# Fra ambisjon til gjennomføring

NTNU og SINTEFs
faglige råd til COP31

COP31 TÜRKİYE ANTALYA

NTNU SINTEF

ISBN 978-82-14-08549-5

# Innhold


Fra ambisjon til gjennomføring . . . . . 4
Anbefalinger for årets forhandlinger . . . . . 5
Et utvalg globale SINTEF- og NTNU-prosjekt . . . . . 6

1. Raske utslippskutt . . . . . 8
Kortlevde klimadrivere . . . . . 10
Langlevde klimagasser - $SF_6$ og HFK . . . . . 11

2. Ren energi . . . . . 12
Strømforsyning og energisystem . . . . . 14
Batterier . . . . . 15
Sol . . . . . 16
Landvind . . . . . 17
Havvind . . . . . 18
Vannkraft . . . . . 19
Bioenergi . . . . . 20
Energisikkerhet og beredskap . . . . . 21

3. Industriomstilling mot netto null . . . . . 22
Energieffektivisering i industrien . . . . . 24
Hydrogen . . . . . 25
Karbonfangst og lagring (CCS) . . . . . 26

4. Karbonfjerning . . . . . 28
Tre alternative teknologier . . . . . 30

5. Mat, materialer og sirkulære verdikjeder . . . . . 32
Sirkulær bioøkonomi . . . . . 34
Matsystemets rolle . . . . . 35
Sirkulære materialstrømmer og avfallshåndtering . . . . . 36
Mineraler og kritiske råmaterialer . . . . . 37

6. Klimarobuste samfunn . . . . . 38
Klimanøytrale og energieffektive bygg og byer . . . . . 40
Maritim transport . . . . . 41
Bærekraftig kjøling . . . . . 42

7. Rettferdig omstilling og samarbeid med land i utvikling . . . . . 43

# Fra ambisjon til gjennomføring

**Nils Røkke og Asgeir Tomasgard**

*Den første globale gjennomgangen av Parisavtalen (Global Stocktake) var tydelig: Verden vet i stor grad hva som skal til for å kutte utslippene, og mange av teknologiene finnes allerede. Likevel går omstillingen for sakte.*

Selv om fornybar kraft og energieffektivisering har vokst raskt, er avstanden mellom klimamålene og utslippsutviklingen fortsatt stor. Stadig flere mennesker får tilgang til energi og bedre levekår, og det globale energibehovet vokser. Fornybar energi må dermed dekke ny etterspørsel og erstatte fossile kilder på samme tid, og det gjør omstillingen mer krevende.

Utslippene må ned i dette tiåret, samtidig som vi må tilpasse oss til klimaendringene vi allerede ser. Det krever store endringer i hvordan vi produserer og bruker energi og ressurser. Jo lenger vi venter, desto dyrere og vanskeligere blir omstillingen.

Forskning og innovasjon er avgjørende, men teknologi alene kutter ikke utslipp. Vi må investere målrettet i det som har effekt, og løsningene må tas i bruk. Noen teknologier kan rulles ut i stor skala i dag, mens andre må videreutvikles og demonstreres. Vi må også bli bedre til å spre og ta i bruk løsninger som allerede virker. Det krever kapital, kompetanse og virkemidler som reduserer risiko og får fart i implementeringen.

For beslutningstakere er spørsmålet derfor like mye hva som skal til for å ta teknologiene raskere i bruk, som hvilke teknologier som trengs. Da må politikken se klima, natur, energisikkerhet og konkurranse-kraft i sammenheng. Tiltak som bidrar til flere av disse målene, vil ofte være lettere å gjennomføre. Målene kan også trekke i hver sin retning, blant annet i bruken av nettkapasitet, kraft og areal. Gode beslutninger forutsetter derfor kunnskap om konsekvensene av ulike valg og om hvilke tiltak som gir størst samlet nytte.

NTNU og SINTEF samarbeider tett med nærings-liv og myndigheter i Norge og internasjonalt om å utvikle og demonstrere løsninger innen energi og industri. Gjennom dette arbeidet ser vi både hvor teknologien er moden, hvor det fortsatt finnes kunnskapshull, og hvilke barrierer som står i veien for raskere gjennomføring. Som Norges største universitet og et av Europas største uavhengige forskningsinstitutter har NTNU og SINTEF et bredt strategisk utsyn. Vi ser behov og løsninger på tvers av sektorer, og vi ser at tidsperspektivene krymper: Løsninger vi tidligere regnet som langsiktige, trengs nå i løpet av få år.

Derfor bør COP31 bli et toppmøte for gjennom-føring. Vi vet mye om hva som må gjøres, og mange av løsningene finnes. Nå handler det om å øke tempoet og ta løsningene i bruk. Det vil lønne seg å redde kloden slik vi kjenner den.

# Anbefalinger for årets forhandlinger

## 1. Akselerer raske utslippskutt dette tiåret

Gjennomføring av Parisavtalen krever tiltak som gir raske og målbare utslippsreduksjoner. Utslipp av kortlevde klimadrivere som metan og langlevde fluorinerte klimadrivere som $SF_6$ og HFK må reduseres parallelt med $CO_2$-utslippene for å begrense oppvarmingen på kort sikt.

## 2. Fremskynd omstillingen til rene, robuste og tilgjengelige energisystemer

Utbygging av fornybar energi må kombineres med styrkede strømnett, energilagring, fleksibilitet, energieffektivisering og tiltak for energisikkerhet. Teknologiutvikling og systemintegrasjon er avgjørende for å sikre både utslippskutt og forsyningssikkerhet.

## 3. Styrk industriomstillingen mot netto null

Industrien trenger forutsigbare rammevilkår som stimulerer investeringer i energieffektivisering, hydrogen, karbonfangst og -lagring og andre lavutslippsløsninger. Demonstrasjon, oppskalering og internasjonalt samarbeid må prioriteres høyere.

## 4. Utvikle løsninger for varig karbonfjerning

Karbonfjerning vil være nødvendig i tillegg til dype utslippskutt. Forskning, pilotering og etablering av robuste systemer for måling, rapportering og verifisering må prioriteres for å sikre klimamessig effekt og tillit.

## 5. Bygg sirkulære og ressurseffektive verdikjeder

Klimaomstillingen må sees i sammenheng med ressursbruk, naturhensyn og forsyningssikkerhet. Ressurseffektivitet, avfallsforebygging, sirkulære materialstrømmer, sirkulær bioøkonomi, bærekraftige matsystemer og tilgang på kritiske materialer er sentrale innsatsområder.

## 6. Invester i klimarobuste samfunn

Klimatilpasning må integreres sterkere i planer for energi, transport, bygg og byutvikling. Samfunn må rustes mot økende klimarisiko samtidig som utslippene reduseres.

## 7. Styrk rettferdig omstilling og samarbeid med land i utvikling

Klimaomstillingen må bidra til lokal verdiskaping, kompetanseutvikling og energiutvikling. Likeverdige partnerskap innen forskning, utdanning, teknologi-utvikling og innovasjon er avgjørende for å lykkes globalt.

## 8. Gjør forskning, innovasjon og høyere utdanning til en integrert del av gjennomføringen

Gjennomføring av Parisavtalen krever mer enn politiske målsettinger. Forskning, teknologiutvikling, innovasjon og kompetansebygging må anerkjennes som grunnleggende forutsetninger for å utvikle, implementere og skalere løsningene som trengs.

# Et utvalg globale SINTEF- og NTNU-prosjekt



## 1. Brasil, Spania og Canada

**Prosjekt: InterOpt**

SINTEF og NTNU med partnere, utvikler optimaliseringsmodeller for fornybar-bransjen globalt. InterOpt skal sammen med partnere i Brasil, Spania og Canada forske på hvordan maskinlæringsmetoder kan optimalisere produksjon av fornybar energi i de ulike markedene.

## 2. Nepal

**Prosjekt: EnergizeNepal**

Forskere fra NTNU og SINTEF har gjennom flere tiår hjulpet nepalske myndigheter og fagpersoner med å utvikle bærekraftig vannkraft. EnergizeNepal er et kompetansebyggende prosjekt for å oppskalere fornybart i Nepal.

## 3. India

**Prosjekt: INDEE+**

INDEE+ har som mål å få kjøle og klimaanleggsektoren i India til å bruke mer miljøvennlig teknologi. NTNU leder og SINTEF er forskningspartnere i prosjektet.

## 4. Sørøst-Asia

**Prosjekt: OPTOCE**

Gjennom prosjektet har SINTEF bidratt til å redusere tilsiget av plast-forurensning til verdenshavene gjennom å etablere en sirkulær verdikjede hvor plast samles og brukes som innsatsfaktor i sementindustrien.

## 5. Europa

**Prosjekt: F-MAP**

F-MAP utvikler et modellverktøy med åpen kildekode som skal hjelpe industri og myndigheter med å sammenligne ulike måter å kutte utslipp av fluorholdige gasser (F-gasser) fra kjøling, klimaanlegg og varmepumper på. SINTEF leder prosjektet, som skal teste verktøyet i casestudier i fire land på tre kontinenter.

## 6. Europa

**Prosjekt: MISSION**

MISSION er et EU-prosjekt som utvikler tre SF6-frie strømbryterteknologier for mel-lom- og høyspenning. Prosjektet inkluderer 12 partnere fra 9 europeiske land, og ledes av SINTEF.

## 7. Kina

**Prosjekt: CHEERS**

EU-prosjektet CHEERS, som ble ledet av SINTEF, har vi vært med på å bygge verdens største grønne forbrenningsanlegg (4 MW) som utnytter metoden kjemisk sirkulasjonsforbrenning (CLC). $CO_2$-fangst inngår som en naturlig del av forbrenningen og blir derfor nær 70 prosent billigere enn andre fangstmetoder.

## 8. Afrika

**Prosjekt: OpenMod4Africa**

Det EU-finansierte prosjektet OpenMod4Africa, skal bidra til bærekraftige, pålitelige og konkurransedyktige energisystemer i Afrika, og er ventet å ha en betydelig innvirkning på kontinentets fremtidige energilandskap. Prosjektet har som mål å utvikle regional kompetanse, et sett av åpne modeller og scenarier for langsiktig utvikling av energisystemet i 26 land i Afrika. Prosjektet ledes av SINTEF.

# 1



# Raske utslippskutt

# Hvorfor dette er viktig

Klimaomstillingen handler ikke bare om å redusere utslipp fram mot 2050. Like viktig er det å oppnå raske reduksjoner i utslipp som påvirker den globale oppvarmingen på kort sikt. Verden opplever allerede økt hyppighet av ekstremvær, økende temperaturer og betydelige konsekvenser for natur, samfunn og økonomi. Tiltak som kan redusere oppvarmingen de neste tiårene er derfor avgjørende for å holde målene i Parisavtalen innen rekkevidde.

Mens $CO_2$ forblir den viktigste drivkraften bak langsiktige klima-endringer, finnes det også en rekke klimagasser og andre klimadrivere med langt sterkere oppvarmingseffekt på kort sikt. Metan og andre kortlevde klimadrivere, og langlevde klimadrivere, $SF_6$ og fluorholdige gasser HFK, står samlet for en betydelig del av dagens oppvarming. Mange av disse utslippene kan reduseres raskt med eksisterende teknologi, bedre reguleringer og mer effektiv overvåking. Tiltak på disse områdene vil gi raskere og målbare klimaeffekter.

For å lykkes må det internasjonale samarbeidet styrkes. Bedre måling, rapportering og verifikasjon av utslipp, internasjonale standarder og teknologiutvikling vil være sentrale verktøy. Utslippene oppstår i ulike sektorer og verdikjeder, men felles for dem er at de representerer noen av de mest kostnadseffektive og raskeste mulighetene verden har til å begrense oppvarmingen fram mot 2035.

