det siste leder til det første. I mange tilfeller vil det være behov og utfordringer i samfunns- og næringsliv som setter i gang eller har innflytelse på en forskningsinnsats, og det er den gjensidige påvirkningen mellom forskning og de som bruker den som skaper effekt. Selv om det finnes mange eksempler på at et vitenskapelig gjennombrudd eller en forskningsbasert oppfinnelse leder til et konkret produkt eller annen nytteverdi senere, er det vanligere at effekt er en mer kompleks og indirekte prosess.

Case-baserte tilnærminger

Forståelse av effekter basert på utforskning av bestemte case har forsøkt å håndtere disse problemene på en litt annen måte enn de bredt anlagte kvantitative undersøkelsene. Ofte har dette dreid seg om å evaluere et bestemt miljø eller en bestemt forskningssatsing, og så har en med bruk av ulike data forsøkt å kartlegge bredden i hva forskningsmiljøet eller satsingen har ledet til. Med denne metoden spores effekt framover i tid.

Flere av de nyeste spesifikke målemetodene for impact baserer seg på en slik tilnærming. Dette dreier seg blant annet om det britiske Payback-rammeverket, særlig brukt på medisinsk forskning, og det franske ASIRPA-rammeverket, utviklet for å studere hvordan den offentlige finansierte landbruksforskningen kommer til nytte. Begge disse er rettet mot å kartlegge hvordan forskning kan lede til ulike typer effekter for ulike grupper og sektorer i samfunnet. Metoden SIAMPI gjør noe tilsvarende gjennom særlig å kartlegge de direkte og indirekte interaksjoner mellom forskere og brukere. Det finnes også metoder som tar utgangspunkt i hvilke verdier i samfunnet som forskningen søker å bidra til. Alle disse er oftest brukt i såkalte formative evalueringer, hvor hensikten i større grad er å hjelpe forskningsmiljøer og finansierer til å forbedre måten de arbeider på enn å gi en score. Relasjonen mellom input og output kan likevel være sentral også her, selv om oppmerksomheten er mer rettet mot den ofte langvarige prosessen som leder til samfunnsnytte.

Alternativt kan casebasert kartlegging starte med bestemte produkter, slik som legemidler eller nye teknologier, og forsøke å spore bakover i tid for å finne ut hva slags forskning som har vært viktig for produktet og på hvilken måte. To av de mest kjente og eldste systematiske effektundersøkelsene er av sistnevnte type. Det amerikanske forsvaret ønsket på 1960-tallet å kartlegge produktiviteten til ulike typer forskning med utgangspunkt i 20 av sine viktigste og mest avanserte militære innovasjoner. Resultatene fra dette prosjektet, kalt Hindsight, viste at bare en halv prosent av mange hundre «nøkkelhendelser» i prosessene som ledet til innovasjonene, kunne klassifiseres som grunnforskning. Drivkraften i prosessene var i nesten alle tilfeller et identifisert praktisk behov. Som et svar på dette laget det amerikanske forskningsrådet NSF sitt eget prosjekt, kalt Traces, som med utgangspunkt i noen andre innovasjoner fant at rundt 70 prosent av nøkkelhendelsene dreide seg om grunnforskning. Den viktigste forskjellen var at NSF valgte å gå 100 år tilbake i tid, mens forsvarets Hindsight-prosjekt så på de siste 20 år.

Eksemplene viser at måleproblemene ikke forsvinner ved bruk av casebaserte metoder, og at litt ulike praktiske valg kan få meget store effekter på resultatene. Tydelighet og transparens omkring slike valg er dermed viktig for kvaliteten av målingene. Måling av effekter har også en tydelig forskningspolitisk side og kan brukes av ulike aktører for å argumentere for mer finansiering eller frihet til den forskningen de er spesielt opptatt av. Traces og Hindsight – gjennom sine metodiske valg – uttrykker ikke minst et skille mellom aktører som primært ønsker satsing på grunnforskning, og aktører som primært ønsker mer anvendt eller brukerstyrt forskning. Begge prosjektrapportene ble referert til i den norske Produktivitetskommisjonens andre rapport i 2016.

