

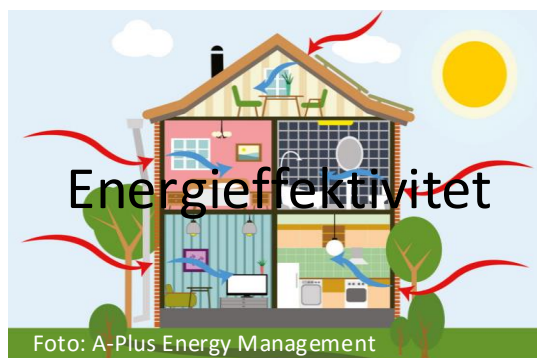
Bærekraftig og sikrere energi




GRUNNLAGS- og STRATEGIRAPPORT

13. november 2017

Olav Bolland



 Fakultet for ingeniørvitenskap Adresse: Høgskoleringen 6, NTNU NO-7491 Trondheim NORWAY Telephone: +47 73 59 45 01	NTNU/IV RAPPORT
	TITTEL: Forskningsstrategi IV-fakultetet 2018-2022 Del B, Energi-området
	FORFATTER(E): Arbeidsgruppen for energiområdet v/ Olav Bolland
	KUNDE: Styringsgruppen v/ Dekanus Ingvald Strømmen
ABSTRAKT: Denne rapporten er en del av Fakultet for ingeniørvitenskaps reviderte forskningsstrategi og presenterer grunnlag og strategier for fakultetets satsing innen «Bærekraftig og sikrere energi». Energi brukes til mange ting som oppvarming og avkjøling, produksjon av varer og tjenester, transport av varer og mennesker, elektronikk, og lys. Utfordringene er blant annet å forstå konsekvensene av forskjellige måter å bruke energi på og å minimalisere miljøfotavtrykket. « <u>Bærekraftig</u> » innebærer at miljø- og klimapåvirkningene forstås og håndteres langs hele energikjeden, men også at energibruk bidrar til en bærekraftig samfunnsutvikling, dvs. bidrar til menneskenes grunnleggende behov som mat, helse, hus, klær, trygghet, arbeid, rekreasjon og kommunikasjon. Dette må sees i et perspektiv med en verdensbefolkning på 7.5 milliarder i dag, som sannsynligvis vil øke til 9 milliarder i 2040 og 10 milliarder i 2060. « <u>Sikrere energi</u> » innebærer leveringssikkerhet; energien skal nå sluttbrukeren til rett tid og i rett kvantum. Sikrere innebærer også balanse mellom forbruk, produksjon og kapasitet på lagring av energi. Samtidig må risikoen for ulykker reduseres og omfanget av eventuelle ulykker begrenses. NTNU har et nasjonalt ansvar innen forskning og utdanning innen energiområdet, i kraft av størrelse, gode laboratorier, gode studenter, tett samarbeid med og tillitt i næringsliv og forvaltning, et godt samarbeid med Sintef, og en stab av fremragende fagekspert. Arbeidsgruppa har som har utarbeidet denne rapporten foreslår at satsingen organiseres i fire strategiske forskningsområder: <ul style="list-style-type: none">• Energiens rolle i samfunnet• Energikilder og energiomdanning• Infrastruktur for energi• Energieffektivitet De fire områdene favner det aller meste fakultetets eksisterende forskning innen bærekraftig og sikrere energi. Samtidig fanger de opp nye teknologi- og samfunnstrender.	

Innhold

Innhold	v
1. Innledning.....	1
2. Trender innen energi-området.....	1
2.1. Status.....	1
2.2. Rammebetingelser og utvikling.....	2
2.3. Nasjonale strategier og politiske føringer	5
2.4. Internasjonale strategier og politiske føringer	6
3. Energiforskning ved IV-fakultetet.....	7
3.1. Satsinger	7
3.1.1. FME - Forskningscenter for Miljøvennlig Energi.....	7
3.1.2. SFI - Senter for Forskningsdrevet Innovasjon.....	8
3.1.3. Andre satsinger.....	8
4. Samfunnsmålet.....	9
5. Strategi energiforskning - tematisk	9
5.1. Fokusområder for energiforskning ved NTNU-IV	11
5.2. Energieffektivisering – Bygg	12
5.3. Energieffektivisering - Industri	13
5.3.1. Metodikk	13
5.3.2. Komponenter.....	13
5.3.3. Kraftprosesser og varmepumper.....	13
5.3.4. Prosessforbedringer	14
5.4. Industriell økologi.....	14
5.5. Vannkraft.....	15
5.6. Olje og gass.....	16
5.7. Vindkraft.....	18
5.7.1. Vindturbin design, fabrikasjon, installering og operasjon.....	18
5.7.2. Drift og vedlikehold av vindturbiner	19
5.7.3. Annen fornybar havenergi.....	19
5.8. CCS – CO ₂ -fangst og –lagring	19
5.9. Termisk kraftproduksjon og kompresjon	21
5.10. Forbrenning	21
5.11. Bioenergi og biodrivstoff	22
5.12. Solenergi.....	23
5.13. Fjernvarme og fjernkjøling	24
5.14. Geotermisk energi.....	24
5.15. Hydrogenteknologi	25

5.16. Sikkerhet og pålitelighet i energi-systemer	25
Arbeidsgruppen bak denne rapporten	27

1. Innledning

I 2011 utarbeidet fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi (IVT) ved NTNU sin forskningsstrategi for 2012 – 2020, med tittelen Fagplan 2012 – 2020. Det ble valgt å oppdatere strategien i forbindelse med omorganiseringen av NTNU i 2016/2017 som innebærer integrering av fagmiljøer ved de tre tidligere høgskolene i Gjøvik, Ålesund, og Sør-Trøndelag (HiST), og det gamle fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, inn i det nye fakultet for ingeniørvitenskap ved NTNU (NTNU-IV).

NTNU har fire tematiske satsingsområder; Energi¹, Bærekraft, Havrom og Helse. Forskningsstrategien innen energi ved NTNU-IV, berører de tre først nevnte satsingsområdene.

NTNUs hovedstrategi for perioden 2011-2020 Kunnskap for en bedre verden – NTNU - internasjonalt fremragende² understreker det særskilte oppdraget som ligger i den teknisk-naturvitenskapelige hovedprofil med å utvikle det teknologiske grunnlaget for fremtidens samfunn. For området energi omfatter dette globale utfordringer knyttet til effektiv frembringelse av primærenergi, energitransport og –distribusjon og sluttbruk, energikonvertering i ulike ledd, klima og miljø, rent vann og matproduksjon. Utnyttelsen av primært norske naturressurser er en særdeles viktig del av forskningsstrategien innen energi. Det er viktig at energiforskningen ved NTNU-IV bidrar til et sterkt grunnlag for konkurransedyktig virksomhet i Norge.

2. Trender innen energi-området

2.1. Status

Situasjonen nå: Energiforbruket øker globalt på grunn av økende befolkning og økende levestandard. Det har vært en sterk kobling mellom økonomisk vekst og vekst i energibruk på global basis (energiintensitet). Det er nå en trend hvor sammenhengen mellom økonomisk vekst og energibruk blir svakere, spesielt i USA og EU.

Hva er problemet? Å fortsette med nåværende globale energimiks (80% fossil energi) fører til store utslipp av CO₂ og andre klimagasser med uakseptable klimaendringer. Derfor er det nødvendig å endre både hvilke energikilder vi benytter og hvordan vi bruker energitjenester.

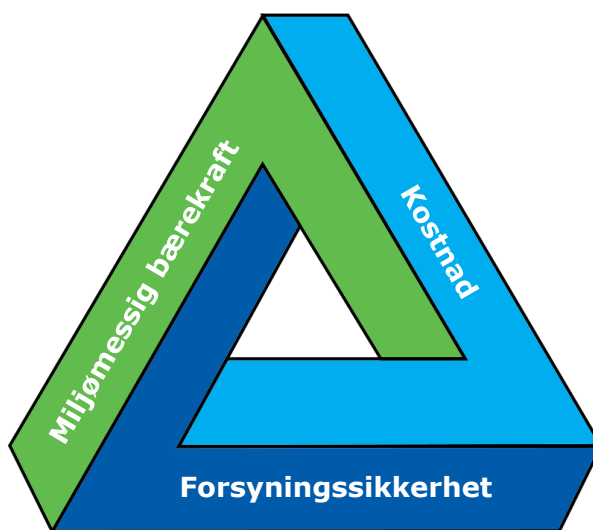
Spørsmålet er: Hvordan – og hvor raskt – kan vi endre vårt energisystem – «det grønne skiftet», til en akseptabel kostnad og med tilstrekkelig forsyningssikkerhet?

Svaret? En helhetlig og stegvis utvikling av energisystemet, hvor vi fortrinnsvis må velge løsninger med lave eller ingen klimagassutslipp. Utviklingen krever langsiktig og tverrfaglig forskning med kompetanseutvikling og teknologiutvikling.

I utviklingen av energisystemet må vi ta hensyn til både miljømessig bærekraft, kostnad for energitjenester og forsyningssikkerhet. Dette kan betegnes som et 'energitrilemma' (). De forskjellige energikildene, energibærerne og energikonverteringsteknologiene skårer ulikt på de tre elementene i energitrimmaet.

¹ <http://www.ntnu.edu/energy>

² <http://www.ntnu.no/ntnu-2020>

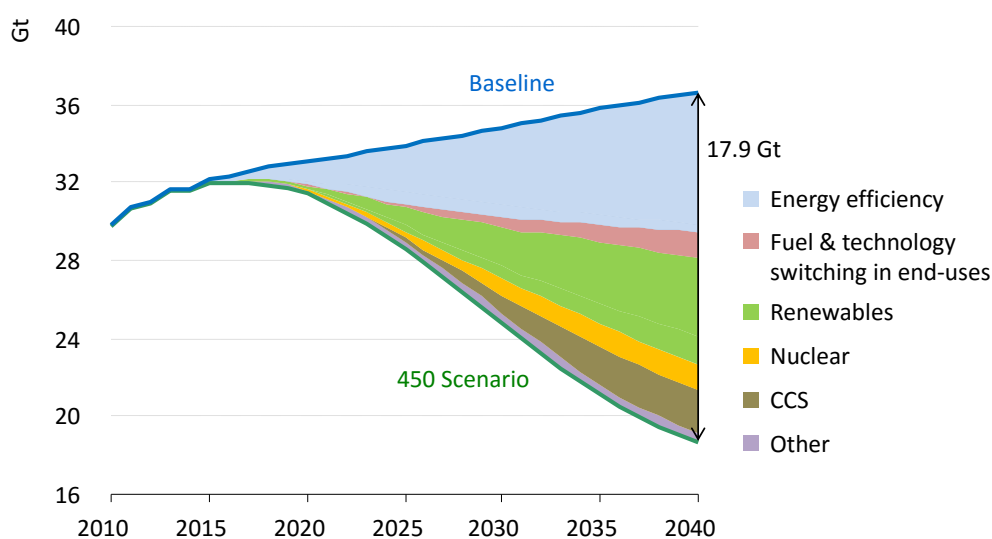


Figur 1 – 'Energitrilemmaet' (ref???) DNV-GL)

2.2. Rammebetingelser og utvikling

En stadig mer ambisiøs **miljø- og klimapolitikk** på globalt, europeisk og nasjonalt nivå, får økende betydning for de rammevilkårene det globale energisystemet stilles overfor.

Parisavtalen fra klimatoppmøtet COP21 (desember 2015) legger grunnlaget for et globalt samarbeid om å begrense temperaturstigningen til 1.5-2 grader. Avtalen ble gyldig i løpet av høsten 2016 etter at 55 land, inkludert store utslippsland som USA, Kina og India, ratifiserte avtalen. Dette innebærer en meget stor utfordring med å endre hvordan vi bruker energi. I *Figur 2* er det vist omfang på tiltak for å redusere utslipp av klimagasser basert på en vurdering ut fra kostnadseffektivitet. Det er åpenbart at **energieffektivitet** er det viktigste tiltaket, men også økning av produksjonen av fornybar energi og CO₂-fangst og –lagring er viktige tiltak.



Figur 2 – Bidrag til reduksjon av klimagassutslipp for begrensing CO₂-konsentrasjon i atmosfæren til 450ppm. (IEA World Energy Outlook 2015)

I Europa har EU lenge vært en pådriver for en sterk klimapolitikk med ambisiøse målsettinger, med særlig fokus på produksjon av fornybar energi, energieffektivisering, sammenkobling av energimarkeder og –systemer, kvotemarked for CO₂-utslipp og kraftig begrensing på bruk av KFK³- og HKFK-stoffer. De Nordiske landene har fulgt opp EUs målsetninger med ambisiøse, egne mål frem mot 2050. For eksempel har Norge og Sverige mål om å være klimanøytrale i 2050, inkludert null nettutslipp av klimagasser.