# Kortlevde klimadrivere

**NTNU: Anders Strømman**
**SINTEF: Julian Straus, Rahul Anantharaman, Gunhild Reigstad, Øyvind Skreiberg**

Kortlevde klimadrivere er gasser og partikler som påvirker klimaet over relativt korte tidsperioder, fra dager til noen få tiår, men som likevel har stor effekt på klimaet. Selv om de har kortere levetid i atmosfæren enn $CO_2$, bidrar de betydelig til dagens oppvarming. Metan er den viktigste av disse gassene og står alene for rundt 0,5 °C av den observerte globale oppvarmingens[1]. Fordi metan brytes ned raskere enn $CO_2$, kan utslippskutt gi raske klima-effekter.

Noen partikler, som sulfater og nitrater, kjøler ned atmosfæren ved å reflektere sollys. Andre, som svart karbon (sot), gir oppvarming, særlig når de legger seg på is og snø og reduserer refleksjon av sollys. Gasser som metan ($CH_4$), nitrogenoksider ($NO_x$), flyktige organiske forbindelser (NMVOC) og karbon-monoksid (CO) bidrar til dannelse av bakkenær ozon ($O_3$) som er en kraftig klimagass.

Utslippene kommer fra energiproduksjon, transport, industri, avfallshåndtering og forbrenning av fossile og fornybare brensler. For metan er de viktigste kildene landbruk, avfall og fossil energiproduksjon. Reduksjon av utslippene kan gi raske gevinster for både klima, helse og miljø, men det trengs bedre kunnskap om utslippskilder, overvåking og effekter.

Tiltakene må spenne bredt, fra energieffektiv forbrenning og renere teknologi i transport og industri, til bedre avfallshåndtering og redusert bruk av fossile brensler. For metan er reduksjon av lekkasjer fra olje- og gassvirksomhet et av de mest kostnadseffektive tiltakene,[2] og mye kan løses med teknologi som allerede finnes. Samtidig må kunnskap og overvåking styrkes. Vi trenger bedre data for å forstå hvor utslippene kommer fra og hvordan de påvirker klima og helse. Det er også avgjørende at klimamodeller inkluderer både oppvarmende og kjølende drivere for å gi mer presise framskrivninger.

## Hva bør gjøres?

- Gjør «Global Methane Pledge» forpliktende og etabler en nullvisjon for tekniske utslipp.
- Reduser metanutslipp fra olje og gass gjennom overvåking, rapportering og beste tilgjengelige teknologi.
- Bruk avgifter og regulering slik at utslipps-reduksjoner blir mer lønnsomme enn utslipp.
- Etabler klare krav og tiltak som reduserer menneskeskapte utslipp av kortlevde klimadrivere.
- Invester i forskning, overvåkingsløsninger og klimamodeller som inkluderer både oppvarmende og kjølende drivere.
- Utvikle teknologi som kan håndtere metan fra lavkonsentrasjonskilder.

# Langlevde klimagasser - $SF_6$ og HFK

**NTNU: Kaveh Niayesh, Frank Mauseth**
**SINTEF: Nina Støa-Aanensen, Petter Nekså, Kristina N. Widell**

$SF_6$ er den sterkeste klimagassen vi kjenner til med 24 300[3] ganger så høyt globalt oppvarmingspotensial (GWP) som $CO_2$ og en levetid i atmosfæren på minst 1000 år. $SF_6$ er brukt i nesten alle elektriske koblingsanlegg (effektbrytere, gassisolerte koblingsanlegg, kabelendemuffer etc.) på distribusjons- og transmisjonsnivå (mellom- og høyspenning). Etter hvert som verden elektrifiseres, ventes strømnettet globalt å mer enn dobles innen 2050[4]. Hvis denne utbyggingen skjer med dagens teknologi, kan mengden installert $SF_6$ mangedobles, og utslippene øke tilsvarende. Målinger i atmosfæren viser at både den totale mengden $SF_6$ og utslippene per år øker[5].

En annen gruppe, HFK gassene, kan ha $GWP_{100}$ verdier opp mot 15 000 som for HFK-23. Gassene benyttes i stor utstrekning i klimakjøling og varmepumper. Utslippskutt og overgang til alternative gasser kan derfor bidra sterkt til å redusere klimapåvirkningen på kort- og lang sikt.

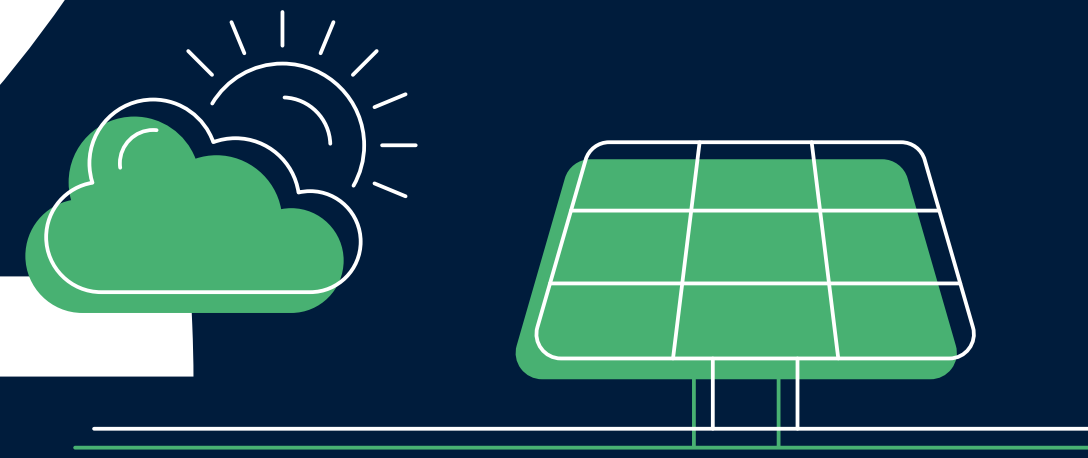
Et elektrisk koblingsanlegg har en typisk levetid på 30-40 år, så det er viktig å både erstatte $SF_6$ i eksisterende anlegg der dette er mulig, og å hindre nye anlegg i å bli installert. Samtidig må man være sikker på at alternativ teknologi klarer å kontrollere kraftnettet på en sikker måte. Forskning på hvordan man kan bruke alternative gasser i nye koblingsanlegg eller til 'retrofill' av eksisterende $SF_6$-fylte anlegg er svært viktig for å få fortgang i avviklingen av $SF_6$, i parallell med en opptrapping av global $SF_6$-reguleringing. Rapportering av bruk av $SF_6$ i forsvarsindustri og forskning på egnede alternativer må også til for å få en helhetlig oversikt over bruk og utslipp av $SF_6$.

HFK-gasser dekkes av den globale Montreal Protokollen som opprinnelig kontrollerte ozon nedbrytende gasser, men et tillegg i avtalen, det 10 år gamle Kigali amendment, bidrar til en gradvis nedfasing i bruk av de sterke drivhusgassene. Det er utviklet alternative fluorinerte gasser med kort levetid og dermed lav drivhuseffekt. Utvikling av teknologiske alternativer basert på gasser som naturlig forekommer i biosfæren, naturlige kuldemedier, og konvertering til disse er derfor viktig. Spesielt er det viktig å bidra til at fattige land som er i sterk vekst og har stort behov for kjøling, får tilgang til slik teknologi.

## Hva bør gjøres

- Sett en global tidslinje for å fjerne $SF_6$ fra nye og eksisterende elektriske anlegg.
- Innfør global rapporteringsplikt og krev registrering av anskaffelser, bruk og utslipp av $SF_6$ i alle sektorer, inkludert forsvar.
- Innfør et globalt forbud mot overlagte utslipp av $SF_6$ fra elektriske anlegg under drift, vedlikehold og ved dekommisjonering. Innfør enhetlige avgifter globalt.
- Øk forskningen på nye teknologier som kan erstatte $SF_6$ i elektriske anlegg på alle spenningsnivå, inkludert 'retrofill'-løsninger.
- Sett krav om at erstatningene for de sterke HFK klimagassene skal være naturlige kuldemedier uten langsiktige miljøkonsekvenser. Dette bør skje gjennom EU sin F-gass forordning og kommende restriksjoner på utslipp og bruk av PFAS.
- Incentiver teknologioverføring og bistand som bidrar til overgang mot bruk av naturlige kuldemedier i lav- og mellominntektsland (LMIC).

# 2



# Ren energi

# Hvorfor dette er viktig

Klimaomstillingen forutsetter rask utbygging av utslippsfri energi. Samtidig øker etterspørselen etter elektrisitet som følge av elektrifisering av industri, transport og andre deler av samfunnet. For å nå målene i Parisavtalen må kraftproduksjonen av fornybar energi økes betydelig, samtidig som strømforsyning og energisystemene må bli mer fleksible, robuste og effektive.

Sol, landvind, havvind, vannkraft og bioenergi vil spille ulike, men komplementære roller i fremtidens energisystem. Økt innslag av variabel kraftproduksjon gjør det nødvendig å investere i strømnett, energilagring, fleksibilitet og nye energibærere som hydrogen. Evnen til å integrere disse løsningene på en kostnadseffektiv måte vil være avgjørende for både utslippsreduksjoner og energisikkerhet.

Energiomstillingen handler derfor ikke bare om å produsere mer fornybar energi, men om å utvikle energisystemer som kan levere sikker, rimelig og bærekraftig energi til samfunn over hele verden.

# Strømforsyning og energisystem

**NTNU: Magnus Korpås, Pedro Crespo del Granado**
**SINTEF: Erlend Sandø Kiel, Maren Istad**

Med økende elektrifisering, står både Europa og verden overfor betydelige utfordringer med å sikre en motstandsdyktig, fleksibel og bærekraftig strømforsyning. Strømnettet vil være ryggraden i fremtidens energisystem og det vil kreve storstilte investeringer og modernisering for å klare å tilknytte store mengder fornybar- og distribuert kraftproduksjon samt nytt elektrisitetsforbruk i industri, transport og andre sektorer, som tiltak for å redusere klimagassutslippene.

Det globale energisystemet blir mer komplekst med fornybare energikilder, digitalisering og nye aktører som fleksibilitetsleverandører og lokale energisamfunn. Forsinket nettutbygging og mangel på nettkapasitet kan bremse overgangen til lavutslippssamfunnet, og true oppnåelsen av klimamålene. Alt i alt fører nye trusler og påkjenninger, økt kompleksitet, usikkerhet og uforutsigbarhet til et forsterket behov for økt motstandsdyktighet i energisystemet.

Løsningen ligger i et smartere, mer fleksibelt og robust strømnett. Digitalisering og automatisering gjør det mulig å overvåke og styre nettet i sanntid. Ved hjelp av sensorer, datadrevne beslutnings-systemer og kunstig intelligens kan vi optimalisere driften, forebygge feil og øke kapasiteten uten store fysiske utbygginger. Det er også nødvendig å utvikle bærekraftige nettkomponenter som koblingsanlegg, kabler og transformatorer som tåler fornybar energi-produksjon og batteriladning samt mer ekstremvær. Produksjonen av disse må skje med lavere bruk av kritiske råmaterialer.

## Hva bør gjøres?

- Invester i smarte nett og ta i bruk fleksibilitet i produksjon, forbruk og energilager. Prioriter forskning og utvikling på digitale og automatiserte løsninger og bruk av fleksibilitet for rask kapasitetsøkning og reduserte naturinngrep.
- Gå over til mer fleksibel, risikobasert nettdrift som utnytter kapasiteten bedre og gir en bedre balanse mellom forsyningssikkerhet og kostnader.
- Gi forbrukere, produsenter og lokalsamfunn insentiver til å bidra med lokal produksjon og fleksibilitet for strømnettet.
- Utvikle regelverk og prissignaler som reflekterer reelle kostnader, rettferdig fordelt, som bidrar til en bedre utnyttelse av strømnettet.
- Sikre pålitelig grensesnitt mellom strømnett og andre deler av energisystemet.