Mot et bredere impact-begrep

Den mest omfattende målingen av effekt skjer nå i Storbritannia i forbindelse med den nasjonale evalueringen av forskning kalt Research Excellence Framework (REF), som ble utført i 2014 og som skal gjentas i 2021. Her må alle forskningsmiljøer levere inn ett eller flere såkalte «impact cases» – korte beskrivelser hvor det må dokumenteres at et konkret eksempel på nytte kan kobles til et konkret forskningsresultat. Dette er kopiert i en rekke andre land, også i evalueringer i Norge. Metoden er svak blant annet fordi den bare dekker noen få måter som forskning kommer til nytte på, men det kan være at den har andre effekter slik som økt oppmerksomhet rundt samfunnsnytte i forskningsmiljøene. Mange miljøer har brukt impact case for å kommunisere verdien av egen forskning til omverdenen.

Det forskningspolitisk mest interessante med REF er den brede definisjonen av impact: *an effect on, change or benefit to the economy, society, culture, public policy or services, health, the environment or quality of life, beyond academia* (REF 2011:26). Her er det tale om effekter som ikke bare er økonomiske, men for eksempel knyttet til helse, miljø, kultur og offentlige tjenester. Impact-begrepet blir dermed en utfordring til alle fagområder og sektorer for forskning, formulert slik at det også har potensiale for å treffe de som ikke kjenner seg igjen i språkbruk rundt avkastning og produktivitet. Det åpnes dessuten for at effektene av forskning ikke nødvendigvis er positive, uten at dette har vært noe vesentlig aspekt i målingene så langt. Definisjonen av impact er i tråd med den som brukes i mange av de casebaserte tilnærmingene.

Selv om denne nyere og brede forståelsen av impact fanger inn mye mer av forskningens samfunnseffekter enn en rent økonomisk forståelse av nytte, er bredden på mange måter med på å øke måleproblemene. Vurderinger av attribusjon og kausalitet blir snarere vanskeligere enn enklere når det er snakk om mange ulike typer effekter på forskjellige samfunnsområder. Det blir flere og på mange måter bedre målemetoder, men det er få tegn til standardisering og fortsatt store problemer med å sammenligne på tvers av forskjellige effektmålinger.

Brede målinger av effekter basert på indikatorer eller case med både kvantitative data og kvalitative vurderinger er svært kostbare. Her skjer det likevel interessante eksperimenter. Noen søker å lage nye koblinger mellom store og til dels nye databaser, andre ønsker å utvikle nye indikatorer under navn som StarMetrics eller AltMetrics. Det finnes også en rekke store forskningsprosjekter som primært søker å forstå forskningssystemet og forskningsprosessen, men samtidig bidra til å lage verktøy som kan brukes i forskningspolitikken og i evalueringer. Noe av den viktigste diskusjonen om disse temaene foregår i sosiale medier og på impact-bloggen til London School of Economics.

Les mer:

- Bornmann, L. (2013): «What Is Societal Impact of Research and How Can It Be Assessed? A Literature Review.» *Journal of the American Society for Information Science and Technology* 64(2): 217–33.
- Bozeman, B. and D. Sarewitz (2011): «Public Value Mapping and Science Policy Evaluation.» *Minerva* 49(1): 1–23.
- Donovan, C. and S. Hanney (2011): «The ‘Payback Framework’ Explained.» *Research Evaluation* 20(3): 181–83.
- Griliches, Z. (1995): «R&D and Productivity.» Pp. 52–89 in *Handbook of Industrial Innovation*, edited by P. Stoneman. London:Blackwell.
- Joly, P. B. et al. (2015): «ASIRPA: A Comprehensive Theory-Based Approach to Assessing the Societal Impacts of a Research Organization.» *Research Evaluation* 24(4): 440–53.
- Salter, A. J. and B. R. Martin (2001): «The Economic Benefits of Publicly Funded Basic Research: A Critical Review.» *Research Policy* 30(3): 509–32.
- Spaapen, J. and L. van Drooge (2011): «Introducing ‘Productive Interactions’ in Social Impact Assessment.» *Research Evaluation* 20(3): 211–18.
- LSE impact blog: <http://blogs.lse.ac.uk/impactofsocialsciences/>, Twitter: @LSEImpactBlog

Oslo Institute for Research on the Impact of Science (OSIRIS):

- <https://www.sv.uio.no/tik/english/research/projects/osiris/>
- Twitter: @OSIRIS_TIK