Globalt, og spesielt i Europa, fører denne politikken til en betydelig økning av ny **fornybar energiproduksjon** og i tillegg en rekke andre tiltak. Ny fornybar energiproduksjon (vindkraft, solceller) blir stadig vekk mer konkurransedyktig på kostnader, og øker sin andel i elektrisitetsforsyningen. **Lagring av elektrisitet** og **styrt variabel produksjon** blir et stadig viktigere tema etter hvert som andelen av uregulert fornybar elektrisitetsproduksjon øker.

Antall mennesker er i dag ca. 7.5 milliarder, og dette vil sannsynligvis øke til 9 milliarder i 2040 og 10 milliarder i 2060⁴. **Matproduksjon** vil bli en stor utfordring; med økt bruk av naturressurser, økt arealbruk både på land og på havet, økt energiforbruk og miljøutslipp knyttet til distribusjon, en mulig økende andel kjøtt og økt foredlingsgrad, og redusert kasting av mat. Norge har vært og vil være en stormakt når det gjelder å høste og dyrke havets ressurser for matproduksjon.

Urbanisering: I dag bor ca. halvparten av verdens befolkning i byer. I 2050 vil dette kanskje øke til to tredeler. Byer bidrar med større BNP enn befolkningsandelen tilsier, og det samme gjelder energiforbruk og energirelaterte utslipp av miljøskadelige stoffer. Dette betyr at energisystemer knyttet til byutvikling vil være viktig fremover. Energisystemer i byer omfatter transport, bygninger, oppvarming- og avkjølingssystemer, elektrisitetsproduksjon, vann- og avløp, avfallshåndtering, vareproduksjon, varesalg og tjenesteyting, og integrasjon mellom disse.

Globalisering: Vi er inne i en utvikling hvor avstander og statsgrenser får stadig mindre betydning. Det er en økende grad av samhandling, integrasjon, påvirkning og gjensidig avhengighet mellom folk og stater innenfor områder som økonomi, samfunn, teknologi, kultur, politikk og økologi. Internettets betydning vil fortsatt øke. Transportkostnader for varer vil sannsynligvis fortsatt utgjøre en liten andel av totale kostnader.

Digitalisering innebærer at mange flere fysiske komponenter utstyres med sensorer som måler ulike fysiske parametere, med data som håndteres i et kommunikasjonsnettverk med stadig økende prosessering- og lagringskapasitet. Dette vil benyttes til en stadig større grad av styring og optimalisering etter ulike kriterier, inkludert å optimalisere mye større og flere systemer enn i dag. Digitalisering innebærer også en økning og effektivisering av tjenesteyting, som for eksempel transport. Økt digitalisering vil sannsynligvis øke innovasjonstakten og verdiskapingen for produkter og tjenester. Økt digitalisering innebærer et potensial for generell energieffektivisering og reduksjon av miljøutslipp. Økt digitalisering kan bidra til større informasjonsmengde og -kvalitet for å kunne minimalisere miljøpåvirkning i ulike produkt- og verdikjeder.

Energiområdet kjennetegnes av store og mektige aktører i produksjon og leveranse av energitjenester (som drivstoff, elektrisitet, fjernvarme og fjernkjøling) og mange små kunder. Fremveksten av ny fornybar energi, bedre energilagringsteknologier, nye teknologier innen transport, endringer i bygningers energiforsyning, og økt digitalisering, kan sannsynligvis flytte en del av **markeds kontrollen** vekk fra de store aktørene og til flere mindre aktører.

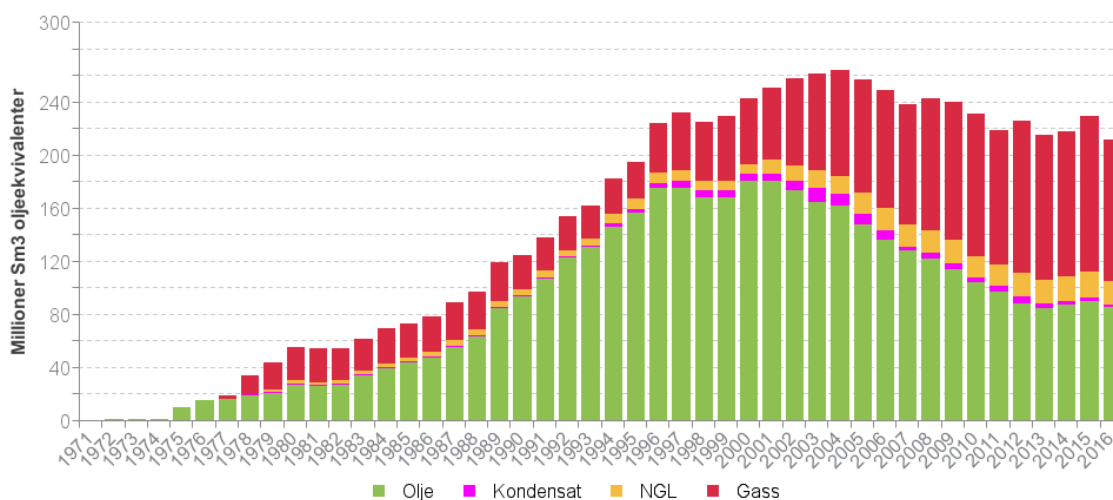
³ <https://no.wikipedia.org/wiki/Klorfluorkarbon>

⁴ <https://ourworldindata.org/world-population-growth/>

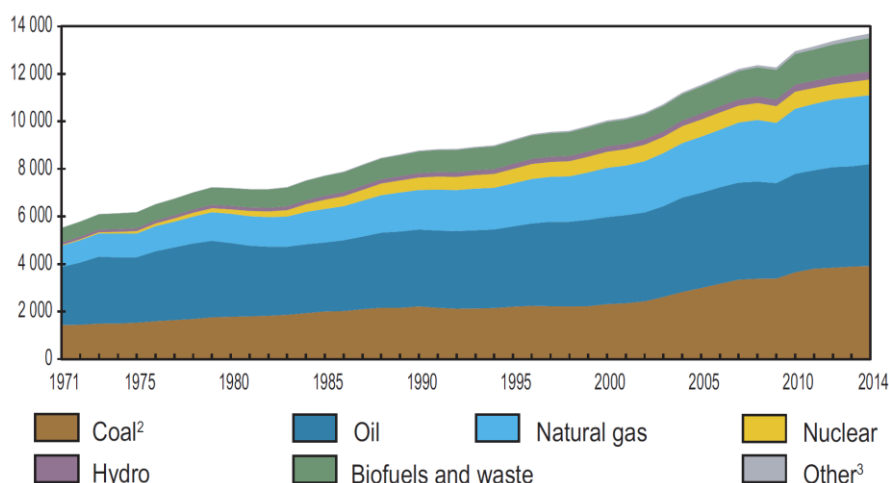
Norsk energiproduksjon er spesiell sammenlignet med de fleste andre land.

Elektrisitetsproduksjonen på fastlands-Norge var i 2015 144⁵ TWh (95.8% vannkraft, 2.5% gasskraft og 1.7% vindkraft) som innebærer 97.5% fra fornybare energikilder. Fornybarandelen i det norske energiforbruket er i særklasse høyest i Europa. Norge er en stor eksportør av energi, hovedsakelig olje og naturgass. Eksporten av energi er ca. 10 ganger større enn innenlandsk forbruk⁶. Potensialet for eksport av fornybar energi er stort.

Norsk olje- og gassproduksjon (Figur 3) har i snart 50 år bidratt i svært stor grad til landets økonomi og samfunnsutvikling. Samlet eksportverdi i 2016 var ca. 350 milliarder kroner (råolje 186, naturgass 166), som tilsvarer 47 prosent av total norsk vareeksport. Rekordene i eksportverdi er 670 milliarder kroner fra 2008. Petroleumsdirektoratet anslår at det er produsert og solgt rundt 48 prosent av det vi antar finnes av utvinnbare petroleumforekomster på norsk kontinentalsokkel. Det betyr at norsk olje- og gassproduksjon, ut fra ressursgrunlaget, kan fortsette i flere tiår fremover.



Figur 3 – Norsk olje- og gassproduksjon (Petroleumsdirektoratet)



Figur 4 – Globalt energiforbruk 1971-2014 etter brensel i millioner oljeequivalenter. 'Other' inkluderer sol, vind og geotermisk. (IEA Key World Energy Statistics 2016)

⁵ <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elektrisitet/aar>

⁶ https://no.wikipedia.org/wiki/Energi_i_Norge#/media/File:Energy_balance_for_Norway_2014.jpg

Figur 4 viser utviklingen i **globalt energiforbruk** i perioden 1971-2014. En trend er at kjernekraft og bruk av kull ser ut til å ha passert et toppunkt og er på vei nedover. En annen trend er at fornybar elektrisitetsproduksjon øker mye til stadig synkende kostnad, men utgjør en veldig liten andel av total elektrisitetsproduksjon. Fossile energikilder utgjør per i dag knapt 80%.

2.3. Nasjonale strategier og politiske føringer

Viktige politiske føringer for området energi i Norge ligger i stortingsmeldingene 25 og 27:

- Kraftbransjen og energipolitikken for fastlands-Norge mot 2030 er beskrevet i Stortingsmelding 25 (2015–2016) [Kraft til endring - Energipolitikken mot 2030](#). I denne meldingen legger regjeringen grunnlaget for en energipolitikk der forsyningsikkerhet, klima og næringsutvikling sees i sammenheng for å sikre en effektiv og klimavennlig energiforsyning.
- Stortingsmelding 27 (2016–2017) [Industrien – grønnere, smartere og mer nyskapende](#) presenterer regjeringens politikk for industrien. Globalisering, klimautfordringer, aldrende befolkning og forventet lavere etterspørsel i petroleumsnæringen på sikt kombinert med den teknologiske utviklingen endrer norsk industri. Det tas i bruk nye materialer, og prosesser endres, automatiseres og digitaliseres. Meldingen skisserer hvilke muligheter og utfordringer norsk industri står overfor, og beskriver regjeringens politikk for å møte dette. Temaer i meldingen er omstilling innenfor bærekraftige rammer, betydningen av tilgang på kapital og tilgang på kompetanse og viktigheten av forskning, innovasjon og teknologiutvikling.

I tillegg gir følgende strategier viktige føringer for aktører innen området energi:

- [Energi21](#) er den nasjonale strategien for forskning, utvikling, demonstrasjon og kommersialisering av ny energiteknologi. Strategien prioriterer seks områder: vannkraft, fleksible energisystemer, solkraft, offshore vindkraft, energieffektivisering og CO₂-håndtering, og anbefaler spesielt å løfte frem vannkraft og fleksible energisystemer. For å nå klimamålene må stadig flere områder elektrifiseres, og fossil energibruk må erstattes av elektrisitet fra fornybar energi. Dette gjelder både innen veitransport, sjøtransport, innsatsfaktor i eksisterende industri og elektrifisering av nye petroleumsprosjekter. Norsk fornybar energi gir også et potensial for vekst i kraftkrevende industri, maritim sektor, datasentre, krafteksport etc. Energi21-strategien ble vurdert i 2016 i en såkalt [omverdensanalyse](#).
- [OG21](#)-strategien beskriver en felles nasjonal innsats for å styrke forskning, utvikling, demonstrasjon og kommersialisering av teknologi som kan løse utfordringer for petroleumsindustrien i Norge.

Ellers gir følgende initiativer også føringer om energiforskning:

- [Skog22](#) – En strategi for forskning, utvikling, innovasjon og kunnskapsformidling innen de skogbaserte verdikjedene. En koordinert nasjonal FoU-innsats skal bidra til økt konkurransevne i de skogbaserte verdikjedene. Strategien omfatter også andre viktige tiltak og virkemidler av betydning for næringens konkurransevne.
- [MARITIM21](#) er et strategidokument for maritim sektor for forskning, utvikling og innovasjon. MARITIM21 har et bredt perspektiv i forhold til andre havbaserte næringer og skal identifisere synergier med disse næringene. Sentralt i anbefalingen er klima- og miljøvennlig maritim transport og muliggjørende teknologier.
- Regjeringens ekspertutvalg for [grønn konkurransekraft](#): Det er utarbeidet en rekke såkalte veikart, og listen nedenfor gir de mest relevante for energiområdet:
 - [Veikart for sirkulær økonomi](#)
 - [Sjøkart for grønn kystfart](#)
 - [Veikart for smart omstilling](#)

- [Veikart for prosessindustrien – Økt verdiskaping med nullutslipp i 2050](#)
 - [Veikart for verdiskaping og reduserte klimautslipp på norsk sokkel fram mot 2030 og 2050](#)
 - [Vannkart til økt grønn konkurransekraft i vannbransjen](#)
 - [Næringslivets transportert – Veikart med høy mobilitet mot null utslipp i 2050](#)
 - [Veikart for grønn konkurransekraft i skog og trenæringen](#)
 - [Veikart for grønn handel 2050](#)
 - [Landbruksnæringen – Veikart mot fornybarsamfunnet 2050](#)
- [Verdiskaping i den norske fornybarnæringen](#) – om vekst og muligheter innen fornybar energi fra Energi Norge.

