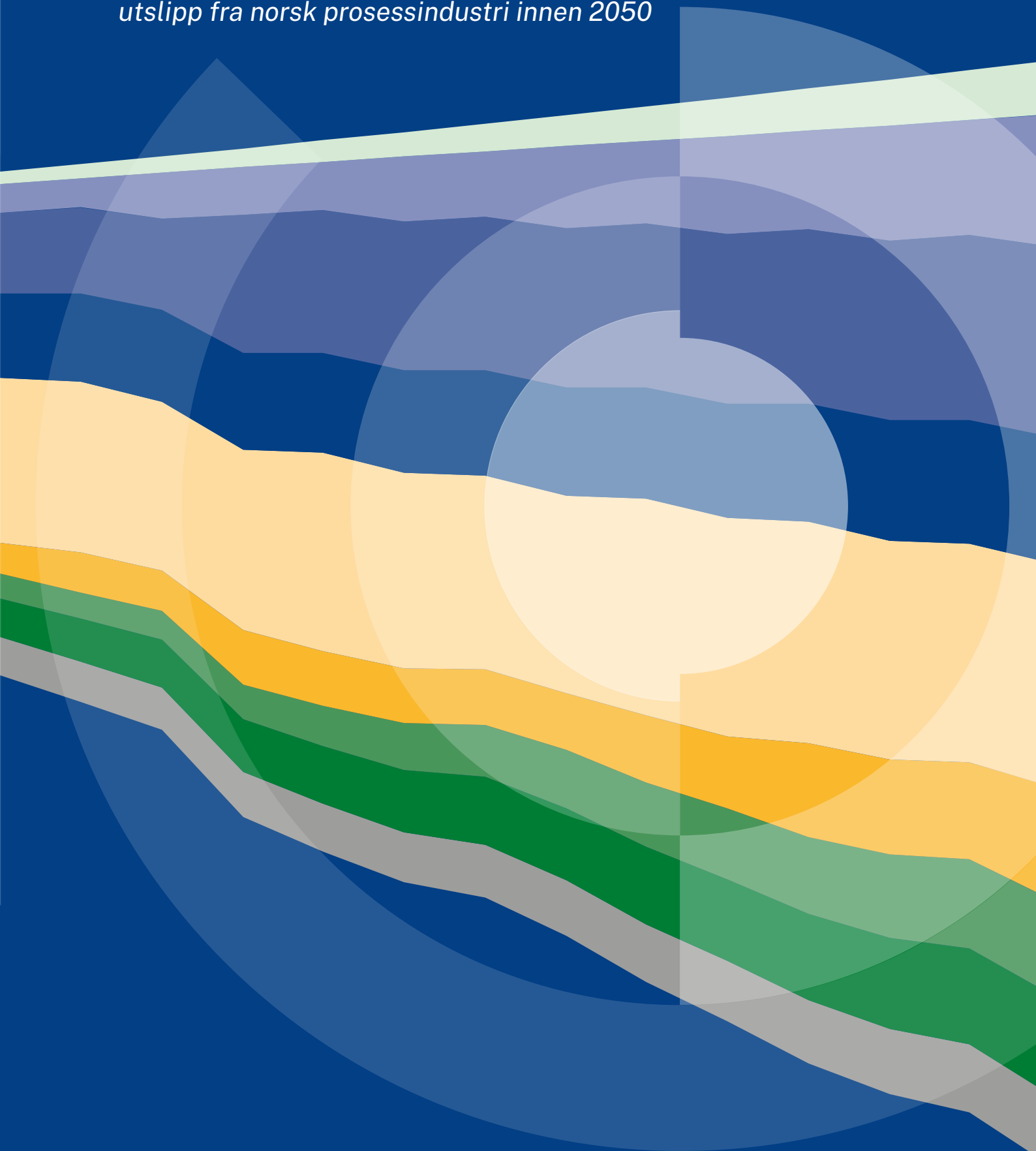


# Prosess21 Veikart

*Muligheter og utfordringer ved å nå netto null utslipp fra norsk prosessindustri innen 2050*



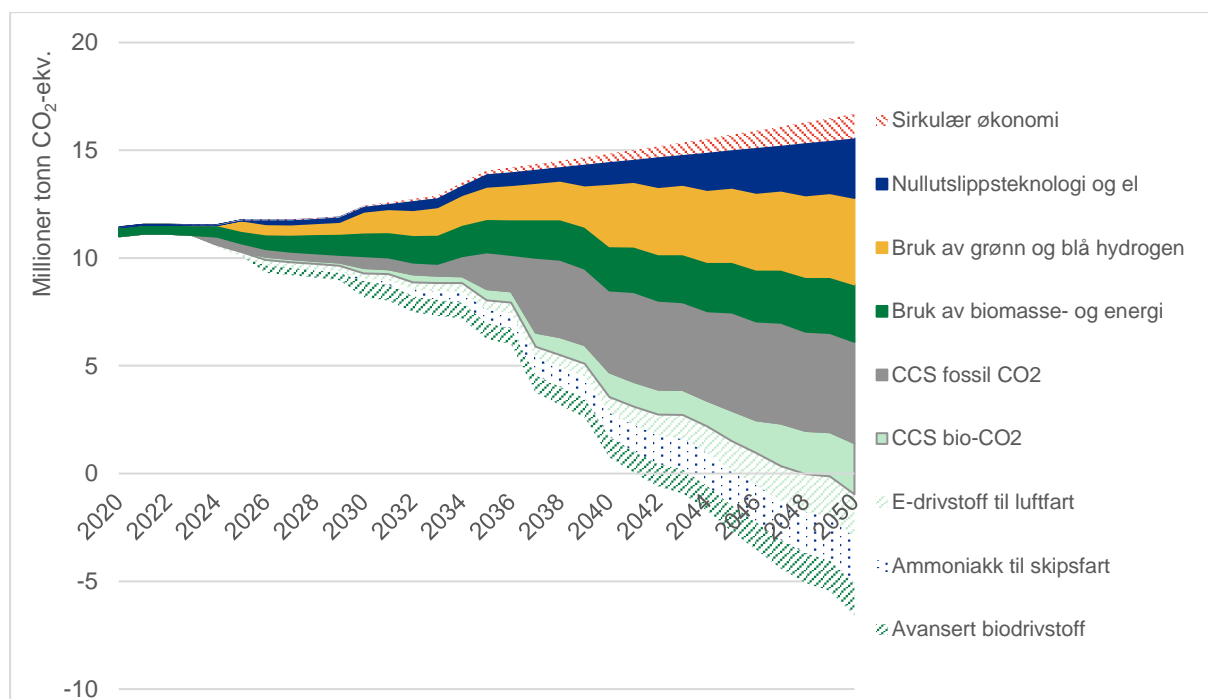
## Innholdsfortegnelse

<b>Sammendrag</b> .....	<b>2</b>
<b>Innledning</b> .....	<b>3</b>
<b>Industriens klimaomstilling</b> .....	<b>4</b>
Struktur .....	4
Produksjon av aluminium .....	5
Produksjon av silisium og ferrosilisium .....	7
Produksjon av manganlegeringer .....	9
Annen metallurgisk industri .....	10
Produksjon av mineralgjødning .....	11
Petrokjemisk industri .....	12
Oljeraffinering .....	13
Treforedlingsindustri.....	14
Mineralsk industri .....	15
<b>Noen vekstmuligheter i det grønne skiftet</b> .....	<b>16</b>
Ammoniakk til skipsfart.....	16
Syntetisk flydrivstoff.....	16
Avansert biodrivstoff.....	17
Produksjon av batterier, batterikomponenter og -materialer.....	17
Lavutslipp stålproduksjon .....	17
<b>Sammenstilling</b> .....	<b>17</b>
Viktige effekter.....	19
Kostnader og CO <sub>2</sub> -priser .....	23
Konkluderende betraktninger .....	25
<b>Kilder</b> .....	<b>27</b>

## Sammendrag

Klimaløsningene som kan være aktuelle for prosessindustrien er i stor grad enten ikke teknologisk modne nå (som inerte anoder), eller ikke markedsmessig modne (som hydrogen og post-combustion amin CCS). Det er også gjerne mange utviklingsløp som må gjennomføres parallelt, og behov for å utvikle infrastruktur og nye forretningsmodeller. Kostnadene er vanskelig å estimere sikkert, men alle løsningene som er vurdert her har kostander som er høyere – og mange vesentlig høyere – enn prisen på klimakvoter. Dette kommer sannsynligvis til å være tilfelle en god stund framover.

Samtidig er tid en vesentlig ramme for omstillingen av prosessindustrien. Utviklingsløpene fra lavt teknologisk utviklingsnivå kan ta flere tiår, og utvikling av et markedsintroduksjonsprosjekt tar også typisk fem til ti år. De eksisterende anleggene kan ha en teknisk levetid på over femti år, og representerer en stor investering. Omlegging til ny teknologi kan derfor også ta lang tid, etter at selve konseptet er velutviklet. Utslippsreduksjonene i denne analysen skjer derfor først gradvis, og forutsetter støttende rammebetingelser for å finne sted. Etter hvert som disse prosjektene senker kostnader og risiko, og CO<sub>2</sub>-prisen stiger, er det mulig å se for seg en markedsdrevet omstilling. De store volumene av utslippskutt vil komme i denne fasen. Dette er illustrert i figuren under.



Dersom prosjektene som er beskrevet her realiseres vil det øke etterspørselen etter fornybar kraft (36 – 77 TWh per år), CO<sub>2</sub>-lagring (7,1 – 15,4 millioner tonn per år) og bærekraftig biomasse (7,5 – 9,7 millioner fm<sup>3</sup> per år), mens etterspørselen etter kull og noen petroleumsprodukter reduseres. Behovet for netto null utslipp kombinert med begrenset tilgang på ressurser gjør at valg av løsninger påvirker hverandre:

- Dersom tilgangen på biomasse blir begrenset reduseres mulighetene for negative utslipp, og utslippene i alle sektorer må kuttes raskere – samtidig som behovet for CO<sub>2</sub>-lagring og ny fornybar kraft øker.
- Energien i fossile brenslere som brukes til f.eks. skip, fly og tungtransport må erstattes. Andelen som erstattes med hydrogen, og hvordan hydrogen produseres kan gi store utslag i etterspørselen etter fornybar kraft og CO<sub>2</sub>-lagring.
- Uten CCS må bruken av fossil energi og fossile innsatsstoffer opphøre, og denne energimengden må da erstattes med ny fornybar energi og biomasse. Netto null utslipp i industrien er ikke mulig uten CCS.
- Hvis en kraftig utbygging av rimelig fornybar kraft ikke finner sted øker avhengigheten av CO<sub>2</sub>-lagring og biomasse, samtidig som mulighetene for vekst og nye industrinæringer blir vesentlig begrenset.

## Innledning

Hensikten med dette arbeidet er å gjøre en forenklet sammenstilling og analyse av virkningene av noen ulike prosjekter foreslått av ekspertgruppene i Prosess21. Dette er en direkte parallell til tilsvarende analyse i Prosessindustriens veikart fra 2016, og er ment som en oppdatering og utvidelse av denne. Hensikten med å gjøre dette er for å teste om tiltakene kan nå P21s visjon om netto null utslipp i 2050, gi en grov kvantifisering av hva dette kan innebære av behov for ny fornybar energi, hydrogen, bærekraftig biomasse og CO<sub>2</sub>-lagring, synliggjøre viktige strategiske valg for de deltagende virksomhetene og belyse effekter og utviklingsbehov i klimapolicy-rammeverket. Vurderingene er svært overordnet, og bør brukes mer for å belyse retning enn som en framskriving. Til andre formål må tallene brukes med forsiktighet.

Viktige forskjeller fra dette arbeidet og det tidligere veikartet er at:

- Raffinerier er inkludert.
- Vekstanslagene er basert på en skjønnsmessig vurdering, heller enn globale vekstanslag som sist.
- Det er gjort en vurdering av hvordan sirkulærøkonomi kan slå ut på norsk produksjon.
- Det er gjort enkelte overslag over effekt på scope 3-utslipp.
- Det er gjort en veldig overordnet vurdering av kostnader og hva dette kan si for innfasingstid opp mot en innstramning av klimapolitikken.
- Det er langt inn noe vekst tilknyttet produksjon av produkter som kan se økt etterspørsel som følge av strammere klimapolitikk globalt

Ellers har mange klimaprojekter blitt utviklet videre siden 2016, og noen har også vist seg å ikke være gjennomførbare slik det ble antatt da. Dette er et viktig poeng i seg selv – at mange av de lovende teknologiløpene vil falle fra underveis – og det er nødvendig med en bred portefølje av prosjekter i årene framover. Utviklingen siden veikartet ble laget illustrerer også hvor tidkrevende disse FoU-løpene er. Fem år er dessverre ikke veldig lang tid i denne settingen – veien fra forskning til en omstilt industrisektor er veldig lang.

Vurderingene i denne rapporten er gjort basert på offentlig tilgjengelig informasjon, og utstrakt bruk av skjønn fra P21-sekretariatet sin side. Informasjonen her reflekterer på ingen måte enkeltvirksomheters investeringsplaner utover det som fra før er offentlig kjent.