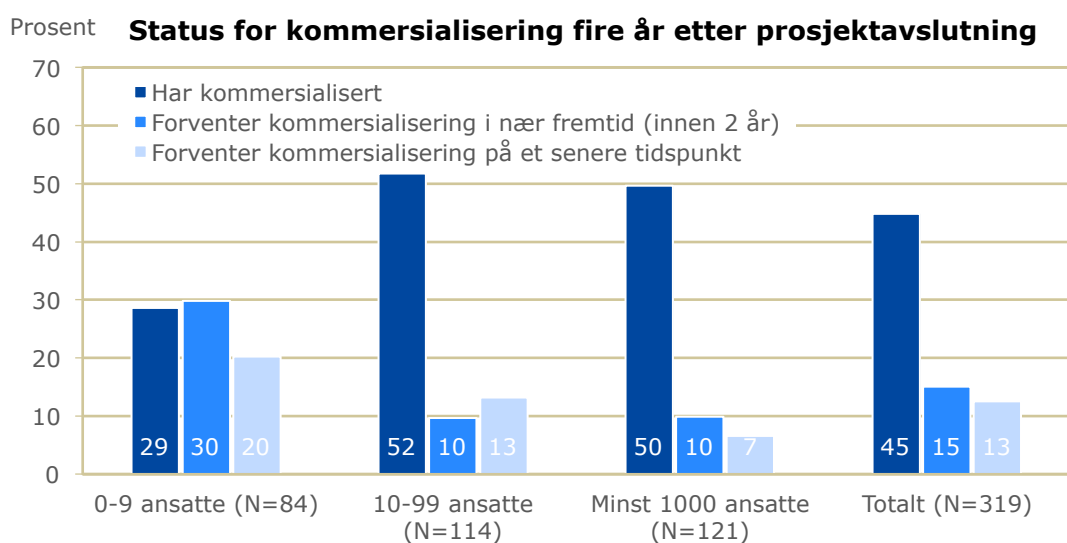
Vedlegg 4: Tidligere effektstudier

Effektstudier av forskningsresultater kan ha ulike formål og tilnærminger. Noen legger seg tett opp til prosjektmålene (vurdering av prosjektets måloppfyllelse og «telleanter»). Andre vurderer samfunnsøkonomiske effekter, økonomiske ringvirkninger for en bransje/næring, eller måler bedriftsøkonomiske effekter (omsetningsvekst, sysselsetting, markedsandel, eksport, mv.).

Forskningsrådet sin årlige indikatorrapport⁵¹ evaluerer blant annet resultater og effekter av Forskningsrådet bevilgninger til brukerstyrt forskning (IPN – innovasjonsprosjekter i næringslivet). Basert på omfattende survey-undersøkelser har Møreforskning evaluert disse effektene siden midten av 1990-tallet.

For perioden 2009-2013 var samlede FoU-kostnader for 601 avsluttede IPN-prosjekter i perioden 12,1 mrd. kr (2017-kroner), hvorav støtten fra Forskningsrådet var 3,9 mrd. kr.

Status for kommersialisering (Figur 53) og forventet fremtidig avkastning (Figur 54) er to av flere forhold som er vurdert. Av de 601 avsluttede prosjektene har 143 (24 %) har oppgitt anslag for økonomiske resultater.