2.4. Internasjonale strategier og politiske føringer

FNs bærekraftsmål er en felles arbeidsplan for å utrydde fattigdom, bekjempe ulikhet og stoppe klimaendringene innen 2030. FNs bærekraftsmål består av 17 mål og 169 delmål. Målene skal fungere som en felles global retning for land, næringsliv og sivilsamfunn. Land fra hele verden har vært aktivt involvert i arbeidet med å utforme målene, og mer enn åtte millioner mennesker har kommet med innspill i prosessen. Bærekraftig utvikling handler om å ta vare på behovene til mennesker som lever i dag, uten å ødelegge framtidige generasjoners muligheter til å dekke sine. Målene reflekterer de tre dimensjonene i bærekraftig utvikling; 1) Klima og miljø, 2) Økonomi, og 3) Sosiale forhold. Ett av de 17 målene handler direkte om energi; [Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all](#).

Horizon 2020 er EUs åttende rammeprogram for forskning og innovasjon. Programmet går i perioden 2014-2020, og har et budsjett på 80 milliarder euro. Norske bedrifter og forskningsmiljøer kan delta på linje med kolleger og konkurrenter i andre europeiske land. Energidelen av Horizon 2020 heter [Secure, Clean and Efficient Energy](#).

Strategic Energy Technology Plan ([SET-plan](#)) har som mål å akselerere utvikling og bruk av energiteknologier for reduserte klimagassutslipp. Det er en målsetting å forbedre teknologier og redusere kostnader gjennom internasjonalt samarbeid og koordinering av nasjonale forskningsaktiviteter.

European Energy Research Alliance ([EERA](#)) er en gruppe av ca. 30 universiteter og forskningsinstitutter, hvor hovedmålet er å skape mer samarbeid og utvikling innen energiområdet, samt å kommunisere om energispørsmål med ulike myndigheter inkludert EU-kommisjonen.

Strategiplan for USA - [Department of Energy Strategy Plan 2014-2018](#):

3. Energiforskning ved IV-fakultetet

NTNU har et meget høyt aktivitetsnivå innen både forskning og utdanning relatert til energi, og IV-fakultetets miljøer er sterkt delaktige.

3.1. Satsinger

3.1.1. FME - Forskningscenter for Miljøvennlig Energi

Ordningen med forskningssentre for miljøvennlig energi (FME⁷) ble etablert av Norges Forskningsråd i 2009. FME er tidsbegrensede (8 år) forskningssentre som har en konsentrert, fokusert og langsiktig forskningsinnsats på høyt internasjonalt nivå for å løse utpekte utfordringer på energi- og miljøområdet. NTNU-IV deltok i følgende FME'er i perioden 2009-2016:

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

NTNU-IV deltok i følgende FME'er i perioden 2009-2016:

- CenBio⁸ - Bioenergy Innovation Centre (vertskap NMBU)
- BIGCCS⁹ - International CCS Research Centre (vertskap Sintef)
- ZEB¹⁰ - The Research Centre on Zero Emission Buildings (vertskap NTNU)
- NOWITECH¹¹ - Research Centre for Offshore Wind Technology
- CEDREN¹² - Centre for Environmental Design of Renewable Energy (vertskap Sintef)
- CenSES¹³ - Centre for Sustainable Energy Studies (vertskap NTNU, 2011-2018)

En andre runde med FME startes opp for perioden 2017-2024:

- HydroCen¹⁴ - Norwegian Research Centre for Hydropower Technology (vertskap NTNU)
- NCCS¹⁵ - Norwegian CCS Research Centre (vertskap Sintef)
- ZEN¹⁶ - The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities (vertskap NTNU)
- HighEFF¹⁷ - Centre for an Energy Efficient and Competitive Industry for the Future (vertskap Sintef)
- Bio4fuel¹⁸ - Norwegian Centre for Sustainable Bio-based Fuels and Energy (vertskap NMBU)
- MoZEES¹⁹ - Mobility Zero Emission Energy Systems (vertskap IFE)

⁷ <http://www.forskningsradet.no/prognett-energisenter/Forside/1222932140861>

⁸ <http://www.sintef.no/projectweb/cenbio>

⁹ <https://bigccs.no/>

¹⁰ <http://www.zeb.no/>

¹¹ <http://www.sintef.no/projectweb/nowitech>

¹² <http://www.cedren.no/>

¹³ <http://www.ntnu.no/censes>

¹⁴ <http://www.ntnu.no/hydrocen>

¹⁵ <https://www.sintef.no/projectweb/nccs/>

¹⁶ <https://www.ntnu.no/zen>

¹⁷ <http://www.sintef.no/prosjekter/higheff/>

¹⁸ <https://www.nmbu.no/en/services/centers/bio4fuels>

¹⁹ <https://www.ife.no/no/ife/filer/diverse/mozees-mobility-zero-emission-energy-systems>

3.1.2. SFI - Senter for Forskningsdrevet Innovasjon

NTNU-IVT er involvert i følgende Senter for Forskningsdrevet Innovasjon (SFI²⁰) for perioden 2015-2023, relatert til energiområdet:

- Metal Production²¹ - Høyere kvalitet med mindre forbruk av ressurser og energi (vertskap NTNU)
- Smart Maritime²² - Økt energieffektivitet og reduserte utslipp innen den maritime sektoren 2015-2023 (Vertskap Sintef)
- Subpro²³ - Subsea produksjon og prosessering av hydrokarboner (vertskap NTNU)
- DrillWell²⁴ Forbedring av bore- og brønnteknologi for sikrere, renere og mer effektiv ressursutnyttelse på norsk sokkel (vertskap IRIS, Stavanger).

3.1.3. Andre satsinger

NTNU-IV er involvert i flere større initiativer knyttet til energiområdet:

- Program for Industriell Økologi (Indecol²⁵)
 - NTNUs Program for industriell økologi har som mål å knytte sammen teknologiske, naturvitenskapelige og samfunnsvitenskapelige bidrag i letingen etter bærekraftige løsninger på produksjon og forbruk av energi og ressurser. Tverrfaglig forskning og undervisning står sentralt ved IndEcol.
- Gassteknisk Senter NTNU-SINTEF (GTS²⁶)
 - Samarbeid mellom NTNU og Sintef for å koordinere og fremme forskning og undervisning relatert til verdikjeden for naturgass. Startet i 2003.
- Bedre RessursUtnyttelse (BRU²⁷)
 - Undersøkelse i petroleumsbransjen på behov for forskning og utdanning. Første BRU-prosjekt gjennomført i 2005. Per januar 2017 pågår en oppfølging; BRU21.
- European Carbon dioxide Capture and Storage Laboratory Infrastructure (ECCSEL²⁸)
 - Initiativ som startet i 2007 for å lede og koordinere europeisk laboratorieinfrastruktur innen CO₂-fangst og –lagring.
 - Dannelse av et europeisk selskap ECCSEL ERIC (European Research Infrastructure Consortium) sommer 2017
- Senter for fremragende forskning (SFF) Centre for Autonomous Marine Operations and Systems (NTNU AMOS²⁹)
- Senter for fremragende forskning (SFF) «Porous Media Laboratory»³⁰
- ENERSENSE³¹ - Energilagring, energieffektivisering og sensor/instrumentering.

²⁰ <http://www.forskningsradet.no/prognnett-sfi/Forside/1224067021121>

²¹ <https://www.ntnu.edu/metpro>

²² <http://www.smartmaritime.no/>

²³ <https://www.ntnu.edu/subpro>

²⁴ <http://drillwell.no/home>

²⁵ <http://www.ntnu.no/indecol/>

²⁶ <https://www.sintef.no/projectweb/gts/>

²⁷ <http://www.ntnu.edu/igp/bru21>

²⁸ <http://eccsel.org/>

²⁹ <https://www.ntnu.edu/amos>

³⁰ <https://www.ntnu.no/aktuelt/pressemeldinger/2017/sff-2017>

³¹ <https://www.ntnu.edu/enersense>

4. Samfunnsmålet

Samfunnsmål: Bærekraftig og sikrere energi

'Bærekraftig' innebærer at miljø- og klimapåvirkningene forstås og håndteres langs hele energikjeden.

'Bærekraftig' innebærer også at energibruk bidrar til en bærekraftig samfunnsutvikling, dvs. bidrar til menneskenes grunnleggende behov som mat, helse, hus, klær, trygghet, arbeid, rekreasjon og kommunikasjon. Dette må sees i et perspektiv med en verdensbefolkning på 7.5 milliarder i dag, som sannsynligvis vil øke til 9 milliarder i 2040 og 10 milliarder i 2060³².

'Sikrere energi' innebærer leveringssikkerhet; energien skal nå sluttbrukeren til rett tid og i rett kvantum. Sikrere innebærer også balanse mellom forbruk, produksjon og kapasitet på lagring av energi. Samtidig må risikoen for ulykker reduseres og omfanget av eventuelle ulykker begrenses.

NTNU har et nasjonalt ansvar innen forskning og utdanning innen energiområdet, i kraft av størrelse, gode laboratorier, gode studenter, tett samarbeid med og tillitt i næringsliv og forvaltning, et godt samarbeid med Sintef, og en stab av fremragende fageksperter.

NTNU-IVs bidrag til samfunnsmålet, med utgangspunkt i Universitetslovens §1-3, er forskning som gir ny kunnskap som igjen gir grunnlag for:

- relevant og topp internasjonal utdanning av BSc-, MSc- og PhD-kandidater
- nye teknologiske løsninger og en omlegging av hvordan energi brukes, for å møte de store utfordringene knyttet til menneskeskapt klimaendring
- økt verdiskaping i næringslivet på grunnlag av nasjonale energiresurser
- utvikling av internasjonalt konkurransedyktig næringsliv
- formidling i ulike fora, både nasjonalt og internasjonalt
- tverrfaglig samarbeid med partnere, både nasjonalt og internasjonalt

5. Strategi energiforskning - tematisk

Energiområdet er omfattende med mange ulike typer teknologier og med mange forskjellige anvendelser av energiteknologier i ulike sammenhenger. Dette kan deles inn i følgende:

Energiens rolle i samfunnet: Energi brukes til mange ting som oppvarming og avkjøling, produksjon av varer og tjenester, transport av varer og mennesker, elektronikk, og lys. Utfordringene er blant annet å forstå konsekvensene av forskjellige måter å bruke energi på og å minimalisere miljøfotavtrykket. Dette krever en god forståelse av større og komplekse systemer, og hvor forskningen skal bidra med metoder og verktøy. Gjennom en slik god forståelse får vi et kunnskapsgrunnlag til å påvirke og styre atferd relatert til energibruk; i bomiljøer, transport, vare- og tjenesteforbruk. Vi får også et kunnskapsgrunnlag for en best mulig håndtering av et økende folketall, økt urbanisering, utvikling av transportsystemer og mobilitet generelt, organisering av varekjeder og tjenesteyting, og videreutvikling av industri. Teknologisk utvikling, blant annet ved å utvikle og anvende muliggjørende teknologier og digitalisering innen energiområdet, vil være svært

³² <https://ourworldindata.org/world-population-growth/>

viktig i utviklingen av bærekraftige samfunn – 'lavutslippssamfunnet'. Vi må også forstå vår rolle og betydning i en internasjonal sammenheng - hvor vår kunnskap, teknologi og våre naturressurser skal være bidrag.

Energikilder og energiomdanning: Norge har som nasjon en helt unik situasjon med hensyn til energikilder, og disse har vært helt avgjørende for samfunnsutviklingen. Vannkraft muliggjorde en industrialisering av landet med fornybar energi, og det er per i dag betydelig industriell aktivitet som er avhengig av den norske vannkraften. Vannkraften representerer en stor og vedvarende evne til å produsere elektrisitet med en helt unik fleksibilitet. Petroleumsressursene ble oppdaget og tatt i bruk fra ca. 1970, og har hatt en formidabel betydning for utviklingen av det norske samfunnet. Det økonomiske bidraget fra petroleumsvirksomheten har hatt og har fortsatt en stor nasjonaløkonomisk betydning. Det gjenværende ressursgrunnlaget for petroleum er fortsatt stort, anslagsvis like stort som produksjonen frem til nå. Det er et dilemma at dagens forbruk og spådd økning fremover av olje og naturgass, ikke er forenlig med Paris-avtalen med en begrensning av klimaendringer til 1.5-2 °C. Biomasse, hovedsakelig trevirke, er en annen betydelig nasjonal energiressurs. Potensialet for bioenergi er stort i Norge, men vi har utnyttet dette potensialet i liten grad. Vind som energiressurs til vindkraftproduksjon er stor i Norge – på land og i enda større grad i våre havområder. Vind som ressurs er i liten grad tatt i bruk. Havbølger og tidevannsstrømmer er også en potensielt stor ressurs for elektrisitetsproduksjon, men er nesten ikke utnyttet.