# Industriens klimaomstilling

## Struktur

### Omfang

Denne analysen tar utgangspunkt i 38 industrianlegg i Norge som til sammen slapp ut ca. 11 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekv. i 2019, eller ca. 20 % av norske klimagassutslipp. Dette dekker ikke hele prosessindustrien i Norge, men kan gi et relativt representativt bilde på omstillingsbehovene i årene framover, og hvilke konsekvenser en slik omstilling kan få for etterspørsel etter fornybar energi, hydrogen, biomasse og CO<sub>2</sub>-lagring. Utslipp, utslippskilder og kraftforbruk er basert på virksomhetenes rapportering til Miljødirektoratet for 2019, og der vi har hatt tilstrekkelig informasjon har vi også lagt inn informasjon om utslipp andre steder i verdikjeden (scope 3). Det er til dels store utfordringer med scope 3-data, og dette kan være et tema for videre arbeid.

### Vekst

Framskrivningene i nasjonalbudsjettet antyder en flat utvikling av norsk prosessindustri generelt. Samtidig konkluderer ulike kilder med at den globale produksjonen av basismaterialer vil øke 2-3 ganger innen 2050 og 2-5 ganger innen 2100, og de fleste av industriens produkter handles i internasjonale markeder. Etterspørselen har generelt fulgt den økonomiske veksten, og den globale etterspørselsveksten de siste årene har typisk vært 2-6 % per år. Omstillingen til et nullutslippssamfunn vil også føre til økt etterspørsel etter noen typer produkter, og denne omstillingen ligger ikke til grunn for nasjonalbudsjettet.

For å vurdere hva "grønn vekst" kan innebære for norsk prosessindustri har vi derfor gjort noen egne vurderinger vekstpotensial i de ulike næringene, og også lagt inn noen vurderinger om hva klimaomstillingen i andre næringer kan bety for industrien (dette er i hovedsak dekket av neste kapittel). Der det er offentlig kommuniserte planer er det tatt utgangspunkt i disse, typisk i løpet av de neste ti årene. Økt vekst vil også avhenge av rammevilkår.

### Effektivisering av dagens produksjonsprosesser

Til vekstkurvene er det lagt til en effektiviseringsfaktor, som er en vurdering av hvor langt vi kommer med eksisterende teknologi for energiforbruk og klimagassutslipp. Sammen med veksten utgjør dette referansebanen i analysen. I noen av bransjene er disse faktorene svært ambisiøse og vil kreve vesentlig ombygginger av dagens anlegg.

### Sirkulær økonomi

EU har er i starten av det som kan bli en omfattende satsning på sirkulær økonomi (EC, 2020), og en vridning mot mer effektiv design, lenger levetid, mer intensiv bruk, gjenbruk og økt gjenvinning kan redusere etterspørselen etter primærproduksjon. I A Clean Planet for All viser EC til scenarier hvor etterspørselen etter viktige basismaterialer reduseres med 6-11 % innen 2050, mens IEA har scenarier med redusert etterspørsel sammenlignet med baseline på 24 % for stål, 15 % for sement, 25 % for basiskjemikalier og 17 % for aluminium med sterkere virkemidler for sirkulær økonomi enn i dag (IEA, 2019). Som referanse har vi også vist til (Material Economics, 2019), som har gjort estimater over hva som må ansees å være maksimalt potensial i denne perioden. På samme måte som at internasjonal vekst ikke nødvendigvis gir økt produksjon i Norge, vil heller ikke en slik satsning i Europa nødvendigvis redusere den norske produksjonen. Det kan også gi muligheter for vekst for de produsentene som posisjoner seg i et slik marked. Vi har forsøkt å ta høyde for noe av dette med skjønnsmessig fastsatt faktor for effekt av sirkulærøkonomi på de ulike industribransjene.

### Lavutslippsløsninger

For hver av industribransjene er det gjort et utvalg av klimaløsninger fra ekspertgruppene i Prosess21 for ny prosesseteknologi med redusert klimafotavtrykk inkl. CCU, Biobasert Prosessindustri og CCS. Disse er faset inn basert på en vurdering av teknologisk modenhet, hvor krevende de er å ta i bruk, og kostnad. For de fleste lavutslippsløsningene er dette en utfordrende vurdering siden få av de store volumene kan tas med teknologisk og markedsmessig modne løsninger. Der det har vært mulig har vi også antydnet hvordan klimaløsningene kan tenkes å påvirke utslipp i scope 3.

## Produksjon av aluminium

### Utslipp og utslippskilder i dag

Aluminium produseres med Hall-Héroult-prosessen, hvor aluminiumoksid spaltes til flytende aluminium og CO<sub>2</sub> i en elektrolysecelle med karbonanoder. Karbonanodene forbrukes i prosessen, og står for ca. 85 % av utslippene. PFK-gasser som dannes i elektrolysen står for ytterligere 7 %, og forbrenning bidrar også ca. 7 %.

### Utslippskilder som er inkludert i denne analysen

Virksomhet	CO <sub>2</sub> [tonn]	PFK og andre [tonn CO <sub>2</sub> -ekv.]	EI-forbruk [MWh]
Hydro Aluminium Karmøy	425 000	47 197	3 903 800
Hydro Aluminium Sunndal	623 900	46 859	5 986 457
Alcoa Mosjøen	431 008	15 226	3 031 264
Alcoa Lista	167 590	17 147	1 677 162
Sør-Norge Aluminium	140 646	12 415	1 451 837
Hydro Aluminium Høyanger	106 971	2 148	948 633
Hydro Aluminium Årdal Karbon	106 696	207	41 632
Hydro Aluminium Årdal Metallverk	329 858	44 432	3 347 839
Sum	2 331 668	185 630	20 388 624

Aluminiumoksid (alumina) produseres fra bauksitt med Bayer-prosessen, men det er ingen slik produksjon i Norge. Utvinning av bauksitt og videre raffinering til alumina gir ca. 1,7 tonn CO<sub>2</sub>/tonn aluminium, som er noe mindre enn utslippene fra primærproduksjonen. Framstilling av petrokkoks og kulltjærebek til anodene forårsaker også utslipp og det gjør også transport av råvarer og produkter. Videre prosessering av aluminium finnes i Norge ved for eksempel Hydro Extrusions Magnor og Hydal Aluminium Profiler, men disse har lave klimagassutslipp.

### Produksjon i framtiden

Aluminium handles i internasjonale markeder, men hovedmarkedet for de norske verkene er Europa. Noen estimater antyder en global vekst i viktige produktkategorier på 15-20 % bare de neste fem årene (Alcoa, 2019), mens forbruket av primæraluminium i Europa er anslått å øke ca. 30 % til 2045 (CRU, 2020).

Vi lagt inn at aluminiumsproduksjonen øker ca. 30 % fra dagens nivå i 2050.

### Mulige effekter av sirkulær økonomi

Aluminium er svært egnet for resirkulering, og gjenvinningsgraden i Europa er ca. 75 %. Resirkuleringsprosessen krever ca. 95 % mindre kraft i enn primærproduksjon. Resirkulert metall kan sjelden brukes alene i nye produkter i dag. Bedre innsamling og sortering av innsamlet metall, nye metallraffineringsprosesser, nye legeringer og nye produkter og produktdesign kan påvirke dette. Mange aluminiumsprodukter har lang levetid og resirkuleres først etter flere tiår. I dag kan bare cirka 35 % av etterspørselen dekkes av skrap. IEA har vurdert scenarier med 17% redusert aluminiumetterspørsel sammenlignet med baseline med sterkere virkemidler for sirkulær økonomi enn i dag (IEA, 2019).

Vi lagt inn at sirkulærøkonomi reduserer veksten i primæraluminiumsproduksjonen til ca. 15 % fra dagens nivå i 2050.

### Klimaløsninger

Ekspertgruppene peker ut to teknologispør som spesielt lovende for aluminiumsproduksjon.

Inerte anoder (TRL 7) piloteres av Elysis (Alcoa, Rio Tinto) og RUSAL. Inerte anoder vil fjerne utslippene fra karbonanodene, og eliminerer dannelsen av PFK-gasser. Elysis har som mål at teknologien kan tas i bruk på eksisterende verk i 2024, og RUSAL i 2023. Overgang til inerte anoder vil kreve vesentlig ombygging, men kan redusere driftskostnadene med 15 % ifølge Elysis. Utover dette har vi ingen kostnadstall. Inerte anoder vil øke kraftforbruket med 20-30 %, men kan også senere muliggjøre en overgang til multipolare elektrolyseceller som potensielt kan redusere energiforbruket med 40 %.

Den andre løsningen er kloridelektrolyse med karbon-looping eller CCUS (TRL 2), som undersøkes i en tekno-økonomisk analyse av Hydro. Flere av de ulike elementene i prosessen er mer modne hver for seg (TRL 6 og oppover). CO<sub>2</sub>-utslippene genereres før elektrolysetrinnet ved karboklorering av aluminiumoksid med CO-gass. CO<sub>2</sub>-produksjonen er dobbelt så høy som dagens prosess, men foreligger som en konsentrert strøm. Også denne prosessen reduserer utslipp av PFK kraftig, og kan redusere forbruket av el med rundt 20 % - uten å ta hensyn til kraftforbruk til CCUS eller CO<sub>2</sub> til CO-reduksjon. Dersom CO produseres fra naturgass, vil det også produseres store mengder blått hydrogen. Overgang til kloridelektrolyse vil kreve full ombygging av eksisterende verk. Det foreligger ingen offentlig tilgjengelige kostnadstall for kloridelektrolyse pt.

Vi har lagt inn i analysen at inerte anoder tas i bruk i Norge i begrenset grad fra 2026, og at den fases inn fra starten av 2030-tallet fram til 2050. Vi har antatt at forbruket av el øker med 25 % sammenlignet med dagens beste prosesser. Kloridelektrolyse med elektrolytisk karbon-looping ville gitt ganske tilsvarende utslag i analysen.

Begge løsningene over hviler på teknologiløp som kanskje ikke lykkes, og som vil kreve stor eller fullstendig ombygging av dagens verk. De vil også øke kraftforbruket vesentlig. Andre alternativer kan være å blande inn noe biomasse i anodene, utvikle løsninger for oppkonsentrering av avgass og utnyttelse av spillvarme for å kunne ta i bruk CCS. Dette er ikke vurdert her, men begge de norske produsentene jobber også med slike løsninger.

Det finnes flere løsninger for å kunne redusere utslippene fra stasjonær forbrenning. I denne analysen har vi lagt inn en overgang til hydrogen til dette formålet. Totalt reduseres da de direkte utslippene med 100 %.

Begge teknologisporene vil kutte utslippene forbundet med utvinning, frakt og produksjon av koks, bek ol. og andre utslipp forbundet med anodene, men vi har ikke kvantifisert effekten. I produksjonen av alumina vil det bli nødvendig å ta i bruk bioenergi eller å elektrifisere Bayer-prosessen.

## Produksjon av silisium og ferrosilisium

### Utslipp og utslippskilder i dag

Produksjon av silisium og ferrosilisium produseres ved karbotermisk reduksjon i delvis åpne elektriske smelteovner, der kvarts ( $\text{SiO}_2$ ) reduseres til silisium (Si) ved hjelp av kull og koks. Det brukes også opp til 25 % biokarbon på enkelte ovner, i form av treflis og trekull. Forbruket av kull og koks står for ca. 94 % av utslippet, og elektroder ca. 6 %.

### Utslippskilder som er inkludert i denne analysen

Virksomhet	CO <sub>2</sub> [tonn]	Bio-CO <sub>2</sub> [tonn]	EI-forbruk [MWh]
Elkem Rana	237 000	22 500	642 067
Elkem Salten	294 072	108 258	949 556
Elkem Bjølvefossen	146 361	12 891	359 471
Elkem Bremanger	197 000	41 000	603 069
Wacker Chemicals	312 110	31 480	743 943
Elkem Thamshavn	222 000	64 000	640 839
Finnfjord	304 611	9 000	797 101
Sum	1 713 154	289 129	4 736 046

Utslippene i verdikjeden er noe lavere enn utslippene fra primærproduksjonen, og utvinning, prosessering og frakt av kull og koks er den største kilden.

### Produksjon i framtiden

Verkene produserer i dag omtrent like mye silisium og ferrosilisium, som benyttes i ulike markeder som har forskjellig utvikling i global etterspørsel. Silisium benyttes i tre markedssegmenter. To segmenter som er tilnærmet like store; legeringselement til aluminium og produksjon av silikoner, og et mindre segment, elektronikk/solceller som har vokst betydelig de siste årene. Framtidig etterspørsel av silisium vil være et resultat av veksten i disse tre segmentene, og da hovedsakelig aluminium de nærmeste årene, men veksten av solceller vil på sikt også bli en betydelig faktor. Det siste tiåret har det vært en årlig vekst på 4% i silisiummarkedet, og det er forventet at denne vil fortsette. Dette gir en økning på 50% i 2030 og en dobling til 2050 på globalt nivå. Ferrosilisium anvendes hovedsakelig som tilsats i stål, men også noe til støpejern, og det framtidige behovet vil dermed være gitt av etterspørselen til stål. Det kan antas «nullvekst» i dette markedet. Kombinert med i underkant av 10 % effektivisering er det lagt inn en utslippsvekst på 80 %.