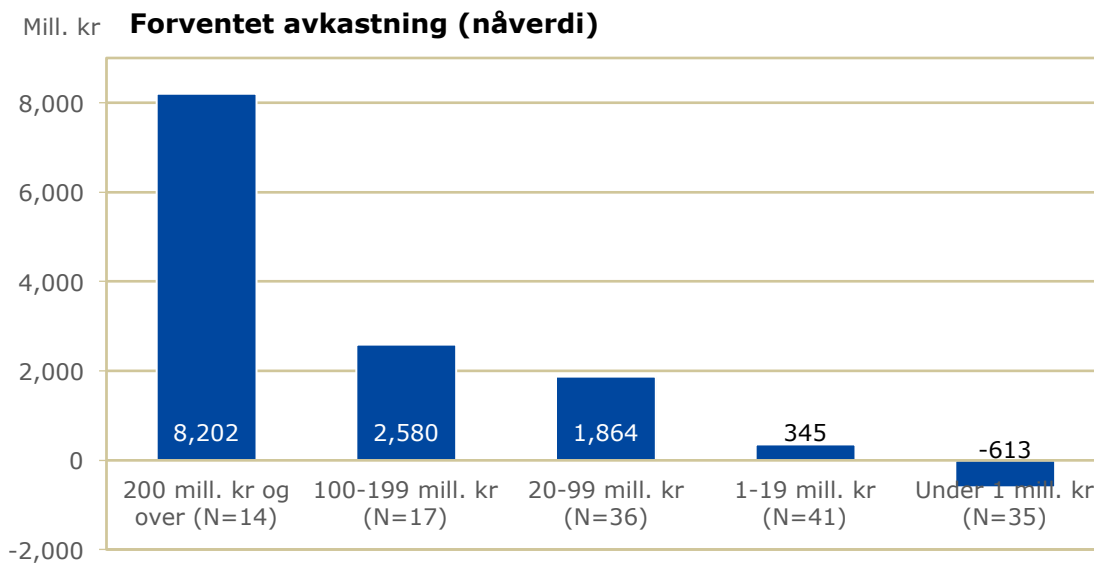


Figur 53 Status for kommersialisering av resultater fra innovasjonsprosjekter fire år etter avslutning i Forskningsrådet, prosjekter avsluttet 2009-2013 (kilde: Møreforskning). Figur 4.5.2d i indikatorrapporten 2018.

Dersom forventet avkastning pr. prosjekt er like høy for de øvrige 478 prosjektene, så gir dette en samlet avkastningsfaktor på 4,3⁵². Dette er selvsagt en grov forenkling og neppe korrekt. Det interessante er likevel at sum rapportert forventet nåverdi (12,4 mrd. kr for 143 prosjekter) er større enn samlet investering i forskning på 12,1 mrd. kr (601 prosjekter).

⁵¹ Det norske forsknings- og innovasjonssystemet – statistikk og indikatorer (2018)

⁵² Faktor 4,3 er regnet ut slik, jfr. tall i Figur 54: $(8,202 + 2,580 + 1,864 + 0,345 - 0,613) / 143 / 601 / 12,100 = 4,3$



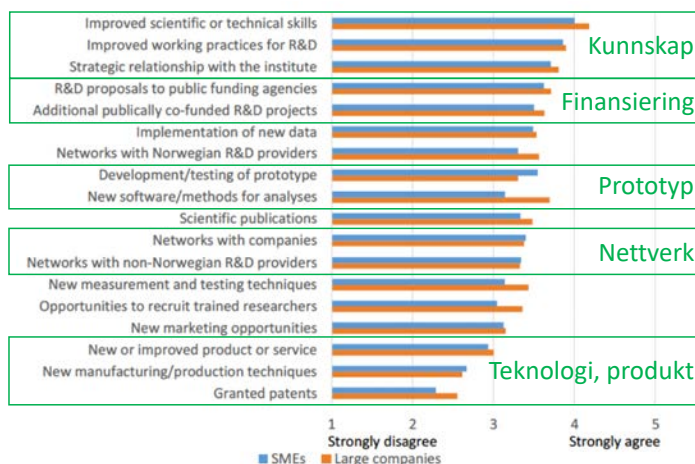
Figur 54 Fordeling forventet avkastning (nåverdi) for 143 innovasjonsprosjekter avsluttet 2009-2013 (kilde: Møreforskning). Figur 4.5.2e i indikatorrapporten 2018.

Technopolis Group⁵³ har evaluert verdi og effekter fra de teknisk-industrielle forskningsinstituttene til det norske samfunnet.

Indikatorerne som er benyttet har mange likhetstrekk med de indikatorer som forskningsrådet og **Horizon 2020**⁵⁴ anvender i evalueringer av store forskningsprogrammer.

Technopolis har også evaluert norske klynger⁵⁵. Et av funnene er at klyngedeltakelse har gitt signifikante positive effekter på sysselsetting, omsetning og verdiskaping de tre første årene i deltakelsen i klyngen.

Intermediate impact of collaboration with a TI institute on companies
«Impact analysis of the technical-industrial research institutes in Norway», Technopolis Group (2015)



Figur 55 Effekter for det norske samfunnet fra de teknisk-industrielle forskningsinstituttene (Technopolis Group, 2015). Påtegning i grønt fra Impello.