En videre utnyttelse av våre energiressurser vil være en veldig viktig del av NTNUs strategi. Utviklingen av teknologier og kostnader vil være styrende i stor grad. I tillegg vil miljøhensyn komme til å få en stadig større betydning for utnyttelsen av energiressursene. Utslipp av klimagasser fra petroleumsvirksomheten og fra den senere bruk av petroleumsproduktene, er en av de større globale utfordringer vi står overfor. Det er også andre og ulike miljøutfordringer knyttet til alle typer energikilder, som det vil være helt avgjørende å adressere i forskningen. NTNU kan bidra gjennom kunnskap og teknologiutvikling knyttet til avkarbonisering, både ved produksjon av hydrogen og CO₂-fangst og -lagring.

NTNU vil forske på mange ulike teknologier og komponenter for omdanning mellom energiformer eller teknologier for lagring av energi. Dette kan være komponenter som turbiner, pumper, varmevekslere, varmpumper, kjeler, etc. Forskningen på utvikling og videreutvikling av komponenter vil være fokusert på energieffektivitet, tilgjengelighet og kostnad. Forskningen vil baseres på grunnleggende kunnskap primært innen fluidmekanikk, faststoffmekanikk, termodynamikk, materialer og reguleringsteknikk.

Infrastruktur for energi: Den nasjonale infrastrukturen for energisystemer er veldig omfattende og utgjør meget store økonomiske verdier. Infrastrukturen er: elektrisitetsnett, 'smarte nett' som muliggjør mange små produksjonsenheter, styrer forbruksmønster og med lagringskapasitet, dammer og vannreservoarer, vannveier og –tunneler, produksjonsanlegg for olje og naturgass, olje- og gassterminaler, rørledninger for transport av naturgass og olje, flerfase brønnstrøm, systemer for transport av naturgass som LNG, distribusjon av brensler som LPG, LNG, bensin, diesel, biodrivstoff og hydrogen, og bioenergi-kjeder. Forskningen på infrastruktur vil omfatte sikkerhet og tilgjengelighet, kostnadseffektivitet, og miljøhensyn, og roller og forretningsmodeller i en stadig mer integrert infrastruktur.

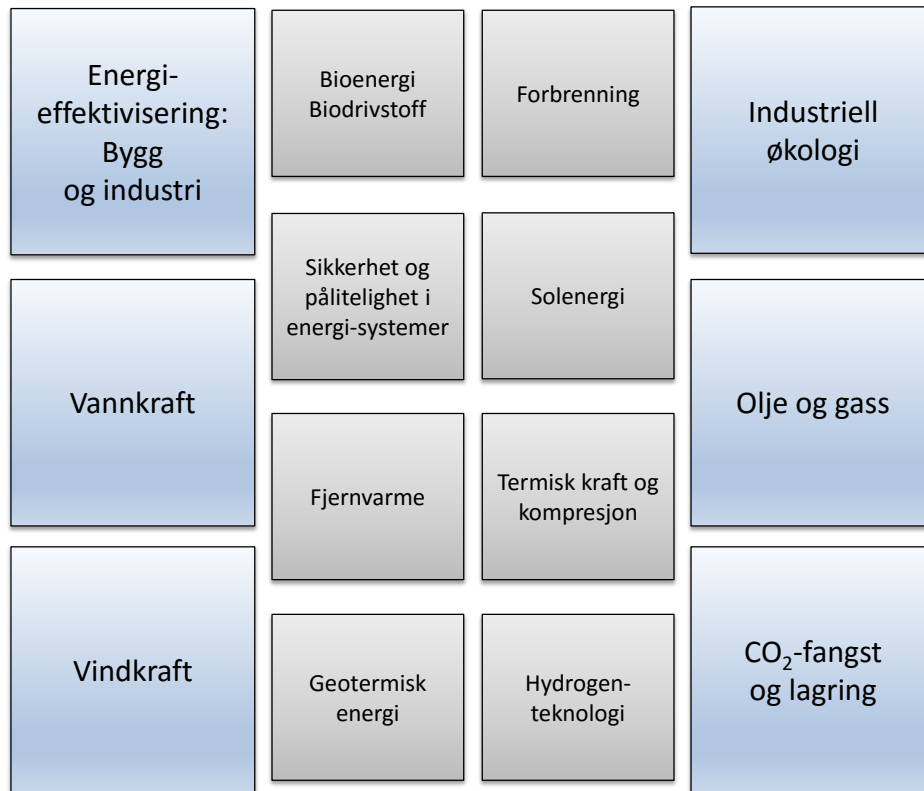
Energieffektivitet: Energieffektivitet er delvis knyttet til energiteknologiene i seg selv, men avhenger også mye av de systemene hvor ulike energibærere og energiteknologier anvendes. Forskingen vil her dreie seg om hvordan energiteknologier anvendes, og hvordan energiteknologier integreres for å oppnå et lavt forbruk av energi og et minst mulig miljøfotavtrykk. Eksempler på slike systemer er bygninger og bebygde områder, produksjonsanlegg inkludert prosessindustri, matproduksjon og – distribusjon, vannforsyning, kjøretøy og fartøyer. Slike systemer benytter energi i en eller flere former som innsatsfaktor. Forskingen vil av natur være tverrfaglig for slike systemer, hvor energieffektivt er et av flere mål med systemene. Integrasjon og optimalisering på ulike nivåer vil være viktig.

5.1. Fokusområder for energiforskning ved NTNU-IV

Forskningsområdene ved NTNU-IV innen energi er angitt i *Figur 5*. Noen områder (6) har høyest prioritet ved NTNU-IV, angitt i store bokser i *Figur 5*, ut fra følgende kriterier:

- Viktighet og potensial til å bidra til reduksjon av klimagassutslipp, både nasjonalt og internasjonalt, og i tråd med IEAs anbefaling om tiltak jfm. *Figur 2*.
- Viktighet ut fra Norges ressursgrunnlag og naturlige forutsetninger
- NTNU-IVs fagmiljø innen området har en klart ledende rolle nasjonalt og er ansett som internasjonalt fremragende

I tillegg er det en rekke andre områder som også vil være viktig del av forskningsstrategien. For en del av områdene er det overlapp i aktiviteter.



Figur 5 Fokusområder for energiforskning ved Fakultet for ingeniørvitenskap ved NTNU

5.2. Energieffektivisering – Bygg

Forskningsområdet omfatter energieffektiv klimatisering, avansert reguleringsteknikk og energisystemløsninger for bygninger. Metoder som skal brukes omfatter eksperimentelt arbeid sammen med utvikling og bruk av avanserte metoder og simuleringverktøy.

Et mål for forskningen innen klimatisering er å utvikle løsninger med høy ventilasjonseffektivitet (for fjerning av forurensende stoffer og overskuddsvarme) og energieffektive ventilasjonsløsninger (lav spesifikk vifteeffekt - SFP og nye varmegjenvinningsløsninger) for redusert primærenergi bruk samtidig som det opprettholdes et godt inneklima. For å oppnå kravene til nullutslippsbygninger på en kostnadseffektiv måte vil en fokusere på utvikling av teknologier og løsninger for bruk av uteluft, termisk masse og/eller jord-/berggrunn for kjøling og oppvarming. Et annet område er å utvikle enklere systemløsninger som involverer færre komponenter og mindre vedlikehold for brukertilpasset ventilasjon.

Høy utnyttelse av fornybar energi i nullutslippsbygninger krever at vannbårne systemer må være kostnadseffektive og bruke lavtemperaturløsninger. Økt prosentandel av varmt tappevannsbruk sammenlignet med bruken av energi til oppvarming i superisolerte bygninger fører også til behov for utvikling av ny systemdesign av det vannbårne systemet.

Byggautomatisering er et nøkkelbegrep for at bygninger skal fungere som brukere vil og at vi kan få optimal energibruk. Bygningsautomatisering omfatter flere begreper: styring og regulering, Building Energy Management System (BEMS) (på norsk SD-anlegg), drift og vedlikehold samt livsløps funksjonskontroll (life-time commissioning). Livsløps funksjonskontroll innebærer oppfølging av bygninger gjennom deres levetid. Dette vil føre til at bygninger driftes riktig og oppnå optimal energibruk. IV har som mål at digitalisering skal føre til at dette blir vanlig praksis. Spesielt vies oppmerksomhet til overvåking, drift og vedlikehold av bygningstjenester ved avansert bruk av data. Fremtidens elnett ('Smart Grid') er basert på bruk av toveiskommunikasjon og avansert sensorteknologi med muligheter for å utvikle smart funksjonalitet som muliggjør automatisk optimalisering av energibruk. Spørsmål knyttet til varme- og kraftproduksjon lokalt og samspill mellom produksjon lokalt og energieksport (prosumers) vil også være en del av forskningen.

Building Performance Simulation (BPS) er per definisjon et tverrfaglig felt som analyserer bygninger på en helhetlig måte. Strategien er å utvikle og bruke avanserte BPS-verktøy for å støtte våre forskningsaktiviteter innen HVAC og energisystemer. Dette er viktige for å bidra til økonomisk realiserbare nullutslippsbygninger. BPS brukes til både design, bygging og drift av bygninger.

Utviklingen av BPS-verktøy innebærer for det første avansert regulering i sammenheng med smarte og energieffektive bygninger. I tillegg til tradisjonell reguleringsteknikk er målet å undersøke modeller for prediktiv kontroll (MPC) for design og sanntidsregulering. Dette innebærer et behov for å utvikle kunnskap og kompetanse i «reduced-order modeling». «Reduced-order models» brukes typisk for å beregne aggregert belastning fra flere bygninger.

For det andre innebærer utvikling av BPS mulighet for å beregne luftbårne varmestrømmer. Dette er viktige for å utvikle nye oppvarmings- og kjøleløsninger for lavenergibygninger. For å gjøre dette vil det være påkrevet å utvikle verktøy som kan koble detaljerte dynamiske simuleringer og kommersiell CFD. Det er også behov for en luftstrømsmodell uten CFD, kalt sonemodell samt metoder for ustabile strømningsmodeller (DNS og LES).

For det tredje er data og modeller for brukeratferd viktig for BPS, men det er mangler ved underlag og modeller for dette i dag. Det er derfor behov for utvikling av målemetoder og nye modeller.

5.3. Energieffektivisering - Industri

Industrien i Norge står for ca. 40% av energibruken. Den kraftkrevende industrien (metallindustri, kjemisk råvarer og treforedling) har blitt bygd opp mye på basis av tilgjengelighet på vannkraft, og har betydd mye for Norge som industrinasjon. Ellers er også olje- og gassindustrien og næringsmiddelindustrien store brukere av energi.

Forskningsstrategien er delt inn i metodikk, teknologikomponenter, kraftprosesser og prosessforbedringer.

5.3.1. Metodikk

Industrielle prosesser er preget av komplekse systemer for forbruk, produksjon og konvertering av energi i ulike former (kjemisk, termisk, mekanisk og elektrisk). For å forbedre energieffektiviteten er det nødvendig med metoder med en helhetlig tilnærming. *Process Systems Engineering* (PSE) og *Process Integration* (PI) inkluderer metoder og verktøy for modellering, simulering, design, optimalisering, kontroll og drift av prosessanlegg, alt fra et systemsynspunkt. PSE og PI kan derfor bli sett på som en "verktøykasse" i søket etter økt energieffektivitet. Metodikkene brukes rutinemessig i mange bransjer, men potensialet for store forbedringer eksisterer fortsatt, og det er nødvendig med en utvidelse for å analysere industrielle klynger basert på material-, energi- og eksergistrømmer. Metodikken bør videreutvikles med hensyn til bedre bruk av matematisk optimalisering.

Energiforbruk i industrien består av både varme og kraft. Siden disse energiformer har forskjellige kvaliteter og verdi, bør begrepet eksergi i større grad brukes til måling av energieffektivitet.