### Mulige effekter av sirkulær økonomi

Økt resirkulering av aluminium med en forbedret renseprosess, vil redusere bruken av silisium i aluminiumsproduksjon, da det bare vil bli benyttet i primærproduksjon. Det er liten resirkulering av silisium i de øvrige segmentene. I denne analysen har vi lagt inn at et generelt lavere forbruk reduserer etterspørselen med rundt 10 %

### Klimaløsninger

Å øke bruken av biomasse er moden teknologi og medfører relativt få teknologiske utfordringer. Trekull produsert spesielt til dette formålet vil ha en høyere kvalitet enn kullet som brukes i dag, og vil øke silisiumutbyttet i prosessene. I denne analysen har vi lagt inn at andelen trekull økes gradvis til 80 % i 2050. Produksjonen av trekull vil i så fall bli en stor næring i seg selv, som vil forbruke store volum skogsråstoff, og ha store bistrømmer av pyrolyseolje og varme. For at tiltaket skal kunne bli effektivt må disse bistrømmene få en anvendelse. I denne analysen føres pyrolyseoljen inn i oljeraffineriene.



Videre er det lagt inn at CCUS tas i bruk på disse anleggene, ved et demonstrasjonsanlegg i 2030 og innfasing fra 2035 - 50. Dette gjør bransjen som helhet vesentlig karbonnegativ i 2050. Bruk av CCUS i produksjon av FeSi/Si kan fasiliteres ved oppkonsentrering av avgassene i de i dag delvis åpne ovnene og bruk av spillvarme.

Overgang til økt bruk av trekull vil redusere utslippene fra utvinning og prosessering av kull og koks.

Det finnes flere teknologiløp på lav TRL som kan gi muligheter for produksjon av nullutslippssilisium senere. Den som har kommet lengst er metallotermisk reduksjon. Disse er ikke vurdert i denne analysen.

Det finnes flere løsninger for å kunne redusere utslippene fra stasjonær forbrenning. I denne analysen har vi lagt inn en overgang til biogass til dette formålet.

## Produksjon av manganlegeringer

### Utslipp og utslippskilder i dag

Manganlegeringer produseres ved karbotermisk reduksjon i lukkede elektriske smelteovner med koks som reduksjonsmiddel. Avgassen består i hovedsak av CO, og selges til nærliggende virksomheter, brukes til energigjenvinning eller fakles. Av karbonstrømmene som genereres<sup>1</sup> står koks for 89 %, elektroder over 4 %, malmen for under 4 % og slaggdannere for under 2 %. Ca. 10 % av dette overføres til andre virksomheter som CO-gass og ca. 6 % blir bundet i produktene.

### Utslippskilder som er inkludert i denne analysen

Virksomhet	CO <sub>2</sub> [tonn]	Overført CO-gass [tonn CO <sub>2</sub> -ekv.]	El-forbruk [MWh]
Eramet Norway Kvinesdal	<b>330 233</b>		<b>704 964</b>
Eramet Norway Sauda	<b>95 816</b>		<b>447 663</b>
Eramet Norway Porsgrunn	<b>188 243</b>	<b>42 971</b>	<b>561 086</b>
Ferroglobe Mangan Norway	<b>207 518</b>	<b>75 064</b>	<b>689 222</b>
Sum	<b>821 810</b>	<b>118 035</b>	<b>2 402 935</b>

Utslippene i verdikjeden er i hovedsak knyttet til utvinning, prosessering og frakt av koks og andre innsatsstoffer.

### Produksjon i framtiden

Manganlegeringer brukes i all hovedsak som legeringselementer i stål, og etterspørselen er knyttet til etterspørselen etter stål. Sammenhengen er imidlertid ikke en-til-en, siden manganlegeringene kan brukes i ulik sammensetning med andre legeringselementer, som nikkel. Slaggen fra SiMn har flere anvendelser, blant annet i sement, og det jobbes med å finne flere anvendelser av dette produktet.

I denne analysen har vi lagt inn en vekst på i underkant av 20 %, og en effektivisering på i underkant av 10 %.

### Mulige effekter av sirkulær økonomi

Redusert forbruk av primærstål kan redusere forbruket av manganlegeringer, men ikke nødvendigvis. I denne analysen har vi lagt inn at sirkulærøkonomi gjør at utslippene holder seg omtrent på dagens nivå i 2050.

### Klimaløsninger

Å ta i bruk biomasse som reduksjonsmiddel medfører relativt få teknologiske utfordringer, men utvikling av trekull til produksjon av manganlegeringer har kommet vesentlig kortere enn tilsvarende løp i FeSi/Si. I denne analysen har vi lagt inn at andelen trekull økes gradvis til 40 % i 2050.

Videre er det lagt inn at CCUS tas i bruk på disse anleggene med innfasing fra 2035 - 50. Dette gjør bransjen som helhet karbonnegativ i 2050. Bruk av CCUS i produksjon av manganlegeringer vil være forholdvis enkelt ettersom avgassen fra de lukkede ovnene i hovedsak er CO-gass. Utnyttelse av denne og økt spillvarmegjenvinning vil kunne dekke deler av varmebehovet til karbonfangst.

Overgang til økt bruk av trekull vil redusere utslippene fra utvinning og prosessering av kull og koks.

Det finnes flere teknologiløp på lav TRL som kan gi muligheter for produksjon av nullutslippsmanganlegeringer senere. Disse er ikke vurdert i denne analysen.

Det finnes flere løsninger for å kunne redusere utslippene fra stasjonær forbrenning. I denne analysen har vi lagt inn en overgang til biogass til dette formålet.

<sup>1</sup> Regnet som CO<sub>2</sub>

## Annen metallurgisk industri

### Utslipp og utslippskilder i dag

Annen metallurgisk industri med store klimagassutslipp inkluderer produksjon av sekundærstål og titandioksid og jern. 78 % av utslippene stammer fra bruk av kull og koks som reduksjonsmidler, 17 % fra forbrenning og 2 % fra elektroder. 6 % av dette bindes i produktene<sup>2</sup>.

### Utslippskilder som er inkludert i denne analysen

Virksomhet	CO <sub>2</sub> [tonn]	El-forbruk [MWh]
Celsa Armeringsstål	89 906	339 461
Tizir Titanium & Iron	257 140	342 003
Sum	347 046	681 464

### Produksjon i framtiden

Tizir har lenge jobbet med en stor utvidelse av produksjonskapasiteten, og i analysen er det lagt inn at denne utvidelsen gjennomføres i løpet av det neste tiåret. I denne analysen er det lagt inn en nær firedobling av produksjonen av titandioksid og at sekundærstålproduksjonen holdes på dagens nivå. Det er langt inn 10 % energieffektivisering i referansebanen.

### Mulige effekter av sirkulær økonomi

Etterspørsel etter sekundærstål kan øke som følge av sterkere virkemidler for sirkulærøkonomi. I analysen har vi lagt inn at produksjonen øker 30 % innen 2050. Vi har antatt at sirkulærøkonomi vil ha begrenset påvirkning på den norske produksjonen av titandioksid.

### Klimaløsninger

Begge disse virksomhetene har langt utviklede planer om å gå over til bruk av hydrogen, og dette ligger inne i analysen.

---

<sup>2</sup> Regnet som CO<sub>2</sub>

## Produksjon av mineralgjødning

### Utslipp og utslippsskilder i dag

I produksjonssystemet for mineralgjødning står produksjon av ammoniakk og salpetersyre for det vesentlige av utslippene, hhv ca. 75 % (CO<sub>2</sub>) og ca. 24 % (N<sub>2</sub>O). Ammoniakk produseres i dag på Herøya i Porsgrunn, og det største delen av utslippet kommer fra produksjon av hydrogen fra etan. Som en del av denne produksjonen må CO<sub>2</sub> skilles ut, og i underkant av 200 000 tonn CO<sub>2</sub> selges til andre formål.

### Utslippsskilder som er inkludert i denne analysen

Virksomhet	CO <sub>2</sub> [tonn]	Overført CO <sub>2</sub> [tonn]*	N <sub>2</sub> O [tonn CO <sub>2</sub> -ekv.]	El-forbruk [MWh]
Yara Glomfjord	502		85 342	145 987
Yara Porsgrunn	610 351	187 457	173 753	709 773
Sum	610 853	187 457	259 095	855 760

\* Estimert

Utslippene i scope 3 er estimert av Yara til å være rundt tre ganger så store som de direkte utslippene fra produksjonen. Det meste av dette er knyttet til utslipp av lystgass ved bruk av gjødning, men det er også en del utslipp fra produksjon av innsatsstoffer og brensel, og transport. Yara har flere prosjekter for å redusere disse, og et prosjekt om å utvikle nullutslippsskip (Yara Birkeland) for å redusere utslipp fra transport.

### Produksjon i framtiden

Mineralgjødning handles i internasjonale markeder, og det største markedet for den norske produksjonen er utenfor EU. Forbruket av mineralgjødning er tett knyttet til landbruket, og veksten i befolkning og velstand er ventet å øke etterspørselen i tiårene framover. Et mer arealintensivt landbruk (som bruker mer mineralgjødning) kan også ha positive effekter både for klimagassutslipp og naturmangfold i landsektoren og kan muliggjøre økt produksjon av bioenergiavlinger. Gjødning av skog kan også bli brukt som klimatiltak. I nullutslippsscenarioer fases bruken av urea som gjødning ut, som også bidrar til noe økt etterspørsel. (IEA, 2020) har anslått en økning i bruken av mineralgjødning på ca. 40 %, og vi har valgt en tilsvarende vekst som basis i denne analysen.

### Mulige effekter av sirkulær økonomi

Redusert matsvinn og et mer effektivt og bærekraftig landbruk med presisjonsgjødning, overvåking og testing kan redusere bruken av gjødning. Det er også et potensial for mer bruk av organisk gjødning fra bl.a. avløpslam og fiskeslam. (IEA, 2020) har anslått at sirkulærøkonomi kan redusere veksten i forbruket til 15 % på globalt nivå. I et svært ambisiøst scenario har (Material Economics, 2019) beregnet potensialet for sirkulær økonomi for mineralgjødning i Europa til å være rundt 45 %. Vi i denne analysen har vi lagt antatt at veksten blir redusert til 20 %.

### Klimaløsninger

Overgang til hydrogenproduksjon med CCS eller fra elektrolyse kan redusere utslippene fra ammoniakkproduksjonen ned mot null. Det er teknologisk modne teknologier for produksjon av lavutslippshydrogen, men disse er ikke konkurransedyktige i dag. Lavutslipp hydrogenproduksjon diskuteres senere i denne rapporten. Dette kan kombineres med andre tiltak for å ytterligere redusere utslippene av N<sub>2</sub>O fra salpetersyreproduksjonen. Vi har lagt inn i analysen at den eksisterende ammoniakkproduksjonen legges over til lavutslippshydrogen, og at videre arbeid reduserer utslippene av N<sub>2</sub>O med 50 %, slik at utslippene totalt blir redusert med ca. 90 %.

Det har også blitt laget en detaljert gjennomgang av klimaløsninger for industrien i Grenland på anleggssnivå (SINTEF, 2020)

Scope 3-utslippene kan bli redusert gjennom tiltakene nevnt over under sirkulærøkonomi. I mange halvannengradsscenarioer øker imidlertid utslippene av N<sub>2</sub>O, fordi nettoeffekten kan være vesentlige utslippsreduksjoner (IPCC, 2018).

## Petrokjemisk industri

### Utslipp og utslippskilder i dag

Petrokjemisk industri foredler mellomprodukter fra petroleum til kjemikalier som metanol, etylen og propylen. Utslippene stammer fra ulike typer forbrenning, som i all hovedsak dekkes av føden og brenngasser som dannes i prosessen. De største kildene til utslipp er cracking 51 %, reformering 34 %, dampkjeler 7 % og fakkell 6 %.

### Utslippskilder som er inkludert i denne analysen

Virksomhet	CO <sub>2</sub> [tonn]	El-forbruk [MWh]
Equinor Tjeldbergodden	<b>294 367</b>	
INOVYN Rafnes	<b>86 612</b>	<b>771 484</b>
Ineos Rafnes	<b>442 700</b>	<b>240 446</b>
Ineos Bamble	<b>11 900</b>	<b>134 583</b>
Sum	<b>835 579</b>	<b>1 146 513</b>

Scope 3-utslippene er en utfordring for petrokjemisk industri. Produktene inneholder fossilt karbon som frigjøres når de forbrennes, eller gjennom gradvis nedbrytning etter at produktet ikke lenger er i bruk. Denne nedbrytningen kan imidlertid være veldig langsom, og partikler og fibre som ender opp utenfor godkjent avfallsbehandling er et miljøproblem. Produksjonen av føden fører også med seg utslipp i dag.

