

Sirkulær karbonøkonomi

– gjenbruk av CO₂-utslipp som klimaløsning?

Gjenbruk av karbonutslipp til plast, drivstoff og kjemikalier. En analyse av muligheten for gjenbruk av karbon som klimaløsning, og karbonets plass i den sirkulære økonomien.



Publisert av Zero Emission Resource Organisation (ZERO)
mai 2020

Forfattere: Anne Marit Post-Melbye og Sindre Østby Stub

Layout: Caroline Dokken Wendelborg

Forsidebilde: Adobe Stock

©2020 Zero Emission Resource Organisation

Definisjoner

Ammoniakk	Syntetisk produsert drivstoff og innsatsfaktor fra nitrogen (i luft) og hydrogen. e-ammoniakk er produsert fra fornybar kraft
CCS	Karbonfangst og -lagring (Carbon Capture and Storage)
CCU	Karbonfangst og -bruk (Carbon Capture and Use)
Crude	En råolje av lav kvalitet med behov for oppgradering/raffinering
Biogen	Biologisk opprinnelse
DAC	Direct Air Capture
e-fuels	Electro-fuels, syntetisk produsert fra fornybar kraft. Inkluderer flytende og gassholdig drivstoff som crude, metanol, metan, ammoniakk m.m.
FT	Fischer Tropsch – en teknologi for kjemisk konvertering til flytende oljer
ETS	EUs kvotesystem (European Trading Scheme)
LCA	Life Cycle Assessment
LH₂	Flytende hydrogen
LOHC	Flytende organiske hydrogen-energibærere (Liquid Organic Hydrogen Carriers)
PtG	Power-to-Gas
PtL	Power-to-Liquid. Kan også henvise til Plastics-to-Liquid (se WtL)
PtX	Power-to-X. Henviser til bredden av produkter som kan produseres fra fornybar kraft
RED	Renewable Energy Directive, fornybardirektivet
REDII	Renewable Energy Directive II (2021-2030), revidert fornybardirektiv fra 2021
RCF	Recycled Carbon Fuels. Som omtalt i REDII
RFNBO	Renewable Fuels of Non-Biological Origin. Som omtalt i REDII
SNG	Syntetisk naturgass produsert fra karbonutslipp
TRL	Technology Readiness Level
WtL	Waste-to-Liquid

Sammendrag

Denne rapporten handler om potensialet for å gjenbruke karbonutslipp til å produsere nye produkter som drivstoff, plast og kjemikalier. En samlebetegnelse for dette er Power-to-X (PtX), og viser til kraftintensiv produksjon av karbon- og nitrogenholdige produkter som drivstoff, plast, kjemikalier og gjødsel. Disse produktene kan fremstilles med fornybar energi uten å tilføre karbonkretsløpet nytt karbon fra fossile ressurser.

Vi belyser i rapporten potensialet for gjenbruk av karbonutslipp som klimaløsning, markedet for slike produkter, og en overordnet prosjektstatus for ulike prosjekter.

Det er behov for karbon i nullutslippssamfunnet til plast, kjemikalier og i drivstoff for luft- og skipsfart. **ZERO mener** gjenbruk av karbonutslipp til å produsere syntetiske produkter til disse formålene kan være en klimaløsning, gitt noen kriterier for klimanytte. For å sikre høy klimanytte må syntetiske produkter erstatte et fossilt alternativ, og produseres med fornybar energi eller hydrogen fremstilt fra naturgass med karbonfangst og -lagring. Klimanytten til syntetiske produkter øker med levetiden til produktet, og jo lengre CO₂ lagres i et produkt. Det betyr at gjenbruk av karbon til en sirkulær råvarestrøm som plast har høyere klimanytte enn gjenbruk av karbon til drivstoff.

Gjenbruk av CO₂ er en del av en sirkulær karbonøkonomi

Sirkulær karbonøkonomi handler om hvordan karbonbehovet i nullutslippssamfunnet kan dekkes uten å tilføre nytt karbon fra fossile kilder. Sirkulær karbonøkonomi er en samlebetegnelse for bioøkonomien, CO₂-økonomi (CCU) og sirkulære verdikjeder for bruk av karbon. For å nå 1,5 gradersmålet må opprinnelsen til CO₂ på sikt være biogen eller fanget fra luft (DAC). Dagens politikk og virkemidler må stimulere gjenbruk av karbonutslipp fra biogene kilder eller fanget fra luft.

For at samfunnet skal legge om fra lineær til sirkulær bruk av karbon vil det være behov for betydelig forsterket virkemiddelbruk. Dagens virkemiddelapparat må anerkjenne Power-to-X og gjenbruk av karbonutslipp som en viktig klimaløsning, og det vil være behov for å virkemidler rettet mot hele verdikjeden, og spesielt for å skape marked for syntetiske produkter.

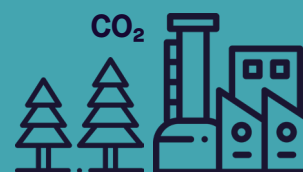
ZERO foreslår flere virkemidler i denne rapporten, for å legge til rette for økt gjenbruk av karbonressursene som allerede er i omløp i samfunnet.



CO₂ fra luft



CO₂ fra industrielt punktutslipp



Biogen CO₂ fra punktutslipp

Executive summary

This report is about the potential for reuse of carbon emissions to produce new products such as fuels, chemicals and plastics. The term Power-to-X (PtX) refers to the power-intensive production of carbon- and nitrogen rich products such as fuels, chemicals and plastics. These products can be synthesised using renewable power, without adding new carbon from fossil resources to the carbon cycle.

In this report, we analyse the potential to reuse carbon emissions as a climate solution, the market for such products, and an overall status for different projects.

There is a need for carbon in a zero-emission society, for plastics, chemicals and fuels for long and heavy transport such as air- and maritime transport. **ZERO believes** that reusing carbon emissions to produce such synthetic products can be a climate solution, given certain criteria for greenhouse gas savings. To ensure high greenhouse gas savings, synthetic products need to replace fossil-based alternatives, and be produced from renewable energy or hydrogen produced from natural gas with carbon capture and storage (CCS). The greenhouse gas savings of synthetic products increase with increasing product lifetime, and the longer CO₂ is stored in the products. This means reusing carbon emissions to produce circular materials such as plastics will have a higher climate benefit than reusing carbon for fuel production.

Reusing CO₂ is part of a circular carbon economy

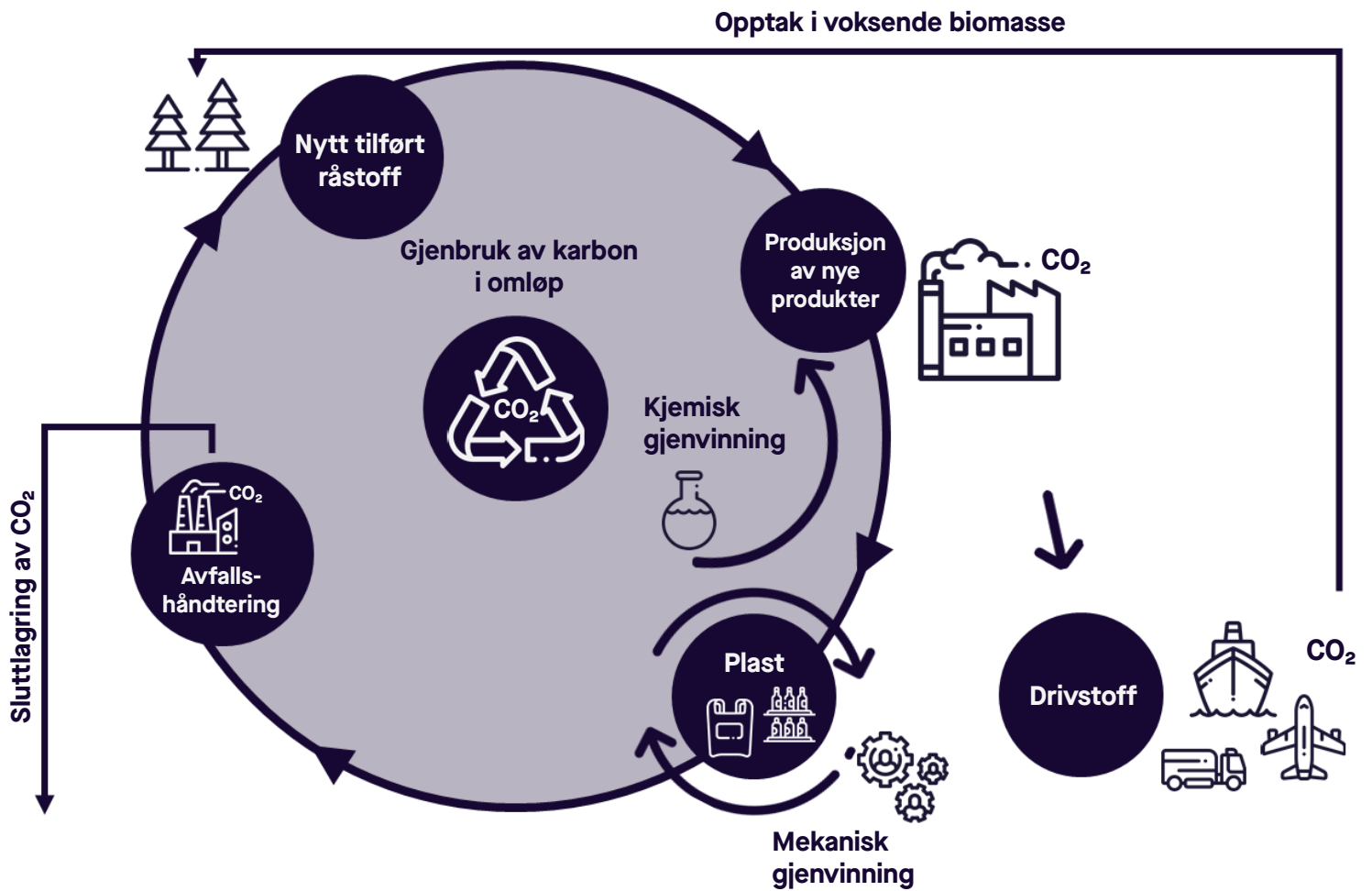
The circular carbon economy is about how the need for carbon in the zero-emission society can be met without adding new carbon from fossil resources. The circular carbon economy includes the bioeconomy, the CO₂-economy (CCU) and increased circularity in the carbon

value chains. In order to reach the 1,5-degree target, the origin of CO₂ needs to be biogenic or captured from air (DAC) in the long term before 2050.

There is a need for significantly increased policy use to drive the shift from linear to circular value chains for use of carbon resources. The current public funding agencies need to acknowledge PtX and reuse of carbon emissions as a necessary climate solution, and there is a need for policy instruments in the entire value chains, specifically to create a market for synthetic products. This can be in the form of mandates for synthetic fuels for air, maritime and road transport, material taxes on fossil plastics, and regulations for greenhouse gas savings in the building codes. The circular carbon economy includes the need for CO₂ storage and negative emissions, and there is a need for policies to incentivise reuse of biogenic or air-captured CO₂, for example using factor counting or dedicated fuel mandates.

ZERO suggests several policy instruments for Norway in this report, to facilitate an increased reuse of carbon resources that are already in circulation in society.

Sirkulær bruk av karbonressursene



Figuren viser hvordan karbonressursene som er i omløp i samfunnet kan gjenbrukes for å produsere petrotunge produkter som plast og drivstoff. Behovet for nytt tilført råstoff vil dekkes av biomasse eller CO₂ fra luft i nullutslipssamfunnet. Med en infrastruktur for CO₂-håndtering kan et potensial for negative utslipp realiseres

En strategi for sirkulær karbonøkonomi

I en sirkulær karbonøkonomi holdes karbon i omløp så lenge som mulig, før endelig sluttlagring. Både CO₂- og bioøkonomien er en del av den sirkulære karbonøkonomien.

ZERO mener en strategi for sirkulær karbonøkonomi innebærer følgende:

- **Reduser** behovet for karbon – elektrifiser det som kan elektrifiseres.
- **Prioriter** fornybart/resirkulert karbon til forbruk som ikke kan elektrifiseres, spesielt plast, kjemikalier og lang- og tungdistanse transport.
- **Lagre** karbon i sirkulære råvarestrømmer, som plast.
- **Brenn** karbon der vi må, som lang- og tungdistanse transport, spesielt i luftfart.
- **Sluttlagre** karbon der vi kan, som fra karbonfangst på energigjenvinning av plastavfall som ikke er egnet for mekanisk eller kjemisk resirkulering.

Den industrielle bruken av karbon må gå fra dagens lineære, fossile verdikjeder til sirkulære og fornybare verdikjeder med økt gjenbruk. I en sirkulær karbonøkonomi gjenbrukes karbon industrielt, og materialbruken er sirkulær. Med tilgang til rimelig fornybar kraft kan fossil materialbruk erstattes med fornybar energi som råvare. I denne rapporten beskriver vi hvordan vi kan stimulere en sirkulær karbonøkonomi.



Virkemidler for gjenbruk av karbonutslipp

Politikken må bidra til å løfte visjonene for karbonøkonomien i agendaen for sirkulær økonomi. Virkemidlene må stimulere karbonlagring i langlevde produkter som plast og stimulere gjenbruk av karbon fra luft og biogene kilder. Virkemidlene for sirkulær karbonøkonomi må også sees i sammenheng med virkemidler innen bioøkonomi (som det gjøres fra EU på biodrivstoff fra 2021) og CCS.