5.3.2. Komponenter

Varmegjenvinning i industrien krever i mange tilfeller spesialiserte varmevekslere ut fra varmekildens beskaffenhet, og i hvilken grad det er behov for å integrere varmegjenvinning i prosessens produksjonsutstyr. I prosesser for å konvertere varme på et gitt temperaturnivå til kraft, eller varme på et høyere temperaturnivå, er det behov for ulike typer komponenter som kompressorer, ekspandere/turbiner, pumper og ejektorer. Forskingen vil involvere utvikling og bruk av simuleringsprogrammer, samt å undersøke enkeltfenomener eller utprøve komponenter i laboratorier. Det er viktig å få gode beregningstekniske verktøy samt en god forståelse av materialegenskaper og materialvalg.

5.3.3. Kraftprosesser og varmepumper

Kraftproduksjon fra termiske kilder domineres av dampturbinprosesser for varmekilder med høy temperatur, som i kjernekraftverk, kull-, olje-, gass- og store biomassefyrte anlegg. For lavere temperaturer (<350 ° C) og kapasiteter (<5 MWe), så er det et stort potensial for å kunne bruke andre arbeidsmedier, f.eks. organiske arbeidsmedier. Kommersielle organiske Rankine-sykluser (ORC) har vært tilgjengelig i 25 år, og har i noe grad blitt brukt for å produsere kraft fra geotermiske anlegg, mindre biomasseanlegg og industriell overskuddsvarme.

Videre forskning vil fokusere på arbeidsmedievalg, komponentutvikling og konfigurering av kraftprosesser. Eksempler på slike prosesser er Kalina-syklusen, Stirlingmotorer, flashprosesser, transkritiske Rankine-sykluser, kraftprosesser med blandede arbeidsmedier og termoelektrisk generering.

Høykapasitets industrielle høytemperaturvarmepumper (HTHP) kan oppgradere lavkvalitetsvarme til temperaturer på 85 ° C og over, nivåer som ofte kreves i industrielle prosesser. HTHPene står overfor flere utfordringer knyttet til f.eks. smøring, miljøvennlige arbeidsmedier, materielle utfordringer ved høye temperaturer, sikkerhet og kostnad. Forskjellige HTHP-konsepter finnes, for eksempel

mekaniske dampkomprimeringssystemer (MVR), dampkompresjonsvarmepumper, enfase varmepumper (Stirling), absorpsjonsvarmepumper og kompresjonsabsorpsjonskonsepter.

5.3.4. *Prosessforbedringer*

Prosessforbedringer er et viktig alternativ for å redusere spesifikt strømforbruk. Dette kan illustreres ved et eksempel fra ferrolegeringsindustrien; ved å skifte fra åpne til semi-lukkede ovner kan avgasstrømmen bli redusert med 60%, og derved øker avgasstemperaturen fra 200 til 800 °C og forbedrer mulighetene for effektiv produksjon av kraft. I dette eksemplet er forskningsutfordringen å finne hvordan lukkingen av ovnen skal skje. Et annet eksempel er utvikling av alternative ovnsmatingsdesign for Mn og Si-produksjon for å redusere karbonforbruk og CO-utslipp. Innenfor næringsmiddelindustrien kan forbedringer gjøres ved å implementere varmepumper for å erstatte eller redusere bruk av fossilt brensel og elektrisitetsbruk i f.eks. dampbaserte prosesser.

Opptak eller overføring av overskuddsvarme fra en kilde til en energibærer er en forutsetning for all direkte og indirekte utnyttelse av spillvarme. Varmeopptaket er begrenset av utstyrskostnad, størrelse og effektivitet, varmekildens beskaffenhet, og eventuelle potensielle skadelige effekter som beleggdannelse. Forskningen skal bringe frem nye konsepter for å utnytte ulike varmekilder, for eksempel varme gasser og væsker med høy konsentrasjon av partikler, slagg, og varme metallprodukter. Plass og vekt er spesielt viktig for offshore olje- og gassplattformer, og forskningen innen dette området vil være utvikling av mer kompakte og lette prosesser for kraftproduksjon fra både naturgass og spillvarme.

5.4. Industriell økologi

Industriell økologi (IE) jobber med klima, miljø og ulike bærekrafts evalueringer på tvers av mange sektorer og dermed også de fleste av fakultetets fagområder. Forskningsaktivitetene er sentrert rundt anvendelse og utvikling av modeller og metoder for å analysere miljøkarakteristikken til ulike systemer. Disse modellene benyttes til sammenligning av enkeltteknologier via analyser og scenarier for hele segmenter og sektorer fra by-, regionale-, nasjonale- og opp til globale nivå. Metodikken som benyttes er varianter av LCA (livsløpsanalyse) og multi-regionale kryssløpsanalysemodeller (MRIO). Industriell Økologi Fagområdet er også den vitenskapelige disiplinen som støtter opp om Sirkulær Økonomien. Sentralt her er arbeidet med materialstrømsanalyser (MFA). Studier og kartlegging av de store antropogene materialsyklusene og deres dynamikk er helt sentralt innen bærekrafts forskningen.

Samlet sett så kan man si at Industriell økologi kombinerer evaluering av konsekvensene menneskelige aktiviteter har på miljøet, med modelleringen av nettverk av industrielle prosesser som utvinner og omdanner ulike ressurser for å tilby tjenester og varer i samfunnet; samt hvordan disse må endres over tid for å komme over i bærekraftige utviklingsbaner.

Det viktigste overordnede målet med forskningen er å framskaffe kunnskap for å støtte beslutninger om bærekraftige veivalg. Det være seg fra beslutninger knyttet til både operative og strategiske prioriteringer innen forskning og utvikling hele veien opp til overordnede grep innenfor klima- og miljøpolitikken nasjonalt og internasjonalt.

Industriell Økologi sin rolle i NTNU-IV sin forskningsplan er å bidra med miljø- og bærekrafts evalueringer innenfor og på tvers av fakultetets forskningsområder for å sikre at teknologiforskningen tar en miljømessig bærekraftig retning. Dette betyr å analysere enkeltsystemer og teknologier samt se på summen av flere system og teknologivalg innenfor de ulike segmenter av NTNU-IV fakultetets områder. Industriell Økologi sin vil gjennom dette bidra til å koble sammen mange ulike teknologi og

miljø utfordringer på tvers av disipliner. Dette er viktig fordi mange av våre omstillingsutfordringer må løses i samtidighet på tvers av ulike sektorer.

Industriell Økologi har inndelt sine aktiviteter i fem tematiske anvendte områder, men det jobbes naturlig nok også på tvers av disse.

De fem tematiske områder:

- Økosystemer og bioressurser i hav og på land: Adresserer økosystemtjenester, biologisk mangfold og klimaendringer, med økende samfunnsmessige krav til bioenergi, mat og biomaterialer.
- Energi, transport og forurensning: Sammenhengene mellom ulike former for energibruk, miljøbelastning og innvirkning på klimaendringer.
- Sirkulær økonomi, produksjon, materialer og ressurser: Økonomien knyttet til råvareressurser, produkter, resirkulering og miljøbelastning, for ulike scenarier for samfunnets behov for ulike varer og tilgang på kapital.
- Bærekraftig forbruk: Adresserer sammenhengen mellom produksjon, forbruk, handel og økonomisk vekst når det gjelder miljømessig bærekraft.
- Bosetninger og Infrastruktur: Sammenhengene mellom bosettingsutvikling, infrastruktur fysisk planlegging, ressursbruk og miljøutslipp.

Industriell Økologi har lenge vært i forkant med metodeutvikling og har stor fokus på dette som en premiss for å kunne levere anvendte analyser i forskningsfronten. Det sentrale her er utvikling av integrerte modellrammeverk som beskriver de fysiske sammenhengene i våre produksjonssystemer fra produkt og sektornivå opp til globalt nivå, samt deres miljøkarakteristikk. Det er derfor definert tre hovedområder for metodeutvikling:

- Utvikling av et integrert modell rammeverk: Utvikling av et integrert rammeverk for beskrivelse av de fysiske strukturene i våre produksjonssystemer fra enkeltprodukter via sektorer til globale systemer.
- Metoder for miljøeffektvurdering: Utvikling av neste generasjons metoder for evaluering av miljøeffekter på tvers av mange effekt kategorier og med fokus på spatial oppløsning.
- Digital Plattform: Utvikling av en digital plattform for effektiv integrasjon av de to punktene over.

5.5. Vannkraft

Den regulerbare norske vannkraften er ryggraden i det norske kraftsystemet. Norge har en unik situasjon gjennom at vi har en effektiv kraftforsyning med svært lave utslipp. Den fleksible vannkraften opprettholder forsynings sikkerheten i et kraftmarked med stadig mer ikke-regulerbar fornybar energi fra vind og sol, dette slår blant annet Energimeldingen fast (*Kraft til endring - energipolitikken mot 2030, Meld. St. 25 (2015-2016)*).

NTNU-IV spiller en avgjørende rolle for å levere forskning, kunnskap og innovative løsninger til norsk vannkraftsektor. NTNU er vertsinstitusjon for [Norsk Vannkraftsenter](#) og [FME HydroCen](#) (forsknings senter for miljøvennlig energi 2017-2024). Dette er en nasjonal storsatsning innen forskning hvor kraftprodusenter, leverandørindustri og forskningsmiljøer i fellesskap utvikler nye løsninger og roller for vannkraften i fremtidens energisystem. Det er en målsetting at forskningen skal føre til økt verdiskaping for næringslivet ved at forskningsresultater formidles og tas i bruk av industrien gjennom ny teknologi, nye løsninger og mer effektive metoder. Målet for HydroCen er å doble verdiskapningen av norsk vannkraft innen 2050.

NTNU-IV vil prioritere forskning innen vannkraftteknologi, med vekt på følgende områder:

- Ny teknologi for damkonstruksjoner og vannveier for å møte utfordringene med å tilpasse systemet til fleksibel drift, reguleringsregimer og klimaendringer.
- Ny teknologi for å styrke kapasiteten i vannkraftsystemer og øke fleksibiliteten i vannkraftsystemet og i vannkraftverkene.
- Nye planleggingsverktøy for oppgradering og utvidelse av vannkraftverk for å redusere investeringsrisiko i fremtidige markeder. Innovere på teknologi, system og økonomiske analysemodeller for å maksimere fortjeneste med rammebetingelser gitt av miljøkrav, krav til vannressursforvaltning og krav i ulike vanndirektiver.
- Kombinasjonen av ny kunnskap om miljøforhold, vannressursforvaltning, samfunnsinteresser og innovativ teknologi for å redusere miljøkonsekvensene, ivareta ulike brukerinteresser gjennom å optimalisere utnyttelsen av vannressursene, forbedre beslutningsprosesser og sikre videre utvikling av fornybar kraftproduksjon.

5.6. Olje og gass

Olje og naturgass er viktige primærenergikilder og som råstoff i kjemisk industri. Det globale forbruket av olje og naturgass har vært økende, og forventes fortsatt å øke. Produksjon av skiferolje og skifergass antas å få økt betydning. Det gjenværende ressursgrunnlaget for olje og naturgass er stort, og det er ikke forventet noe «peak oil» og ressursbegrenset forbruk på mange år. Dagens forbruk og spådd økning fremover av olje og naturgass, er ikke forenlig med Paris-avtalen, og en begrensning av klimaendringer til 1.5-2 °C. IEA antar likevel i sine prognoser at olje og gass fortsatt vil utgjøre en stor andel av global etterspørsel av energi selv i 2-gradersscenariet og at det er behov for utvikling av nye olje- og gassfelt for å erstatte nedgangen i eksisterende felt.

NTNU-IV vil bidra med forskning og utdanne kandidater til petroleumsvirksomheten, ut fra samfunnsoppdraget NTNU har og spesielt ut fra betydningen for norsk økonomi. NTNU-IV vil forberede seg på at aktivitetsnivået inkludert antall arbeidsplasser i norsk petroleumsvirksomhet kan bli redusert i et 10-20 års perspektiv.

Norsk naturgassproduksjon utgjør per 2017 ca. 25% av europeisk gassforsyning. Norsk naturgassproduksjon, som inkluderer både utvinning, prosessering og transport, kjennetegnes av både relativt lavt energiforbruk og lave utslipp av klimagassen metan. Norges produksjon av olje utgjør ca. 2% av global produksjon.

Petroleumsvirksomheten er og har vært svært betydningsfull i utviklingen av norsk økonomi og det norske velferdssamfunnet. Estimaten på fremtidig norsk produksjon av petroleumprodukter tilsier at det økonomiske bidraget til det norske samfunnet vil være av stor betydning i lang tid fremover. NTNU har siden den norske petroleumsvirksomheten startet opp på 1970-tallet bidratt vesentlig til verdiskapingen, både gjennom forskning og utdanning av et stort antall kandidater. Ifølge Oljedirektoratets ressursoversikt har vi hittil kun produsert 48 % av totalt forventede ressurser på Norsk Kontinentalsokkel. En videreføring av norsk petroleumsvirksomhet vil innebære store utfordringer knyttet til letevirsomhet, produksjonsteknologi og miljøhensyn. Dette innebærer at NTNU har et stort samfunnsansvar med fortsatt satsing på petroleum for at denne virksomheten skal fortsatt bidra til norsk økonomi og samfunnsutvikling i de neste ti-årene på en miljømessig skånsom måte.