### Produksjon i framtiden

Etterspørselen etter kjemikalier er ventet å øke i takt med økonomisk vekst, slik som den har gjort historisk. Det meste av veksten vil være i framvoksende økonomier. Det er ingen tegn på metning i markedene for plast og andre kjemiske produkter, som polyester i klær. En tredjedel av metanolproduksjonen brukes i dag i drivstoff, og denne bruken fases ut i nullutslippsscenarioer.

Vi har tatt utgangspunkt i 0,5 % årlig vekst som basis, som gir en økning på i underkant av 20 % i 2050.

### Mulige effekter av sirkulær økonomi

(IEA, 2020) viser til et samlet potensial på 25 % reduksjon i etterspørselen etter basiskjemikalier sammenlignet med baseline på globalt nivå. Bare 5-10 % av plastavfall gjenvinnes i dag i EU, og det er et stort potensial for å øke denne andelen. I et svært ambisiøst scenario indikerer (Material Economics, 2019) et potensial i Europa for vel 30 % reduksjon gjennom materialeffektivitet, og at gjenvinningsgraden kan økes til 62 % med mekanisk og kjemisk gjenvinning. Til sammen reduserer det etterspørselen etter primærplast med rundt 80 %.

I denne analysen har vi lagt til grunn at sirkulærøkonomien nuller ut etterspørselsveksten, slik at produksjonen samlet sett er tilnærmet lik i 2050 som i dag.

### Klimaløsninger

Ekspertgruppene viser til elektrifisering, CCUS og overgang til bioføde som de mest aktuelle klimaløsningene. I denne analysen har vi lagt inn at de største utslippspunktene (crackere og reformeren) utstyres med CCS mot slutten av perioden, og at noen mindre ovner elektrifiseres. Dette reduserer utslippene med over 80 %.

Å produsere etylen fra bioetanol er en mulighet for å kunne produsere bioplast uten utslipp av fossil CO<sub>2</sub>, og som også kan gi vesentlige negative utslipp dersom det er CCUS på produksjon av bioetanol og avfallsforbrenning. Dersom et slikt anlegg etableres i Norge og dimensjoneres for å dekke behovene til polyetylenproduksjonen vil det i så fall innebære et behov for rundt 2,2 millioner fm<sup>3</sup> skogsråstoff og ca. 1 TWh kraft, og anlegget kunne generert over 350 000 tonn bio-CO<sub>2</sub> som en bistrøm, og også vesentlige volum biogass.

Det har også blitt laget en detaljert gjennomgang av klimaløsninger for industrien i Grenland på anleggsnivå (SINTEF, 2020)

For å redusere utslipp i scope 3 vil det være nødvendig med CCUS-løsninger på avfallsforbrenning, og tiltak som CCUS eller elektrifisering i petroleumssektoren.

## Oljeraffinering

### Utslipp og utslippskilder i dag

Oljeraffineriene foredler råolje ved å destillere og oppgradere denne til salgbare produkter som bl.a. fyringsolje, bensin, diesel og flydrivstoff. Prosessene er energikrevende, og utslippene fra raffineriene kommer fra forbrenning av fossile brensler og brenngasser fra prosessene.

### Utslippskilder som er inkludert i denne analysen

Virksomhet	CO <sub>2</sub> [tonn]	Metan [tonn CO <sub>2</sub> -ekv.]	El-forbruk [MWh]
Esso Norge Slagentangen	347 758	1 071	128 406
Mongstad raffineri	1 706 200	43 598	499 523
Sum	2 053 958	44 669	627 929

Den største utfordringen til raffineriene vil være scope 3-utslipp. Produktene som raffineriene produserer i dag er fossile, og utslippene som kommer som et resultat av at disse forbrennes er mye større enn utslippene fra raffineringen.

### Produksjon i fremtiden

Etterspørselen etter petroleumsprodukter som fossilt drivstoff forventes å reduseres, og oljeproduksjonen på norsk sokkel vil ventelig reduseres noe fra dagens nivå over denne perioden. I denne analysen har vi lagt inn at produksjonen halveres fram mot 2050.

### Klimaløsninger

Utslipet som er rapportert fra Mongstad inkluderer utslipp fra kraftvarmeverket, som er planlagt lagt ned ved slutten av 2020. Vi antar at nedleggelsen av kraftvarmeverket vil redusere utslippet fra Mongstad med ca. 250 000 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Samtidig var det redusert drift på Mongstad i 2019.

Flere av dampkjelene og ovnene som benyttes på raffineriene vil kunne elektrifiseres. NVE viste i sin rapport "*Elektrifisering av landbaserte industrianlegg i Norge*" til at å erstatte gassfyrte kjeler som produserer damp på Mongstad med elektrokjeler, vil kunne redusere klimagassutslippet fra raffineriet med 90 000 tonn CO<sub>2</sub>-ekv.

Raffineriene har flere store utslippspunkt (felleskorsteiner). Karbonfangst på disse vil kunne redusere utslippene fra raffineriene betydelig. Med karbonfangst på de store felleskorsteinene vil det kanskje ikke lenger være like aktuelt å elektrifisere dampkjeler og ovner med utslipp gjennom disse felleskorsteinene, men det vil trolig være et gjenværende potensial for å elektrifisere kjeler og ovner hvor utslippene går til utslippspunkter (mindre skorsteiner) som ikke like enkelt lar seg integrere i en fangstløsning. Vi har antatt et samlet potensial fra karbonfangst og elektrifisering til å kunne redusere utslippene fra raffineriene med 85 %.

Videre har vi antatt at 8 % av råoljen inn i raffineriene erstattes med bio-olje fra to større biooljeanlegg med CCUS (se neste kapittel) og pyrolyseolje fra produksjon av trekull til ferrolegeringsindustrien.

Samlet reduserer dette utslippene med rundt 93 %, ekskludert mulige negative utslipp fra biooljeanleggene.

For å redusere utslipp i scope 3 vil det på den ene siden være nødvendig med tiltak som CCUS eller elektrifisering i petroleumssektoren. På andre siden kan en diversifisering av produktene som lages redusere utslippene nedstrøms.

## Treforedlingsindustri

### Utslipp og utslippsskilder i dag

Treforedlingsindustrien utnytter bistrømmer fra tremekanisk industri til produksjon av produkter som papp og papir og biokjemikalier. Utslippene er nesten i sin helhet fra stasjonær forbrenning, mens det også er noen utslipp av ren bio-CO<sub>2</sub> fra produksjon av biogass og bioetanol.

### Utslippsskilder som er inkludert i denne analysen

Virksomhet	CO <sub>2</sub> [tonn]	Bio-CO <sub>2</sub> [tonn]	El-forbruk [MWh]
Norske Skog Saugbrugs	1 372	197 500	1 135 262
Borregaard avd. spesialcellulose	125 137	108 100	493 335
Norske Skog Skogn	6 200	217 000	1 234 100
Sum	132 709	522 600	2 862 697

Virksomhetene i treforedlingsindustrien har langt høyere utslipp i scope 3 enn i scope 1, det meste av dette er knyttet til transport.

### Produksjon i fremtiden

Driveren for avvikling i Norge er sagtømmer til tremekanisk industri, og treforedlingsindustrien anvender restprodukter fra hogst til denne industrien (massevirke) og biprodukter fra denne (flis), og produktene selges i et internasjonalt marked. Papirmarkedet har lenge vært i en sterkt nedadgående trend, mens etterspørselen etter andre produkter som papp og biobaserte kjemikalier har vært økende. Klima- og miljøhensyn kan øke etterspørselen etter trekonstruksjoner og slik gi større ressurstilgang, og anvendelsesområdene for fiberbaserte produkter og biokjemikalier vil med størst mulig sannsynlighet bli flere.

I analysen har vi lagt inn ca. 40 % vekst fram mot 2050.

### Mulige effekter av sirkulær økonomi

En fiber kan bare resirkuleres omtrent 7 ganger. Derfor er det et vesentlig poeng at skogrike land som Norge, Sverige og Finland produserer varer basert på jomfruelige råstoffer, mens mindre skogrike land i hovedsak produserer papir basert på returpapir. Mer effektiv produktdesign kan bidra til redusert forbruk.

I analysen har vi lagt inn at sirkulærøkonomi reduserer veksten til 25 %.

### Klimaløsninger

Bransjen har lave utslipp av klimagasser, og disse er hovedsakelig fra forbrenning. I analysen er det lagt inn at dette over tid elektrifiseres, mens de største utslippspunktene for bio-CO<sub>2</sub> tar i bruk CCUS sent i perioden. Dette gjør bransjen som helhet vesentlig karbonnegativ.

## Mineralsk industri

### Utslipp og utslippskilder i dag

Den mineralske industrien som er inkludert her spalter CO<sub>2</sub> av kalkstein (CaCO<sub>3</sub>) ved høye temperaturer. Hovedproduktene er sement og kalk. Vel 66 % av utslippet kommer fra kalsineringen, mens 17 % kommer fra avfall og 16 % fra kull som forbrennes i ovnene.

### Utslippskilder som er inkludert i denne analysen

	CO <sub>2</sub> [tonn]	Bio-CO <sub>2</sub> [tonn]	El-forbruk [MWh]
Norcem Brevik	796 742	104 320	194 496
Norcem Kjøpsvik	289 735	17 744	65 214
SMA Mineral	77 477		4 691
RHI Normag	102 124		123 014
NorFraKalk	146 174		6 471
Verdalskalk	56 586		5 471
Sum	1 468 838	122 064	399 356

Transport er en viktig kilde til utslipp i scope 3 for denne bransjen. Norcem har sammen med Felleskjøpet Agri et prosjekt under Grønt skipsfartsprogram for å bidra til å utvikle nullutslippsskip. Sement tar typisk opp igjen 10-30 % av CO<sub>2</sub> som ble sluppet ut i produksjonen gjennom livsløpet sitt (rekarbonisering).

### Produksjon i fremtiden

Produksjon av sement og kalk er normalt lokalisert i nærheten av en egnet kalksteinforekomst, og handles typisk i regionale markeder, selv om noe eksport utover dette finner sted. Etterspørselen er tett knyttet til byggeaktiviteten i regionen, og forbruket er derfor langt lavere i områder som Europa og Nord-Amerika enn i framvoksende økonomier. Like fullt brukes det i gjennomsnitt 325 kg sement i året per person i EU. (Material Economics, 2019) har estimert veksten i Europa til 10 % fram mot 2050. Skandinavia er i motsetning til mange andre deler av Europa preget av en beskjeden befolkningsvekst. Gode kalksteinsforekomster og tilgjengelig CO<sub>2</sub>-lagring kan gi norsk produksjon av sement et konkurransefortrinn regionalt.

I analysen har vi valgt å legge inn en produksjonsvekst på 20 % fram mot 2050.

### Mulige effekter av sirkulær økonomi

Sement kan i mange sammenhenger brukes mer sparsomt ved at en del konstruksjoner i dag overdimensjoneres, eller ved å bruke høyere sementkvaliteter. Bygningsmaterialer kan også i større grad enn i dag gjenbrukes, og levetidsforlenging kan ha betydelig effekt. (IEA, 2020) har vurdert et potensiale på 26 % redusert forbruk av sement globalt, men globale anslag er ikke veldig nyttige for den norske produksjonen. I et svært ambisiøst scenario har (Material Economics, 2019) vurdert potensialet i Europa til 65 %, og i et mindre ambisiøst scenario til mindre enn 20 %.

I analysen har vi valgt å legge inn effekten av sirkulær økonomi vil være omtrent lik som veksten over, og den resulterende veksten er omtrent null.

### Klimaløsninger

Siden broerparten av utslippene stammer fra kalsineringen, er CCS den eneste muligheten for denne typen produksjon. I denne analysen har vi lagt inn at det pågående prosjektet på Norcem Brevik gjennomføres som planlagt, og oppskaleres på 2030-tallet. CCS tas også i bruk på de andre større utslippspunktene fram mot 2050.

I denne analysen er det lagt inn at brensel sammensetningen i sementovnene over lang tid kommer opp til 75 % alternative brenslere og 25 % bioenergi, som bidrar til at sementproduksjonen som helhet blir karbonnegativ mens restutslipp andre steder balanserer dette ut.



## Noen vekstmuligheter i det grønne skiftet

Tilgang på fornybar kraft, hydrogen, naturgass og karbonlagring kan gi grunnlag for ny industri i Norge, utover vekst og utvikling i eksisterende næring. Vi har inkludert noe ny industriproduksjon i analysen som kan komme som en følge av stram klimapolitikk. Produksjonen som er lagt inn har enten vesentlige CO<sub>2</sub>-utslipp fra konvensjonelle anlegg, eller vesentlig effekt på etterspørselen etter fornybar kraft, hydrogen, biomasse eller CO<sub>2</sub>-lagring. Dette er ikke ment å være en uttømmende liste over vekstmuligheter for den kraftkrevende industrien i det grønne skiftet, men er tatt med for vise noen mulige effekter av slik produksjon dersom den havner i Norge.