# Batterier

**NTNU: Odne Stokke Burheim, Ann Mari Svensson**
**SINTEF: Fride Vullum-Bruer, Ingeborg Kaus, Paul Inge Dahl**

Batterier er en nøkkelteknologi i overgangen til et lavutslippssamfunn og en forutsetning for et robust og fleksibelt energisystem. Investeringene i batterier og energilagring er i dag høyere enn noen gang, drevet av behovet for å elektrifisere transport, integrere mer fornybar energi og styrke energisikkerheten. Batterier bidrar til utslippsfri transport, balanserer kraftsystemet ved å lagre energi når produksjonen fra vind og sol er høy, og leverer strøm når behovet er størst. Ifølge COP29-anslag må den globale batterikapasiteten seksdobles fra 2022 til 2030 for å støtte elektrifiseringen[6].

Batterier spiller også en stadig viktigere rolle for samfunnssikkerhet og beredskap. De kan sikre strømforsyning til kritisk infrastruktur ved brudd i nettet, styrke lokale energisystemer og redusere sårbarheten i kraftsystemet. I tillegg brukes batterier til frekvensregulering og reduksjon av effekttopper, som igjen kan begrense behovet for ny nettutbygging – særlig i områder med begrenset kapasitet. Batterier vil også være avgjørende for energilagring i mikronett i lav- og middelinntektsland for tilgang til stabil og pålitelig energi.

Forskning og utvikling må prioriteres for å forbedre dagens litium-ion-teknologi og utvikle neste generasjons batterier, som natrium-ion, faststoff- og resirkulerbare systemer. Nye teknologier må være tryggere, mindre ressurskrevende og basert på tilgjengelige, ikke-kritiske råmaterialer.

Europa har forsøkt å bygge opp en konkurransedyktig batteriindustri, men utviklingen har gått sakte på grunn av høye kostnader, lang reguleringsprosess og sterk priskonkurranse fra Asia. Skal Europa lykkes med å bygge en strategisk batteriverdikjede som styrker både grønn omstilling, industriell konkurransekraft og beredskap er raskere tillatelser, stabile rammevilkår og målrettede insentiver avgjørende. Tettere samarbeid mellom forskningsmiljøer, industri og myndigheter, både nasjonalt og nordisk, kan bidra til å bygge opp en konkurransedyktig og bærekraftig batterisektor i tråd med EUs grønne industripolitikk.

## Hva bør gjøres?

- Reduser karbonfotavtrykket gjennom å stille globale krav om lavutslippsproduksjon og minst mulig naturinngrep i hele batteriverdikjeden.
- Prioriter mer bærekraftige Li-ion-løsninger, nye batterikjemier, nye batteriteknologier og bedre resirkulering.
- Etabler sertifiseringer for klima- og miljøavtrykk, materialopprinnelse og resirkuleringsandel.
- Forenkle tillatelser og finansieringsordninger slik at nye bedrifter raskere kan starte produksjon.
- Styrk insentiver og virkemidler for felles forsknings- og industriprosjekter.
- Anerkjenn batterier som kritisk infrastruktur for energiomstilling, energisikkerhet og samfunnsberedskap.

# Sol

**NTNU: Steve Völler**
**SINTEF: Gaute Stokkan**

Solenergi vokser raskt globalt og er nå den største kilden til investeringer i ny kraftproduksjon. Teknologien er skalerbar, rimelig og fleksibel, men det er behov for bærekraftige løsninger, effektiv arealbruk og utvikling av flere regionale verdikjeder. I dag er de globale investeringene i solceller større enn alle andre genererings-teknologier til sammen[7], og er ventet å bli den største bidragsyteren til fornybar elektrisitet i 2028[8]. Solceller vil i likhet med all fornybar energi trenge mye areal. I dag er det beregnet at 2,2 prosent av Europas totale areal kan brukes til energiproduksjon fra sol og vind, og kun 0,2 prosent av dette er solceller på hustak[9]. En rask skalering av solkraft vil derfor kunne skape areal-konflikter.

Teknologien har et stort materialbehov, og etter hvert som eldre solpaneler fases ut, vil volumet av avfall øke. Dette gjør sirkularitet og resirkulering avgjørende for en bærekraftig verdikjede. Å sikre lokal produksjonskapasitet er et viktig politisk og sikkerhetsmessig mål for å unngå at enkelte land og regioner får monopol. En styrket europeisk verdi-kjede der nasjonale og regionale styrker utnyttes, vil være avgjørende for å bygge en bærekraftig og motstandsdyktig solenergisektor.

Silisium vil trolig forbli hovedmaterialet i solceller i overskuelig framtid, men videre forskning på kombinasjoner med andre materialer, såkalte tandemsolceller, er nødvendig for å øke virknings-graden og åpne nye bruksområder. I tillegg må solpaneler designes for resirkulerbarhet, slik at materialene kan brukes på nytt og miljøbelastningen reduseres.

I tillegg til grep knyttet til energilagring og nettverk, er det viktig å utvikle digitale løsninger som kan forutsi variasjonene i forsyningen fra forskjellige typer solanlegg for best mulig integrering. Her blir det vesentlig å utnytte mulighetene som utviklingen av kunstig intelligens har gitt oss.

## Hva bør gjøres?

- Bruk lovverk og insentiver for rask utrulling av solceller på tak og fasader.
- Utvikle solanlegg med todelt arealbruk (for eksempel kombinasjon av sol og landbruk) for å redusere arealkonflikter.
- Design paneler for resirkulerbarhet og bygg en sirkulær verdikjede for sol.
- Gjenoppbygg europeisk solindustri for å redusere avhengigheter og global dominans fra enkeltland.
- Etabler felles insentiver og standarder på tvers av land.
- Utvikle lagringsløsninger, digitale styrings-systemer og prognoseverktøy.
- Prioriter utvikling av silisiumbaserte tandem-celler for høyere virkningsgrad.

# Landvind

**NTNU: Trond Kvamsdal,**
**SINTEF: Gard Hansen, Konstanze Kölle,**
**Markus Peter First**

Landvind kan bidra med store mengder fornybar kraft raskt og kostnadseffektivt. Tilgang på nok kraft er avgjørende for både utslippskutt, elektrifisering og industriutvikling. I mange land er landvind en sentral del av energiomstillingen og energisikkerheten, og teknologien står allerede for en betydelig del av verdens fornybare kraftproduksjon[10]. Men utbygging, drift og avslutning må ta hensyn til natur, arealbruk, lokalsamfunn og et kraftsystem i endring. Økt elektrifisering i industri, transport og petroleumssystemer presser fram behovet for mer kraft og mer fleksibilitet, samtidig som geopolitisk uro og mer sårbare forsyningskjeder gjør tilgang på komponenter, reservedeler og digitale tjenester mer usikre.

Areal og natur er en knapp ressurs. Strengere krav knyttet til naturmangfold, utslipp og arealbruk, kombinert med økende konfliktnivå i konsesjonssaker, kan forsinke eller stoppe prosjekter. Derfor trenges det virkemidler og prosesser for sosial aksept og redusert konfliktnivå (involvering, konsesjonsprosesser, kompensasjons-/finansieringsordninger). Skal landvind bidra til energiomstillingen i nødvendig omfang, må utbyggingen skje på en måte som ivaretar både naturverdier og lokale interesser. Bedre planlegging, målrettede avbøtende tiltak og løsninger for tilbakeføring og gjenbruk av arealer er nødvendig.

Behovet for overvåking, datainnsamling og fjernstyring gjør at digitalisering og cybersikkerhet blir en integrert del av areal- og naturforvaltningen. Digitale løsninger gir bedre kunnskap om påvirkning på natur og dyreliv, mer effektiv drift og bedre utnyttelse av anleggene.

Oppgradering av eksisterende vindparker kan gi mer kraft med mindre naturinngrep enn ny utbygging. Oppgraderinger krever mindre nytt areal, øker effektiviten og utnytter eksisterende infrastruktur. Oppgradering krever både teknologiutvikling for å øke levetid, sikre påliteligheten for komponenter og tilgang til data.

## Hva bør gjøres

- Innfør arealplanlegging og prosjektering som balanserer teknisk-økonomiske interesser, samfunnsfaktorer og natur.
- Lag insentiver for å øke levetid og pålitelighet for komponenter i vindparkdrift (inkl. kabler, kabelskjøter, trafostasjoner/trafoer og andre «svake ledd») og komponenter i vindturbinene (tilgang til data og skadeinformasjon fra produsentene).
- Etabler system- og nettilknytning som reduserer sårbarhet (kraftoverføring/transmisjon, flaskehalser, samspill med øvrig kraftsystem).
- Prioriter avvikling og sirkularitet i landvind (decommissioning, riving, gjenbruk/resirkulering, krav og ordninger for tilbakeføring).

# Havvind

**NTNU: Trond Kvamsdal, Michael Muskulus, Erin Bachynski**
**SINTEF: Gard Hansen, Konstanze Kölle, Hagbart Skage Alsos**

Havvind har et enormt globalt potensial og kan bli en sentral bærebjelke i framtidens fornybare energisystem. Teknologien kan produsere store mengder utslippsfri kraft, men krever forutsigbare rammer, industriutvikling og tett samarbeid mellom myndigheter, forskning og næringsliv. Havvind utgjør i dag en liten del av verdens totale vindkraft-kapasitet, men potensialet er enormt og mange ganger større enn dagens globale strømforbruk[11]. Havvind kan bygges nær store befolknings- og industrisentre og gir ofte færre konflikter og mindre miljøpåvirkning enn vindkraft på land.

Flytende havvind er fortsatt på et tidlig utviklings-stadium og dyrere enn bunnfast teknologi, men potensialet er stort. Rundt 80% av verdens havvind-ressurser ligger i områder med så dypt vann at de krever flytende løsninger. Kostnadene vil gå ned gjennom læring, innovasjon og oppskalering når det legges til rette for å bygge mer flytende havvind. For å realisere planene for havvind må også kraft-systemet tilpasses. Nye overføringsforbindelser må bygges ut, både til havs og til lands, slik at havvind kan integreres med andre fornybare energikilder, lagringsteknologi som batterier og hydrogen og vannkraft.

En helhetlig og forsterket satsing på forskning, innovasjon og utdanning er en forutsetning for å lykkes med ambisjonene innen havvind. Kunnskap, ny teknologi, effektive løsninger og arbeidskraft med den riktige kompetansen er helt sentrale suksesskriterier. Ledende europeiske forsknings-institusjoner har i samarbeid med store industri-selskaper pekt på to forskningsområder som er særlig viktige[12]; flytende havvind og storskala integrasjon av havvind i kraftsystemet. Visjonen er at havvind vil være en bærebjelke for det fremtidige energisystemet, utviklet med respekt for naturen og samfunnet, og for å gi velstand med ren og rimelig energi for alle.

## Hva bør gjøres?

- Innfør årlige utlysninger av nye havvindområder for å sikre stabile rammer for industrien.
- Inkluder forpliktelser om forskning, utvikling og kompetansebygging i lisens- og støtteordninger.
- Pålegg utbyggere å gjøre innsamlede data tilgjengelige for forskning og videre teknologi-utvikling.
- Bygg ut tilknytning både til havs og på land for effektiv integrering av havvind med vannkraft, hydrogen og annen fornybar energi og lagring.
- Etabler rammeverk for langsiktige investeringer i nødvendig infrastruktur som havner, kabler og servicefartøy.
- Utvid NSEC-samarbeidet for koordinert utvikling av havvind og tilhørende havnett.