Norsk petroleumproduksjon innebærer utslipp av klimagasser, både fra produksjonsprosessene, ved konvertering og i sluttbruk. I 2015 ble det sluppet ut 15 millioner tonn CO₂-ekvivalenter fra norsk

olje- og naturgassutvinning, som var 28% (15/54) av totale utslipp i Norge³³. Utslipet av klimagasser fra norsk olje- og naturgassutvinning ligger på ca. halvparten av verdensgjennomsnittet regnet per enhet oljeekvivalent. Sluttbruken av norsk olje og naturgass medfører utslipp av ca. 500 millioner tonn CO₂ per år (2016).

Norge har vært en internasjonal pioner innen CO₂-fangst og –lagring (CCS). Dette arbeidet har vært drevet hovedsakelig av industri og FoU-miljøer knyttet til petroleumsvirksomheten. Disse miljøene vil være sentrale i den videre satsing på CCS, både i Norge og internasjonalt. Kullindustrien er inne i vanskelige tider, og ser ikke ut til å være i stand til å ta ansvar for videreutvikling av CCS.

NTNU-IVs generelle strategi for petroleumsvirksomheten er å bidra til leting og utvinning av olje og gass, men samtidig satse spesielt på å minimere miljøkonsekvenser inkludert klimagassutslipp. I parallell er NTNU-IVs strategi å redusere behovet for olje og gass ved å bidra til utvikling av mer fornybar energi, energieffektivisering og generell samfunnsorganisering med mindre bruk av energi.

NTNU har i løpet av 2016 og 2017 gjennomført en oppdatering av sin strategi innen olje og gass ved BRU21. Det er gjennomført 41 møter med oljeselskaper, leverandører, organisasjoner og myndighetene for å identifisere satsingsområder. Følgende seks satsingsområder for forskning og undervisning beskrives i en egen rapport (BRU21 report³⁴):

Automatisering og digitalisering gjennom forbedrede systemer for beslutningsstøtte basert på blant annet kunstig intelligens, maskinlæring, robotteknologi, og generelt større grad av integrering av systemer langs verdikjeden og mellom ulike lokasjoner og disipliner.

Barentshavet representerer både en potensiell stor ressurs og en stor utfordring. Regionen gir spesielle utfordringer med kaldt klima og is. En rekke miljøhensyn vil vektlegges i forskningen, og med spesiell vinkling i forhold til klima, store avstander og beredskap. Forskningen omfatter forbedrede og tilpassede teknologier i hele verdikjeden; leting, boring, reservoar og produksjon. Videre vil fokus være på grunne reservoarer, flerfase strømningssikring, logistikk og energiforsyning.

Feltutbygging og områdestrategier: Forskningen vil omfatte felt- og områdeutvikling inkludert uttømmingsstrategier og flerfaglig integrasjon. Videre vil forskningen omfatte økonomibetraktninger av hele verdikjeden, håndtering av risiko og usikkerhet, bemanningsstrategier og kostnadsoptimalisering sett i relasjon til digitalisering og automatisering.

Miljøvennlig olje- og gassproduksjon: Forskningen vil omfatte integrerte systemer for miljøovervåking. Videre forskningen søke å minimalisere klimagassutslippet, samt se på teknologi og verdikjeder for storskala CO₂-fangst og –lagring, med CO₂ fra ulike kilder. Energieffektivisering av offshore produksjonsprosesser. Energiforsyning med fornybar energi fra land, samt mer effektiv elektrisitetsproduksjon på offshore installasjoner. Alternative energikilder som vindkraft og solceller, sammen med batterier, og utnyttelse av varmeenergi fra undervannskilder (subsea geotermisk energi).

Nye forretningsmodeller for produsenter og underleverandører: Forskningen vil se på integrerte samarbeidsmodeller mellom oljeselskaper og leverandører, både med hensyn til større grad av effektivitet og reduserte kostnader, håndtering av risiko og sikkerhet. Et viktig tema for nye forretningsmodeller er å se på muligheten for avkarbonisering av petroleumsprodukter, som innebærer vurdering av mulig markedsutvikling for nye energibærere og kobling til verdikjeder for CO₂.

³³ <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/klimagassn>

³⁴ <http://www.ntnu.edu/igp/bru21>

Gamle felter og avslutning av produksjon: Forskningen vil omfatte utvikling av vedlikeholdsstrategier, og teknologier og beslutningsmodeller for forlengelse av levetid. En viktig forskningsoppgave vil være å utvikle prosedyrer og teknologier for kostnadseffektiv og miljøvennlig nedstenging og opprydding av felter.

NTNU har utviklet avansert teknologi og basale kunnskaper basert på forskning innen olje og gass. Denne kunnskapen har en stor overføringsverdi til andre fagfelt og industrier. Et nylig eksempel er bruk av 4D seismikk til å analysere jordskjelv. Andre eksempler er relatert til bruk av jordvarme, kartlegging av ferskvannsreserver osv. Det er store overføringsverdier mellom forskning innen olje og gass og medisinske teknologier samt felles løsninger for beslutningstøtte»

5.7. Vindkraft

Forskningens hovedmålsetting er å utvikle kostnadseffektiv og pålitelig teknologi for å produsere elektrisk kraft fra vind i et livsløpsperspektiv. Hovedfokus er på havvind, men landbasert vindkraft er også viktig. Dette inkluderer utvikling av nye og forbedrede konsepter for fasiliteter, som består av drivverk (fra rotor til generator), bærende konstruksjon, fundament/forankringssystem, og for installering av slike fasiliteter, så vel som metoder for å evaluere slike fasiliteter i deres livsløp. Et viktig element i denne forskningen er også å bidra til utvikling av pålitelighets- og risiko-baserte regelverk for slike anlegg.

5.7.1. Vindturbin design, fabrikasjon, installering og operasjon

Dette området omfatter omforming av vind- til elektrisk energi, direkte til kraftnettet eller «lokalt» til olje og gass fasiliteter eller ander anlegg til havs. Fokus ved NTNU-IV vil på mekaniske systemer og operasjoner, mens elektriske systemer ivaretas gjennom samarbeide med Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk (NTNU-IE) ved NTNU.

Det tas sikte på å utvikle nye og effektive metoder og teknologier for å bidra til innovative og optimale løsninger for design, bygging, transport og installering av vindturbin anlegg; med spesiell vekt på økt turbin størrelse og operasjon på dypere vann. Alternative turbinløsninger (toblads og nedstrøms horisontal-akse turbiner, vertikalakseturbiner) vil bli vurdert.

For bunnfaste turbiner vil bølgekinematikk, ikke-lineær hydrodynamiske laster på grunn av brytende eller steile bølger og deres virkning; samt jord-konstruksjon interaksjon, inkludert virkningen av jorderosjon, være sentrale områder. Undersøkelsene vil bli utført basert på numeriske metoder samt modellforsøk og fullskala observasjoner.

For flytende vindturbiner, vil utvikling av forbedrede metoder for integrert dynamisk aero-hydro-servo-elastisk analyse for å bestemme lastvirkninger være sentralt. Slike metoder vil bli verifisert gjennom laboratorieforsøk og in-situ målinger. Utvikling av nye eksperimentelle metoder inngår som et mål i seg selv. Dessuten representerer forankringssystem og kraftkabler en utfordring i forbindelse med flytende turbiner særlig hvis de skal operere i relativt grunt vann.

For både bunnfaste og flytende vindturbiner vil det bli lagt vekt på å utvikle metoder for å bestemme last-virkninger i de ulike delsystemene (konstruksjon, fundament/ forankrings-system, tårn rotor-drivverk) i ulike faser – bygging, transport, installasjon - som et grunnlag for forbedret livsløpsanalyse av disse del-systemene i lys av design, drift og vedlikehold. Metoder for optimalisering av fasilitetene vil også bli utviklet.

Et annet viktig forskningsområde er utvikling av mer kostnadseffektive prosedyrer for installering av vindturbin fasiliteter, fartøy og utstyr for transport og installering samt kriterier og metoder for planlegging av transport og installering.

Samtidig med utvikling av nøyaktige metoder for dokumentasjon av fasiliteter og operasjoner vil det legges vekt på utvikling og dokumentasjon av forenklete metoder for å effektivisere (tidlige faser) i design/planleggingsprosessen og for optimalisering

5.7.2. Drift og vedlikehold av vindturbiner

Dette område omfatter utvikling av ny teknologi og metoder for kostnadseffektiv drift og vedlikehold av vindturbin fasiliteten som helhet for å opprettholde sikker kraftproduksjon; Fokus vil være på regularitet og sikkerhet i lys av svikt i rotor reguleringsystemet, skade på grunn av slitasje, utmatting; spesielt i det mekaniske anlegget i som representerer den største driftsutfordringen; samt erosjonsskade på rotorbladene.

Det vil bli lagt på driftsoppfølging basert på utvikling av metoder for tilstandskontroll og inspeksjon kombinert med bruk av prediktive metoder for systemoppførsel – av intakt og skadet system - og reguleringsteknikk; samt sensor systemer og inspeksjonsutstyr, spesielt på bruk av fjernovervåking. På grunn av vanskelig adkomst er det særlig viktig å utvikle fjernovervåking eller robotisert inspeksjon av rotorblader. Verifisering av metoder og utstyr vil foregå i laboratorier på NTNU og hos samarbeidspartnere.

Det vil bli lagt vekt på utvikling av feiltolerant regulering basert på identifikasjon og isolering av feil og initiering av nødvendig aksjon for å hindre eskalering av feilen.

Det vil bli utviklet beslutningsstøttesystem for vedlikehold og logistikk samt bevegelseskompensert system for personellaksess til turbinen samt ubemannede inspeksjonsenheter.

I samarbeide med NTNU-IE vil NTNU-IV bidra til forbedret driftskontroll i vindparker ved utvikling av et system for optimalisering av livsløpskostnader, under hensyntagen til bygge og driftskostnader samt et reguleringsystem som er basert på dynamiske modeller for variasjoner i det elektriske nettet, vind og bølge-forhold samt konstruksjonsoppførsel innen vindparken.

5.7.3. Annen fornybar havenergi

NTNU-IV vil også engasjere seg utvikling av teknologi og metoder for utnyttelse av energipotensialet i bølger og tidevannsstrøm til å produsere elektrisk kraft eller andre formål. For disse typer fornybare havenergikilder, er utfordringene når det gjelder pålitelighet og kostnader større enn for vindturbiner; særlig på grunn av påkjennningene i det mekaniske kraftomformingsystemet. Forskningen vil fokusere på utvikling av hydro-servo-elastiske numeriske modeller for prediksjon av dynamisk oppførsel, basert på en strategi som involverer en operasjons- og en «overlevelses-» modus. Potensialet for synergi ved å kombinere vindturbiner og bølgeenergi- omformere, vil også bli undersøkt.

5.8. CCS – CO₂-fangst og –lagring

CCS er et viktig tiltak for å kunne begrense utslipp av klimagasser, i tillegg til generell energieffektivisering, ulike typer fornybar energi og kjernekraft. CCS egner seg best i forbindelse med større utslippskilder; som kull- og naturgassfyrte kraftverk og en rekke industrielle prosesser som for eksempel sementproduksjon, raffinerier, kunstgjødselproduksjon, kjemisk industri og

metallproduksjon. Storskala lagring av CO₂ bør primært skje i sandsteinsformasjoner/akviferer, eller i produserende eller ferdigproduserte olje/gass-reservoarer.

Forskningen ved NTNU-IV innen CCS fokuseres på følgende områder:

Termisk kraftproduksjon med CO₂-fangst: I tradisjonell kraftproduksjon med kull, olje og naturgass, slippes CO₂ ut sammen med andre forbrenningsprodukter (avgass, eksos) med lav konsentrasjon (3-14%). Fangst av CO₂ innebærer gasseparasjon mellom CO₂ og de andre gassene ved lavt trykk, og følgelig med stort energiforbruk og stort utstyrsvolum. Utfordringen er generelt å finne teknologi og løsninger som reduserer behovet for energi til separasjon og oppkonsentrering av CO₂.

Integrasjon av CO₂-fangst i industrielle prosesser: Selv om CO₂ fra kraftverk representerer de største utslippskildene, er det en rekke industrielle prosesser med betydelig utslipp av CO₂, og i noen tilfeller med større konsentrasjon av CO₂ enn i avgasser fra kraftverk. Utfordringen forskningsmessig ligger i stor grad på prosessintegrasjon, og hvordan industrielle produksjonsprosesser skal tilpasses for å minimalisere utstyrskostnader og energiforbruk for CO₂-fangst.