- Klimanytten til gjenbruk av CO₂ skal **telles i én sektor**, og utslippet bør bokføres ved utslipps-/fangstkilder. På denne måten skal ikke gjenbruk av karbonutslipp være til hinder for at industrien legger om til utslippsfri produksjon, og unngå dobbelttelling av klimanytten til gjenbrukt CO₂.
- Det er behov for virkemidler som skaper marked for **materialer produsert med lavere klimagassutslipp**. I dag er virkemidlene i hovedsak rettet mot energi og drivstoff. Eksempler på slike virkemidler er materialavgift på fossil plast og klimagasskrav til materialer i teknisk byggeforskrift.
- Det er behov for virkemidler som fremmer **syntetiske drivstoff i transport, og spesielt luftfart og skipsfart. ZERO foreslår** at det utredes hvordan syntetiske drivstoff inkluderes i dagens omsetningskrav for luftfart og veitransport, og det bør vurderes om det kan tas i bruk et eget delkrav for slike drivstoff i omsetningskravet for luftfart. Det samme bør vurderes for det vedtatte omsetningskravet for maritimt.
- Inkludere gjenbruk av karbonutslipp fra Enovas mandat, for å tilby **investeringsstøtte til nye produksjonsanlegg for syntetiske drivstoff**, plast og kjemikalier. Det er generelt behov for en styrket satsing på gjenbruk av karbonutslipp i virkemiddelapparatet.
- Det er på sikt behov for virkemidler som fremmer gjenbruk av karbonutslipp fra fossilfrie kilder. Det bør vurderes om det kan tas i bruk faktortelling eller dedikerte delkrav for syntetiske produkter produsert fra **CO₂ fra biogene kilder eller fanget fra luft**.
- Det er behov for virkemidler som fremmer **karbonfangst fra avfallshåndtering**, hvor plastavfall slutt håndteres etter gjentatt mekanisk og kjemisk gjenvinning. Dette kan være i form av en forbrenningsavgift på anlegg uten karbonfangst, og på sikt lovpålagt krav i forurensingsforskriften om karbonfangst fra avfallsforbrenning.
- Sluttlagring av CO₂ er en del av den sirkulære karbonøkonomien, og det er behov for virkemidler som fremmer **sluttlagring av CO₂ (CCS)**. Det bør utredes innføring av et produsentansvar for karbon, som stiller et lovpålagt krav om at selskaper som utvinner fossilt karbon i Norge må deponere en bestemt mengde CO₂ årlig. Dette bør organiseres av bransjen selv, for eksempel gjennom et fond, ved en avgift på oppstrøms karbon til fondet (olje- og gassindustrien og mineralsk industri). Fondet vil ha som mandat å kjøpe lagret CO₂ på lange kontrakter, slik at bedrifter med store punktutslipp får mulighet til å konkurrere i et marked.
- Legge til rette for **utbygging av ny fornybar kraft i Norge**. Gjenbruk av karbonutslipp til produksjon av syntetiske produkter vil øke etterspørselen og behovet for fornybar kraft. Det må derfor legges til rette for lønnsom utbygging av ny kraft for å elektrifisere dagens bruk av fossile råstoff.

Behov for karbon i nullutslippssamfunnet

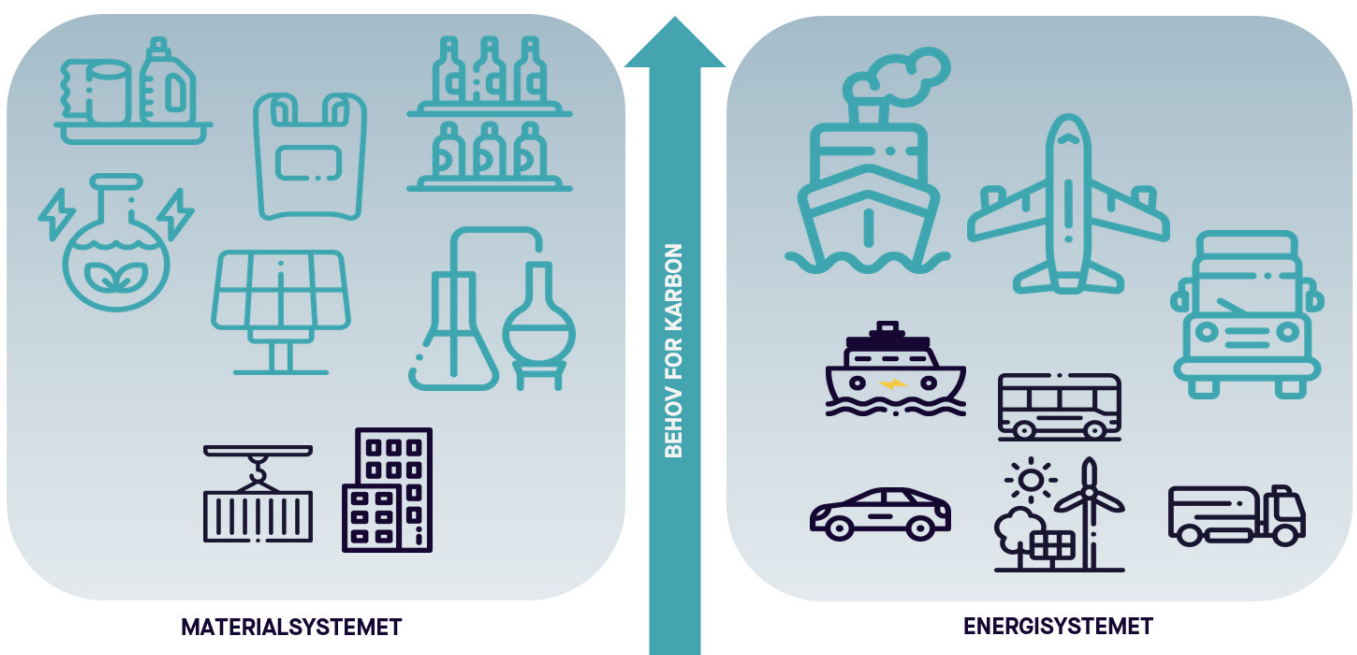
Energisystemet elektrifiseres raskt. Stadig billigere fornybar energi fra sol og vind gjør det lønnsomt å bruke elektrisitet til varmeformål, hydrogenproduksjon, personbiler, varebiler, busser, ferger og etter hvert også tungtransporten. Selv om energisystemet elektrifiseres raskt vil det fortsatt være behov for flytende drivstoff til transportformål, spesielt i luftfart og maritim transport.

For materialsystemet vil det være mer krevende å elektrifisere produksjonen, spesielt fordi mange av produktene som fremstilles består av karbon som byggestein.

Konstruksjonsmaterialene stål og betong er de to største materialstrømmene og står for over ti prosent av klimagassutslippene i verden. Stål- og jernproduksjon kan elektrifiseres ved bruk av fornybart hydrogen. For sement, hvor CO₂ frigjøres i prosessen, er CCS en viktig løsning sammen med bruk av elektrisitet eller hydrogen til varmeformål.

For andre metaller som vi produserer mye av i Norge (som silisium, mangan og aluminium), er karbon avgjørende i materialproduksjonen (som reduksjonsmiddel). Produkter som består av karbon som byggestein, som plast og kjemikalier, vil fortsatt trenge karbon og kan ikke avkarboniseres.

I nullutslippssamfunnet trenger vi derfor karbon til lang- og tungdistanse luft- og skipsfart, plast, kjemikalier og andre industriformål. Spørsmålet er hva kilden til karbon i nullutslippssamfunnet er, og hvordan dagens fossile karbon kan erstattes med fornybare alternativer.



Behov for karbon i material- og energisystemet, til formål som ikke kan elektrifiseres.

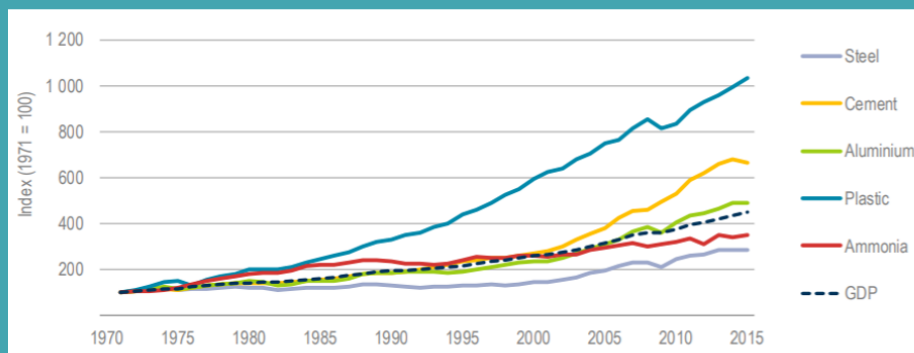
Etterspørselen etter materialer og drivstoff øker

Figuren øverst viser at etterspørselen etter industrivarer har økt, og at etterspørselen etter plast har vokst raskere enn noe annet materiale. Forbruket av plast ligger på rundt fire kg per innbygger i utviklingsland, med svært høye vekstrater (IEA 2018). I land med høyere inntektsnivåer ligger forbruket på rundt 55-80 kg plast per innbygger, med en viss metning i veksten rundt 60 kg per innbygger.

Den samme veksten er tilfelle også for tungtransporten. Figuren nederst viser at transportbehovet er forventet å vokse raskt både for godstransport, luftfart og maritim transport.

Elektrifisering i form av batterier og hydrogen vil være en viktig klimaløsning også for de tyngre transportsegmentene, men det vil fortsatt være behov for flytende drivstoff til tung- og langdistanse transport i perioden til 2050, spesielt i luftfart og maritim skipsfart.

Det er og vil være et betydelig karbonbehov i transportsektoren og petrokjemisk industri, og spørsmålet er hvordan dette behovet for karbon kan dekkes uten bruk av nytt fossilt råstoff.



Produksjonsvekst for utvalgte materialer, sammenlignet med BNP.

Kilde: IEA 2018, *The Future of Petrochemicals*.



Vekst i tungtransportbehovet internasjonalt. Kilde: Energy Transition Commission 2018, *Mission Possible*.

Utfasing av fossilt råstoff til materialer og drivstoff

Dagens bruk av fossile råstoff til materialer og drivstoff kan fases ut gjennom en kombinasjon av tre alternativer:

- 1. Effektivisere bruken gjennom å øke resirkulering og materialgjenvinning. Dette er spesielt relevant for plast, der gjenvinningsgraden i dag er lav. Effektivisering reduserer behovet for nytt, tilført karbon.**
- 2. Ny produksjon kan baseres på biomasse som råstoff. Dette reduserer behovet for å tilføre nytt, fossilt råstoff.**
- 3. Ny produksjon kan baseres på konvertering av karbonutslipp til hydrokarboner, gjennom tilførsel av fornybar energi. Dette vil redusere behovet for nytt fossilt råstoff, og øke behovet for fornybar energi.**

For flere bulkprodukter er resirkuleringsratene høye, som stål og aluminium på rundt 80 prosent og papir på rundt 60 prosent (IEA 2018). Resirkuleringen av plast er fortsatt lav, på rundt 18 prosent. Potensialet er stort, men det er også begrensninger på type plast og teknologi i dag.

Ingen av disse løsningene vil alene være tilstrekkelig for å fase ut dagens bruk av fossile råstoff. Det er behov for økt resirkulering i kombinasjon med ny produksjon basert på fossilfrie alternativer; bruk av biomasse eller gjenbruk av karbon som allerede er i omløp.

Kilde: IEA 2018, The Future of Petrochemicals.

Vi skiller ikke mellom begrepene resirkulering og gjenvinning i denne rapporten. Resirkulering handler om å sirkulere ressurser, eller bringe noe inn igjen i et kretsløp, Gjenvinning er en fellesbetegnelse for å bruke ressurser fra avfall og restprodukter på nytt.

Kilde: Store Norske Leksikon.

Effektivisering og
økt gjenvinning



Ny produksjon basert på biomasse
som råstoff



Ny produksjon basert på
gjenbruk av karbon



Tre alternativer for utfasing av fossile råstoff til materialer og drivstoff.

Mekanisk og kjemisk resirkulering av plast

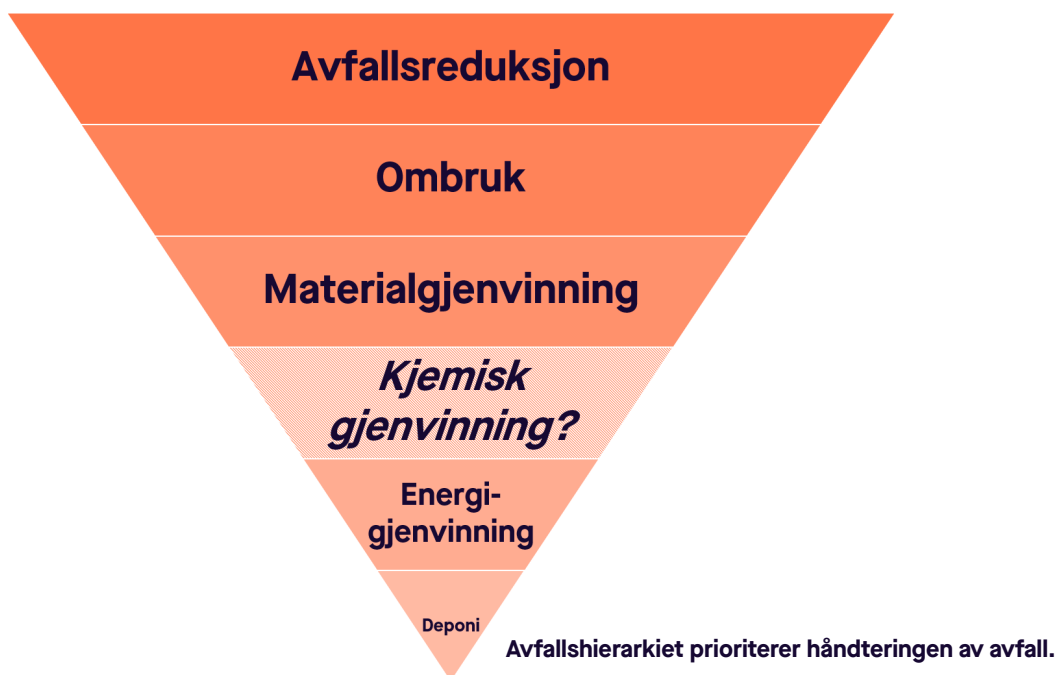
Mekanisk resirkulering gjensker polymerer, ved å kutte plastavfall til flis og smelte om til nye produkter. Dette er klassisk resirkulering av plast. Grønt Punkt rapporterer en materialgjenvinning på snau 40 prosent for sine medlemmer (2018), resten energigjenvinnes. Plasten gjenvinnes utenfor Norge, i hovedsak i Tyskland. Det er flere begrensninger for bruk av mekanisk resirkulert plast; på grunn av tilsetningsstoffer/additiver for farge, egenskaper til platen, samt at eldre plast kan inneholde uønskede stoffer. Mekanisk resirkulering setter i praksis et øvre tak på materialgjenvinningen, som er unødvendig lav.