⁵³ Impact analysis of the technical-industrial research institutes in Norway (Technopolis Group, 2015)

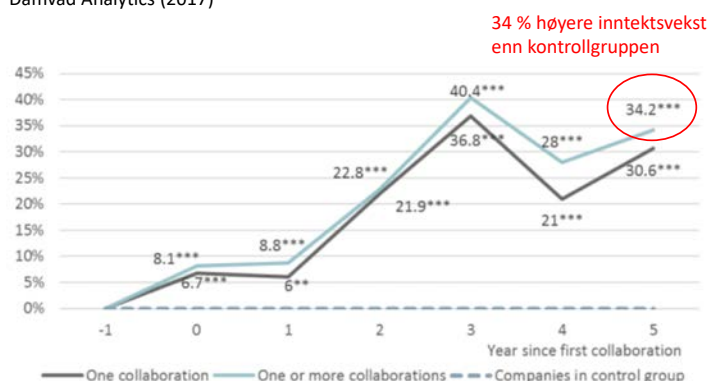
⁵⁴ Horizon 2020 indicators. Assessing the results and impact of Horizon 2020 (European Commission, 2015)

⁵⁵ Evaluation of Norwegian Innovation Clusters (Technopolis Group, 2017)

Damvad Analytics⁵⁶ har evaluert økonomiske effekter for de bedriftene som har hatt forsknings-samarbeid med NTNU.

Resultatene viste blant annet 34 % inntektsvekst, 9 % flere arbeidsplasser og 28 % høyere investeringer i disse bedriftene sammenliknet med kontrollgruppen. Analysen er basert på historiske data, og gir ingen prognoser fremover.

Economic impact of research collaborations with NTNU
Damvad Analytics (2017)



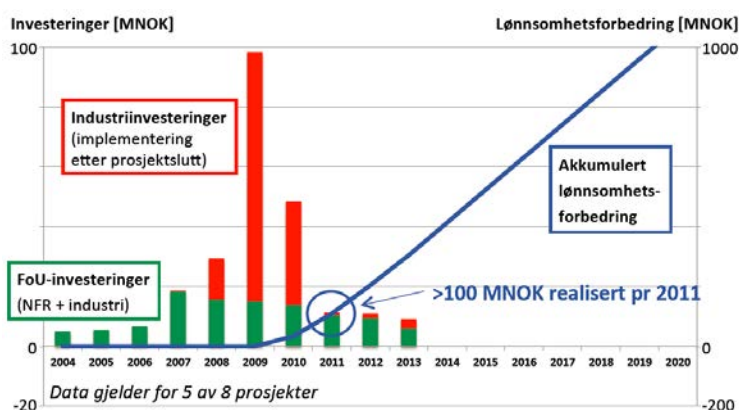
Figur 56 Økonomiske effekter bedrifter som har samarbeidet med NTNU (Damvad Analytics, 2017). Påtegning i rødt fra Impello.

National Research Council⁵⁷ publiserte i 2001 en studie av energiforskningen i USA for perioden 1978-2000. Hovedfunnene var at realisert økonomisk nytteverdi var «in the \$30 billion range» basert på \$7 millioner investert i FoU. I tillegg ble det dokumentert store reduksjoner i utslipp (verdsatt til \$64-90 millioner), økt nasjonal energiforsyningsikkerhet (ingen kvantifisering), og økt kunnskap. Et viktig funn var at et lite antall av prosjektene representerte størstedelen av den økonomiske avkastningen.

Impello⁵⁸ utførte i 2012 en evaluering av avkastningen som norsk treforedlingsindustri hadde oppnådd pr. 2011 basert sine investeringer i forskningsprosjekter utført av PFI (nå RISE PFI) i perioden 1996-2011. Evalueringen viste at 100 mill. kr investerte FoU-kroner (Forskningrådet + industripartnere) hadde utløst 130 mill. kr i nye industriinvesteringer (fabrikker, utstyr og prosesser).

Realisert, forbedret lønnsomhet pr. 2011 var 100 mill. kr, og med potensial for mer en 1 mrd. kr innen 2020 (basert på industriens egne estimater).

Prosjektet var omfattende og med bred innsamling av primærdata (intervjuer, m.m.).