# Vannkraft

**NTNU: Tor Haakon Bakken, Leif Lia**
**SINTEF: Atle Harby**

Vannkraft er den viktigste kilden til fornybar energi globalt og vil få en stadig større rolle i framtidens energisystemer. Etter hvert som vind- og solkraft bygges ut, øker behovet for fleksibel og regulerbar energi. Mange vannkraftverk i Europa og Nord-Amerika er aldrende og bygget etter eldre standarder. Det er behov for omfattende oppgradering og modernisering for å sikre fremtidig drift, fleksibilitet og miljøhensyn. Samtidig må nye tiltak balanseres mot natur- og lokalsamfunns-hensyn.

Det er ingen andre fornybare teknologier enn vannkraft som er så fleksibel og regulerbar og som samtidig har stor lagringskapasitet til en akseptabel kostnad. Med en massiv overgang fra fossile kilder til vind- og solkraft i strømnettet, vil det være et stort behov for balansering og lagring av energi på tidsskalaer som går fra sekunder til dager, uker og sesong. Dette må utvikles basert på analyser av kraftnettet, tilpassing av markedsmodeller og optimal produksjonsplanlegging.

Pumpekraft representerer i dag 94 prosent av all energilagring i strømnettet med en kapasitet på over 200 GW, og det er store muligheter for å utvide denne kapasiteten betraktelig (IHAs "2025 World Hydropower Outlook" viser at over 600 GW med pumpekraft er under utvikling). Utvidelser kan skje både gjennom å bruke eksisterende vannmagasiner utstyrt med pumpekraft, og gjennom bygging av nye magasin, gjenbruk av gruver, bruk av havet som nedre magasin og flere andre innovative løsninger. Pumpekraft kan bidra med alt fra "black start" og frekvensregulering til lagring av vann og energi i dager og uker. Det er vesentlig at innføring av pumpekraft i eksisterende magasin ikke forverrer miljøforholdene. Det er også behov for gode regulatoriske forhold rundt pumpekraft for å sørge for at samfunnsnyttige prosjekter blir gjennomført på balansert vis i forhold til arealbruk og lokale hensyn.

Disse tiltakene vil til sammen bidra til å gjøre vannkraften mer bærekraftig og øke den sosiale aksepten. Modernisering kan gi betydelig økt effektinstallasjon (økt kapasitet), mer fleksibel drift og bedre utnyttelse av energilagring. I tillegg må moderniseringen bidra til gode miljøtiltak som to-veis vandringsløsninger for fisk, slipp av miljøbaserte vannføringer og andre tiltak for å bedre økologisk tilstand i regulerte elver. Samtidig ser vi at vannkraftmagasin og regulerte vassdrag også kan bidra med et økende behov for andre samfunns-nyttige tjenester, slik som flomdemping, jord-vanning, vannforsyning, navigasjon og rekreasjon.

## Hva bør gjøres?

- Utvikle løsninger som gir mer regulerbar effekt og økt mulighet for energilagringsamtidig som miljøforholdene forbedres.
- Modernisere og bygge om eksisterende anlegg til pumpekraft for å styrke lagring og system-balansering.
- Invester i forskning på turbiner, styringssystemer og digital drift.
- Dokumenter effekter på økosystemer og utvikle og integrere moderne miljøtiltak i oppgraderingene.
- Styrke og vise vannkraftens rolle for andre samfunnstjenestere som flomdemping, vannforsyning og reakreasjon.

# Bioenergi

**NTNU: Marcos D.B. Watanabe, Raquel S. Jorge**
**SINTEF: Kathrin Weber, Øyvind, Skreiberg, Michaël Becidan, Judit Sandquist, Morten Seljeskog**

Bioenergi utgjør et sentralt, men underutnyttet element i overgangen til et fornybart energisystem. Den kan erstatte fossile råstoff i kjemisk industri, levere karbon til metallproduksjon og bidra til utslippskutt i transportsektorer der elektrifisering er vanskelig – som luftfart og langdistanse sjøfart.

Bioenergi kan avlaste kraftsystemet ved hjelp av fjernvarme, nærvarme, vedfyring, og bidra til mer diversifiserte energikilder og styrke nasjonal energi-sikkerhet. Bioenergi er også sentral for utvikling av karbonfjernings-teknologier (CDR) som blir stadig viktigere for å begrense global oppvarming. Kombinasjonen av bioenergi og karbonfangst og -lagring (BECCS) har potensial til å levere negative utslipp i stor skala, fordi den utnytter fornybare biomasseressurser samtidig som den permanent fjerner $CO_2$ fra atmosfæren.

Biokull spiller også en avgjørende rolle i grønn metallindustri, der karbon er nødvendig i reduksjonsprosesser som produksjon av silisium, mangan, titan og krom. Etablering av bærekraftige produksjonskjeder for biokull vil styrke forsynings-sikkerheten, redusere utslipp og bevare industri-arbeidsplasser i Europa.

Bioenergi gir ikke bare varme og strøm, men også tilgang til karbon og hydrokarboner – grunnstoffer og byggesteiner som industrien er avhengig av for å gjennomføre det grønne skiftet. Utvikling av slike verdikjeder kan redusere avhengigheten av fossile råstoff, styrke sirkulærøkonomien og skape ny industriell verdiskaping.

## Hva bør gjøres

- Etabler strategier for moderne bioenergi som anerkjenner dens rolle i energiomlegging, karbon-fjerning (CDR) og beredskap,
- Legg til rette for lokal utnyttelse av avfall og sidestrømmer (greiner og topper, returtrevirke, fiskeslam, m.m.) fremfor eksport, gjennom insentiver, regulering og bedre logistikk.
- Bygg ut fjernvarme og andre bioenergiløsninger for å avlaste strømnettet og redusere sårbarheten i varmemarkedet.
- Øk forskningsinnsatsen på bioenergi, inkludert digitalisering og bruk av kunstig intelligens for optimalisering av verdikjeder.
- Utvikle industriell produksjon av bærekraftige biodrivstoff (inkludert SAF og fornybare, lavkarbon drivstoff for maritim transport) og biobaserte kjemikalier som grunnlag for ny verdiskaping og styrket nasjonal beredskap.

# Energisikkerhet og beredskap

**NTNU: Magnus Korpås**
**SINTEF: Erlend Sandø Kiel**

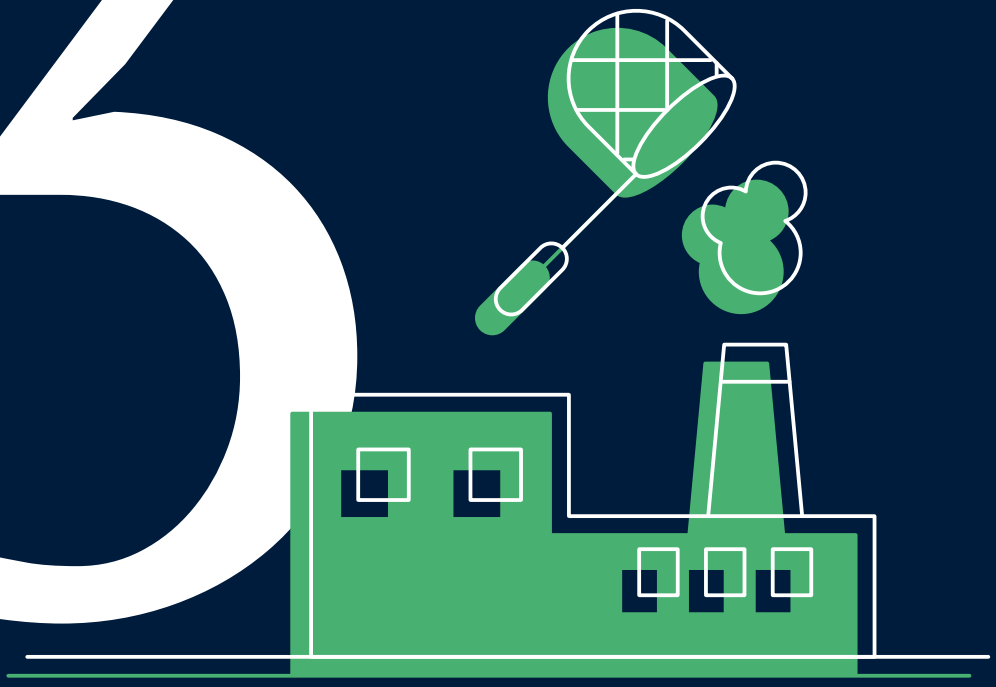
Energisystemet spiller en sentral rolle både i det daglige liv og i totalforsvaret for eksempel gjennom vekselvirkninger med infrastruktur for veg, bane, luftfart, vannforsyning og kommunikasjon. Tradisjonelt har energisystemet vært utviklet med fokus på kostnadseffektivitet, forsyningssikkerhet og i økende grad klima- og natur. Når vi tidligere har snakket om resiliente eller motstandsdyktige energisystemer, har vi gjerne tenkt på evnen til å håndtere menneskelige feil eller komponentutfall som følge av værhendelser. I dag må vi i tillegg forholde oss til bevisste angrep – og til at ulike hensyn kan være både sammenfallende og motstridende. For eksempel kan effektivisering av kraftnettet komme i konflikt med behovet for skjerming ved tilsiktede hendelser, eller øke kompleksiteten i systemet. Samtidig kan desentraliserte løsninger basert på fornybare energikilder bidra til å øke motstandsdyktigheten til energisystemet.

Selv om oppmerksomheten rettes mot akutte og synlige trusler, må ikke klima- og naturrisiko skyves i bakgrunnen. De utvikler seg parallelt og truer med å utløse eller forsterke humanitære, politiske og økonomiske kriser på tvers av regioner. Derfor er det viktigere enn noen gang å bygge integrerte og avkarboniserte energisystemer som reduserer utslipp og styrker vår motstandsdyktighet.

## Hva bør gjøres

- Øk investeringer til forskning på fysisk og digital energiinfrastruktur, autonome og distribuerte energisystemer og samspillet mellom sivile og militære behov.
- Avdekk hvordan trusler som hybride aksjoner, sabotasje, terror og i verste fall krig, bør påvirke design og drift av energisystemene. Tiltak mot tilsiktede trusler, vil også gi økt motstandsdyktighet mot utilsiktede hendelser som naturkatastrofer og ulykker.
- Identifiser hvordan problemer i én sektor kan spre seg til andre og hvordan effekten av dette kan forutses, forebygges og reduseres i kriser.
- Etabler reparasjonsberedskap og øv på gjenoppretting av energiforsyningen etter ulike hendelser. Øv på scenarier, inkludert desentraliserte løsninger i samarbeid med flere sektorer.
- Bygg opp lagre av kritisk utstyr og sikre tilgang til leveranse- og verdikjeder og teknologiske ressurser både nasjonalt og gjennom strategiske partnerskap. Kartlegg avhengigheter til utenlandske leverandører og vurder muligheter for nasjonal produksjon av kritisk utstyr.
- Bygg kompetanse på risiko- og resiliensanalyser i integrerte energisystemer slik at beredskapstiltakene sikrer energiforsyningen til kritiske funksjoner i samfunnet.

# 3



# Industriomstilling mot netto null

# Hvorfor dette er viktig

Industrien står for en betydelig andel av verdens energibruk og klimagassutslipp, samtidig som den produserer materialene og produktene som samfunnet er avhengig av. Omstillingen til et lavutslippssamfunn krever derfor at industrien både reduserer egne utslipp og utvikler nye løsninger som muliggjør utslippskutt i andre sektorer.

Mange industrielle prosesser er vanskelige å elektrifisere, og det finnes ofte ingen enkeltteknologi som kan løse utfordringen alene. Energieffektivisering, karbonfangst og lagring, nye innsatsfaktorer og sirkulære karbonstrømmer vil derfor være viktige byggesteiner i en konkurransedyktig industri med lave utslipp.