Kjemisk resirkulering er et komplementært alternativ til mekanisk resirkulering. Dette innebærer en kjemisk omstrukturering, der plast brytes ned på molekylnivå og bygges opp igjen til et råstoff som kan brukes til drivstoff og jomfruelig plastproduksjon (gass eller flytende crude). Kjemisk resirkulering er mer energi- og kapitalkrevende enn mekanisk resirkulering, og er ikke tilgjengelig i industriell skala i dag (IEA 2018, *The Future of Petrochemicals*).

Fordelen med kjemisk resirkulering er at platen kan gjenvinnes til en kvalitet tilsvarende jomfruelig plast, og at kvaliteter som ikke kan mekanisk gjenvinnes i dag kan resirkuleres til nye produkter. Teknologi for kjemisk gjenvinning gjør at plast kan anses som et sirkulært crude.

Avfallshierarkiet gir i dag ikke nødvendige nyanser innen sirkulær økonomi. EUs avfallshierarki plasserer energigjenvinning etter materialgjenvinning (som har blitt forstått som mekanisk gjenvinning). Kjemisk gjenvinning av karbon til nye produkter som plast kan også defineres som materialgjenvinning, men kjemisk gjenvinning til drivstoff kan defineres som energigjenvinning.

Gjenbruk av karbon til nye produkter som drivstoff, plast og kjemikalier bør gis høyere prioritet i avfallshierarkiet, og prioriteres framfor forbrenning av avfall til stasjonær energi (energigjenvinning), hvor det finnes flere fornybare alternativer.



Tre utslippskilder til gjenbruk av karbon

Det er tre kilder til gjenbruk av karbonutslipp:

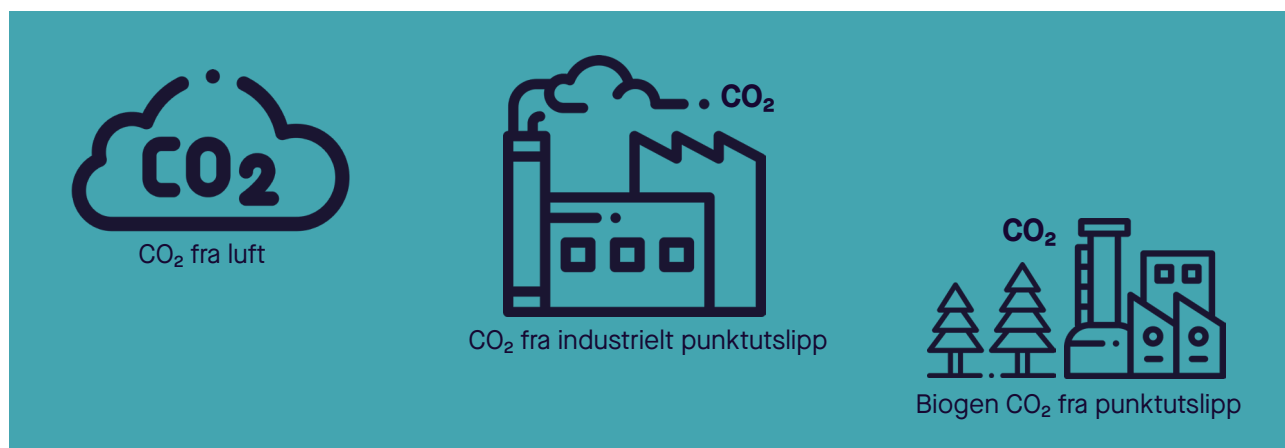
1. **CO₂ fanget fra luft (Direct Air Capture, DAC). CO₂ kan også fanges fra sjøvann.**
2. **Karbon fra et fossilt punktutslipp, som et industrianlegg eller kraftverk. Karbon kan være i form av CO₂ eller syntesegass (CO- og hydrogenrike avgasser).**
3. **Biogent karbon fra et punktutslipp, av biologisk opprinnelse. Dette kan for eksempel være rene CO₂-strømmer fra et bioraffineri eller biogassproduksjon.**

Det kan argumenteres for at klimanytten til et syntetisk produkt kan variere etter type utslippskilde. Karbon fanget fra luft og fra biogene kilder vil minimum være karbonnøytrale, med mulighet for negative utslipp ved lagring av karbon (enten i produkter eller sluttlagring). Gjenbruk av karbon fra et fossilt punktutslipp vil være en utsettelse eller forsinkelse av et klimagassutslipp, men vil 1) gjenbruke karbonutslipp som allerede er i omløp, og 2) holde fossilt i bakken.

Ved å forholde oss strengt til definisjonen at utslippene tilhører den som forbrenner karbon, kan det også argumenteres for at alle kilder til karbonutslipp har lik klimanytte. **ZERO mener** likevel det er fornuftig å skille mellom fossile og fornybare karbonutslipp, fordi gjenbruk av karbonutslipp fra biogene kilder eller fanget fra luft vil ha en plass i nullutslippssamfunnet. Disse kildene er også avgjørende for å realisere negative utslipp. I mellomtiden vil alle karbonkilder fortrenge nytt fossilt råstoff, og **ZERO anser** det ikke som fornuftig å begrense gjenbruk av karbonutslipp til fornybare kilder. Dagens politikk bør likevel stimulere gjenbruk fra biogene kilder eller fanget fra luft, for eksempel ved bruk av faktortelling. Det framstår også uklart hvordan CO₂ fra DAC håndteres i dagens regelverk.

I dag er det flere faktorer dyrere å fange CO₂ fra luft sammenlignet med røykgass. I totale driftskostnader utgjør likevel CO₂-kostnaden en mindre andel av kostnadene, og det kan være aktuelt med en (økende) andel CO₂ fanget fra luft. Den største kostnadsdriveren for produksjon av syntetiske produkter er kraftkostnaden.

Regelverket for beregning av klimanytte for syntetiske drivstoff vil defineres i en dedikert forordning fra EU i 2020.



Tre alternative utslippskilder til gjenbruk av karbonutslipp

Syntetiske produkter fra gjenbrukt karbon

Syntetiske produkter er karbon og hydrogen syntetisk konvertert til nye produkter, med karbon fra CO₂, andre karbonrike gasser eller karbon bundet i plastavfall.

Syntetiske hydrokarboner skiller seg fra jomfruelige hydrokarboner, som er produsert direkte fra fossile råstoff.

	Fornybar fra ikke-biologisk opprinnelse	Resirkulert karbon – fossile avfallsgasser	Resirkulert karbon – fra plast
Syntetisk drivstoff	e-fuels (RFNBO)	Karbonresirkulert drivstoff (RCF)	Karbonresirkulert drivstoff (RCF) / Plast-til-drivstoff
Syntetisk plast	e-plast	Karbonresirkulert plast	Karbonresirkulert plast / Plast-til-plast

Kategorisering av syntetiske produkter, basert på EUs definisjoner i REDII.

Syntetiske drivstoff kategoriseres i EUs reviderte fornybardirektiv i to hovedgruppe fra 2021:

- 1. e-fuels.** Omtales også som fornybart drivstoff fra ikke-biologisk opprinnelse (RFNBO), eller Power-to-Liquid (PtL), og blir en del av regelverket for fornybare drivstoff og biodrivstoff (derav ikke-biologisk opprinnelse). Denne gruppen teller som fornybart så lenge kraftforbruket i produksjonsprosessen er fornybart. Kraftforbruket i produksjonsprosessen teller i EUs fornybarkrav, ikke energien i drivstoff. Dette tilsvarer mer enn-dobbelte telling av fornybarinnhold med virkningsgrader på mindre enn 50 prosent, men er kun en driver for medlemsland som har utfordringer med å nå fornybarkrav (gjelder ikke Norge).
- 2. Karbonresirkulert drivstoff** fra avgasser eller plast. Kan også omtales som lavkarbon drivstoff, og plast-til-drivstoff (forkortes også PtL). Slikt drivstoff er produsert fra flytende, faste eller gassholdige avfallsstrømmer av fossil opprinnelse, og som ikke er egnet til materialgjenvinning. Dette betyr at det kun er plast som ikke kan materialgjenvinnes som er inkludert i definisjonen. Det er opp til hvert enkelt medlemsland å avgjøre om karbonresirkulert drivstoff skal telles som fornybart. Norge har foreløpig ikke valgt å gjøre dette. I det norske regelverket er drivstoff fornybart hvis karbonkilden er fornybar.

Syntetisk plast kan defineres ved samme tilnærming, som vist i tabellen.

Ressursbehov syntetiske produkter

Ressursbehovet for syntetiske produkter er som følger:

- **Karbon (eventuelt nitrogen ved konvertering til syntetisk gjødsel eller ammoniakk)**
- **Kraft og vann for produksjon av hydrogen (elektrolyse), samt energi i produksjonsprosessen**
- **Land for kraftproduksjon og industrianlegg**

Lokasjoner med tilgang til rimelig og kontinuerlig sol- og vindkraftproduksjon er attraktive. Dette kombinert med tilgang til ferskvann for hydrogenproduksjon, og eventuelt kyst for transport, gjør at Öko-Institut (2017) peker på følgende områder som spesielt attraktive internasjonalt: Nord-Afrika, Midtøsten, Brasil, Argentina, Australia og Norge.

Nettopp fordi Norge er internasjonalt attraktivt for produksjon av syntetiske produkter, er det viktig at det etableres et regelverk for klimanyttig gjenbruk av karbonutslipp i Norge.

Kilde: Öko-Institut 2017. An outline of sustainability criteria for synthetic fuels used in transport. Policy paper for Transport & Environment.



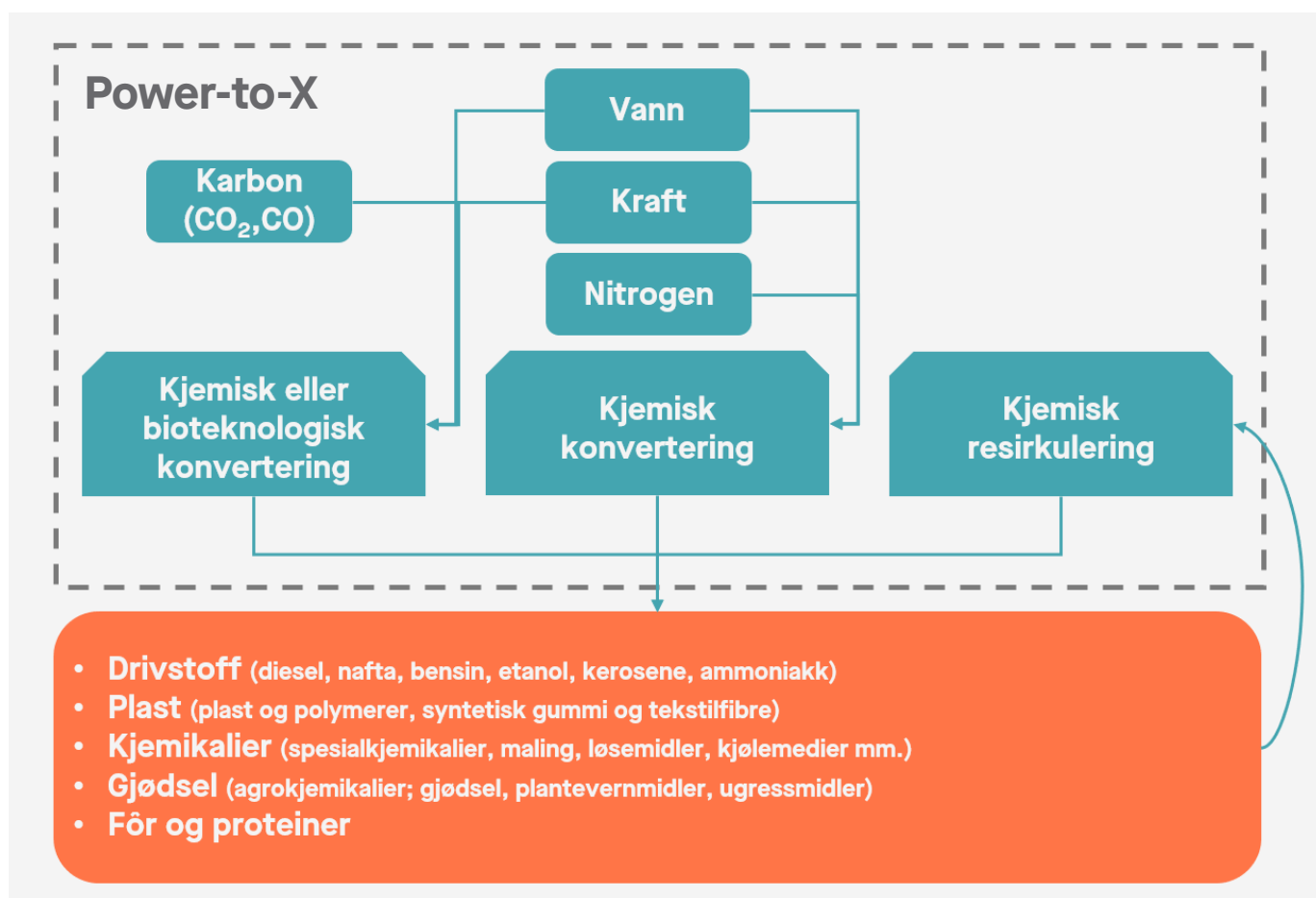
Syntetiske produkter produseres fra gjenbrukt karbonutslipp, som CO_2 , og hydrogen.