Figur 57 Lønnsomhetsforbedring i norsk treforedlingsindustri basert på forskning utført av RISE PFI 1996-2011 (Impello Management, 2012)

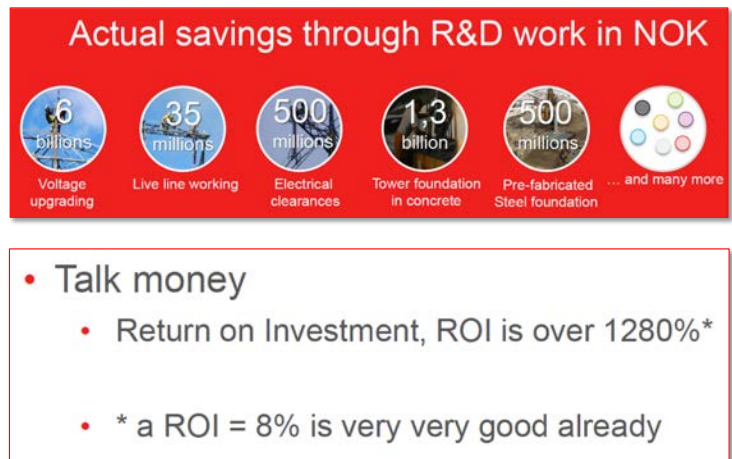
⁵⁶ Economic impact of research collaborations with NTNU (Damvad Analytics, 2017)

⁵⁷ Energy Research at DOE – Was it Worth it? (National Research Council, 2001, www.nap.edu/read/10165/chapter/1)

⁵⁸ Profitability of R&D at Papir- og fiberinstituttet AS (PFI): A review of eight projects carried out in 1996-2011 (Impello Management, 2012)

Statnett⁵⁹ evaluerte lønnsomheten til sine FoU-investeringer i 2016.

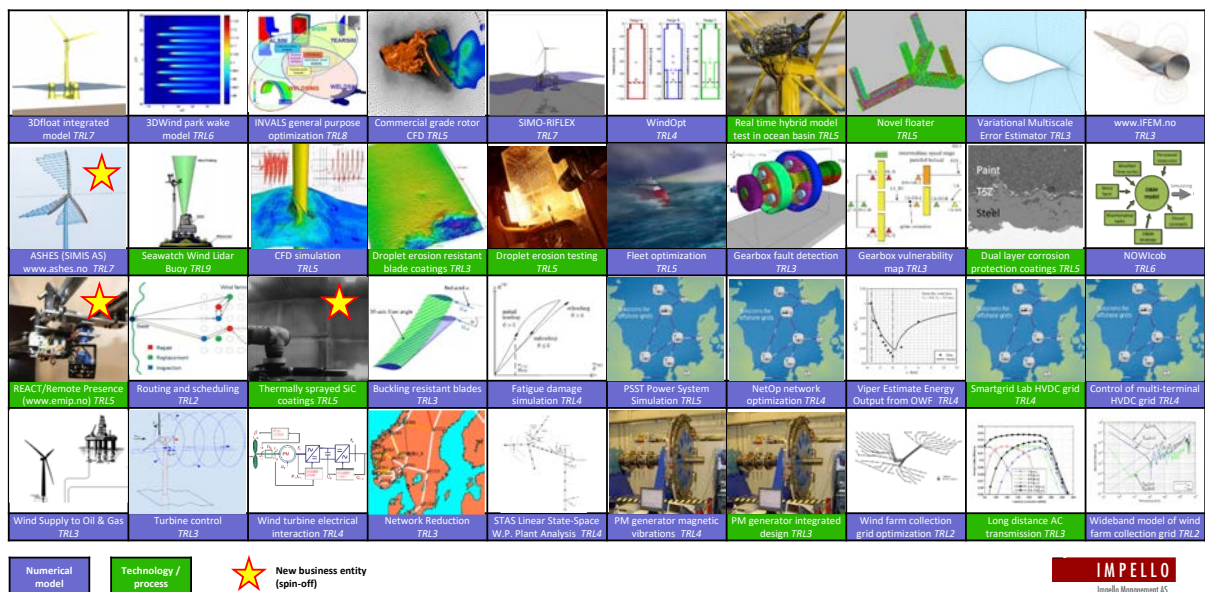
Besparelsene (realisert verdi) utgjorde minst 8 mrd. kr. Avkastningen var også svært høy (1280 %).



Figur 58 Lønnsomhet til Statnetts FoU-investeringer (Statnett, 2016)

I 2017 utarbeidet Impello⁶⁰ en analyse av realisert og potensiell verdi av innovasjonene i FME Nowitech (offshore vind). Netto forventet nåverdi ble estimert til 5 mrd. Euro. Beregningen tok utgangspunkt i referansebanen til WindEurope⁶¹ (Central Scenario) for utbygging av offshore vind i Europa. En sentral forutsetning er at industrien tar innovasjonene i bruk og at det finnes politiske rammevilkår som gjør at scenarioet kan realiseres.