Industrien er samtidig avgjørende for verdiskaping, arbeidsplasser og økonomisk utvikling. En vellykket industriomstilling må derfor kombinere utslippsreduksjoner med innovasjon, konkurranse-kraft og bærekraftig ressursutnyttelse. Dette krever forutsigbare politiske og økonomiske rammer over lange tidshorisonter, siden industrielle investeringer bindes over flere tiår. Uten slike rammer, og uten beskyttelse mot utflagging, vil bedriftene ikke investere i grønn omstilling og risikoen er at produksjon flyttes til regioner med svakere klimakrav.

# Energieffektivisering i industrien

**NTNU: Armin Hafner, Thomas Alan Adams II**
**SINTEF: Petter Røkke, Petter Nekså, Kristina N. Widell**

Økt energieffektivitet er det første og viktigste tiltaket i enhver dekarboniseringsstrategi. Den reneste og rimeligste energien er den som ikke produseres. Økt effektivitet i industriell produksjon og nye metoder for gjenvinning av energien som blir til overs, er noe av det viktigste vi kan gjøre for at industrien skal kunne utnytte energiressursene enda mer effektivt og dermed også redusere klimaavtrykket, nasjonalt og internasjonalt. Den økningen vi ser innen digital prosessering og utnyttelse av kunstig intelligens har ført til en enorm vekst innen etablering av nye datasentre, som bruker mye kraft – og hvor all kraft i prinsippet blir til varme, lavtemperatur overskuddsvarme. På global basis etableres selvstendige gasskraftverk for slik industri som både gir store utslipp, samt at overskuddsvarmen ikke utnyttes.

Tiltak for å utnytte overskuddsvarme mer effektivt gir både bedriftsøkonomisk og samfunnsmessig gevinst, spesielt med den store veksten innen nye datasentre. Men mange energieffektive teknologier har høye utviklings- og investeringskostnader. Derfor trengs økonomiske insentiver som gjør det lønnsomt for industrien å velge langsiktige løsninger fremfor kortsiktige gevinster. Det må også satses videre på forsknings-, innovasjon- og industriprosjekter som utvikler energieffektive prosesser, komponenter og systemer samt sirkulærøkonomi, inkludert industrielle klynger, varmepumpeteknologier og varme-til-kraft prosesser for å kunne realisere det potensialet som vi vet eksisterer.

## Hva bør gjøres?

- Etablere krav til industrien om å identifisere og prioritere tiltak som gir bedre utnyttelse eller energibesparelser, dette gjelder spesielt for ny industri – da med tanke på lokalisering og dermed integrering i energisystemet for utnyttelse av overskuddsvarme.
- Oppdater og ta i bruk dokumenterte løsninger for energieffektivisering på tvers av sektorer.
- Utnytte muligheten for utveksling av energi- og materialstrømmer ved etablering og videre-utvikling av industriklynger.
- Støtt innføring av ny teknologi og prosesser som øker effektiviteten og reduserer utslipp i Norge, samt bidra til teknologiutvikling og -overføring til LMIC land.
- Legg til rette for at lavutslipps- og energi-effektive teknologier kan konkurrere med fossile alternativer, samt like vilkår for utnyttelse av forskjellige energibærere (strøm og varme).
- Prioriter forskning og utvikling av nye teknologier og komponenter for optimal ressursbruk, eksempelvis høytemperatur varmepumper som kan erstatte fossile innsatsfaktorer og varme-fangst integrert med CCS.
- Etabler strategier for klimanøytral industri gjennom tett samarbeid mellom kunnskapsmiljø, næringsliv, myndigheter og energiselskaper.

# Hydrogen

**NTNU: Frode Seland**
**SINTEF: Nils Røkke, Steffen Møller-Holst, Kyrre Sundseth, Stefania Gardarsdottir**

Hydrogen brukes i dag i industrielle prosesser som produksjon av ammoniakk, kunstgjødsel, raffineri og kjemikalieproduksjon. Fremover kan hydrogen bidra til å redusere utslipp i sektorer der elektrifisering er krevende, blant annet metallproduksjon og andre høytemperaturprosesser i industrien og i deler av transportsektoren.

For å klare overgangen til et fornybarsamfunn, må vi både ta i bruk hydrogen i nye sektorer og avkarbonisere dagens hydrogenproduksjon. I dag produseres det meste av verdens hydrogen fra fossile kilder, noe som medfører betydelige $CO_2$-utslipp. Hydrogen kan bli en nøkkel til lavere $CO_2$-utslipp dersom vi etablerer rammeverk som gjør det konkurransedyktig mot fossile alternativer. Det krever både karbonprising, reguleringer og støtteordninger for å skape etterspørsel.

Etter hvert som andelen vind- og solkraft øker, blir hydrogen avgjørende for å lagre overskuddsenergi og sikre stabil tilgang på energi når produksjonen fra fornybare kilder varierer. Hydrogen kan også gi store gevinster gjennom sektorintegrasjon der produksjon, lagring og bruk samles i geografiske klynger (Hydrogen Valleys). Slike løsninger gir skala-fordeler, reduserer kostnader og øker konkurranse-evnen.

Strenge krav til utslippsintensitet vil sikre at hydrogen utvikles i takt med fornybar energi og hindrer at løsningen blir en ny kilde til utslipp. Det krever koordinert innsats mellom myndigheter, industri og forskningsmiljøer, samt klare prioriteringer og krav til lønnsomhet og bærekraft.

## Hva bør gjøres?

- Bruk karbonprising og reguleringer for å gjøre det dyrere å forurense, samtidig som støtteordninger for oppskalering av utslippsfri hydrogen-produksjon styrkes.
- Arbeid for en felles internasjonal klassifisering av hydrogen basert på livssyklusanalyser (LCA). Dette gir et transparent og sammenlignbart grunnlag for handel og investeringer.
- Etabler overgangsordninger, inklusive offentlig finansiering, som fremmer oppskalering og etterspørsel i en tidlig markedsfase. Fjern regulatoriske barrierer og støtt etablering av nasjonale og internasjonale markeder og geografiske økosystemer som for eksempel Hydrogen Valleys.
- Gi insentiver til bruk av beste tilgjengelige teknologi ved utvinning, transport og bruk av naturgass og hydrogen, for å minimere klimaeffekter.
- Styrk samarbeidet med land som ønsker rask implementering av hydrogen gjennom bilaterale avtaler om handel, kombinert med forskning og teknologinøytral utveksling.
- Implementer grensejusteringsmekanismer som CBAM for å sikre konkurransekraft for omstilt industri og forhindre utflagging til områder med lavere utslippskrav.
- Prioriter utvikling av kostnads- og energieffektive elektrolyseteknologier, alternative lavkarbon-produksjonsteknologier, nye løsninger for transport, lagring og sluttbruk, og sikkerhet og bærekraft langs hele verdikjeden.

# Karbonfangst og lagring (CCS)

**NTNU: Philip Ringrose**
**SINTEF: Mona Mølnvik**

CCS omfatter teknologi for å fange $CO_2$, transportere den og lagre den trygt i geologiske formasjoner. Ifølge IPCC er CCS nødvendig i nesten alle scenarier som når klimamålene i Paris-avtalen. CCS er den eneste teknologien som kan dekarbonisere enkelte industrier, som sement- og kalkproduksjon, avfallsforbrenning og noen av prosessene for metallproduksjon. I sektorer som er krevende å dekarbonisere (f.eks. aluminium), vil CCS være avgjørende for å kunne oppnå netto null innen 2050.

CCS er også en helt nødvendig løsning for å kunne produsere rent hydrogen fra naturgass, såkalt blått hydrogen eller lavkarbon hydrogen. Permanent lagring av $CO_2$ kan bidra til å realisere hydrogeninfra-strukturen på en kostnadseffektiv måte, som igjen vil støtte overgangen til en fornybar energifremtid. CCS kan også brukes til fangst etter forbrenning ved gasskraftverk. CCS gir også et viktig grunnlag for $CO_2$-fangstløsninger fra for eksempel biobaserte prosesser (BECCS), direkte fangst fra atmosfæren (Direct Air Capture/DAC), eller vann.

For at CCS skal bli en løsning for å bremse klima-endringene må det tilrettelegges for transport og lagring av store mengder $CO_2$ årlig innen 2050. For å klare det må det utvikles standarder basert på kunnskap om $CO_2$-blandingers oppførsel gjennom CCS kjeden og forutsigbarhet slik at $CO_2$ kan flyte i et nettverk mellom ulike operatører og over lande-grenser. Her må politikerne finne den best mulige balansen mellom regulering og frie markedskrefter. Fakta fra forskning, inkludert relevante vil være avgjørende.

## Hva bør gjøres?

- Bruk CCS i sektorer som ikke kan dekarboniseres med andre metoder innen rimelig tid.
- Definer «unabated fossil fuels» tydelig med krav til rask rensing og høy rensegrad basert på beste tilgjengelige teknologi.
- Inkluder utslipp fra prosessindustri og fossile innsatsfaktorer, ikke bare brensler, i utfasing av urensede utslipp.
- Still krav om at land med store fossile ressurser også tilbyr $CO_2$-lagring i tråd med eksporterte utslipp.
- Lag internasjonale standarder for transport og lagring av $CO_2$ mellom land for å sikre skalering.
- Styrk samarbeid mellom industri, forskning og offentlig kapital for å få fart på oppskalering.






# Karbonfjerning

# Hvorfor dette er viktig

Selv med omfattende utslippsreduksjoner vil enkelte sektorer fortsatt ha utslipp som er vanskelige eller umulige å kutte helt. For å nå netto null og stabilisere nivået av klimagasser i atmosfæren vil det derfor være nødvendig å fjerne $CO_2$ fra atmosfæren og lagre karbon på en sikker og varig måte. Karbonfjerning er noe annet enn karbonfangst og -lagring (CCS)[13], og kan skje på flere måter. CCS kan gi karbonfjerning når $CO_2$ med biologisk opprinnelse fanges og lagres permanent. Andre løsninger fjerner $CO_2$ direkte fra atmosfæren eller øker opptaket og lagringen av karbon i naturen.

Karbonfjerning omfatter både naturbaserte og teknologiske løsninger. FNs klimapanel (IPCC) viser at det må fjernes store mengder $CO_2$ for å nå målene i Parisavtalen. Flere av teknologiene er likevel i tidlig fase, og for mange av dem mangler det metoder for måling, rapportering og verifisering (MRV). Oppgaven er å utvikle løsninger som er effektive, bærekraftige og samfunnsøkonomisk forsvarlige. Karbonfjerning kan være nødvendig for å håndtere utslipp som er vanskelige å eliminere, men må ikke bli en erstatning for utslippskutt der utslippene kan unngås eller fanges ved kilden. Utslippskutt må fortsatt være hovedstrategien.

Karbonfjerning har ennå ingen klar plass i klimaforhandlingene. Partene bør avklare hvilken rolle karbonfjerning skal ha ved siden av utslippskutt, og FN bør ta en ledende rolle for at utviklingen blir bærekraftig og rettferdig. Det krever en felles forståelse av hvilke utslipp som regnes som residual emissions. Landene bør sette egne, tallfestede mål for karbonfjerning i NDC-ene , atskilt fra målene for utslippskutt og for både naturbaserte og teknologiske løsninger. Finansieringen av forskning, innovasjon og utbygging må økes, og land med store historiske utslipp bør ta en større del av kostnadene.

# Tre alternative teknologier

**NTNU: Philip Ringrose**
**SINTEF: Kristin Jordal, Jorunn Skjermo, Kathrin Weber**

Det er spesielt tre teknologier som er aktuelle[15], men de er ulike i modenhet, kostnad og hvor mye de kan skaleres. Alle de tre teknologiene er siden 2026 dekket av EU sitt regulatoriske rammeverk for sertifisering av permanent karbonfjerning (CRCF).