Prosessintegrasjon av delprosesser i CO₂-fangst for reduksjon av energiforbruk: Reduksjon av energiforbruket for CO₂-fangst er det viktigste for å kunne redusere kostnader. I prosesser med CO₂-fangst er det typisk behov for varme på ulike temperaturnivåer. CO₂-fangst krever generelt mye varme ved relativt lave temperaturer, og denne varmen kan potensielt skaffes tilveie fra ulike delprosesser i et produksjonsanlegg.

Transport and logistikk for CO₂: CO₂ vil måtte fanges i stor skala og fra mange ulike kilder for å kunne utgjøre en betydning for klimaendringer. Generelt vil egnede lagringssteder for CO₂ være på andre steder enn der hvor CO₂ fanges inn, og følgelig er det et behov for å transportere CO₂. Økonomisk optimalisering av rørledningsnettverk og drift av dette vil være viktig. Videre vil det være viktig å finne designmetodikk for å minimalisere materialbruk og unngå korrosjon, som kan føre til rørbrudd og lekkasjer. En forskningsutfordring er god forståelse av termodynamikk og egenskaper til CO₂ i blanding med andre stoffer under varierende temperatur og trykk.

Lagring av CO₂: Norge er i en særstilling i Europa siden vi har store muligheter og god kunnskap om lagring på vår sokkel. Oljedirektoratet har estimert at vi kan lagre ca. 50 gigatonn CO₂. De årlige utslippene i Norge er ca. 50 megatonn, dvs. at vi har en lagringskapasitet som er 1000 ganger større enn våre årlige utslipp. Erfaringer fra CO₂-lagring på Sleipner og Snøhvit-feltene viser at det er vanskelig å «pakke» CO₂ tett i undergrunnen, typiske metninger av CO₂ er mindre enn 10%. Andre utfordringer knyttet til offshore lagring er identifisering av gode reservoarer der det er lett å injisere CO₂ og metoder for å oppdage eventuelle lekkasjer så tidlig som mulig.

Drift og pålitelighet for CCS-systemer: CO₂-fangst vil måtte skje fra et stort antall kilder for å kunne ha en innvirkning på klimaendringer. Det vil være snakk om flere hundre fangstanlegg bare i Europa. Det er sannsynlig at en del av fangstanleggene er tilknyttet kraftverk, og at disse kraftverkene vil operere med variabel last etter behov, og således vil over tid produsere en variabel mengde CO₂. Dette innebærer at fangstanlegg for CO₂ vil måtte operere med en variabel mengde CO₂ over tid. Lastendringer og transienter i systemene for fangst, transport og lagring må håndteres. Forskningsutfordringen er knyttet til både designmetodikk og drift for teknologier og systemer.

5.9. Termisk kraftproduksjon og kompresjon

Området omfatter termisk kraftproduksjon, med gasturbiner, dampтурbiner, motorer og utstyr knyttet til varmeoverføring som for eksempel dampkjeler. I tillegg inngår roterende utstyr i forbindelse med gasskompresjon, våtgasskompresjon og ekspandere.

Det legges vekt på beregning av ytelsesparametere i gasturbiner, kompressorer og flerfasemaskiner ved varierende driftsforhold. Optimalisering og regulering av termiske maskiner i større systemer vil være i fokus. Ytelse, forringelse og tilgjengelighet for gasturbiner vil fortsatt være et viktig tema. Våtgass- og flerfasekompresjon får økt viktighet i petroleumsindustrien fremover, og det er behov for grunnforskning for å forstå godt de fysiske fenomenene og det kreves et langsiktig utviklingsarbeid. I samarbeid med næringen (GE, ABB, Gassco, Statoil, Aker Solutions) er det investert betydelig i laboratorieutstyr for våtgass- og flerfasekompresjon ved NTNU, og dette vil være viktig infrastruktur i den videre forskning på området.

På ekspanderområdet er det fokus mot design og analyse av turbiner for nye typer arbeidsmedier, inkluderende blandinger av hydrokarboner og CO₂, for optimal omvandling av varme fra ulike kilder og temperaturnivåer til mekanisk arbeid.

Kompakte kraftprosesser er et viktig forskningsområde for den norske olje- og gassindustrien. Plass og vektbegrensninger på offshore olje- og gassinstallasjoner krever kraftprosesser med høyt effekt/vekt-forhold. Denne begrensningen sammen med kostnader relatert til CO₂ og NO_x-utslipp tilsier at kraftproduksjonsutstyr må ha lav vekt, lite plassbehov og høy virkningsgrad. Et eksempel kan være å utnytte aeroderivative gasturbiner kombinert med en kompakt dampbunnsyklus. Andre typer kraftprosesser, med alternative arbeidsmedier som for eksempel organiske medier, må vurderes. Kompakte kraftprosesser kan også få en anvendelse innen marin transport og andre områder hvor effekt/vekt-forholdet er viktig.

Integrasjon av termiske kraftprosesser med andre typer prosesser, som for eksempel prosesseringsanlegg for naturgass, oljeraffinerier, metanolproduksjonsanlegg, LNG-anlegg, CO₂-fangstprosesser, så vel som med fornybare energianlegg er et viktig område for økt energieffektivitet og minkende utslipp. Forhold knyttet til off-design drift, inkludert dellast og transienter, blir stadig vekk viktigere i og med at kraftproduksjon generelt får en økende andel uforutsigbar produksjon, slik som fra vindkraft og solceller. Den problemstillingen er også aktuell for hybridløsninger for energiforsyning til offshore olje- og gassinstallasjoner, for eksempel ved kombinasjon av gasturbiner og offshore vindparker.

Dynamisk modellering og simulering vil bli fokusert på som en metodikk, så vel som eksergianalyse, optimalisering og metoder for prosessintegrasjon. Prosesssimuleringsverktøy som skal brukes inkluderer blant andre Thermoflow, EBSILON Professional, Aspen HYSYS, Aspen Plus, gPROMS, EES, Dymola og MATLAB.

5.10. Forbrenning

Forskning innen forbrenning fokuserer både på grunnleggende aspekter av turbulente strømmen, turbulent forbrenning og forbrenningsinstabilitet med sikte på nåværende og fremtidige lavemissionsgasturbiner og motorer for kraft og transport, samt anvendelse innenfor kjeler og ovner, forbrenning av alternative drivstoff i gasturbiner (naturgass og hydrogen, oxy-fuel forbrenning, ammoniakk) og motorer (maritime drivstoffer, naturgass og hydrogen, og avgassrensing). Sikkerhetsaspekter er vektlagt knyttet til forbrenning av alternative drivstoff i både gasturbin og motor.

NTNU-IV har opparbeidet sterk eksperimentell kompetanse innen avansert laserdiagnostikk, inkludert 3D-tidsbestemte målemetoder basert skanning og tomografisk PIV for å studere turbulens, tomografisk avbildning av flammer og høyhastighets planlegge fluorescensmetoder for den grunnleggende studien av flamme-turbulens-interaksjoner og flamme-struktur. Vi har ulike unike laboratorieskala annulære forbrenningsrigger for gassturbiner, hvorav noen finansieres gjennom ECCSEL-infrastrukturen, for å studere selvstendige og asimulert tvunget forbrenningsinstabilitet. Under utvikling er også en forbrenningsmotorlaboratorium med avansert LED-basert måleteknikk som tidligere ikke har vært brukt i optiske stempelmotorer.

Eksperimentelt arbeid utføres i samarbeid med teoretisk utvikling, numeriske simuleringer som stokastiske modeller, RANS, URANS, LES og DNS innen NTNU og med verdensledende forskergrupper. En viktig del av forskningsarbeidet fremover vil involvere bruken av superdatamaskin for utvikling og bruk av simuleringstøytøy. Det vil videre være fokus på modellutvikling for turbulens- kjemi interaksjon, såkalt mikromiksing, avgassreduksjon med primær fokus på nitroser gasser (NO_x) og dannelse av sotpartikler. Vi gjennomfører også forskning rundt brenselfleksibilitet («fuel flexibility») og andre nye gassturbin- og motor konsepter, inkludert plasmaforbrenning og lav-utslipp forbrenningsteknologier.

En viktig oppgave er å kombinere 2. lovs-analyser med modeller for turbulent forbrenning. Dette vil være en forlengelse av den konvensjonelle 2. lovsanalysen (eksergi) av termokjemiske prosesser. Modellering av entropiproduksjon i turbulent strømning med kjemiske reaksjoner, gir et detaljert bilde av hvordan energikvalitet reduseres i forbrenningsprosesser.

5.11. Bioenergi og biodrivstoff

For bioenergi er forskningsstrategien knyttet til total virkningsgradøkning for varmeproduksjon, kraftproduksjon og drivstoffanvendelser, gjennom følgende:

- Forbedre driftsbetingelsene i forbrenningsanlegg for biomasse og organisk avfall ved forbedrede brenselegenskapene til biomasse med torrefaction (lavtemperatur pyrolyse) i kombinasjon av pelletering og bruk av tilsetningsstoffer. Dette kan bidra til økt driftsmessig tilgjengelighet og vil redusere miljøskadelige utslipp.
- Videreutvikling og optimalisering av små og mellomstore forbrenningsanlegg for biomasse, egnet for norske forhold.
- Bidra til en utvikling av bærekraftig og sikker bruk av biodrivstoff i både veitransport, sjøtransport og lufttrafikk. Forskingen ved IV-fakultet fokuserer på termisk konvertering (gassifisering, pyrolyse etc.) av biomasse som produksjonsprosess for drivstoff, samt på sluttbruk av biodrivstoff i forbrenningsmotorer som beskrevet over.

Forskning innen bioenergi og biodrivstoff fokuserer både på grunnleggende aspekter av flerfase strømmer (gass-partikkel strømmer) ved bruk av modellutvikling, numeriske analyser og detaljerte eksperimentelle målinger (for eksempel TGA/SDT/DSC), samt adresse praktiske utfordring knyttet til økt bruk av såkalt vanskelig biomasse (bi-produkt fra skog-, landbruk- og fiskerinæring, avfall etc.) som tjæredannelse i gassifisering av biomasse ved bruk av avansert laboratorieinfrastruktur, for eksempel gjennom NTNU-IVs involvering av nasjonale insentiver som NorBioLab. Spesiell fokus vil være på økt forståelse av dannelsen og begrensning av utslipp av NO_x og ultrasmå partikler, samt økende bekymring knyttet til toksisitet relatert til partikkeldannelse spesielt fra biodrivstoff. For eksperimentell aktivitet er et nytt forbrenningsmotorlaboratorium tatt i bruk, og dette vil være viktig i videre forskning. Bruk av forskningsinfrastruktur for uttesting innen maritime anvendelser vil også være tilgjengelig innen maritimt energilaboratorium/laboratorium innen marin teknikk.

Prosessintensivering for å øke virkningsgraden i konverteringsprosesser vil bli vektlagt, som torrefaction, eller gassifisering og pyrolyse for å bidra til høy drivstoffkvalitet – 2. generasjons og avansert biodrivstoff. Generelt vil dette kunne dreie seg om å redusere vesentlig dimensjonene i slike reaktorsystemer, ved å utnytte potensialet for bedre masse- og varmeovergang. Dette kan føre til at drivstoffer kan produseres med betydelig mindre energibruk, og også redusert risikonivå i produksjonsprosessen. Videre er det også et mål å kunne lage væskeformige drivstoff direkte ved pyrolyse, slik at det kan benyttes direkte i kraft- og varmeproduksjon, men også i forbrenningsmotorer.

5.12. Solenergi

Solenergi er den primære direkte energikilden for jorden. NTNU-IV vil fortsette å ta del i forskning om høsting og omdanning av direkte solenergi til nyttige formål.

Solenergi er forbundet med produksjon av elektrisitet (Photo Voltaics, PV) og med termisk energi (oppvarming og kjøling). Den termiske energidelen spenner over et stort spekter av anvendelser; fra lavtemperatursystemer (kjøling) til middels temperaturvarme (komfortoppvarming i bygninger) og til høy-temperatur industriell varme, inkludert termisk kraftproduksjon.

Fokusområdet for solforskningen ved NTNU-IV vil hovedsakelig være på solvarmeenergi i det bebygde miljøet. Det vil være to hovedretninger for forskningen: 1) solenergi som en komponent i bygningers energisystem og 2) varmelagringsmetoder.

1) Fremtidens bygninger forventes å ha energiinnsamlingsflater, både for generering av elektrisitet (PV) og for varmtvann, romoppvarming eller kjøling. En gitt bygning eller samling av bygninger vil da trenge optimalisering av solenergi som en komponent, både aktiv (for eksempel varmepumpe eller kjøling) eller passiv (varmeabsorberende flater). For NTNU-IV er denne forskningen knyttet til den pågående FME ZEN (The Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities). Hovedaktiviteten vil være å integrere solenergi og solbaserte energibærere i bygningers energisystemer og implementere modeller for varmegevinst fra solstråling til simuleringsverktøy for kjøling og oppvarming av bygninger.