More than 40 innovations from NOWITECH 2009-2017



Figur 59 Vurdering av effekter og potensial for innovasjoner fra FME NOWITECH (Impello Management, 2017)

⁵⁹ Benefits of R&D projects, Presentation for ENTSOE-RDIC, Brussels 7 Dec 2016 (Statnett, 2016)

⁶⁰ Potential and realized economic impacts of NOWITECH innovations (Impello Management, 2017)

⁶¹ The European offshore wind industry. Key trends and statistics 2016 (WindEurope, 2017)

Oppsummering

De fleste evalueringer av resultater og effekter fra forskning behandler kun historiske data. Med unntak av overordnede scenarioer utviklet av OECD, IEA, FN, bransjeorganer, mv. så finnes det få studier som forsøker å estimere *fremtidig* verdi og fremtidige effekter av forskningsresultater, enkeltprosjekter eller større forskningstema. Metodisk er dette svært utfordrende.

Dersom man likevel skal forsøke å beregne bedriftsøkonomisk verdi, fremtidig markedsverdi, redusert energibruk (og verdien av dette), reduserte utslipp – eller andre effekter – så må den vitenskapelige nøyaktigheten reduseres til fordel for å formidle kjernen i budskapet – at investeringer i forskning i de aller fleste tilfeller gir en økonomisk eller samfunnsmessig positiv effekt.

I Impellos evaluering av FME Nowitech så var det ikke avgjørende om netto nåverdi var 5 mrd. Euro eller om korrekt verdi kanskje var 1 mrd. Euro. De to sentrale budskapene i analysen var at (1) realisert avkastning/verdi ved avslutning av FME Nowitech (2017) var høyere enn samlet finansiering (320 mill. kr) og at (2) potensialet i å utnytte og kommersialisere kunnskap og teknologi fra forskningen kan ha en enorm verdi for samfunnet.

Konklusjonen for FME Nowitech er på mange vis analog til hva man kan konkludere ut fra evalueringen i Forskningsrådets indikatorrapport fra 2018.

Vedlegg 5: Hvorfor støtte til energiforskning?

Vedlegget er utarbeidet av Menon Economics.

Det er store kommersielle interesser knyttet til forskning og utvikling av nye teknologier. Disse påvirkes i dag i stor grad av prisinsentivene fra klimapolitikken. Karbonprising, kvotemarkeder og subsidier til produksjon og bruk av fornybar energi gjør nye og rene teknologier langt mer attraktive og mer lønnsomme. Behovet for energiforskning ut fra et klimahensyn er derfor ivaretatt gjennom virkemidlene som allerede er rettet mot klimaproblemet. Hva er så grunnlaget for offentlig støtte til energiforskning?

Uten offentlig støtte til forskning, vil omfanget av forskningen være for lav. For alle typer forskning gjelder at den samfunnsøkonomiske avkastningen av FoU er høyere enn den privatøkonomiske.^{62,63} Grunnen er at kunnskapene fra forskningen kommer til flere gode enn de som gjennomfører og finansierer forskningen. Verdien som utløses av statens satsing på energiforskning kan være betydelig sammenlignet med gevinsten til den som utfører forskningen. Studier referert til i Grønn skattekomisjon (NOU 2015:15)⁶⁴ antar at den samfunnsøkonomiske gevinsten av klimainnovasjoner er fire ganger høyere enn den private gevinsten.

Offentlig finansiert energiforskning bidrar til å gi et samfunnsøkonomisk riktigere nivå på forskningen. I følge teorien skal støtten settes slik at den reflekterer de positive effektene forskningen har for samfunnet utover det som tilfaller eierne av forskningsresultatene. I praktisk politikk er det imidlertid vanskelig å vite hva som er det riktige støttenivået.

Økt FoU-innsats kan også stimuleres gjennom andre typer virkemidler. Åndsverksloven, patentinstituttet og lignende ordninger sørger for at den som utvikler en ny løsning beskyttes mot kopiering og at andre skor seg på deres ideer. Ulempen er at dette hindrer spredning av teknologiene, og prisene blir høyere enn det på marginen koster å fremskaffe teknologiene.

På samme måte kan det være positive eksternaliteter knyttet til selve implementeringen av nye teknologier, siden implementeringen lærer markedet hvordan teknologien best kan utnyttes. På den måten kan en teknologi bli mer produktiv ettersom den blir tatt i bruk. Denne kunnskapen vil også være et fellesgode, og kan begrunne støtte til implementering av nye energiteknologier.