## Biokull

Biokull lages ved å varme opp biomasse uten tilgang på oksygen (pyrolyse). Det gir et karbonrikt materiale der mesteparten av karbonet er bundet i stabile strukturer. Når biokullet brukes i jord, eller blir inkorporert i materialer som betong eller asfalt, kan karbonet holde seg lagret i hundrevis til tusenvis av år. Teknologien er kommersielt tilgjengelig, og biokull står i dag for størstedelen av de leverte, verifiserte karbonfjerningskredittene i det frivillige markedet.

Biokull gir også andre gevinster: bedre jordhelse, lavere lystgassutslipp fra landbruket, bedre evne til å holde på vann og næringsstoffer, og produksjonsprosessen kan gi fornybar varme. Den viktigste begrensningen er tilgangen på bærekraftig biomasse. Biokull kan også erstatte fossilt karbon i metallurgisk industri, men da slippes karbonet ut som $CO_2$ igjen, og det blir ikke karbonfjerning med mindre utslippet fanges og lagres ved hjelp av CCS.

### Hva bør gjøres?

- Støtt utvikling og bruk av biokull som karbonfjerning i anvendelser som holder karbonet lagret, for eksempel i jord, betong og asfalt.
- Skill tydelig i MRV mellom biokull som lagrer karbon og biokull som erstatter fossilt karbon i industrien. Når biokull erstatter fossilt karbon slippes karbonet ut igjen, med mindre CCS blir brukt, og da er det ikke karbonfjerning, men reduksjon av fossile utslipp.
- Prioriter restråstoff og avfall som råstoff, i tråd med cascading use principle.

## BioCCS

**(fangst og lagring av biogen $CO_2$)**

I BioCCS fanges $CO_2$ fra forbrenning eller omdanning av biomasse, for eksempel i energigjenvinning fra avfall, i bioenergiverk eller industriprosesser som bruker biogent karbon. Fanget $CO_2$ sendes deretter til permanent geologisk lagring, på lik linje med CCS fra fossile råstoff. Men fordi karbonet i biomassen er hentet fra atmosfæren gjennom fotosyntesen, gir lagringen netto fjerning. BioCCS bruker mye mindre energi per tonn fjernet $CO_2$ enn fangst direkte fra luft, og teknologien er klar for fullskala bruk, for eksempel vil $CO_2$ fanget av Hafslund Celsio fra 2029 og fremover fange og lagre både biogen og fossil $CO_2$. Fangstanlegg stiller strenge krav til rensing av røykgassen, og BioCCS kan derfor også redusere utslipp av svoveloksider, nitrogenoksider og partikler. Samtidig er CCS-prosjekter kostbare og kan ta mange år å realisere. Biomassen er etterspurt i mange sektorer, og etter cascading use principle bør den ikke brennes (med energiutnyttelse) hvis den kan gi større verdi i andre anvendelser.

### Hva bør gjøres?

- Innfør økonomiske virkemidler som gir forutsigbar betaling for fjernet $CO_2$ og øk finansiering slik at kostbare BioCCS-prosjekter med lang ledetid kan realiseres.
- Legg til rette for transport- og lagring av $CO_2$ over landegrenser.
- Etabler strategier for bioenergi som tar med rollen i karbonfjerning, og prioriter BioCCS fra biomasse som ikke har mer verdifull bruk, i tråd med *cascading use principle*.

## DACCS

I DACCS fanges $CO_2$ direkte fra luften og lagres permanent. Teknologien er utviklet utelukkende for karbonfjerning og fordelen er at den ikke krever biomasse. Nakkdelen er at konsentrasjonen av $CO_2$ i luft er svært lav sammenlignet med industrielle røykgasser, og det gjør prosessen mye mer energikrevende og dyrere enn fangst fra punktkilder (dvs. CCS/BioCCS). DACCS krever også mer areal per tonn $CO_2$ enn fangst fra industrien. Noen få anlegg er i drift, og flere er under utvikling. De største anleggene i Europa ligger på Island, med en designkapasitet på 4 000 og 36 000 tonn $CO_2$ i året. DACCS passer best der det er rikelig med fornybar energi og lett tilgang til lagring. I dag er salg av karbonfjerningskreditter i det frivillige markedet eneste inntektskilde.

### Hva bør gjøres?

- Øk finansieringen av forskning og innovasjon som reduserer energibruken og kostnadene.
- Sikre at karbonfjerning fra DACCS kan selges i regulerte markeder, slik at anleggene ikke bare er avhengige av det frivillige markedet.
- Bygg DACCS primært der det er rikelig med fornybar energi og lett tilgang til $CO_2$-lagring.

# 5



# Mat, materialer og sirkulære verdikjeder

# Hvorfor dette er viktig

Hvordan vi produserer, bruker og gjenbruker ressurser har stor betydning for både klima, natur og matsikkerhet. Dagens lineære verdikjeder fører til betydelige utslipp, store mengder avfall og ineffektiv bruk av biologiske og industrielle ressurser. Overgangen til mer sirkulære systemer er derfor en viktig del av klimaomstillingen.

Både matproduksjon, bioressurser og tilgang på kritiske råmaterialer vil være avgjørende for fremtidens samfunn. Samtidig øker behovet for løsninger som reduserer matsvinn, utnytter restressurser bedre og skaper mer verdi av de ressursene som allerede er i omløp.

En mer sirkulær økonomi kan redusere utslipp, styrke forsynings-sikkerheten og bidra til ny industriell verdiskaping. Dette krever samspill mellom teknologi, politikk, markeder og nye former for samarbeid på tvers av sektorer og verdikjeder.

# Sirkulær bioøkonomi

**NTNU: Anita Romsdal**
**SINTEF: Ida Aursand, Ana K Carvajal**

Sirkulær bioøkonomi handler om å utnytte biologiske ressurser bedre og skape verdier med lavere klimaavtrykk. Ressurser fra landbruk, skog og hav er grunnlaget for mat, materialer og energi, og etterspørselen etter dem vil øke når fossile råvarer skal erstattes. Biobaserte materialer og kjemikalier kan også erstatte fossile råvarer i industrien og kutte utslipp i sektorer som er vanskelige å elektrifisere.

Overgangen til en sirkulær bioøkonomi krever et systemskifte der teknologi, regulering, marked og samarbeid utvikles parallelt. Digitale verktøy for ressurskartlegging og deling kan bidra til å realisere industriell symbiose, men må kombineres med fungerende markeder, effektive logistikkløsninger og tydelige rammebetingelser. Lønnsomhet og klimaeffekt avhenger også av hvor, når og i hvilke mengder ressursene oppstår, og hvordan de kan samles inn, lagres, transporteres og utnyttes.

Et slikt systemskifte krever samordning på tvers av sektorer og forvaltningsnivåer. Myndighetene må utvikle en mer koordinert politikk for sirkulær bioøkonomi, der nærings-, klima-, landbruks- og fiskeripolitikken trekker i samme retning. Det bør etableres nasjonale mål for sirkularitet, samt indikatorer som måler ressursutnyttelse og verdiskaping. Samtidig må det utvikles markeder og etterspørsel etter sekundære råvarer og biologiske biprodukter.

Helhetlige testarenaer og demonstrasjonsprosjekter kan bidra til å koble teknologi, markeder, regulering og logistikk i praksis. Ved å utvikle slike økosystemer kan erfaringer fra nordiske og europeiske land deles internasjonalt og bidra til globale løsninger for bærekraftig ressursbruk. En mer sirkulær bioøkonomi vil ikke bare redusere avfall og utslipp, men også styrke matsikkerhet, verdiskaping og grønn omstilling – og vise hvordan økonomisk vekst kan kombineres med varige utslippskutt.

## Hva bør gjøres?

- Fremme samarbeid mellom sektorer som havbruk, landbruk, industri og energi for bedre utnyttelse av biprodukter og reststrømmer.
- Bygge digital og fysisk infrastruktur med plattformer, standarder og logistikkløsninger som legger til rette for deling og effektiv sirkulær ressursflyt.
- Tilpasse lover og insentiver for trygg og lønnsom bruk, transport og omsetning av biologiske biprodukter, og for å støtte etablering og skalering av industrielle symbioser.
- Styrke forskning og innovasjon innen sirkulær bioøkonomi, blant annet innen bioteknologi, materialgjenvinning, sirkulær logistikk, verdikjedeutvikling og forretningsmodeller som gjør sirkularitet lønnsom.
- Etablere testarenaer der teknologi, markeder og regulering utvikles sammen og dele erfaringen på tvers av land.

# Matsystemets rolle

**NTNU: Eva Falch**
**SINTEF: Ida Aursand, Kristina N. Widell**

Den største utfordringen for det globale matsystemet er å skaffe nok mat til alle. Samtidig konkurrerer matproduksjonen om land, vann og energi, og matsystemet står for rundt en tredel av verdens klimagassutslipp. Matsystemene er avhengige av naturressurser som er svært sårbare for klimaendringer. Samtidig har matproduksjon selv forårsaket omfattende endringer i økosystemene. Den står for 70 prosent av vannuttaket og driver i stor grad avskoging og tap av naturmangfold. Mat som produseres uten å konsumeres, bruker land, vann og energi uten å gi næring, og organisk avfall som havner på deponi, slipper ut metan, en klimagass med sterk kortsiktig effekt. Matsystemet er derfor viktige både for utslippskutt og for klimatilpasning.

Løsningene krever flerfaglig kompetanse, for eksempel muliggjørende teknologier, nye prosesser og nye forretningsmodeller. Det må tenkes langt mer sirkulært, slik at sidestrømmer fra prosessindustrien og matindustrien blir til nye produkter. Da kan mat- og fôrproduksjonen øke med mindre ressursbruk. Industriell symbiose, der bedrifter i samme område deler energi, vann, varme og biomasse, er et viktig verktøy. Vi må også regne med store endringer i hva vi spiser, for eksempel mer plantebasert mat, insekter, mikroalger, dyrkede marine organismer og laboratoriedyrket kjøtt. I land i det utvikling kan bedre utnyttelse av reststrømmer fra landbruk og fiskeri gi mindre matsvinn og nye inntekter.

## Hva bør gjøres?

- Ta matsystemer inn i NDC-ene og de nasjonale tilpasningsplanene, med tiltak for både utslippskutt og klimatilpasning.
- Reduser matsvinn og tap langs hele verdikjeden, og hindre at organisk avfall havner på deponi. En velutviklet og effektiv kjølekjede er viktig for å redusere svinn.
- Legg til rette for sirkulære løsninger der sidestrømmer fra matindustrien og prosessindustrien blir til ny mat og nytt fôr, blant annet gjennom industriell symbiose.
- Støtt utviklingen av nye proteinkilder som plantebasert mat, insekter, mikroalger og dyrkede marine organismer.
- Øk innsatsen på teknologier, prosesser og forretningsmodeller som reduserer energi- og ressursbruken fra produksjon til forbruker.
- Utvikle teknologi og kunnskap tilpasset land i utvikling, der matsikkerheten er mest sårbar for klimaendringer.

# Sirkulære materialstrømmer og avfallshåndtering

**NTNU: Paritosh C. Deshpande, Corinna Schulze-Netzer**
**SINTEF: Anneli Alatalo Paulsen, Kristin Fjellheim**

Produksjon og bruk av materialer står for en betydelig andel av verdens materialforbruk, avfallsproduksjon og klimagassutslipp. Bygg- og anleggssektoren er verdens største forbruker av materialer og globalt forventes volumene av bygg- og anleggsavfall å øke kraftig som følge av urbanisering, befolkningsvekst og omfattende investeringer i infrastruktur, særlig i lav- og mellom-inntektsland. Økt materialgjenvinning og sirkulær bruk av materialer reduserer behovet for uttak av jomfruelige råmaterialer, reduserer avfallsmengder og bidrar til betydelige utslippskutt.