Power-to-X (PtX) er produksjon av karbon- og nitrogenholdige produkter som drivstoff, plast, kjemikalier, gjødsel og fôr fremstilt med fornybar energi uten å tilføre karbonkretsløpet nytt karbon fra fossile ressurser.

Karbon kan syntetiseres sammen med hydrogen enten kjemisk eller bioteknologisk. Kjemisk kan CO₂ og hydrogen prosesseres til nye produkter under høy temperatur og høyt trykk. Bioteknologisk kan karbon fermenteres til nye produkter.

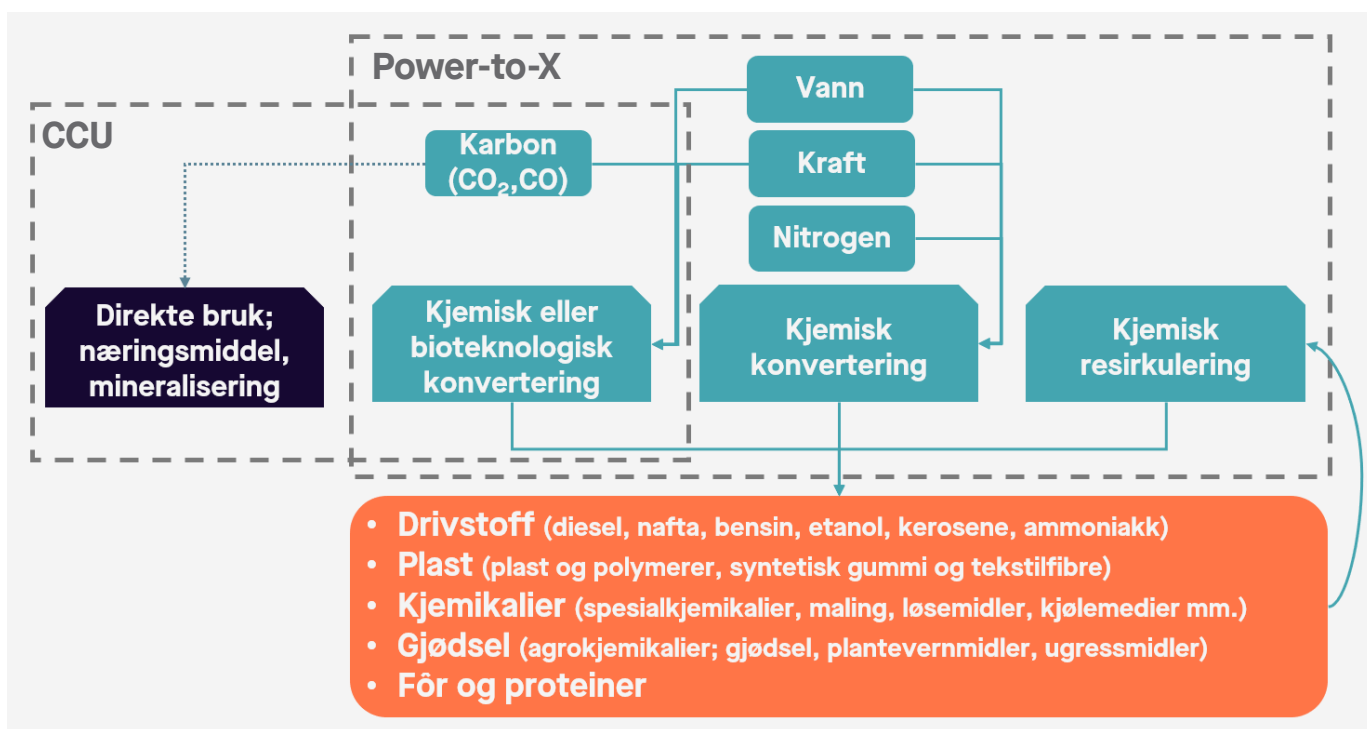
I tillegg kan karbon gjenbrukes direkte fra plast, ved kjemisk resirkulering. Dette er ikke en åpenbar del av PtX-begrepet, men inkluderes for å dekke bredden i gjenbruk av karbon.

Denne rapporten har hovedfokus på gjenbruk av karbonutslipp til drivstoff, plast og kjemikalier. Det betyr at nitrogen, gjødsel, fôr og proteiner kommer sekundært i denne rapporten.



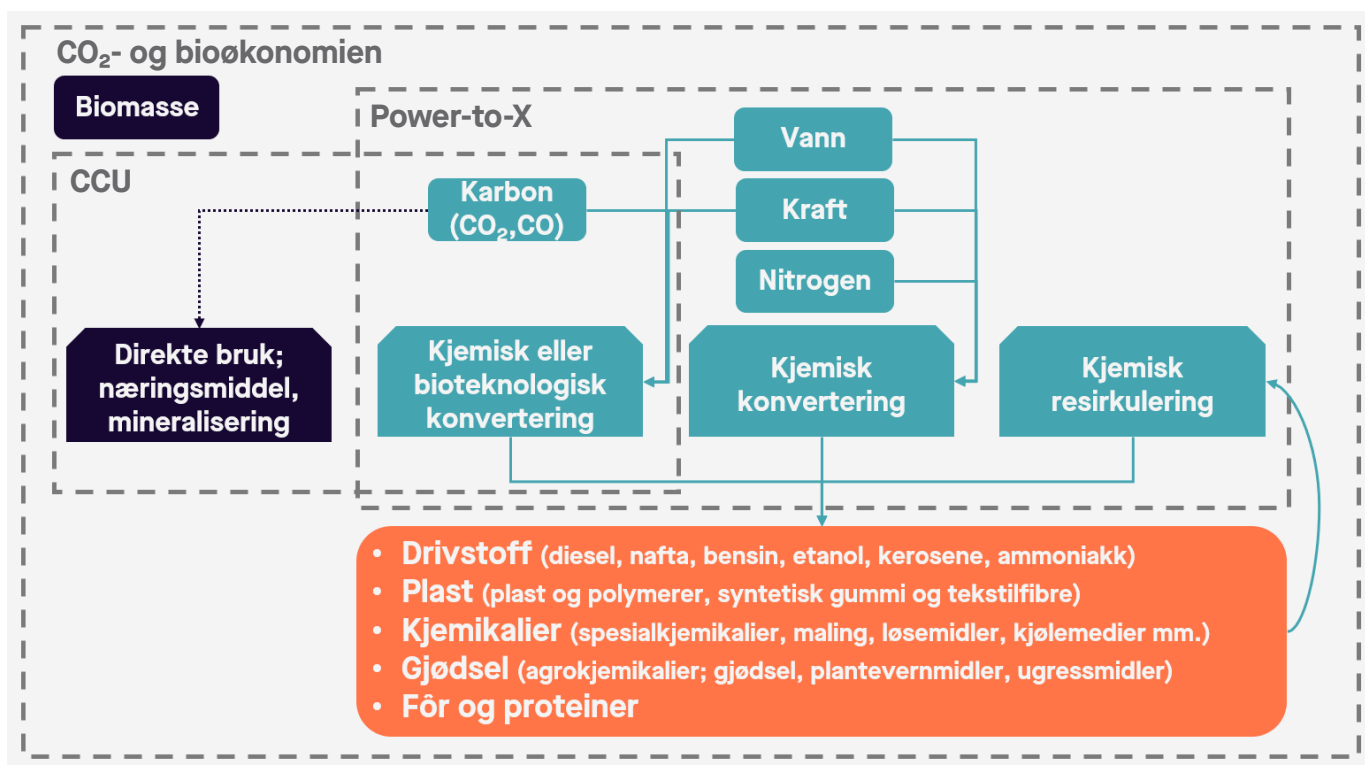
Definisjon begrep og omfang Power-to-X (PtX).

CO₂ kan også gjenbrukes direkte, til mineralisering, i næringsmiddelindustri og for å øke oljeproduksjon (Enhanced Oil Recovery, EOR). Dette er den «klassiske» delen av CCU, og er ikke inkludert i dette arbeidet.



PtX sammenlignet med karbonfangst- og bruk (CCU).

Gjenbruk av karbonutslipp kan omtales som en del av CO₂-økonomien, og henger tett sammen med den mer etablerte bioøkonomien. Bioøkonomi og biomasse er ikke en del av denne analysen.



Sammenheng PtX, CCU og CO₂- og bioøkonomi.

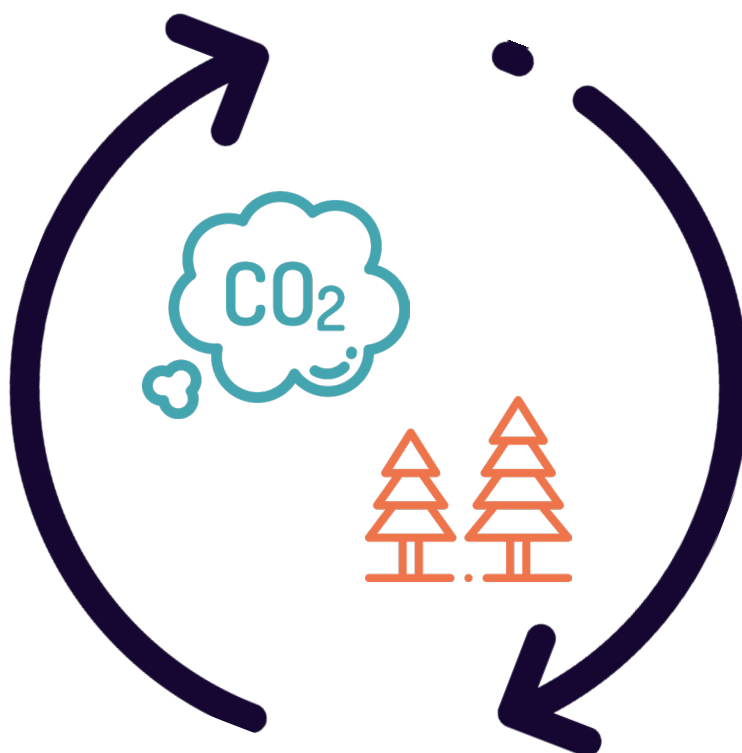
CO₂- og bioøkonomi = sirkulær karbonøkonomi

I nullutslippssamfunnet er det to kilder til sirkulært karbon; **fra biomasse og CO₂ fra lufta**.

Gjenbruk av karbonutslipp kan komplettere behovet og bruken av biomasse for å erstatte fossile råstoff. CO₂- og bioøkonomien har flere fellestrekk, både på produkt- og markedssiden, og på teknologisisden for konvertering til drivstoff, plast og kjemikalier. Nå harmoniseres også regelverket i EU, ved at syntetiske drivstoff inkluderes i det reviderte fornybardirektiv fra 2021.

Gjenbruk av karbonutslipp kan også bidra til å redusere presset på bruken av landarealer, ved å introdusere en ytterligere kilde til ikke-jomfruelig karbon. Gjenbruk av karbon har også et potensial for å bidra til negative utslipp ved karbonlagring i produkter eller sluttlagring av CO₂ fra produkter produsert fra biogene kilder eller CO₂ fanget fra luft.

Det er derfor nødvendig å anse gjenbruk av karbonutslipp og bruk av biomasse som komplementære klimaløsninger, og at begge er en del av en sirkulær karbonøkonomi. Både CO₂- og bioøkonomien handler om hvordan vi skal dekke behovet for karbon i nullutslippssamfunnet uten å produsere nytt fossilt råstoff.



Sirkulær karbonøkonomi inkluderer bioøkonomi og CO₂-økonomi.

Eksempler på pågående prosjekter for gjenbruk av karbonressurser i omløp

I dag brukes CO₂ i produksjon av urea, til mineralisering og i metanolproduksjon. Til disse formålene kommer CO₂ fra tidligere trinn i produksjonsprosessen.

Det er en rekke pågående prosjekter for gjenbruk av karbonutslipp. Utviklingen er rask, og det er en rekke aktører involvert i utviklingen av nye prosjekter; både teknologi- og gründerelskaper knyttet til CO₂- og karbonkonvertering, og industrielle aktører som ønsker å selge råvarestrømmer. Under følger eksempler på pågående prosjekter, gruppert etter type prosjekt.

Prosjekter for kjemisk konvertering (e-fuels): Carbon Recycling International har et fullskala anlegg på Island (2012) som gjenbruker CO₂ fra geotermisk energi til produksjon av metanol (ca. 5 millioner liter per år). Selskapet planlegger flere nye anlegg i Tyskland (2019), Sverige (2020), Kina (2022) og Norge. Nordic Blue Crude og norsk e-fuel planlegger et anlegg på Herøya i Norge, for gjenbruk av CO₂ til produksjon av Fischer-Tropsch-crude (ca. 8 millioner liter), og sveitsiske Swiss Liquid Future (SLF) planlegger produksjon av metanol i Mo Industripark (ca. 100 millioner liter). Det bør vurderes hvordan e-fuels kan inkluderes i omsetningskravet for vei, luftfart og maritimt.