⁶² Griliches, Z. (1995). R&D and Productivity: Econometric Results and Measurement Issues, i P. Stoneman (Red.), Handbook of the Economics of Innovation and Technical Change. Oxford: Blackwell.

⁶³ Jones, C. I. & Williams, J. C. (1998). Measuring the social return to R & D. Quarterly Journal of Economics, 1119–1135.

⁶⁴ NOU 2015:15: Sett pris på miljøet, Rapport fra grønn skattekomisjon; Nordhaus, W.D. (2002). Modeling induced innovation in climate-change policy. Technological change and the environment, 9, 259–290; Popp, D. (2004). ENTICE: Endogenous technological change in the DICE model of global warming, Journal of Environmental Economics and Management, 48(1), 742–768; Gerlagh, R. & Lise, W. (2005). Carbon taxes: a drop in the ocean, or a drop that erodes the stone? The effect of carbon taxes on technological change. Ecological Economics, 54(2), 241–260. doi:10.1016/j.ecolecon.2004.12.03; Popp, D. (2006). ENTICE-BR: The effects of backstop technology R&D on climate policy models, Energy Economics, 28(2), 188–222.

Vedlegg 6: Finansiering av RENERGI, ENERGIX, CLIMIT og FME

Finansiering fra RENERG/ENERGIX, FME og CLIMIT til de 8 tema-områdene i perioden 2008-2017 [mill. kr]

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Totalt
01 Energieffektivisering i industrien											
RENERGI/ENERGIX	2	6	14	27	34	27	28	28	28	30	224
FME	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	24
CLIMIT											
Sum	2	6	14	27	34	27	28	28	28	53	248
02 Energibruk i bygg og områder											
RENERGI/ENERGIX	9	15	15	12	13	20	15	13	23	29	164
FME	-	3	12	21	19	14	17	17	12	16	131
CLIMIT											
Sum	9	18	27	33	32	34	33	30	35	45	295
03 Vannkraft											
RENERGI/ENERGIX	10	12	12	18	25	29	24	19	28	29	205
FME	-	3	10	16	8	5	7	7	5	10	71
CLIMIT											
Sum	10	15	22	34	33	34	31	26	33	39	276
04 Energisystemer											
RENERGI/ENERGIX	32	49	67	65	67	58	58	63	74	95	629
FME	-	2	4	5	4	4	4	4	4	4	34
CLIMIT											
Sum	32	51	72	70	71	62	62	67	77	99	664
05 Solenergi, materialer til solceller											
RENERGI/ENERGIX	8	10	19	25	38	30	33	30	29	39	261
FME	-	7	27	23	28	24	21	18	17	19	183
CLIMIT											
Sum	8	17	46	48	66	54	53	48	46	58	444
06 Bioenergi (inkl. biodrivstoff)											
RENERGI/ENERGIX	14	26	35	44	42	32	29	20	15	18	276
FME	-	17	18	17	15	19	15	15	15	9	140
CLIMIT											
Sum	14	44	53	61	57	51	44	35	30	26	416
07 CCS - CO₂-fangst, transport og lagring											
RENERGI/ENERGIX	2	1	0	-	-	-	-	-	-	-	3
FME	-	19	25	30	31	30	30	32	29	32	258
CLIMIT	51	72	82	96	101	100	89	83	88	100	862
Sum	53	92	108	126	133	129	120	115	117	132	1 124
08 Nullutslippstransport											
RENERGI/ENERGIX	50	69	98	96	67	61	55	50	75	94	715
FME	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	7
CLIMIT											
Sum	50	69	98	96	67	61	55	50	75	101	723
Sum åtte tema	178	312	440	494	493	452	427	399	441	553	4 189

Tabell 17 Tabellen viser finansieringen fra Forskningsrådets programmer RENERGI/ENERGIX, CLIMIT og FME til de åtte temaområdene i perioden.

ISBN 978-82-691556-0-0 (trykt)
ISBN 978-82-691556-1-7 (PDF)

Nærmere informasjon om rapporten eller om Impellos øvrige tjenester kan fås ved henvendelse:

Impello Management AS
Innherredsveien 7
7014 Trondheim

E-post: info@impello.no
Tel: +47 90 22 70 00
www.impello.no

IMPELLO