### Ammoniakk til skipsfart

Det finnes flere ulike måter for å få en klimanøytral skipsfart, en av disse er bruk av ammoniakk som energibærer. I IEAs bærekraftsscenario er ammoniakk og hydrogen de dominerende energibærerne for skipsfart mot slutten av perioden, og skipsfart bruker da ammoniakk tilsvarende omtrent 160 % av mengden som brukes til mineralgjødning (IEA, 2020). I Klimakur 2030 tas ammoniakk i bruk som drivstoff for skip i 2028 og når et volum på 60 kt i 2030 (Mdir m.fl., 2020). DNV GL har laget scenarioer hvor ammoniakk dekker 70 til 80 % av energibehovet til skipsfart globalt i 2050 (DNV GL, 2020). På dette grunnlaget har vi forsøkt å sette opp noen ikke helt urimelige anslag for mulig etterspørsel etter ammoniakk til skip i 2050

Det er ca. 7000 skip som er innom norsk økonomisk sone hvert år. 3-4000 av disse foretar innenriks seilaser mellom to norske havner. Langt fra alle disse bunkrer i Norge i dag. Men blir Norge en stor produsent av ammoniakk med lave utslipp og kan være konkurransedyktig, kanskje bunkringen vil øke i Norge og kanskje eksport kan bli aktuelt. DNV GL antok i sin underlagsrapport til Klimakur 2030 at skip hvor ammoniakk kan være et aktuelt drivstoff typisk bruker 4- 20 GWh per år. Forskjellen kommer an på seilingsmønster, størrelse og type skip. Vi antar videre at det trolig vil være en spredning av hvilke skip som bruker ammoniakk. Et forsiktig anslag basert på dette kan innebære økt etterspørsel etter ammoniakk på ca. 250 000 tonn, et medium anslag kan være 1,25 millioner tonn og et høyt anslag kan være 4 millioner tonn. Det siste vil tilsvare at rundt 2000 skip bunkrer i gjennomsnitt 10 GWh ammoniakk produsert i Norge. Antagelser om produksjonsprosessen er basert på (IEA, 2020).

I vår analyse har vi valgt å legge inn økt produksjon i Norge av ammoniakk til skipsfart som i Klimakur2030 og deretter økende til 1,25 millioner tonn i 2050, som tilsvarer rundt 220 000 tonn økt etterspørsel etter hydrogen og innebærer en firedobling av ammoniakkproduksjonen<sup>3</sup>. Dette kan bidra til å redusere utslippene fra skipsfart med i størrelsesorden 2-2,5 millioner tonn CO<sub>2</sub>. Å produsere dette elektrolytisk vil øke kraftbehovet med rundt 12 TWh. For det høye anslaget tilsvarer kraftbehovet rundt 40 TWh.

### Syntetisk flydrivstoff

I IEAs bærekraftsscenario tas syntetisk flydrivstoff i bruk fra 2030 og utgjør 40 % av energibruken i luftfart mot slutten av perioden, som da er 350 % større enn i dag på tross av tiltak for å redusere etterspørselen og økte kostnader. IEA legger til grunn at kilden til CO<sub>2</sub> i det syntetiske drivstoffet må være enten biomasse eller omgivelsesluft (DAC) for at e-drivstoff skal være et klimatiltak i et klimanøytralt system, og kommer til at det kun vil være konkurransedyktig for luftfart, pluss noen veldig begrensede volumer til tungtransport (IEA, 2020).

I vår analyse har vi valgt å legge inn slik produksjon etableres i Norge i 2023, basert på at minst et av de pågående prosjektene realiseres, og at ca. en tredjedel av fanget bio-CO<sub>2</sub> fra industrien og en tilsvarende mengde DAC brukes til produksjon av e-jetfuel i 2050. Dette tilsvarer rundt 800 millioner liter drivstoff, eller 70 % av forbruket av flydrivstoff i Norge i 2019. Dette gir 310 000 tonn økt etterspørsel etter hydrogen, rundt 2 TWh økt etterspørsel etter fornybar energi, og reduserer etterspørselen etter CO<sub>2</sub>-lagring med 1 million tonn. Produsert elektrolytisk vil det øke kraftbehovet med rundt 18 TWh. Antagelser om produksjonsprosessen er basert på (IEA, 2020).

Lav energipris vil være det viktigste konkurransefortrinnet også ved etablering av DAC, og det kan være et potensial for å bruke overskuddsvarme til dette formålet. Etableringen av Northern Lights åpner også muligheten for å sette opp et større DAC-anlegg med geologisk lagring (DACs), og vil være et av veldig få steder i verden dette vil være

---

<sup>3</sup> I referansebanen er denne økningen lagt inn som ammoniakkproduksjon fra naturgass

mulig i nær framtid. Bruk av DAC for å produsere større volumer av flydrivstoff og for å selge negative utslipp kan derfor også være en mulighet i Norge i framtiden. Dette vil i så fall innebære ytterligere økt etterspørsel etter hydrogen og fornybar kraft eller varme. Det er flere mulige CCU-verdikjeder som kan være aktuelle, men som ikke er lagt inn i analysen her, se oversikt i rapporten fra ekspertgruppen om ny prosesseteknologi (Prosess21, 2020).

## Avansert biodrivstoff

Det er flere pågående prosjekter som ser på mulighetene for å produsere biodrivstoff i Norge. Produksjon av biodrivstoff fra skogsavfall og andre bærekraftige kilder til biomasse har en stor fordel i klimaomstillingen ved at det kan tas i bruk i konvensjonelle motorer og systemer. Produksjonen vil i de fleste tilfeller også medføre store bistrømmer av nesten ren bio-CO<sub>2</sub> som kan fanges og brukes eller lagres.

Potensialet for produksjon av biobrensler begrenses av pris og tilgang på biomasse heller enn etterspørsel. I denne analysen har vi lagt inn at det bygges to større anlegg som til sammen bruker 2 millioner fm<sup>3</sup> skogsråstoff, og at oljen som produseres føres inn i oljeraffineriene. Anleggene genererer ca. 550 000 tonn bioolje, 200 000 tonn bio-CO<sub>2</sub> til CCUS, og bruker 0,8 TWh i produksjonen. Etter oppgradering med 20 000 tonn hydrogen kan drivstoffet redusere utslipp i transportsektoren med rundt 1,5 millioner tonn CO<sub>2</sub>. Antagelser om produksjonsprosessen er hentet fra P21-rapporten om biobasert prosessindustri (Prosess21, 2020b) og (Perkins & Batalha, 2019).

## Produksjon av batterier, batterikomponenter og -materialer

Batterier vil være en sentral del av et fornybart energisystem, både i små apparater og verktøy, batterielektriske biler, sykler, mopeder og skip, og som energilagring og balansering i kraftsystemet. I IEAs scenario som når null utslipp i 2050 doubles den globale produksjonen av batterier annethvert år (IEA, 2020b).

Rapporten Grønne Elektriske Verdikjeder (NHO, 2020) viser til et adresserbart marked på 30-60 mrd EUR eksportverdi basert på en produksjon av 32 GWh batterier innen 2030 og 100 GWh fra 2030-2040 i Norge. Vi legger dette til grunn for beregning av strømbehov til batteriproduksjon i Norge i 2030 og 2040, og legger videre en ekstrapolering til 2050. Det svenske instituttet IVL har beregnet at energibruk i verdikjeden for batteriproduksjon kan være 350-650 MJ/KWh batteri (IVL, 2017), og vi har brukt 350 MJ/KWh for å gi et konservativt anslag. Basert på forutsetningene over har vi lagt inn i analysen et økt kraftbehov til produksjon av batterier på 3,1 TWh i 2024 basert på at ett av prosjektene om en stor norsk batterifabrikk blir realisert, 9,7 TWh i 2040 og 16,3 TWh i 2050.

## Lavutslipp stålproduksjon

En type ny industri i Norge som kan være aktuell er primærproduksjon av jern og stål, enten basert på direkte reduksjon med naturgass (DRI) og CCS eller hydrogenreduksjon. Førstnevnte er en moden teknologi og har vært vurdert i Norge tidligere (Ironman-prosjektet), og kan få ny aktualitet ved sterkere klimapolitikk i Europa. Sistnevnte finnes som demonstrasjonsanlegg i Sverige (Hybrit).

I vår analyse har vi valgt å legge inn at det etableres et DRI-stålverk med CCS i Norge i 2035. Dette øker behovet for CO<sub>2</sub>-lagring per år i størrelsesorden 0,8 millioner tonn, øker etterspørselen etter fornybar kraft med rundt 0,6 TWh, og har rundt 100 000 tonn CO<sub>2</sub> i gjenstående utslipp<sup>4</sup>. Et tilsvarende stålverk basert på hydrogen fra elektrolyse ville økt etterspørselen etter fornybar kraft med ca. 6TWh, og hatt gjenstående utslipp på rundt 50 000 tonn CO<sub>2</sub> (HYBRIT, 2020).

## Sammenstilling

Klimaløsningene som kan være aktuelle for prosessindustrien er i stor grad enten ikke teknologisk modne nå (inerte anoder), eller ikke markedsmessig modne (hydrogen, CCS). Det er også gjerne mange utviklingsløp som må gjennomføres parallelt, og behov for å utvikle infrastruktur og nye forretningsmodeller. Kostnadene er vanskelig å

---

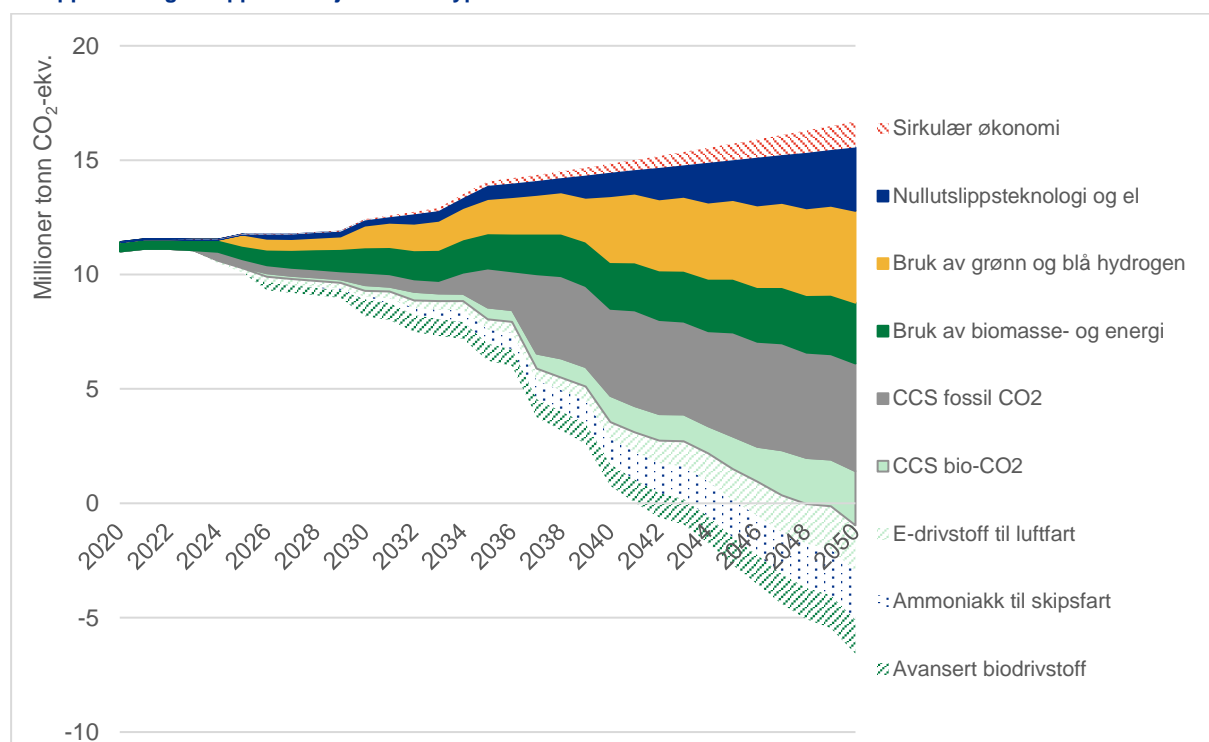
<sup>4</sup> I referansebanen er denne produksjonen lagt inn uten CCS

estimere sikkert, men alle som er vurdert her ser ut til å være høyere – og mange vesentlig høyere – enn prisen på klimakvoter, og dette kommer sannsynligvis til å være tilfelle en god stund framover.

Samtidig er tid en vesentlig ramme for omstillingen av prosessindustrien. Utviklingsløpene fra lav TRL kan godt ta flere tiår – om de lykkes i det hele tatt – og utvikling av et markedsintroduksjonsprosjekt tar også typisk fem til ti år. De eksisterende anleggene kan ha en teknisk levetid på femti år, og representerer en stor investering. Omlegging til ny teknologi vil derfor også ta lang tid, etter at selve konseptet er velutviklet.