Det er også en rekke piloter for kjemisk konvertering av CO₂, blant annet Sunfire i Tyskland (2014) som henter CO₂ fra luft til produksjon av Fischer Tropsch-crude, og Carbon Engineering i Canada (2017) som henter CO₂ fra luft til produksjon av drivstoff.

Prosjekter for bioteknologisk konvertering (resirkulert karbon): Lanzatech er den største aktøren innen denne gruppen av prosjekter, og har ett anlegg i Kina (2018)

som gjenbruker karbon fra stålproduksjon til etanol (ca. 60 millioner liter). Lanzatech planlegger en rekke nye anlegg, blant annet på stålverk i Belgia (ca. 80 millioner liter etanol fra 2020), gjenbruk av raffinerigasser i India (ca. 40 millioner liter etanol fra 2020), og gjenbruk av ferrolegeringsgasser i Sør-Afrika (ca. 65 millioner liter etanol fra 2020). BioMCN produserer metanol fra CO₂ i Nederland (snaue 20 millioner liter fra 2017/18), og St1 og Qpower har et felles pilotprosjekt for gjenbruk av CO₂ fra bioetanolproduksjon i Finland.

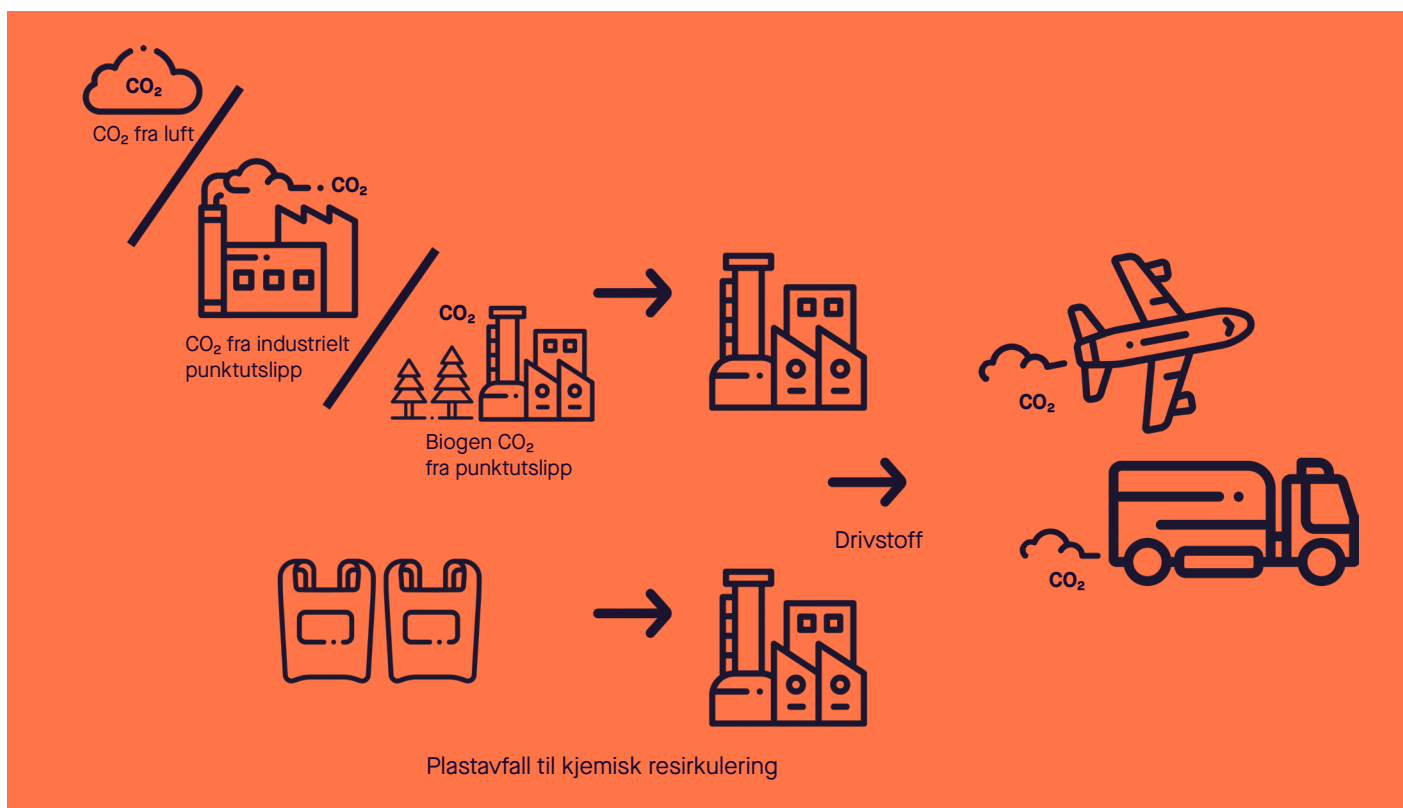
Prosjekter for karbonresirkulert plast: Denne gruppen av prosjekter har en rekke aktører involvert som jobber med kjemisk gjenvinning av plast. Norske Quantafuel bygger et anlegg i Skive i Danmark (ca. 15 millioner liter fra 2020) som gjenbruker plast, som ikke kan mekanisk resirkuleres, til produksjon av drivstoff (i samarbeid med Vitol) og ny plast (i samarbeid med BASF). Plastic Energy/synar har to anlegg i Spania (2014/2017) som produserer diesel og nafta (ca. 6 millioner liter) fra plast, og har et samarbeid med Sabic om co-prosessering til ny plast. Eksempler på andre aktører som produserer syntetisk crude fra plast er Vadxx i USA (ca. 13 millioner liter fra 2017), PARC i Kina (ca. 8 millioner liter fra 2006/2009), MK Aromatics i India (ca. 3 millioner liter fra 2009), og Pyrocrat Systems i India (ca. 30 millioner liter). Nederlandske Ioniqa jobber med å gjenbruke innsamlet havplast.

Gjenbruk av karbonutslipp til drivstoff

Metanol og syntetiske transportdrivstoff er hovedfokus i pågående prosjekter internasjonalt. Det er i hovedsak mindre piloter som er i drift, med unntak av Carbon Recycling International (CRI) på Island. CRI produserer metanol til transport og industrielle formål, og har vært i kommersiell drift siden 2012. CRI planlegger flere nye anlegg og jobber sammen med Statkraft med utvikling av prosjekter i Norge.

Pågående prosjekter i Norge er SLF som planlegger produksjon av metanol i Mo Industripark, og Nordic Blue Crude/norsk e-fuel som planlegger produksjon av syntetiske drivstoff på Herøya Industripark.

De fleste pågående prosjekter er knyttet til drivstoff, ikke plast og kjemikalier. Likevel er prosjektene knyttet til drivstoff viktige, spesielt fordi disse bidrar til nødvendig teknologiutvikling i retning mer avanserte produkter som plast. Verdikjedene på produksiden er også integrerte på tvers av transportdrivstoff og kjemiske produkter. Et eksempel på dette er CRI som produserer metanol til både transport og industrielle formål. CRIs metanol har blant annet blitt brukt i produksjon av FAME (konvensjonell biodiesel) (blant annet hos Adesso BioProducts i Sverige).



Illustrasjon av gjenbruk av karbonutslipp til drivstoff.

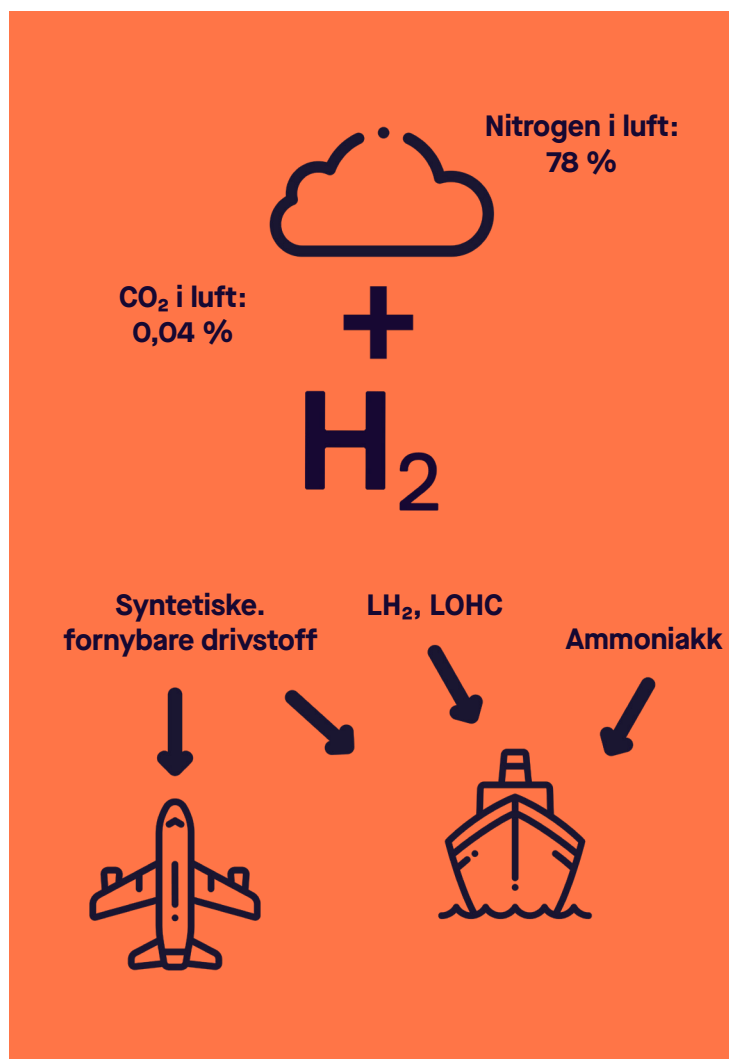
Framtidens drivstoff til luft- og skipsfart

Gjenbruk av karbonutslipp til drivstoff kan bli en viktig klimaløsning for luftfarten, som har få alternativer til flytende drivstoff. Småfly og kortdistanse luftfart kan bli elektrisk, men det vil være behov for flytende drivstoff med høy energitetthet til luftfart. E-fuels er en viktig løsning sammen med bærekraftig biodrivstoff.

Skipsfarten har også et betydelig drivstoffbehov, men har flere alternativer enn luftfart. Elektrifisering er egnet for korte distanser, mens både flytende hydrogen, syntetiske, fornybare drivstoff og ammoniakk er aktuelle alternativer for lang- og tungdistanse skipsfart. Flytende hydrogen peker seg spesielt ut til passasjertrafikk, da ammoniakk vil ha større bruksmessige barrierer på grunn av at det er giftig og ikke har etablert infrastruktur for fylling. Syntetiske, fornybare drivstoff kan brukes i etablert infrastruktur, men det er kun flytende hydrogen og ammoniakk som er utslippsfrie alternativer.

For å produsere ammoniakk er det behov for nitrogen. Nitrogeninnholdet i lufta er 78 prosent, mens CO₂-innholdet er 0,04 prosent. Nitrogenbasert e-fuels kan derfor ha en kostnadsfordel framfor karbonbaserte e-fuels, fordi nitrogen kan produseres direkte via destillasjon. Denne mulige kostnadsfordelen, og en allerede delvis utbygd infrastruktur, peker på ammoniakk som dominerende drivstoff for skipsfarten i tråd med andre rapporter (ETC 2018 og UMAS 2017). Flere fornybare drivstoff vil være aktuelle for å erstatte dagens bruk av fossilt drivstoff, som e-fuels, flytende hydrogen og LOHC (flytende organiske energibærere).

Felles for både luftfart og skipsfart er at levetiden på fly og skip er svært lange. Det vil derfor være behov for både ettermontering av ren forbrenningsteknologi og bruk av utslippsfritt drivstoff i dagens motorer for en rask nok nedgang i utslippene.



Drivstoff til luft- og skipsfart.

Kilde: Energy Transmission Commission 2018. Decarbonizing shipping. Consultation workshop. UMAS, 2017. Decarbonizing shipping. Consultation workshop, Lloyd's register.