2) Energilagringsteknologi er nødvendig for å levere energi basert på etterspørsel, også for energikilder som er naturlig variable (solstråling, vind). Elektrisitet kan lagres i batterier og varme kan også lagres i varmbatterier. Varmtvannstanker er eksempler på varmelagringsenheter, og vann er et utmerket varmelagringsmedium for lavtemperaturvarme (under kokepunktstemperatur for vann). Det som mangler i boliger er varmbatterier for middels temperaturer (ca. 200 grader) for matlaging og steking. Slike varmelagringsenheter kan være nyttige for bygninger både med og uten tilknytning nett for elektrisitet.

Nettilknyttede bygninger

Lagringsenheter for kjøkkenet kan gi bedre energioptimalisering, ved at ovner kan lades ved hjelp av varmeelementer på tider med lav strømpris (f.eks. på natt). Hvis elektrisk varmelagringsenheter i hvert hjem kan fjernstyres (for eksempel av en nettoperatør), kan dette åpne for nye kontrollelementer i et smart elektrisitetsnett. Driften av elektrisitetsnett blir mer utfordrende når energiproduksjonen skifter fra noen store leverandører (sentrale kraftprodusenter) til mange spredte mindre tilbydere (enkelte hus, vindturbiner).

Bygninger uten nettilknytning

Varme til matlaging er en utfordring i bygninger uten nettilknytning. Det er ikke en optimal løsning å designe et elektrisk batteri for å gi den høye effekten som trengs for en kort periode med matlaging.

Et varmebatteri kan da være nyttig, hvor selv små energistrømmer kan akkumuleres for å gi den høye temperaturvarmen som trengs for matlaging. Energistrømmene kan være fra både direkte varmeinnsamling (solkonsentratorer med varmesløyfer) og fra elektrisitet, inkludert overflødig elektrisitet, som kan være tilgjengelig etter elektriske batterier i systemet er fulladet (fri kapasitet fra vindturbiner eller PV-paneler). Forskingen vil fokusere på varmelagringsmetoder basert på latente varmesystemer (saltblandinger), varmesystemer med termisk stratifisering og adsorpsjonskjølesystemer.

5.13. Fjernvarme og fjernkjøling

Fjernvarme- og fjernkjølesystemer er en nødvendig del av energisystemet og kommer til å ha en viktig rolle i fremtiden spesielt innen konseptet 'smarte byer'. Systemet benytter energi som oftest ellers vil gå til spille, og kan få en viktig rolle for energilagring. Norge har hatt den største prosentvise utviklingen i fjernvarme i de siste årene i Europa. For at fjernvarme skal kunne basere seg på hovedsakelig fornybar energi, må det skje en utvikling, som i det følgende er forklart.

Fremtidens fjernvarme- og kjølesystemer vil baseres på fornybar energi fra sol, spillvarme og geotermisk energi og avfallsforbrenning. Dette vil innebære at mange enkeltvise systemer leverer varme til et sentralt system. Et slikt system kalles distribuert, siden det ikke er én felles sentral, og heller ikke en felles eier. I denne nye situasjonen vil en bygning være i stand til å opptre som både bruker og leverandører på en og samme tid. Den nåværende teoretiske grunnlaget og metoder for energisystemer er basert på antakelsen om sentralisering av kildene. De gjeldende teorier tar ikke høyde for toveisstrømmer og integrert styring mellom sentraliserte og distribuerte systemer. I tillegg er det slik at i et vannbasert energisystem så har sentralen et naturlig monopol. Derfor kan det være utfordrende å integrere disse nye distribuerte kildene i systemet.

En viktig utfordring å jobbe med fremover, er for at eksisterende modeller for inntekts- og kostnadsfordeling ikke er felles for energiforsynings- og behovside, og dermed ikke fullt ut støtter målet om minst mulig miljøfotavtrykk.

Strategien er å utvikle modeller som beskriver grensesnittet mellom energiforsyning og behov i et fjernvarmesystem, og som også integrerer distribuerte varmekilder. Forbedring i grensesnittene vil muliggjøre bedre kontroll og integrasjon av fornybare energikilder og spillvarme inn i fremtidens energisystemer. Begrepet forbedret grensesnitt kan forklares via «harde» og «myke» problemstillinger som dekker følgende:

-«Harde» problemstillinger: nettstrukturer for fjernvarme, tekniske krav til abonnentsentraler og bygninger, og tilkoblingsprinsipper for desentraliserte energikilder.

-«Myke» problemstillinger: teknisk og økonomisk modellering av distribusjonssystemet, optimalisering mellom forsyning og behov, nye og integrerte styringskonsepter, utfordringer ved endring fra eksisterende fjernvarmenett til lavtemperaturnett, og nye pris- og forretningsmodeller.

5.14. Geotermisk energi

Forskningsstrategien innen geotermisk energi (geotermi) er fokusert på høsting av termisk energi fra dype brønner (typisk >1 km dyp) og foredling av denne til elektrisk kraft og/eller utnyttelse i form av varme. Det globale potensialet for denne fornybare energikilden er tilnærmet uendelig (15 mill. ganger verdens samlede energiforbruk), og det tekniske potensialet for elektrisk kraftproduksjon er også over det dobbelte av dagens totale energiforbruk.

For geotermiske systemer som høster varme fra fast fjell (Konstruerte Geotermiske Systemer, KGS) vil være vil naturlige sprekkeformasjoner og de termiske egenskapene til fjellet danne grunnlag for

optimalisering av brønntutformingen ('varmeveksleren') for optimal utnyttelse og levetid for brønnen. Norge har unik kompetanse innen presisjons brønnboring fra offshore-virksomheten, som kan utnyttes i utforming av dype geotermiske brønner. Fokus for forskningen vil være optimal utnyttelse av brønnen kombinert med effektive systemer for kraftgenerering og/eller varmeproduksjon, samt integrasjon av slike systemer i større varmedistribusjonssystemer, f.eks. fjernvarme.

Hydrotermale systemer, der energien i naturlig forekommende vannreservoarer, ofte under svært høye trykk og temperaturer, gir høy energitetthet, men har en rekke utfordringer knyttet til vannkjemi, materialkompatibilitet, energihøsting og -omvandling mv., som vil representere sentrale forskningstema. Integrasjon med, og utvikling og optimalisering av systemer for kraftgenerering fra slike vil også være et viktig fokusområde.

5.15. Hydrogenteknologi

Hydrogen sees på som et aktuelt alternativ for storskala energiekspert på lang sikt, med Japan som viktigste interessent på mottakersiden i første omgang. Med hydrogen som energibærer, kan så vel fossil som fornybar energi eksporteres i ett og samme system, noe som Norge med sine naturressurser kan dra fordel av. Kombineres reformering av naturgass med CO₂-fangst og lagring, kan hydrogenet fra begge kilder anses som utslippsfritt med hensyn til klimagasser.

Hydrogen kan også bidra til redusert karbonavtrykk i mer tradisjonelle naturgassanvendelser, som kraft- og varmeproduksjon, ved å blande inn hydrogen i naturgassrørledninger (opp til 5 til 15% volum). Som et alternativ til flytendegjøring av ren hydrogen er det mulig å benytte hydrogenbærere (ammoniakk, metanol, og andre) for lagring, distribusjon og transport. Et eksempel på dette potensialet: Ammoniakk (NH₃) gjøres flytende for lagring og transport med avkjøling til -33 ° C ved atmosfæretrykk. I tillegg så har hydrogen mange anvendelser som råstoff i ulike typer industri.

For å oppnå tilfredsstillende energi- og kostnadseffektivitet i en slik hydrogenkjede, må flere teknologier effektiviseres og/eller oppskaleres fra dagens nivå. For hydrogenproduksjon fra naturgass finnes det i dag følgende teknologier: Dampreformering av metan og skift-reaksjoner for konvertering av metan til hydrogen, aminrensing av syntesegassen for CO₂-fangst, og trykksvingsadsorpsjon for hydrogenrensing. For hydrogenproduksjon fra fornybar kraft er det alkalisk elektrolyse med påfølgende kompresjon av hydrogenet. For den kryogene flytendegjøringsprosessen brukes det en standard Claude-type prosess.

NTNU-IV skal bidra til utvikling av teknologi og metoder for å produsere, lagre og transportere hydrogen. Forskning og utdanning innen hydrogenteknologi skal etableres, og det skal samarbeides tett med forskningsinstitutter og industri. Ved bruk av avansert laboratorieutstyr og modeller kan prosessdesign og –simuleringer av avanserte systemer i verdensklasse videreutvikles for produksjon og flytendegjøring av hydrogen i Norge.

5.16. Sikkerhet og pålitelighet i energi-systemer

Fremtidens energiløsninger og systemer vil bli gjenstand for økt digitalisering og automatisering, og systemene vil i større grad operere autonomt. I dette ligger et stort potensial for økt effektivitet og høyere driftssikkerhet. Tilgang på data fra stadig mer avanserte systemer for tilstandsovervåkning, kan brukes til å optimalisere planer og gjennomføring av påkrevd vedlikehold og utvikle bedre modeller for å forespeile oppetid, levetid og tilgjengelighet. Modeller som kan forespeile utvikling av feil blir viktigere slik at uforutsette driftsavbrudd kan reduseres. Samtidig vil nye måter å operere på kunne introdusere ny risiko for skade på spesielt miljø og kritisk infrastruktur, og det er viktig å utvikle strategier for å avdekke denne risikoen og identifisere risikoreducerende tiltak. Automatiske

systemer installert for å overvåke og respondere på farlige hendelser vil være viktig for å hindre eskalering av hendelser, men krever samtidig nye filosofier, gjerne med inspirasjon fra prosessindustrien og undervannsteknologi, for utforming og implementering må utvikles slik at den påkrevde integriteten blir ivaretatt.

Potensialet ny teknologi gir i form av økt effektivitet og høyere utvinning lar seg vanskelig å utnytte fullt dersom en mangler overordnede prosesser for integrering av disipliner og for å spesifisere krav til teknologien utfra et livssyklusperspektiv. Et viktig startpunkt er identifisere overordnede krav som er knyttet eksempelvis til bærekraftighet, oppetid, og sikkerhet, etc., og hvordan ulike disipliner må koordinere sine aktiviteter for å oppnå disse innenfor rammer av kostnader og ressurser. Krav som gjelder spesielle faser slik som installasjon, oppstart, nedkjøring, intervensjon, og nødsituasjon må defineres. Implementering av systemtekniske analyser i betydning «systems engineering» vil derfor være sentralt for å ivareta en sikker og effektiv implementasjon av teknologi og samhandlingsformer.

Arbeidsgruppen bak denne rapporten

Følgende har bidratt i arbeidet med å lage dette dokumentet:

Navn	Institutt/firma	Faggruppe
Olav Bolland (sekretær)	Energi- og prosesseteknikk	
Johan Hustad	NTNU	Tematisk satsingsområde Energi
Hans Martin Mathisen	Energi- og prosesseteknikk	Energiforsyning og klimatisering
Trygve Eikevik		Industriell prosesseteknikk
Anders Strømman		Industriell økologi
James Dawson		Strømningsteknikk
Terese Løvås		Termisk energi
Kristian Lien		Fornybar energi
Torgeir Moan	Marin teknikk	Marine Konstruksjoner
Eilif Pedersen		Marine Systemer
Krishna Panthi	Geovitenskap og petroleum	Ingeniørgeologi og bergmekanikk
Martin Landrø		Geofysikk
Ole Torsæter		Reservoarteknikk og petrofysikk
Randi Kalskin Ramstad		Reservoarteknikk og petrofysikk
Sigve Hovda		Brønnkonstruksjon og produksjonssystemer
Michael Muskulus	Bygg- og miljøteknikk	Marin byggteteknikk
Oddbjørn Bruland		Vassdragsteknikk
Jianying He	Konstruksjonsteknikk	Konstruksjonsmekanikk
Mary Ann Lundteigen	Maskinteknikk og produksjon	RAMS
Anne Barros		RAMS
Inger Andresen	Samarbeidende fakulteter	Arkitektur og design (AD)
Sigurd Skogestad		Naturvitenskap (NV)
Arne Nysveen		Informasjonsteknologi og elektroteknikk (IE)
Asgeir Tomasgard		Økonomi (ØK)
Anne Karin Hemmingsen	SINTEF	
Frank Børre Pedersen	DNV GL	
Jostein Pettersen	Statoil	
Brynhild Totland	Energi Norge	