Utslipsreduksjonene i denne analysen skjer derfor først litt og litt gjennom demonstrasjon og markedsintroduksjonsprosjekter, og vil avhenge av støttende rammebetingelser for å finne sted. Etter hvert som disse prosjektene senker kostnader og risiko, og CO<sub>2</sub>-prisen stiger, er det mulig å se for seg en markedsdrevet omstilling. De store volumene av utslippskutt vil komme i denne fasen, som kan tenkes å begynne en gang i løpet av 2030-tallet.

#### Utslipsbane og utslippsreduksjoner etter type



## Viktige effekter

Dersom prosjektene som er beskrevet her realiseres vil øke etterspørselen etter særlig fornybar kraft, CO<sub>2</sub>-lagring og bærekraftig biomasse, mens etterspørselen etter kull og noen petroleumsprodukter reduseres. Ulike strategier kan slå veldig ulikt ut:

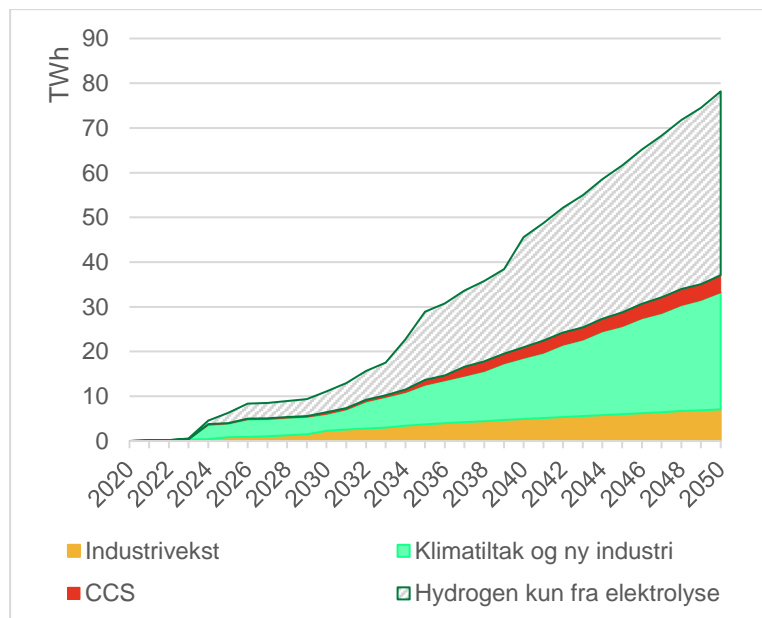
- Dersom tilgangen på biomasse blir vesentlig mindre reduseres mulighetene for negative utslipp, og utslippene i alle sektorer må kuttes raskere – samtidig som behovet for CO<sub>2</sub>-lagring og ny fornybar kraft øker.
- Energien i fossile brensler som brukes til f.eks. skip, fly og tungtransport må erstattes, og hvordan hydrogen produseres kan gi store utslag i etterspørselen etter fornybar kraft og CO<sub>2</sub>-lagring.
- Uten CCS må bruken av fossil energi og fossile innsatsstoffer opphøre, og denne energimengden må da erstattes med ny fornybar energi og biomasse. Netto null utslipp vil ikke være mulig for industrisektoren uten CCS.
- Hvis en kraftig utbygging av rimelig fornybar kraft ikke finner sted øker avhengigheten av CO<sub>2</sub>-lagring og biomasse, samtidig som mulighetene for vekst og nye industrinæringer blir vesentlig begrenset.

Vi har ikke hatt mulighet til å gjøre en god vurdering av disse avhengighetene her. I framtidig arbeid bør det utvikles scenarier som bedre fanger den grunnleggende usikkerheten som ligger i analyser som denne – og som kanskje kunne illustrert bedre konsekvensene av ulike valg, blant annet ved å fange opp utslipp i hele verdikjeden (scope 3), og effekter på andre bærekraftsmål.

### Økt behov for fornybar kraft

I denne analysen øker behovet for fornybar energi med 36 TWh til ulike klimatiltak, karbonfangst, vekst i den eksisterende industrien og ny industri. I tillegg brukes det store mengder hydrogen, som hvis den produseres elektrolytisk kan øke behovet med ytterligere 41 TWh. Et høyt anslag for ammoniakk til skipsfart kan øke dette med enda 30 TWh.

### Økt etterspørsel etter fornybar kraft

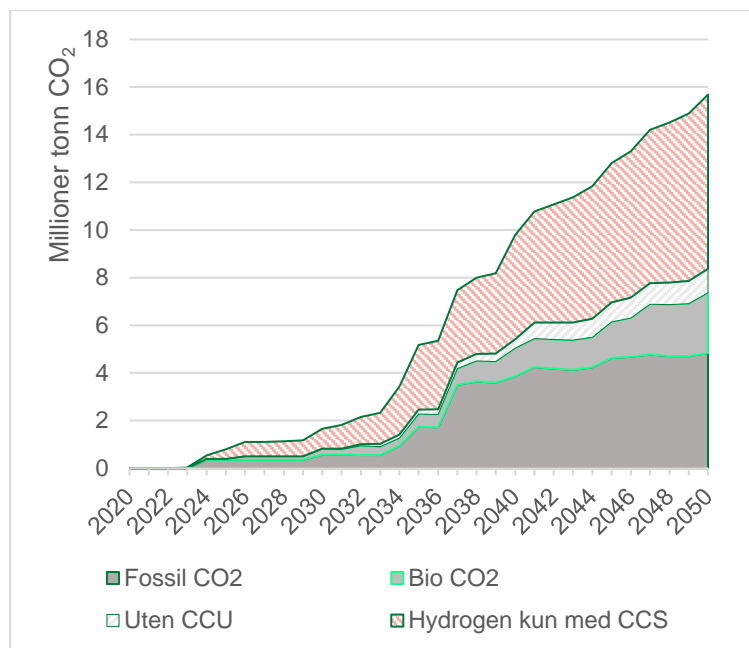


Dette overslag avviker på noen områder fra det som ble laget av Prosess21s ekspertgruppe for kraftmarkedet (Prosess21, 2020c). Hovedårsakene til det er at det er brukt en annen vekst her, og særlig større innslag av ny industri. Produksjon av ammoniakk til skip er ikke vurdert av kraftgruppa, og det er også lagt inn mer produksjon av e-drivstoff og batterier her. Denne vurderingen inkluderer heller ikke andre sektorer enn industrien.

### Økt behov for CO<sub>2</sub>-lagring

I denne analysen øker behovet for geologisk lagring av CO<sub>2</sub> med 7,1 millioner tonn per år i 2050. I tillegg brukes det store mengder hydrogen, som hvis den produseres fra naturgass med CCS kan øke behovet med ytterligere 7,3 millioner tonn. Det er også lagt inn i denne analysen at 1 million tonn CO<sub>2</sub> som fanges fra industrien brukes til e-drivstoff. Det fanges 3,3 millioner tonn CO<sub>2</sub> som stammer fra biomasse, og som derfor utgjør negative utslipp. I denne analysen har vi antatt at disse negative utslippene kan utligne gjenstående utslipp andre steder i industrien, selv om det ikke finnes noe regulatorisk rammeverk for å gjøre dette i dag.

### Økt etterspørsel etter CO<sub>2</sub>-lagring



Ekspertgruppen for karbonfangst (Prosess21, 2020d) viser til at rundt 5 millioner tonn CO<sub>2</sub> er velegnet for CCS i dag. Vurderingen her er basert på vekst og etablering av ny industri som fram mot 2050. Karbonfangstgruppen gjorde ikke overslag over mulig etterspørsel etter hydrogen.

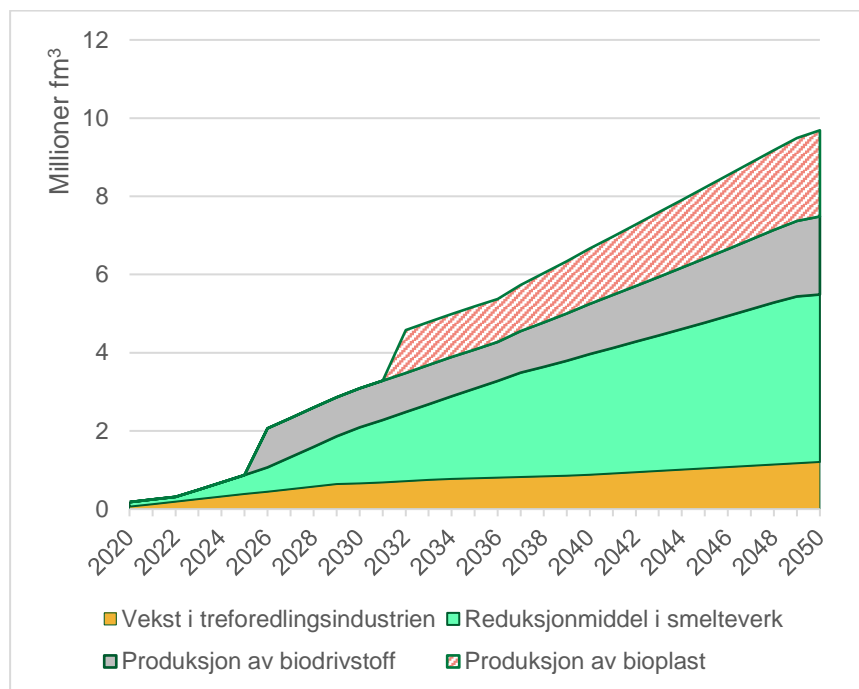
### Behov for bærekraftig biomasse

I denne analysen øker behovet for bærekraftig biomasse med 7,4 millioner fm<sup>3</sup>, og dersom produksjonen av polyetylen også skulle vært biobasert kunne dette lagt til rundt 2,2 millioner fm<sup>3</sup>. Det er trolig mer enn hva som kan skaffes til veie fra norsk skog, som har blitt anslått av Prosess21 til å være 3,5 -5,5 millioner fm<sup>3</sup> (Prosess21, 2020b). Dette kan innebære at det ikke vil være plass til alle de ulike bioprosjektene som er lagt inn i denne analysen, og det kan også bety økt import av biomasse.

Trekullet som brukes i ferrolegeringsindustrien allerede stammer fra import, det samme gjør de fleste flytende biobrensler. Dersom importen økes i framtiden kan det være en fordel om dette skjer innenfor et rammeverk som bidrar til produksjonen i tredjeland skjer på en måte som i størst mulig grad finner synergier mellom denne virksomheten og andre bærekraftsmål som naturmangfold, matsikkerhet og utryddelse av fattigdom. Etablering av skog på nye arealer og degradert land i tropiske områder er svært stort klimatiltak i de fleste scenarier som når klimamålene.

Potensialet fra norsk biomasse kan også kanskje økes noe på lang sikt ved tiltak for å øke veksten, som skoggjødsling, nye kilder som alger og tang, eller mer effektiv bruk av dagens ressurser, f.eks. gjennom å redusere bruken av ved til fyring.

### Økt behov for biomasse (regnet som skogsråstoff)



### Behov for hydrogen

I hovedscenariet brukes det omtrent 700 000 tonn hydrogen. Størstedelen av dette går til produksjon av ammoniakk og e-jetfuel. Andre valg som kloridelektrolyse med hydrogenbasert karbon-looping i aluminiumsproduksjonen og hydrogenreduksjon av stål kunne økt behovet til over 1 million tonn, mens kloridelektrolyse med CCUS på den andre siden kunne produsert 2-300 000 tonn hydrogen fra naturgass som biprodukt. Hydrogen kan kanskje også bli brukt som reduksjonsmiddel i produksjon av ferrolegeringer, men vi ikke hatt grunnlag for å vurdere det her.

Med større satsinger og industrialisering ligger det an til at kostnadene ved å produsere hydrogen vil falle raskt. Kostnadene er imidlertid sterkt avhengige av prisene på kraft og naturgass, og regionale forhold om hvordan markedene for kraft og naturgass utvikler seg kan derfor avgjøre hva som lønner seg hvor. Klargjøring av hydrogen for transport er et fordyrende og energikrevende ledd, og det også kan påvirke lokalisering av hydrogenproduksjon og valg av systemløsninger i ulike regioner. I bærekraftsenarioet til IEA kommer 40 % av hydrogenet som produseres i 2070 fra dampreformering av naturgass med CCS, og 60 % fra elektrolyse (IEA, 2020)

#### Hydrogen fra elektrolyse

I denne analysen har vi lagt til grunn at produksjon av hydrogen ved vannelektrolyse trenger 50 MWh fornybar kraft per tonn. Det vil også være behov for ca. 9 tonn rent vann, og vel 8 tonn rent oksygen produseres som et biprodukt. Kostnadene i dag er beregnet av IEA til 29 000 – 69 000 kr per tonn hydrogen globalt. Med norske kraftpriser vil prisen trolig ligge i den nedre enden av dette spennet for et stort industrielt anlegg.