Gjenbruk av karbonutslipp til plast

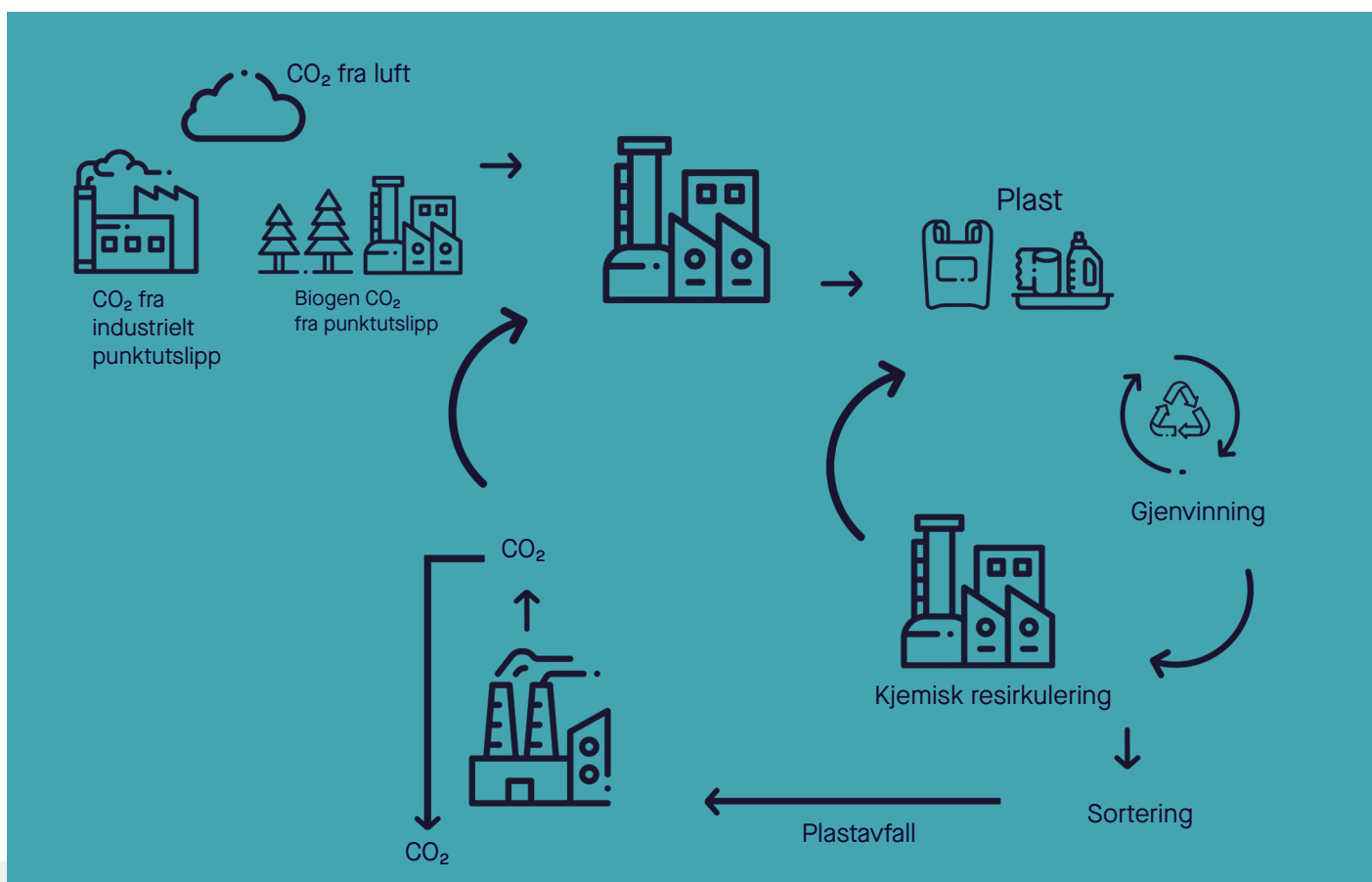
Plast er, til forskjell fra drivstoff, en sirkulær råvarestrøm. Syntetisk plast kan inngå i dagens systemer for materialgjenvinning. Dermed kan syntetisk plast holdes i sirkulært omløp, gjennom mekanisk og kjemisk gjenvinning, før endelig energigjenvinning. Med en tilgjengelig verdikjede for sluttlagring av CO₂, og gjenbruk av CO₂ fra luft eller biogene kilder, er det et potensial for karbonnegativ syntetisk plast. Virkemidler som fremmer karbonfangst og -lagring fra avfallsforbrenning er avgjørende for å få til dette. Det bør vurderes om det kan innføres en forbrenningsavgift på anlegg uten CCS, og om det på sikt kan forskriftsfestes krav om CCS på avfallshåndtering.

Det er to pågående prosjekter knyttet til plast som peker seg ut som svært spennende. Lanzatech er en av de største aktørene innen gjenbruk av karbonutslipp. Selskapet produserer etanol fra avgasser fra stål i Kina.

Etanolen ble det første året brukt som lavkarbon drivstoff til transport, men har i senere tid blitt brukt til å produsere plast; t-skjorter, emballasje og flasker. Også Quantafuel har gått fra et fokus på karbonresirkulert drivstoff til plast, og har inngått et samarbeid med BASF om kjemisk gjenvinning av plast-til-plast. Det første anlegget bygges i Skive i Danmark i 2019/2020.

Selv om de fleste pågående prosjekter er knyttet til drivstoff, og ikke plast og kjemikalier, viser produktutviklingen i prosjektene til Lanzatech og Quantafuel hvor viktig et tidligmarked for syntetisk drivstoff er for en videreutvikling til syntetisk plast. For å komme til en ønsket end game hvor plast kan produseres helt fossilfritt, er det nødvendig med verdikjeder og markeder for syntetisk drivstoff.

Illustrasjon av gjenbruk av karbon til plast.



Eksempler på case for gjenbruk av utslipp

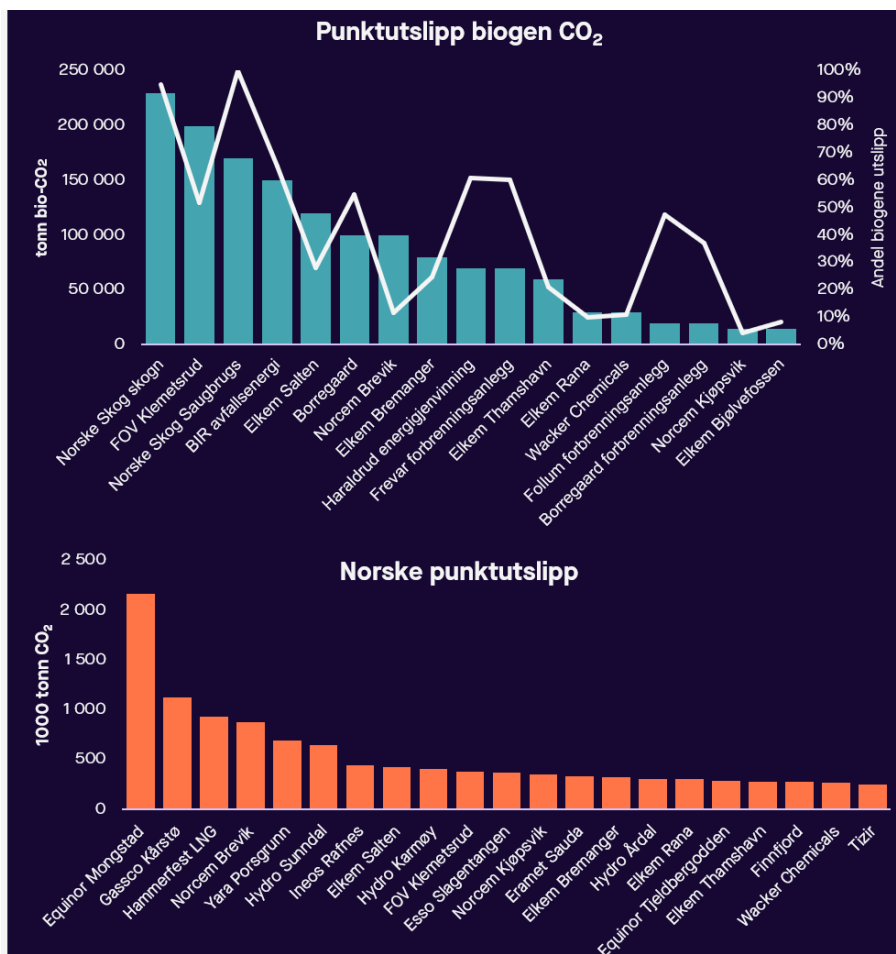
Det er en rekke ulike case og forretningsmodeller for gjenbruk av karbonutslipp, på tvers av en rekke sektorer. Vi trekker fram noen utvalgte case og eksempler:

- Gjenbruk av CO₂ fra bioraffinerier
- Gjenbruk av CO₂ fra biogassproduksjon
- Gjenbruk av karbonutslipp fra raffinerier
- Gjenbruk av karbonutslipp i metallproduksjon

På grunn av høye kostnader knyttet til lagring og transport av CO₂ er det mest sannsynlig at det etableres produksjonsanlegg som utnytter CO₂ fra nærliggende utslippspunkt. Tilgang til CO₂ er ingen begrensende faktor i dag, men det er begrenset tilgang til fanget CO₂.

Det er i dag 21 industrielle punktutslipp med totale utslipp over 250.000 tonn CO₂ i Norge. Flere av disse anleggene har en bioandel, som Elkem, Norcem og forbrenningsanleggene.

Med reduserte CO₂-utslipp og netto- eller nær nullutslipp i 2050 vil tilgangen til CO₂-kilder bli mindre. Oppbygning av nye anlegg og verdikjeder bør derfor prioriteres bygd med tilgang til biogene CO₂-kilder. I dag er det syv anlegg med biogene punktutslipp på mer enn 100.000 tonn CO₂. Flere av anleggene i figuren med biogene CO₂-utslipp har økende bioandel i produksjonen (som Elkem).



Kilde: norskeutslipp.no 03.03.2020. Avrundede tall.

PtX-case: Gjenbruk av karbon fra bioraffinerier

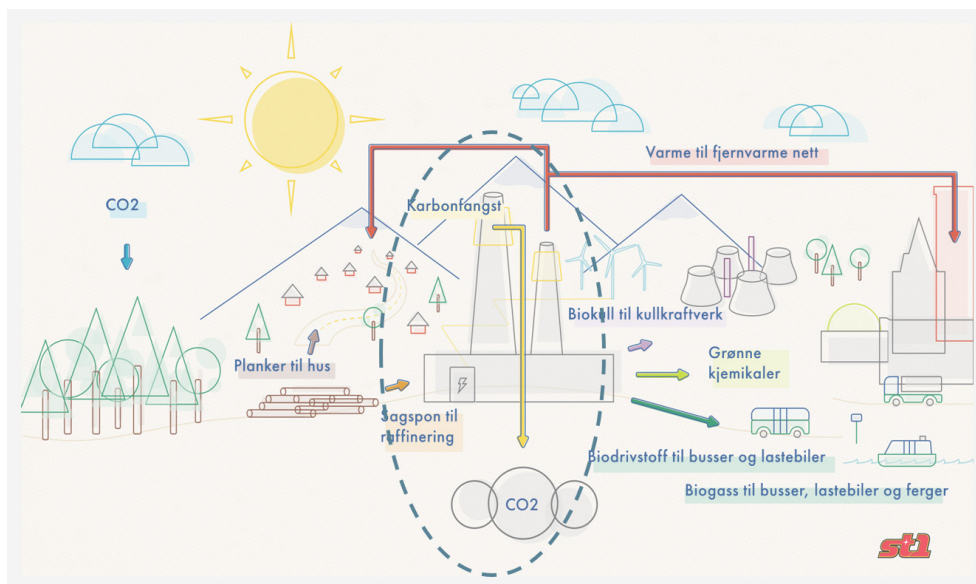
Flere planlagte og eksisterende bioraffinerier har rene, biobaserte CO₂-strømmer tilgjengelig. Tilgang til rene CO₂-strømmer gjør dette til et kostnadseffektivt og attraktivt alternativ for gjenbruk av karbonutslipp, og kan dessuten bidra til høy ressursutnyttelse i bioøkonomien.

Borregaard har i dag utslipp av rene biobaserte CO₂-strømmer på rundt 100.000 tonn, som kan være egnet for gjenbruk til produksjon av nye produkter. Det samme vil være tilfellet for flere planlagte bioraffinerier i Norge.

St1 produserer avansert bioetanol fra bakeriavfall flere steder i Norden (etanolix). Ved disse anleggene har de tilgang til rene, biobaserte CO₂-strømmer. Ved anlegget i Vaanta i Finland jobber St1 sammen med Qpower i et pilotprosjekt for gjenbruk av CO₂ til produksjon av syntetisk metan, ved biologisk metanisering.

St1 planlegger også produksjonsanlegg for avansert bioetanol fra skogressurser (cellulolix), blant annet på Follum i Norge. I disse prosjektplanene er karbonfangst en del av konseptet.

Det er flere av de planlagte produksjonsanleggene for bærekraftig biodrivstoff i Norge som har mulighet for karbonfangst, som enten kan sluttlagres med mulighet for negative utslipp, eller gjenbrukes til å produsere nye produkter i CO₂- og bioøkonomien.



Figur fra St1s planlagte bioraffineri på Follum i Norge.

PtX-case: Gjenbruk av karbon fra biogassproduksjon

I produksjonen av biogass er det tilsvarende som i bioraffinerier ofte tilgang til rene, biogene CO₂-strømmer. Utnyttelse av disse CO₂-strømmene vil bidra til økt ressurs- og karbonutnyttelse i disse verdikjedene.