Den mest effektive måten å redusere avfall og materialrelaterte utslipp på er å hindre at avfallet oppstår. Smartere design, bedre materialutnyttelse og lenger levetid reduserer materialforbruk, avfallsmengder og klimagassutslipp betydelig. Ombruk og oppsirkulering av materialer kan gi betydelige klima- og ressursgevinster ved å bevare materialenes verdi. Slike sirkulære verdikjeder reduserer utslipp, styrker ressurssikkerheten og skaper nye markeder for sekundære materialer.

En annen viktig mulighet ligger i behandling og utnyttelse av ikke-resirkulerbare fraksjoner gjennom såkalt co-processing, der restmaterialer brukes som erstatning for fossile brensler og råmaterialer i energikrevende industriprosesser, særlig i sementindustrien. Teknologien bidrar til avfallsbehandling og reduserte utslipp fra industrien ved å erstatte kull og andre fossile innsatsfaktorer. Samtidig reduseres behovet for deponering og åpen avfallsforbrenning, som fortsatt er utbredt i mange deler av verden.

Det finnes et betydelig potensial for å utvikle lokale og regionale verdikjeder for bygg- og anleggsavfall. Slike løsninger kan kombinere avfallshåndtering, ressursutnyttelse og industriell avkarbonisering, samtidig som de kan gi lokale arbeidsplasser og -verdiskaping.

## Hva bør gjøres?

- Etabler rammeverk som stimulerer til material-gjenvinning og gjenbruk av bygg- og anleggsavfall.
- Prioritere avfallsforebygging og redusert materialbruk gjennom ressurseffektiv design, lenger levetider og smartere bruk av materialer.
- Prioriter utvikling av sirkulære verdikjeder for sekundære byggematerialer og materialressurser.
- Ta i bruk co-processing som en del av strategien for både avfallshåndtering og industriell utslipps-reduksjon.
- Utvikle standarder og kvalitetskrav som øker tilliten til produkter basert på gjenbrukte og resirkulerte materialer.
- Styrk internasjonalt samarbeid om teknologi-utvikling, kunnskapsdeling og kapasitetsbygging innen sirkulær bygg- og anleggssektor, særlig i raskt voksende byregioner i lav- og mellom-inntektsland.

# Mineraler og kritiske råmaterialer

**NTNU: Gabriella Tranell, Kurt Aasly**
**SINTEF: Ana Maria Martinez, Lisbeth-Ingrid Alnæs**

Med det grønne og digitale skiftet øker behovet for mange mineraler. Vi må lete, utvinne, resirkulere og gjenvinne mer. Mange av mineralressursene vi trenger, regnes som kritiske råmaterialer (Critical Raw Materials – CRM[16]). Det betyr at de har stor økonomisk verdi og er kritiske for strategiske verdikjeder. De er også vanskelige å erstatte med andre mineraler. CRM kan sikres gjennom primære kilder, det vil si mineralutvinning på land eller havbunn, og sekundære kilder, det vil si fra sluttprodukter, biprodukter eller avgangsmasser fra annen industri. Samtidig er det viktig å sikre hele verdikjeder, fra utvinning og prosessering til videreforedling og produksjon av ferdige produkter. Eksisterende industri må ivaretas og ny kapasitet må utvikles der det er nødvendig. Dette er særlig viktig i regioner, som Europa, som i dag er avhengig av import i flere ledd av verdikjeden.

Behovet for mineralressurser øker også innenfor bygge- og anleggsvirksomhet. Sand, grus, pukk og naturstein er essensielle råmaterialer. Vi må derfor finne de mest skånsomme løsningene for uttak, prosessering, videreforedling/metallfremstilling og gjenvinning. Det er også viktig å effektivisere verdikjedene, for eksempel med sirkulærøkonomiske modeller, samtidig som vi ivaretar natur, miljø og sosial bærekraft. Ingen land eller regioner vil kunne dekke hele behovet for kritiske råmaterialer alene. Internasjonalt samarbeid og langsiktige partnerskap mellom produsent- og forbrukerland er derfor viktig for å sikre robuste og bærekraftige verdikjeder.

## Hva bør gjøres?

- Øk gjenvinningen av kritiske råmaterialer fra elektronikkavfall, batterier og bygg (urban mining), slik at sekundære kilder dekker en større del av behovet og verdifulle materialer holdes i kretsløpet.
- Beskytt og styrk eksisterende produksjon og bygg komplette verdikjeder for kritiske råmaterialer gjennom langsiktige internasjonale partnerskap.
- Utvikle effektive teknologier langs hele verdikjeden som reduserer areal- og miljøfotavtrykket fra utvinning og prosessering.
- Legg til rette for at en større andel restmasser fra gruver og industri tas i bruk i stedet for å bli deponert.
- Støtt utvikling av teknologier og produkter som bruker mindre kritiske materialer, for eksempel batterier uten kobolt og med mindre litium.
- Innfør krav om livsløpsanalyser, sosiale livsløpsanalyser og kartlegging av materialstrømmer langs verdikjeden for mineraler.
- Sørg for at lokalsamfunn og urfolk blir involvert tidlig, og at arealforvaltningen tar hensyn til dem når nye mineralprosjekter planlegges.
- Legg til rette for at verdiskapingen skjer lokalt i produsentlandene, også i land i utvikling, gjennom internasjonale partnerskap med høye miljøstandarder.



# Klimarobuste samfunn

# Hvorfor dette er viktig

Klimaendringene påvirker allerede hvordan vi bygger, planlegger og forvalter samfunn. Økende temperaturer, mer ekstremvær og endrede naturforhold skaper nye utfordringer for infrastruktur, byer, bygninger og transportsystemer. Klimatilpasning blir derfor en stadig viktigere del av klimaarbeidet.

Samtidig gir omstillingen til et lavutslippssamfunn muligheter til å utvikle mer energieffektive, robuste og bærekraftige løsninger. Bygg, energisystemer, transport og annen kritisk infrastruktur må utformes slik at de både reduserer utslipp og tåler et klima i endring.

Klimarobuste samfunn handler derfor om mer enn tilpasning alene. Det handler om å kombinere utslippskutt, samfunnssikkerhet, beredskap og livskvalitet i løsninger som fungerer både i dag og i fremtidens klima.

# Klimanøytrale og energieffektive bygg og byer

**NTNU: Arild Gustavsen**
**SINTEF: Judith Thomsen**

Bygg, byer og tettsteder står for en stor del av energibruken og klimagassutslippene globalt. For å nå klimamålene må vi redusere energibehovet, ta i bruk fornybar energi, og utvikle smartere og mer fleksible løsninger som integrerer bygg, transport og energisystemer. Omstillingen til klimanøytrale og energieffektive byer krever et helhetlig samarbeid mellom forskning, næringsliv, offentlig sektor og innbyggere. Forskning har vist at det er mulig å halvere energibruken i norsk bygningsmasse innen 2050.[17] Dette vil frigjøre store mengder elektrisk energi (40TWh) som kan brukes til å forsyne det økende behovet for utslippsfri elektrisitet i transport- og industrisektorene. I tillegg viser forskningen at det er mulig å halvere klimafotavtrykket fra materialbruk i forhold til dagens løsninger.[18] Dette krever økt arbeid med ressurseffektiv materialbruk, økt rehabilitering og levetidsforlengelse av eksisterende bygg og materialer.

Selv om klimanøytrale og nullutslippsløsninger krever kapital i starten, er det dokumentert at de likevel kan være lønnsomme i et livsløpsperspektiv.[19] Det krever blant annet at energifleksibilitet utnyttes enda bedre enn i dag gjennom smart styring og optimalisering. Forbildeprosjekter kan vise nyskapende løsninger og ha stor effekt på læring og kompetanseheving, samt påvirke pris og fremme innovasjon.[20] Klimanøytrale og smarte løsninger i bygg, nabolag og byer vil også kunne skape nye arbeidsplasser. Et forpliktende internasjonalt samarbeid om felles standarder og mål for klimanøytrale bygg og byer er nødvendig for å oppnå raske, rettferdige og kostnadseffektive utslippskutt globalt.

## Hva bør gjøres?

- Reduser energi- og elektrisitetsbehov gjennom energieffektivisering, spesielt av eksisterende bygningsmasse.
- Prioritere rehabilitering, transformasjon og levetidsforlengelse av eksisterende bygg, samt gjenbruk av materialer og komponenter.
- Bruk bygningsintegrerte solenergianlegg (for elektrisitet og varme) og varmepumper og fjernvarme for varme. Varmepumper kan også benyttes til kjøling, noe det vil bli et økende behov for med stigende temperaturer.
- Lag integrerte bystrategier som kombiner energi, transport, bygg og arealbruk i tråd med EUs fornybardirektiv[21] og el-markedsdirektivet.[22]
- Innfør tydelige prissignaler. Utform tariffer som sluttbrukere enkelt kan reagere på, og som gir ønsket samfunnseffekt.
- Tilrettelegg for fleksibilitet. Støtt koordinerte løsninger på bygg-, område- og bynivå for bedre ressursutnyttelse.
- Styrk samarbeidet. Øk innsatsen mellom næringsliv, akademia og offentlig sektor for å utnytte digitalisering og miljøvennlig område- og byutvikling.
- Involver innbyggerne. Sikre at teknologi som brukes er inkluderende, med innbyggerengasjement som forbedrer livskvaliteten.

# Maritim transport

**NTNU: Sverre Steen**
**SINTEF: Trond Johnsen**

Maritim sektor står for om lag 3 prosent av de globale klimagassutslippene[23]. For å nå nullutslipp må næringen kombinere energieffektivisering, nye drivstoff og utvikling av nødvendig infrastruktur. I 2023 vedtok IMO en strategi for å kutte utslippene med 20 til 30 prosent innen 2030 og med 70 til 80 prosent innen 2040, sammenlignet med 2008, og nå netto null rundt 2050[24]. Et globalt regelverk for å følge opp strategien, IMO Net-Zero Framework, ble godkjent i 2025, men vedtaket er utsatt[25]. Den største utfordringen ligger derfor i gjennomføringen.

Grønne drivstoff som hydrogen, ammoniakk, metanol og biodrivstoff er foreløpig dyre, plasskrevende og utilgjengelige i store nok volumer, og produksjonen krever store mengder fornybar kraft. Samtidig er skipsfarten sterkt kostnadsdrevet, og lav- og nullutslippsløsninger konkurrerer fortsatt dårlig mot fossile alternativer. Tiltak som bedre logistikkplanlegging, optimal rutestyring, moderne skrogdesign og nye fremdriftssystemer kan redusere drivstofforbruket betydelig, men dagens drift styres ofte av kostnader uten hensyn til utslipp. Fangst og lagring av $CO_2$ om bord er tilgjengelig teknologi, og sammen med biodrivstoff kan det gi negative utslipp. Det forutsetter at havnene kan ta imot $CO_2$.

For internasjonal skipsfart er reguleringer fra IMO det viktigste virkemiddelet. Vareeiere kan også drive fram omstillingen ved å stille krav til utslippene fra transporten, særlig i containerfrakten. Regionale reguleringer har også vist seg å kunne ha effekt, fordi skipseiere og operatører ønsker at skipene skal kunne seile i flest mulig av verdens havområder. Dette gir regioner som EU mulighet til å påvirke utviklingen globalt. Omstillingen må derfor bygge på helhetlige tiltak som kombinerer effektivitet, teknologi og infrastruktur, og på samarbeid langs hele verdikjeden.