Vannelektrolyse er en moden teknologi, men mange analyser (f.eks. (IEA, 2020) og (Statnett, 2020)) antar likevel at en kraftig oppskalering som følge av stram klimapolitikk vil føre til en stor forbedring av teknologiene og reduserte investeringskostnader, og at anleggene kan produsere med variabel effekt for å balansere kraftsystemet når dette legges over til fornybar energi – og slik utnytte perioder med lave kraftpriser. Det er det siste som i størst grad fører til kostnadsreduksjoner.

#### Produksjon av ett tonn hydrogen med noen ulike teknologier

Elektrolyseteknologi	I dag [MWh]	Mulig forbedring [MWh]	TRL
Alkalisk	53 - 48	48 - 42	9
PEM	59 - 56	50 - 45	9
SOEC	45 - 41	43 - 37	7

Utleidet fra (IEA, 2019b)

#### Hydrogen fra naturgass med CCS

I denne analysen har vi lagt til grunn at produksjon av ett tonn hydrogen fra dampreforming av naturgass (SMR) med CCS innebærer å fange 8,9 tonn CO<sub>2</sub> fra 3,7 tonn naturgass, med restutslipp på ca. ett tonn CO<sub>2</sub>. Også dampreforming har et vesentlig vannforbruk, og halvparten av hydrogenet som produseres stammer fra vann. Kostnadene er beregnet av IEA til å ligge mellom 11 000 og 18 000 kr per tonn i dag.

Selv om SMR er en moden og utbredt teknologi, er ikke slike anlegg optimalisert for lavest mulig CO<sub>2</sub>-utslipp i dag. To tredjedeler av CO<sub>2</sub>-utslippet genereres i selve prosessen og nær 100 % av dette fanges. Den siste tredjedelen stammer fra gass som brukes som energikilde, og man antar typisk at 85 % av denne kan fanges med standard amin-fangst. I et anlegg som er designet for produksjon av klimavennlig hydrogen kunne det være et alternativ å elektrifisere denne kilden, slik at fangstgraden totalt sett ble nær 100 %.

På samme måte som at hydrogen fra elektrolyse kun er en klimaløsning i et fornybart kraftsystem, vil hydrogen fra naturgass reise et behov for å eliminere utslippene i de aktuelle delene av petroleumssektoren.

#### Produksjon av ett tonn hydrogen med noen ulike teknologier

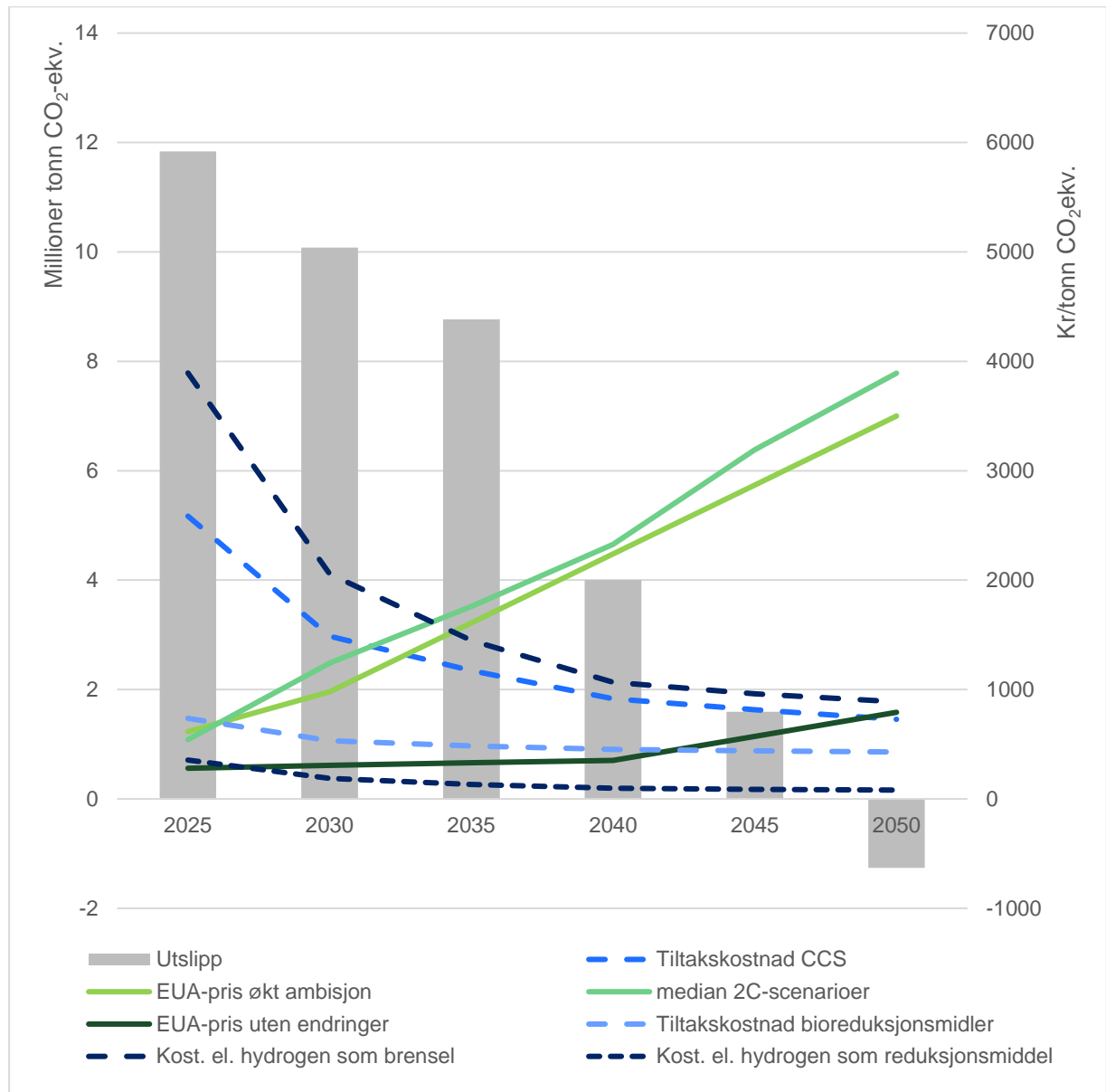
CCS-teknologi	Naturgass [tonn]	EI-forbruk [MWh]	Fanget CO <sub>2</sub> [tonn]	CO <sub>2</sub> -utslipp [tonn]	TRL
SMR med amin	3,73	-0,05	8,90	0,99	9
Membran (PMR)	2,11	11,7	5,55	0	5

Utleidet fra (IEAGHG, 2017) og (Malerød-Fjeld, Clark, & Yuste-Tirados, 2017). Kompresjon av CO<sub>2</sub> er inkludert i begge, mens membranteknologien her også inkluderer kompresjon av hydrogen.

## Kostnader og CO<sub>2</sub>-priser

Typiske tiltakskostnader for noen av løsningene som er valgt i analysen her ligger fra over 4000 kr/tonn CO<sub>2</sub> ned til et par hundre kr /tonn CO<sub>2</sub>. De høyeste kostnadene representerer tiltak som ikke er markedsmessig modne nå, men som tas i bruk over de neste ti årene for å modne teknologiene, utvikle nødvendige systemer og reguleringer. Med andre ord for å ta de første skrittene langs læringskurven slik at en markedsdrevet utrulling kan bli mulig i løpet av 2030-tallet.

### Mulig utvikling i utslipp, tiltakskostnader og CO<sub>2</sub>-priser



### CCS

For Langskip er det beregnet at den bedriftsøkonomiske tiltakskostnaden for de første prosjektene er rundt 2600 kr/tonn CO<sub>2</sub>, mens tilsvarende prosjekter kan koste rundt 650 kr/tonn etter en vesentlig oppskalering (Gassnova, 2020). Prosjektet Co<sub>2</sub>stCap har vurdert kostnadene for ulike industrikilder til å kunne ligge mellom 500 og 1200 kr/tonn CO<sub>2</sub> (Skagestad & Normann, 2019).



### *Bioreduksjonsmidler*

Tall fra pågående prosjekter kan tyde på en bedriftsøkonomisk tiltakskostnad i dag for trekull optimalisert for aktuelle deler av ferrolegeringsindustrien på rundt 750 kr/tonn CO<sub>2</sub>. Hvis man antar en læringsrate på 15 % kan denne tenkes å synke til rundt 450 kr/tonn CO<sub>2</sub> innen 2050. En forenklet analyse hvor mange kostnadsdrivende elementer er forenklet bort antyder en tiltakskostnad på rundt 150 kr/tonn (MEPEX, 2020). En slik idealisert tiltakskostnad kan kanskje gi en pekepinn mot potensialer for kostnadsreduksjoner. Tiltakskostnaden vil også avhenge av framtidige priser på metallurgisk kull og biomasse, som er usikre ikke minst på grunn av klimaomstillingen.

### *Hydrogen*

I tillegg til læringseffekter vil tiltakskostnadene for bruk av hydrogen som klimatilak avhenge både av hva det brukes til, og hvordan det blir produsert – og i stor grad framtidige priser på fornybar kraft og naturgass.

En forenklet beregning gjort her kan antyde at å erstatte naturgass til forbrenning med elektrolytisk hydrogen i dag kan koste over 4000 kr/tonn CO<sub>2</sub>, mens bruk av elektrolytisk hydrogen til å erstatte kull som reduksjonsmiddel kanskje ligger mer i området 400 kr/tonn CO<sub>2</sub>. De mange ulike applikasjonene av hydrogen vil trolig ligge i dette spennet. Hydrogen fra naturgass med CCS vil trolig koste vesentlig mindre enn elektrolytisk hydrogen i dag (se diskusjon om hydrogen over).

### *CO<sub>2</sub>-priser*

Prisen på kvoter i EU-ETS ligger i dag på rundt 300 kr, og kraftmarkedsgruppen i Prosess21 har anslått at den kan øke til rundt 800 kr i 2050 dersom systemet skal nå 80 % reduksjon innen da. En innstramning av 2030 målet til 55 %, og oppnåelse av målet om netto null utslipp i 2050, kan øke kvoteprisen betraktelig. Et analysebyrå har beregnet at kvoteprisen kan ligge på over 900 kr i 2030 ved en styrket ambisjon (REFINITIV, 2020). I konsekvensutredningen til A Clean Planet for All går det også fram at den marginale tiltakskostnaden i kvotesystemet ligger rundt 3500 kr/tonn CO<sub>2</sub>-ekv. ved oppnåelse av netto null utslipp med modellene som ble brukt da (EC, 2018). Dette er også omtrent på medianen av scenarier som begrenser oppvarmingen til godt under 2 grader som ble vurdert i (IPCC, 2018). Til sammen kan dette kanskje gi en indikasjon på utfallsrommet for CO<sub>2</sub>-prisen (som sum alle virkemidler) framover.

## Konkluderende betraktninger

**Usikkerheten som virksomhetene står foran i dag, er svært høy.** Utslippsreduksjonene som er skissert her er i stor grad basert på at teknologiutvikling som kanskje ikke lykkes, med veldig usikre kostnader, skal utløses av virkemidler som ikke er på plass i et regulatorisk rammeverk som ikke er ferdig utviklet. Samtidig vil omstillingen påvirke pris og tilgjengelighet på kraft, kull, petroleum, biomasse og andre viktig innsatsstoffer.

**Det er veldig kort tid tilgjengelig.** Utviklingsløpene fra lav TRL kan godt ta flere tiår – om de lykkes i det hele tatt – og utvikling av et demonstrasjonsprosjekt tar også typisk fem til ti år. De eksisterende anleggene kan ha en teknisk levetid på tretti til femti år, og representerer en stor investering. Omlagging til ny teknologi vil derfor også ta lang tid, etter at selve konseptet er tilstrekkelig validert til å tas i bruk. (IEA, 2020b) påpeker at utviklingen av, og omleggingen til lavutslippsteknologier må starte umiddelbart, og skje i en hastighet og skala som er uten historisk sidestykke dersom man skal nå null utslipp i 2050.

**Kostnadene ved å være tidlig ute kan være høy, og dagens virkemidler adresserer i hovedsak ikke dette.** Å ta i bruk markedsmessig umodne løsninger i konkurranse med eksisterende industri når CO<sub>2</sub>-prisen konkurrentene møter er lav er et tapsprosjekt for den enkelte aktør og vil ikke skje av seg selv. For det enkelte anlegg vil å gå først kunne innebære å binde seg i mange år til en løsning som vil ha høyere kostnader enn den de som investerer senere vil møte. For mange av løsningene her vil kostnadsreduksjonene som oppnås gjennom læring og oppskalering tilfalle andre aktører enn de som gjør de første investeringene, og dette blir da et fellesgode som dagens virkemidler i hovedsak ikke adresserer for prosessindustrien.

**Omstillingen vil innebære vesentlig økte investeringsbehov og kostnader, og effektiv skjerming mot tredjeland med svak klimapolitikk er kritisk nødvendig.** (Material Economics, 2019) har anslått at det vil være behov for å øke investeringene i europeisk prosessindustri med 25-60 % over perioden med en topp rundt 2035-40, og at gjennomsnittlige tiltakskostnader på 600-1300 kr/tonn CO<sub>2</sub>-ekv. øker virksomhetenes kostnader med 20-115 %. Også vurderingene i denne analysen kan antyde et økt investeringsbehov i norsk industri på et tresifret antall milliarder over denne perioden, med vesentlig økte kostnader som resultat. I siste instans vil det være forbrukerne som må ta denne regningen, men for dem blir den ikke nødvendigvis merkbar. Prisene i konsummarkedet vil typisk øke med mindre enn 1 % som følge av høyere priser for klimanøytrale basismaterialer.