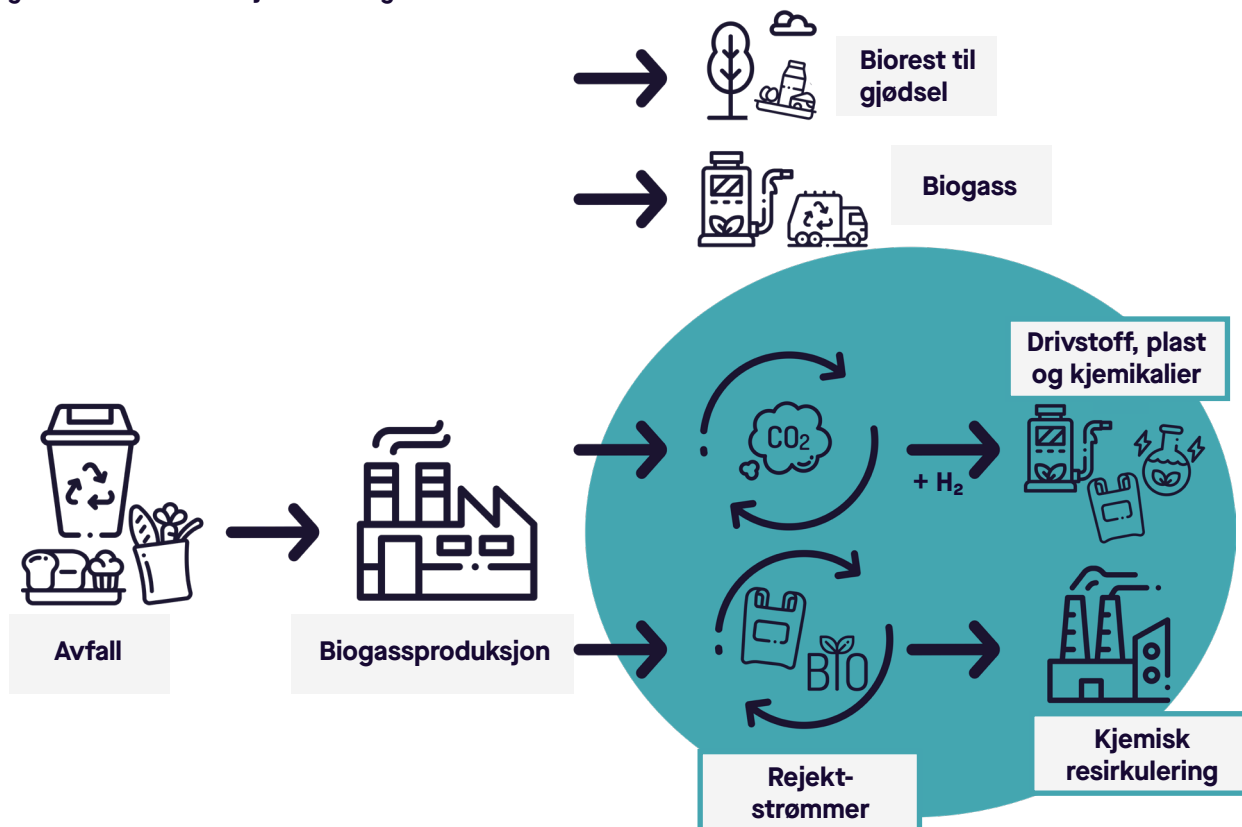
Det er i dag 15 biogassanlegg i drift som produserer biogass til drivstoffkvalitet, med en produksjonskapasitet på rundt 600 GWh*. For å oppnå drivstoffkvalitet er det behov for oppgradering av biogass til biometan. Råbiogass har et metaninnhold på 60 prosent, hvor resterende 40 prosent er CO₂. Av dagens biogassproduksjon av drivstoffkvalitet tilsvarer dette tilgjengelige CO₂-strømmer på rundt 80.000 tonn.

Greve biogass utnytter i dag CO₂-strømmer i veksthus til produksjon av mat, men ellers er det ingen andre aktører som utnytter sidestrømmer i dag. Tilgjengelig volum av rene, biogene CO₂-strømmer fra biogassanlegg i dag er små. Disse er derfor trolig best egnet til direkte utnyttelse i for eksempel veksthus, framfor industriell utnyttelse. Større biogassanlegg kan likevel være relevante for økt produksjon av for eksempel bio-metan.

I tillegg til CO₂ er det også rejektstrømmer av plast fra biogassproduksjon, som sorteres ut og ikke er egnet for mekanisk gjenvinning. Også disse produktstrømmene antas å være begrenset i volum.

* **Carbon Limits (2017)** Bærekraft og klimagassreduksjoner for norskprodusert biogass – kunnskapsgrunnlag og anbefalinger til innkjøpere. Tallene er også diskutert med Rambøll. **Miljødirektoratet (2020)** rapporterer et produksjonsnivå på 500 GWh i 2018 (virkemidler for økt bruk og produksjon av biogass).

Figuren illustrerer verdikjede for biogass.



Økt ressursutnyttelse i produksjonen av biogass

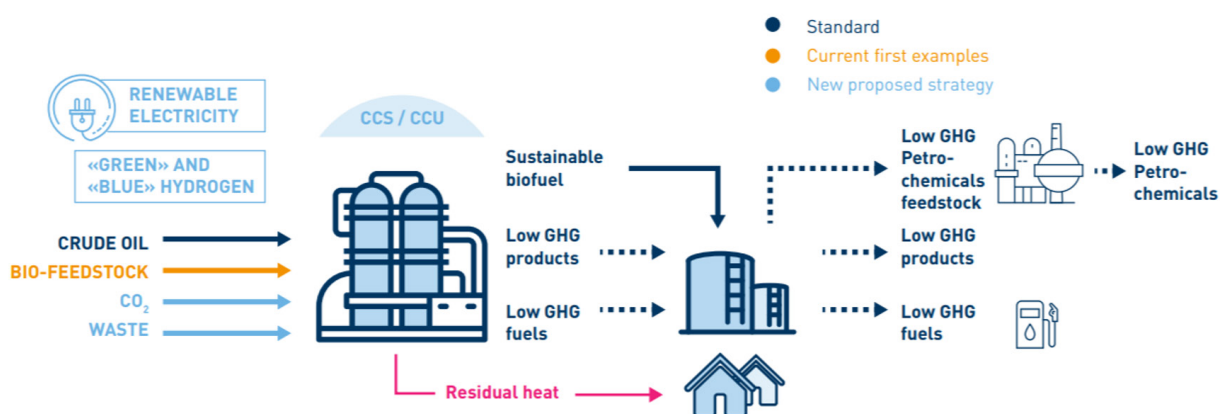
PtX-case: Gjenbruk av karbon og omstilling av raffinerier

Den petrokjemiske industrien er basert på karbon fra fossil olje og gass, til å produsere drivstoff, plast og kjemikalier. Raffineriene er sentrale i flere pågående prosjekter for gjenbruk av CO₂ av flere årsaker: raffinerier har tilgjengelig infrastruktur, teknologi og kompetanse, og dessuten tilgang til CO₂ og karbonrike syntesegasser. Raffinerier benytter dessuten halvparten av dagens bruk av hydrogen (i stor grad til svovelrensing) (IEA 2019, *The Future of Hydrogen*).

Gjenbruk av karbonutslipp er en sentral del av strategien til den europeiske raffineriindustrien. Figuren viser hvordan fossil råolje kan erstattes av bio- og avfallsbaserte råvarestrømmer, kombinert med utslippsfri hydrogen.

Et pågående prosjekt eksempel er Shells arbeid sammen med Everfuel om et demonstrasjonsanlegg for PtX på Fredericia-raffineriet i Danmark. Prosjektet skal benytte perioder med overskuddskraft til å produsere hydrogen (20 MW), med formål å demonstrere PtX som balansetjeneste og energilager. Prosjektet har en planlagt kapasitet for lagring av hydrogen på 10 tonn, som tilsvarer hydrogenbehovet for fem dagers raffineridrift. Prosjektet har et potensial til å benytte perioder med overskuddskraft til å produsere syntetiske drivstoff.

I dag er de norske raffineriene hel-fossile. Men i et framtidig nullutslippssamfunn må raffineriene omstilles til fornybar drift, dvs. til «bioraffinerier», og vil kunne øke karbonutnyttelsen ved gjenbruk av karbonutslipp

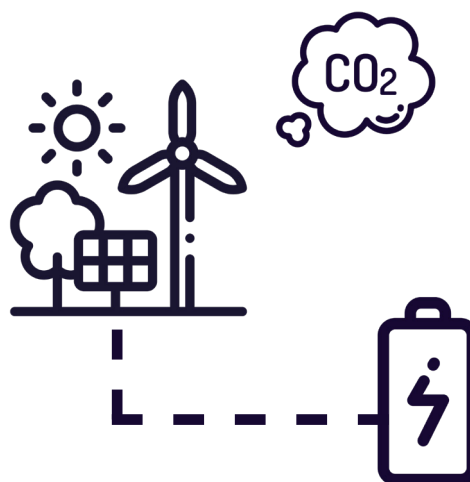


Illustrasjon av et raffineri som bruker fossile, fornybare og sirkulære råstoff. Kilde: Fuels Europe 2018, Vision 2050.

PtX-case: Gjenbruk av karbonutslipp som energilagring

Gjenbruk av karbonutslipp kan være en mulighet for (sesong)lagring av fornybar overskuddskraft, og på denne måten bidra til balansetjenester. Dette er spesielt omtalt for Power-to-Gas (PtG) og produksjon av syntetisk gass (SNG). Det er flere piloter for PtG i Europa, og er attraktivt både for energilagring og energitjenesten som tilbys.

Gjenbruk av karbonutslipp har et stort potensial i et energisystemperspektiv. PtX og gjenbruk av karbonutslipp kan bidra til å balansere ny fornybar kraftproduksjon, kan integreres i eksisterende raffineriproduksjon og infrastruktur for flytende drivstoff, samt bidra til økt ressursutnyttelse i bioraffinerier. Gjenbruk av karbonutslipp er derfor en klimaløsning for omstilling av eksisterende industri og utvikling av ny grønn industri.



Gjenbruk av karbonutslipp som energisystemtjeneste og -lagring

PtX-case: Sirkulær metallproduksjon

Karbon er i dag en avgjørende innsatsfaktor i produksjon av metaller som aluminium, stål, silisiummetaller og mangan. Metalloksider reduseres til rent metall ved bruk av fossilt kull og koks. I fremstillingen av jern og stål, kan fossilt kull erstattes med fornybart hydrogen som reduksjonsmiddel. Fremstilling av mange av de andre metallene vil fortsatt være avhengig av karbon som reduksjonsmiddel. I tonnasje er produksjonen av jern og stål langt større enn andre metaller, og dermed er volumet metallproduksjon som kan elektrifiseres høyt sammenlignet med metallproduksjonen som er karbonavhengig. IPCC (2014) rapporterer et produksjonsvolum av jernmalm og stål på henholdsvis 3000 og 1500 millioner tonn i 2009, og til sammenligning aluminium på 45 millioner tonn.

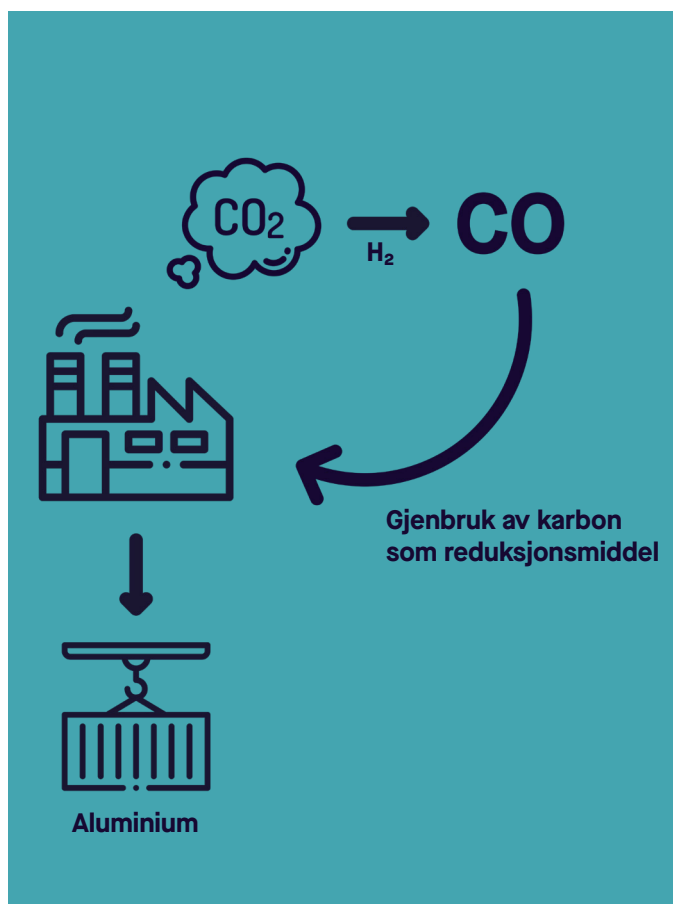
Behovet for karbon kan komme fra biomasse, men det er også et alternativ å gjenbruke karbonutslipp fra produksjonsprosessen som reduksjonsmiddel. Dette er egnet for produksjon av aluminium (klorid-elektrolyse). CO₂-utslipp fra aluminiumsproduksjonen kan resirkuleres, ved at CO₂ reduseres til CO ved bruk av hydrogen, som vist i ligningene under.

$MO_x + XCO \rightarrow M + XCO_2$ (M er et generelt metallatom)

$CO_2 + H_2 \rightarrow CO + H_2O$

CO-utslippene i Norge er på drøye 400.000 tonn (2017), og er nesten halvert siden midten av 90-tallet.

Kilde: www.norskeutslipp.no 12.01.2020. IPCC 2014. AR5.



Illustrasjon av gjenbruk av karbonutslipp i metallproduksjon.

Klimaargumenter for gjenbruk av karbon

Det viktigste klimaargumentet for gjenbruk av karbon er at det holder fossile råstoff i bakken. Substitusjon av fossile alternativer er avgjørende for høy klimanytte for gjenbruk av karbon. Syntetiske produkter utløser først klimapotensialet når disse erstatter fossile produkter som olje, gass og kull.