## Hva bør gjøres?

- Vedta og gjennomfør IMO Net-Zero Framework.
- Still krav, og gi støtte til energisparende teknologi og optimaliserte skipsdesign.
- Bruk differansekontrakter for å utjevne kostnadsforskjellen mellom grønne drivstoff og fossile alternativer.
- Øk investeringene i fornybar kraft, slik at det blir produsert nok grønne drivstoff.
- Etabler grønne korridorer med havner og infrastruktur for utslippsfri transport, også mottak for $CO_2$ som er fanget om bord.
- Bruk regionale reguleringer til å drive fram utslippskutt mens de globale reglene kommer på plass.

# Bærekraftig kjøling

**NTNU: Armin Hafner**
**SINTEF: Petter Nekså, Kristina Norne Widell**

Kjøling og oppvarming er to sider av samme sak, begge er avgjørende deler av et moderne samfunn. Energieffektive kuldeanlegg, luftkondisjonering og varmepumper kan gi stor gevinst i en rekke sektorer. Oppvarming og klimatisering i bygningssektoren, varme- og kjølebehov i industrien, og ikke minst i kjølekjeden for mat, fra forbruker til kjøleskap. Integrerte løsninger som tilfredsstiller både kjøle- og varmebehov kan også gi stor effekt. Supermarkeder som har tatt i bruk $CO_2$ til kjøling, frysing og oppvarming i samme anlegg, har kuttet strømforbruket med om lag 35 prosent.

Felles for slike anlegg er at de benytter gasser, kuldemedier, som sirkulerer i anlegget. Dagens kjøleteknologi benytter i stor grad gasser som skader klimaet eller miljøet, og de bruker til dels mye energi. Montrealprotokollen fra 1989 stanset bruken av ozonnedbrytende KFK-gasser, men mange av erstatningsstoffene, HFK-er, har vist seg å være svært potente klimagasser. En overgang til ozon- og klimavennlige alternativer kan alene bidra til å unngå opp til en halv grads global oppvarming innen utgangen av dette århundret[26].

Den nyeste generasjonen gasser, HFO, har liten klimaeffekt, men hører til PFAS-gruppen[27] og brytes til dels ned til «evighetskjemikalier» som hoper seg opp i naturen og er ekstremt vanskelig å fjerne. Løsningen er å ta i bruk naturlige kuldemedier som $CO_2$, ammoniakk, hydrokarboner, vann og luft. De skader verken ozonlaget eller klimaet, er trygge for helsen, og kan spare energi.

Mange lavinntektsland kan gå rett til naturlige kuldemedier og slippe dyre mellomløsninger som raskt må fases ut. Ifølge UNEP kan bærekraftig kjøling hjelpe over en milliard mennesker med klimatilpasning og redusere kostnadene ved energiomstillingen med anslagsvis 17 billioner dollar innen 2030[28]. Et hinder er at dagens standarder begrenser hvor mye brennbare kuldemedier et anlegg kan inneholde.

## Hva bør gjøres?

- Krev løsninger basert på naturlige kuldemedier som $CO_2$, $NH_3$, hydrokarboner og damp ved offentlige anskaffelser.
- Innfør en utfasing av fluor-baserte medier i henhold til EUs F-gas forordning[29] og styrk forskning som bidrar til å utvikle løsninger basert på naturlige kuldemedier.
- Etabler incentiver som sikrer innsamling og destruksjon av alle fluor-baserte kuldemedier, også PFAS-baserte som ikke omfattes av dagens GWP-baserte returordning.
- Moderniser standarder for brennbare medier slik at større fyllingsmengder av hydrokarboner kan brukes i kjøleanlegg og varmepumper for bygg og industri.
- Støtt utviklingen av høytemperatur varmepumper med naturlige arbeidsmedier som kan levere 100–200 °C prosessvarme og dermed erstatte fossile varmekilder i industrien.



# Rettferdig omstilling og samarbeid med land i utvikling

# Rettferdig omstilling og samarbeid med land i utvikling

**NTNU: Rolee Aranya, Pedro Crespo del Granado**
**SINTEF: Kristina Norne Widell, Petter Støa, Anneli Alatalo Paulsen, Shraddha Mehta**

Klimaomstillingen vil ikke lykkes dersom teknologi, kompetanse og investeringer forblir konsentrert i høyinntektsland. Mange av landene som forventes å stå for den største veksten i befolkning, energibehov og industriutvikling i tiårene som kommer, er samtidig blant de landene som er mest sårbare for klimaendringer. En rettferdig omstilling handler derfor ikke bare om å redusere utslipp, men om å sikre tilgang til energi, arbeidsplasser, mat, helsetjenester og økonomisk utvikling samtidig som utslippene reduseres.



Når vi snakker om teknologi, mener vi mer enn produkter og enkeltløsninger. Teknologi handler om hvordan samfunn bygges og fungerer i praksis; hvordan energi produseres og distribueres, hvordan matsystemer organiseres, hvordan industri utvikles og hvordan offentlige tjenester leveres. Erfaringen er tydelig: Teknologi gir først varig effekt når den inngår i helhetlige systemer for bruk, drift og verdiskaping, og når tekniske løsninger utvikles i samspill med kompetanse, institusjoner, markeder og rammebetingelser.

Målrettet internasjonalt teknologisamarbeid handler derfor ikke primært om å overføre ferdige løsninger. Målet må være å bygge lokal kompetanse, styrke institusjoner og utvikle samfunn og økonomier som kan vokse på egne premisser. Når forskning, næringsliv, myndigheter og sivilsamfunn arbeider sammen i likeverdige partnerskap, kan kunnskap omsettes til handling, nye verdikjeder bygges opp og løsninger skaleres. Slik kan teknologi bidra til både utslippsreduksjoner, lokal verdiskaping og varig samfunnsutvikling.

## Hva bør gjøres?

### Likeverdige partnerskap

Erfaring viser at de beste resultatene oppnås når forskning, næringsliv, myndigheter og sivilsamfunn arbeider sammen om felles utfordringer. Langsiktige partnerskap gjør det mulig å bygge kompetanse, styrke institusjoner og utvikle løsninger som er tilpasset lokale behov og rammebetingelser. Målet må være samarbeid som gir varige resultater, også etter at enkeltprosjekter er avsluttet.

### Teknologiutvikling i samarbeid

Teknologi skaper størst verdi når den utvikles og tas i bruk i samspill med dem som skal bruke den. Erfaringene fra internasjonalt samarbeid viser at varig utvikling ikke skapes gjennom overføring av ferdige løsninger alene. Teknologi må kobles til kompetansebygging, institusjonsutvikling og lokale prioriteringer. Målet er å styrke landenes egen evne til å videreutvikle løsninger og forme sin egen utviklingsbane.

### Forskning og høyere utdanning som motor for utvikling

Forskning og høyere utdanning er avgjørende for å bygge kompetanse, utvikle institusjoner og utdanne framtidige ledere og fagmiljøer. Universiteter og forskningsmiljøer fungerer som møteplasser mellom forskning, næringsliv og myndigheter, og bidrar til å omsette ny kunnskap til praktiske løsninger. Erfaring viser at investeringer i kunnskap ofte gir de mest varige utviklingseffektene.

### Lokal verdiskaping og jobbskaping

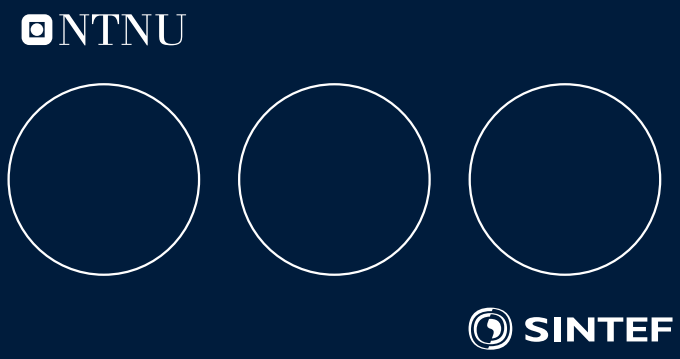
Den grønne omstillingen må bidra til arbeidsplasser, næringsutvikling og økonomisk vekst. Når teknologiske løsninger utvikles, tilpasses og tas i bruk lokalt, skaper de grunnlag for nye verdikjeder, økt verdiskaping og styrket økonomisk handlingsrom. Teknologivalg er samtidig valg om arbeidsplasser, kompetanse og samfunnsutvikling. Derfor må lokal verdiskaping være et sentralt mål for internasjonalt teknologisamarbeid.

### Finansiering som fremmer utvikling

Mange gode løsninger blir ikke realisert fordi tilgang til kapital, kompetanse og markeder er begrenset. Offentlige virkemidler, utviklingsfinansiering og samarbeid med næringslivet kan redusere risiko og bidra til at flere prosjekter gjennomføres. Erfaring viser at størst effekt oppnås når finansiering, kompetansebygging og langsiktige partnerskap ses i sammenheng.

# Noter


1. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/summary-for-policymakers/
2. https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2025
3. I et 100-års perspektiv, IPCC AR6 report
4. DNV Energy Outlook 2023
5. https://gml.noaa.gov/ccgg/trends_sf6/
6. COP29 Global Energy Storage and Grids Pledge
7. IEA World Energy Investments 2024
8. IEA Renewables 2023
9. European Environmental Bureau: Land for Renewables, juli 2024
10. https://wwindea.org/GlobalStatistics
11. IEA (2019) Offshore wind outlook 2019. World energy outlook special report.
12. https://www.northwindresearch.no/news/lighthouse-initiatives-on-offshore-wind-explained-i-3-minutes/
13. IEA, Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach
14. https://www.wri.org/research/international-carbon-removal-governance
15. https://hdl.handle.net/11250/5539568
16. https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials/critical-raw-materials-act_en
17. Sandberg, N. H.; Dokka, T. H.; Lien, A. B. G.; Sartori, I.; Skeie, K.; Manrique Delgado, B.; Lassen, N. Energisparepotensialet i bygg fram mot 2030 og 2050 – Hva koster det å halvere energi-bruken I bygningsmassen? *ZEN Rapport No. 50;* 2023. SINTEF og NTNU, Trondheim.
18. Wiik, M. K., Fuglseth, M., Resch, E., Lausselet, C., Andresen, I., Brattebø, H., & Hahn, U. (2020). Klimagasskrav til materialbruk i bygninger - Utvikling av grunnlag for å sette absolutte krav til klimagassutslipp fra materialbruk i norske bygninger. *ZEN Rapport No. 24;* 2023. SINTEF og NTNU, Trondheim.
19. Lien, A. B. G., Vågbø, P. C. B., Wigenstad, T., Jenssen, B., & Backe, S. (2024). Merkostnader ved ZEN. En case studie av Nidarvollutbyggingen i Trondheim. *ZEN Rapport No. 59.* SINTEF og NTNU, Trondheim.
20. Almås, A.-J., Hauge, Å. L., & Klinski, M. (2015). Markeds-effekter av forbildeprogrammer. *SINTEF report SBF20150247*, Oslo/Trondheim.
21. European Commission. (n.d.). Renewable Energy Directive. Retrieved August 8, 2024, from https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-directive_en
22. European Commission. (n.d.). Electricity market design. Retrieved August 8, 2024, from https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/electricity-market-design_en
23. https://www.imo.org/en/ourwork/environment/pages/fourth-imo-greenhouse-gas-study-2020.aspx
24. https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/2023-IMO-Strategy-on-Reduction-of-GHG-Emissions-from-Ships.aspx
25. https://www.imo.org/en/mediacentre/pressbriefings/pages/imo-net-zero-shipping-talks-to-resume-in-2026.aspx
26. https://www.epa.gov/climate-hfcs-reduction/frequent-questions-phasedown-hydrofluorocarbons
27. https://echa.europa.eu/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas
28. https://www.unep.org/resources/global-cooling-watch-2023
29. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/fluorinated-greenhouse-gases/eu-rules_en


NTNU
SINTEF