**Omstillingen vil ha konsekvenser i form av økt behov for fornybar kraft, bærekraftig biomasse og CO<sub>2</sub>-lagring.** Det er ingen vei rundt at klimaomstillingen vil ha som konsekvens at behovet for ny fornybar kraft, CO<sub>2</sub>-lagring og bærekraftig biomasse vil øke kraftig, men den relative balansen mellom disse er mer usikker. Dersom tilgangen på en blir begrenset, vil behovene for de andre øke tilsvarende. Konkurransedyktig tilgang legger grunnlaget for at virksomheter i Norge kan ta markedsandeler i det i grønne skiftet.

**Prosessindustrien er en nødvendig del av klimaomstillingen.** Verden vil fortsette å trenge basismaterialer i framtiden også med svært sterke virkemidler for sirkulær økonomi, og det er ingen fordel for miljøet eller andre bærekraftsmål om disse bare produseres i områder med svak klimapolitikk. Vindturbiner, solceller, batterier og karbonnøytrale drivstoff og andre fornybare løsninger må produseres dersom verden skal nå klimamålene, og disse – som de fleste fysiske produkter – er laget av basismaterialer fra prosessindustrien.

### (2020-2025) – Verkstedtid, planlegging og systemutvikling

Tiltakskostnadene er i dag for det meste langt over CO<sub>2</sub>-prisen, og det er veldig stor usikkerhet om rammebetingelsene framover. Mange systemer er ikke plass, og det er også svakheter og mangler i det regulatoriske rammeverket som finnes.

For virksomheter kan en fornuftig strategi være å:

- planlegge for målet om netto null utslipp, heller enn å vente på at virkemidlene strammes inn og reguleringene kommer på plass.
- ha bred portefølje av prosjekter i tiden framover, både lav TRL og prosjekter med lavere teknologisk ambisjonsnivå.
- identifisere klima- og miljøutfordringer i hele verdikjeden.
- se de mulige klimaløsningene i stort og opp mot et klimanøytralt system.
- Sette i gang ide- og mulighetsstudier for ulike løsninger, også for å vurdere infrastrukturbehov, mulige synergier og videre FoU-behov.

- Etablere et "klimastyringssystem" for eksisterende anlegg
- Kartlegge fysisk klimarisiko for eksisterende anlegg

For myndighetene kan det være fornuftig å:

- Legge til rette for en økt FoU-aktivitet i industrien, og en vridning mot klimaprojekter. For denne typen forskning burde klimaeffekt vektlegges som kriterium i større grad enn i dag, særlig for grunnforskning og tidlige teknologiløp. Mange prosjekter vil involvere flere parallelle løp og forholdsvis lange tidsløp.
- Identifisere regulatoriske barrierer og starte arbeid med å fjerne disse, bl.a. gjennom tett involvering i EUs videre arbeid – både for å ivareta norske særegenheter og for å kunne tilpasse nasjonale virkemidler.
- Bidra til å utvikle systemer for:
  - Skjerming mot tredjeland
  - Handel av biomasse som utløser positive synergier for bærekraftig utvikling
  - Insentiver for negative utslipp, som subsidier, avgiftsrefusjon eller sertifikatordninger.
  - Karbonforvaltning
  - Gjenvinning av materialer uten kvalitetstap
- Sørgje for et akseptabelt regime for ny fornybar som legger til rette for vekst
- Identifisere områder som egner seg spesielt for etablering av ny industri
- Planlegge for økt ressursgrunnlag nasjonalt (som i mineralnæringen og skognæringen) og videreforedling av denne i Norge.
- Planlegge for en energi- og materialeeffektiv samfunnsutvikling

#### (2025-2035) – Gå læringskurven

Det ville måtte bygges flere storskala demonstrasjonsprosjekter i industrien, de fleste av disse sannsynligvis utenfor Norge. Disse løsningene vil ikke være "ferdige" ved et demonstrasjonsanlegg, men det vil antagelig måtte gjøres flere iterasjoner før kostnadene kommer ned tilstrekkelig til at kvotesystemet eller avgifter driver dem alene. På samme måte som med vindturbiner, PV-solceller og batterier vil det være behov for å gå læringskurven også for denne typen prosjekter.

For virksomheter kan en fornuftig strategi være å:

- Ikke gjøre nye store investeringer uten en klar klimastrategi
- Oppskalere til pilot og demonstrasjonsanlegg
- Begynne å gå ned læringskurvene
- Bygge opp klima og miljøvennlige alternativer i verdikjeden
- Utvikle gjenbruk- og gjenvinnbare produkter og forretningsmodeller for disse

For myndighetene kan det være fornuftig bidra til å:

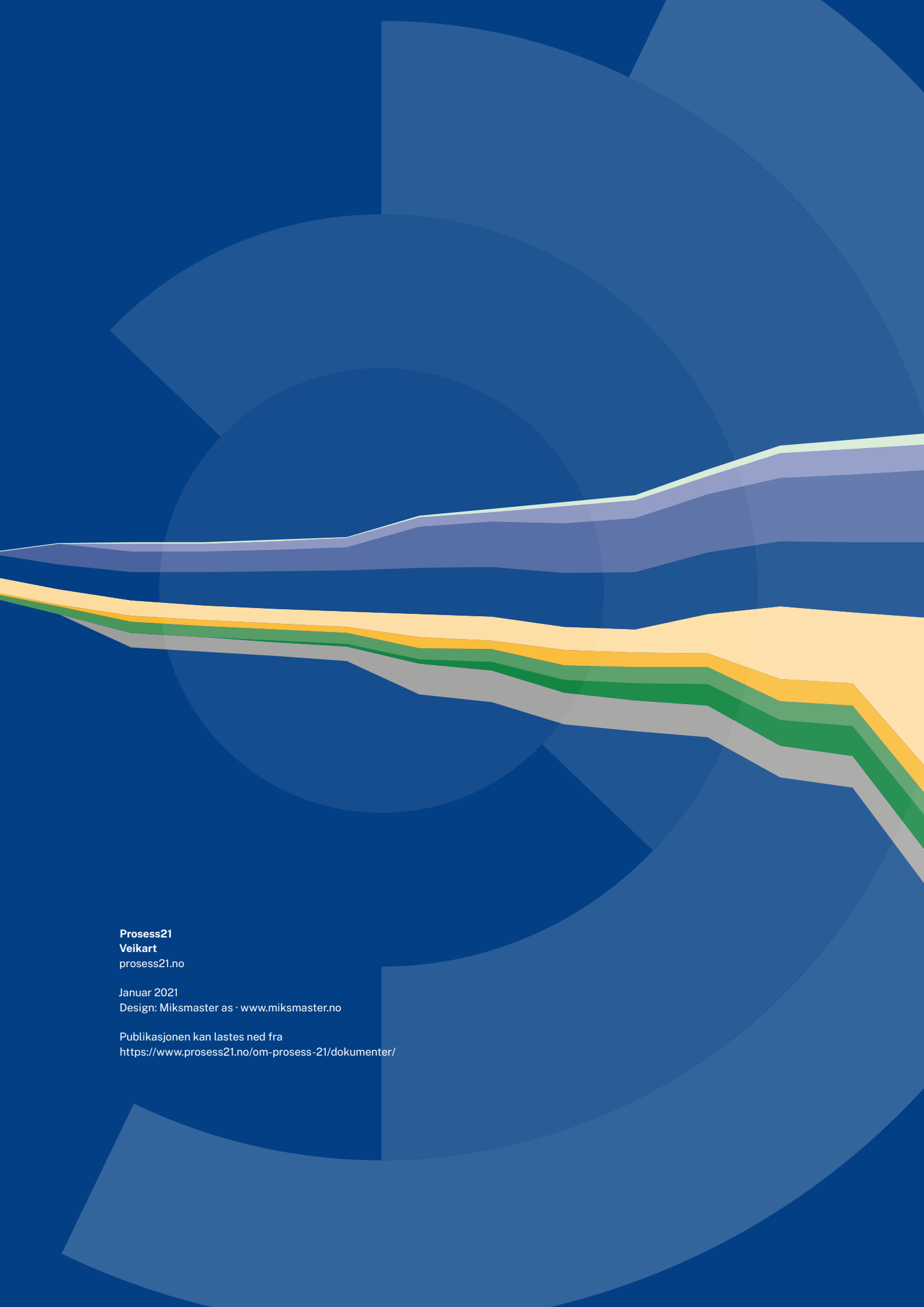
- Skape markeder, gjennom for eksempel offentlig innkjøp, merkeordninger og krav i tekniske forskrifter.
- Etablere nye virkemiddel for tidlig markedsfase, som en CCfD-løsning eller tilsvarende
- Etablere nye virkemiddel for videre CCS-utruiling
- Legge til rette for finansiering av klimavennlige prosjekter
- Bidra til videre utvikling av nødvendig infrastruktur

#### (2035-2050) – Grønn industribygging

En gang i løpet av 2030-tallet vil det være nødvendig med en storstilt ombygging av den norske prosessindustrien, men svært store investeringsbehov og svært store behov for ny fornybar kraft, CO<sub>2</sub>-lagring og bærekraftig biomasse. Med de rette virkemidlene og reguleringene på plass vil markedet kunne levere denne omstillingen.

## Kilder

- Alcoa. (2019). *2019 Sustainability Report*.
- CRU. (2020). *Estimat for etterspørsel etter primæraluminium i Europa til prosess21*.
- DNV GL. (2020). *DNV GL Maritime Forecast to 2050*.
- EC. (2018). *A Clean Planet for all - A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. IN-DEPTH ANALYSIS IN SUPPORT OF THE COMMISSION COMMUNICATION COM(2018) 773*.
- EC. (2020). *Circular Economy Action Plan*. European Commission .
- Gassnova. (2020). *THE NORWEGIAN FULL-SCALE CCS DEMONSTRATION PROJECT - Potential for reduced costs for carbon capture, transport and storage value chains (CCS)*.
- HYBRIT. (2020). <https://www.hybritdevelopment.com/>.
- IEA. (2019). *Material efficiency in clean energy transitions*.
- IEA. (2019b). *The future of hydrogen*.
- IEA. (2020). *Energy Technology Perspectives*.
- IEA. (2020b). *World Energy Outlook*.
- IEAGHG. (2017). *2017-02 SMR BASED H2 PLANT WITH CCS*. Hentet fra IEAGHG.org:  
<https://ieaghg.org/component/content/article/49-publications/technical-reports/784-2017-02-smr-based-h2-plant-with-ccs>
- IPCC. (2018). *Climate Change of 1,5 C*.
- IVL. (2017). *The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries*.
- Malerød-Fjeld, H., Clark, D., & Yuste-Tirados, I. (2017). *Thermo-electrochemical production of compressed hydrogen from methane with near-zero energy loss*. Hentet fra Nature.com:  
<https://doi.org/10.1038/s41560-017-0029-4>
- Material Economics. (2019). *Industrial Transformation 2050 - Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry*.
- Mdir m.fl. (2020). *Klimakur 2030*.
- MEPEX. (2020). *Bruk av biomasse i norsk ferrolegeringsindustri*.
- NHO. (2020). *Grønne Elektriske Verdikjeder*.
- Norsk Industri. (2016). *Veikart for prosessindustrien – økt verdiskaping med nullutslipp i 2050*. Norsk Industri.
- Perkins, G., & Batalha, N. (2019). *Recent advances in liquefaction technologies for production of liquid hydrocarbon fuels from biomass and carbonaceous wastes*. Hentet fra Renewable and Sustainable Energy Reviews: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109400>
- Prosess21. (2020). *Rapport fra ekspertgruppen om ny klimavennlig prosessindustri inkl. ccu*.
- Prosess21. (2020b). *Biobasert prosessindustri*.
- Prosess21. (2020c). *Kraftmarkedet - Ekspertgrupperapport fra Prosess21*.
- Prosess21. (2020d). *Karbonfangst - Prosess21 CO2-håndteringsrapport*.
- REFINITIV. (2020). *EUA price forecast: Climate ambition matters*.
- SINTEF. (2020). *Veikart for en klimapositiv industriregion*.
- Skagestad, R., & Normann, F. (2019). *CO2stCap - Reducing the Cost of Carbon Capture in Process Industry*. Chalmers University of Technology.
- Statnett. (2020). *Langsiktig markedsanalyse - Norden og Europa 2020-2050*.



**Prosess21**  
**Veikart**  
prosess21.no

Januar 2021  
Design: Miksmaster as · [www.miksmaster.no](http://www.miksmaster.no)

Publikasjonen kan lastes ned fra  
<https://www.prosess21.no/om-prosess-21/dokumenter/>