- **Gjenbruk av CO₂** er en del av sirkulærøkonomien & bioøkonomi, og kan omtales som sirkulær karbonøkonomi. En sirkulær karbonøkonomi handler om den industrielle karbonsyklusen, og inkluderer også sluttlagring av CO₂ (CCS). Sirkulær karbonøkonomi handler om overgangen fra dagens lineære fossile verdikjeder til sirkulære verdikjeder for gjenbruk av CO₂, med mål om sluttlagring av CO₂ og negative utslipp der dette er mulig. Behov for nytt tilført karbon dekkes av biomasse eller CO₂ fanget fra luft.
- **Gjenbruk av CO₂** er en klimaløsning for de delene av samfunnet som ikke kan elektrifiseres, som lang- og tungdistanse luft- og skipsfart, plast, kjemikalier og andre industrielle formål. En sirkulær karbonøkonomi begrenser presset på bruken av landarealer og kan øke materialgjenvinningen.
- **En sirkulær karbonøkonomi** kan bidra til å gjøre det mulig med negative utslipp med begrenset bruk av landarealer. Gjennom krav og etterspørsel etter gjenbrukt CO₂ kan det skapes en forretningsmodell for CO₂ fanget fra luft og fra biogene kilder.
- **Gjenbruk av karbon** kan bidra til karbonlagring i langlevde produkter, spesielt plast.
- **Gjenbruk av karbon** kan bidra til viktig teknologiutvikling for andre klimaløsninger som karbonfangst og -lagring (CCS), og økt ressursutnyttelse av fornybart karbon i bioraffinerier.

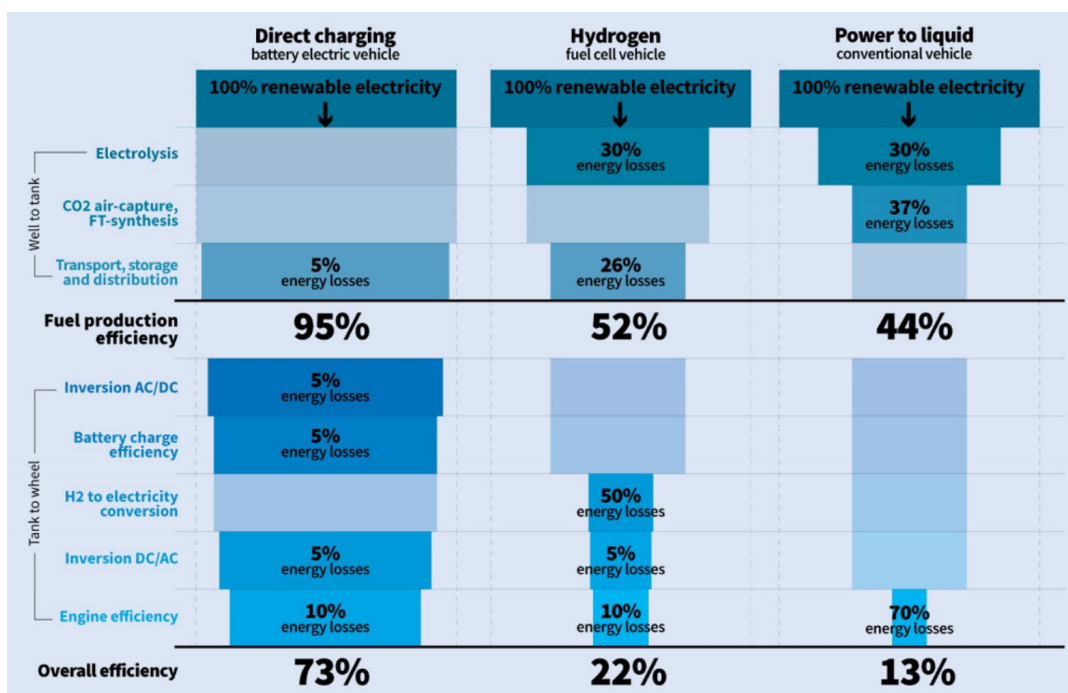


Barrierer og utfordringer for gjenbruk av karbon

Gjenbruk av karbonutslipp er **kraft- og kapitalkrevende**. Den viktigste barrieren for et gjennombrudd for gjenbruk av karbonutslipp er høye kostnader, sammenlignet med jomfruelig hydrokarboner. Både investerings- og driftskostnadene er typisk høye. Investeringskostnadene er i dag høye fordi teknologien er umoden, men forventes å falle med økende volum. Prosessene er svært energikrevende. Driftskostnadene forventes også å falle med tilgang til stadig billigere fornybar energi i mange land.

Figuren under sammenligner **energieffektiviteten** for ulike transportalternativer, og viser at syntetiske drivstoff (e-fuels) er svært energikrevende sammenlignet med batterielektrisk drift. Selv om e-fuels er energikrevende kan klimanytten likevel være høy med bruk av fornybare innsatsfaktorer.

Et argument mot gjenbruk av CO₂ er at dette kun er midlertidige eller forsinka utslippsreduksjoner. Dette stemmer ofte for karbonbaserte e-fuels, men forenkler spørsmålet om gjenbruk av karbonutslipp til en nisje for transport. Gjenbruk av karbonutslipp bør sees i en langt større sammenheng. Det viktigste enkelttiltaket for utslippskutt er å stoppe etterspørselen og opptaket av fossile reserver. Gjenbruk av karbon hindrer etterspørsel etter nytt fossilt råstoff, og politikken bør drive teknologiutviklingen i retning av CO₂ fra biogene kilder eller luft, og i retning produkter som ikke kan elektrifiseres.



Energieffektivitet for ulike transportalternativer. Kilde: Transport & Environment.

Kostnader for gjenbruk av karbon

Fornybart karbon – fra biomasse, fanget fra luft eller resirkulert karbon, er dyrere enn fossilt karbon fra olje og gass i dag. Dette er tilfelle for alle formål, både til drivstoff, plast og kjemikalier.

Nova-Institute (2019) finner at e-fuels er konkurransedyktig med fossile drivstoff ved kraftpriser på 1,5-2 eurocent per kWh, og konkurransedyktig med biodrivstoff ved kraftpriser på 3-4 eurocent per kWh. Når e-fuels inkluderes i regelverk for fornybare drivstoff i EU betyr dette at e-fuels kan bli konkurransedyktig i markeder med tilgang til rimelig vannkraft (kontinuerlig tilgang) i dag, som Norge og Canada, og i stadig flere markeder med utbygging av rimelig vind- og solkraft.

Andre kostnadsdrivere er teknologiutvikling (som reduserer produksjonskostnader og kostnaden for DAC), høyere CO₂-pris for drivstoff og plast, tilgang til rimelig overskuddskraft og behov for balanse- og energilagringstjenester (som vi ser i Danmark), samt økte alternativpriser på fossile råstoff og biomasse. Dagens kostnader for DAC ligger rundt 500-600 \$/ tonn CO₂, men det forventes på sikt en reduksjon ned mot 100 \$/ tonn fanget CO₂ (fotnote 1). Fangst fra røykgass ligger i størrelsesorden rundt 25-40 \$/ tonn fanget CO₂ (fotnote 2), og er dermed rundt fire ganger billigere enn DAC. Som tidligere nevnt utgjør CO₂-kostnaden en langt lavere kostnad enn kraftprisen i produksjonen.

For å få lønnsomhet for gjenbruk av karbon er det behov for tilgang til rimelig fornybar kraft, og virkemidler som fremmer syntetiske og fornybare produkter med lavere klimagassutslipp.

Kilde: nova-Institute 2019. Hitchhiker's Guide to Carbon Capture and Utilisation. nova-paper #11 in bio- and CO2-based economy 2019-02. 1 <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/climeworks-carbon-capture-technology/>, <https://www.sciencemag.org/news/2018/06/cost-plunges-capturing-carbon-dioxide-air>. 2 Uoffisielle tall fra personer som jobber med feltet.



Kostnaden for CO₂-utslipp i ulike sektorer

Kan gjenbruk av karbon føre til karbon lock-in for industrien? Ved å gjenbruke CO₂ fra industrien skapes det en betalingsvilje for fossile utslipp, på tross av EUs mål om karbonnøytralitet innen 2050. For å svare på bekymringen om det flyttes utslipp fra kvotepliktig sektor (ETS) til ikke-kvotepliktig sektor er kostnaden for CO₂-utslipp avgjørende, og da spesielt i industrien og i transportsektoren.

I dag er den norske CO₂-avgiften på fossile drivstoff i transportsektoren høyere enn kvoteprisen for CO₂-utslipp i industrien (figuren øverst til venstre). Det betyr at at gjenbruk av CO₂ fra industrielle punktutslipp som benyttes til transportdrivstoff (ikke-ETS) fører til økt verdi på karbonet. Lønnsomheten avgjøres i tillegg av kostnaden på konvertering av CO₂ til drivstoff og prisen på drivstoffet. Er derimot kvoteprisen for CO₂-utslipp i industrien høyere enn CO₂-avgiften på fossile drivstoff i transport (figuren under), vil det ikke være incentiv i avgiftsstrukturen for å flytte CO₂ fra kvotepliktig til ikke-kvotepliktig sektor.

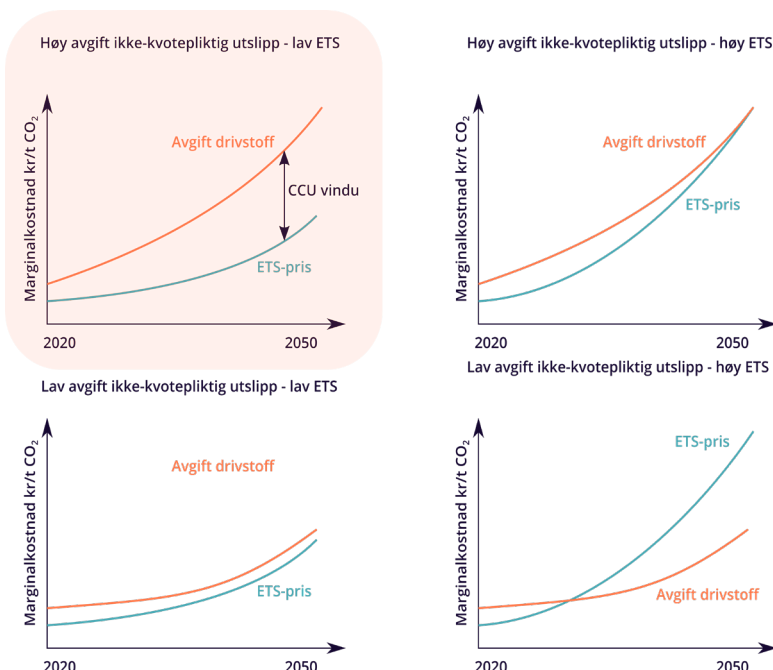
Det mest sannsynlige scenariet i dagens klimapolitikk, hvor klimasamarbeidet med EU gjør det bindende for Norge å kutte ikke-kvotepliktige utslipp, er at CO₂-kostnadene trolig vil forbli høyere for ikke-kvotepliktige utslipp.

Det kan bety at det vil være incentiv for å «flytte» utslippene ut av industrisektoren (ETS) og inn i transport (ikke-ETS), framfor å redusere utslipp i kvotepliktig sektor.

En viktig forutsetning uansett scenario er derfor at industrien er rapporteringsansvarlig for utslippene. Dette vil fortsette å gi et incentiv for omstilling til nullutslippsløsninger, eller sluttlagring av CO₂, når kvoteprisen øker. Biogene kilder og DAC er ikke omfattet av ETS og vil være industrielle fangstkilder også i nullutslippssamfunnet. (Energigjenvinning av avfall er heller ikke omfattet av ETS).

Hvorvidt gjenbruk av industriell CO₂ fører til karbon lock-in i industrien avgjøres delvis politisk av hvor streng klimapolitikken og utslippskostnaden i ulike sektorer er, og delvis av markeds- og teknologiutvikling. Med omsetningskrav og høye avgifter i transportsektoren kan syntetiske drivstoff bli attraktive, og må følges av virkemidler for utslippsfri industri (som teknologistøtte og en infrastruktur for CCS).

Illustrasjon av kostnader for CO₂-utslipp i kvotepliktig (ETS) og ikke-kvotepliktig sektor.



Kriterier for klimanytte

Gjenbruk av karbon skal ikke hindre elektrifisering i transport og samfunnet ellers, men er en løsning for de delene av samfunnet som ikke kan elektrifiseres. I disse segmentene kan gjenbruk av karbon være en avgjørende klimaløsning, spesielt for petrotunge produkter som plast, tung- og langdistanse transport, og spesielt luftfart.

Hvis gjenbruk av karbonutslipp skal være en klimaløsning må følgende kriterier være oppfylt:

- Produktet må erstatte et fossilt produkt, og med dette redusere etterspørselen etter fossile råstoff.
- Klimanytten til gjenbruk av CO₂ skal telles i én sektor, ingen dobbelttelling. Utslippet bør bokføres ved utslipps-/fangstkilder, og på denne måten ikke være til hinder for at industrien legger om til utslippsfri produksjon.
- Klimanytten øker med levetiden til produktet, og jo lenger CO₂ lagres i produktet. Det betyr at gjenbruk av karbon til plast har høyere klimanytte enn gjenbruk av karbon til drivstoff.
- Produktene må produseres med fornybar energi, eller fra utslippsfritt hydrogen. Utslippsfritt hydrogen er produsert med CO₂-fangst og -lagring, og forutsetter deponering av CO₂.
- For å nå 1,5 gradersmålet må opprinnelsen til CO₂ på sikt være biogen eller fanget fra luft (DAC). Dagens politikk og virkemidler må stimulere gjenbruk av karbonutslipp fra biogene kilder eller fanget fra luft, for eksempel ved bruk av faktortelling for syntetiske produkter – som vi veit er et effektivt virkemiddel for bærekraftig biodrivstoff i dag.

Med disse kriteriene er gjenbruk av karbon en del av en sirkulær karbonøkonomi.

«**ZERO mener** at gjenbruk av karbonutslipp til plast, kjemikalier og drivstoff kan være en klimaløsning, gitt kriterier for klimanytte. Med dette kan gjenbruk av CO₂ være en del av en sirkulær karbonøkonomi.»

