

2019

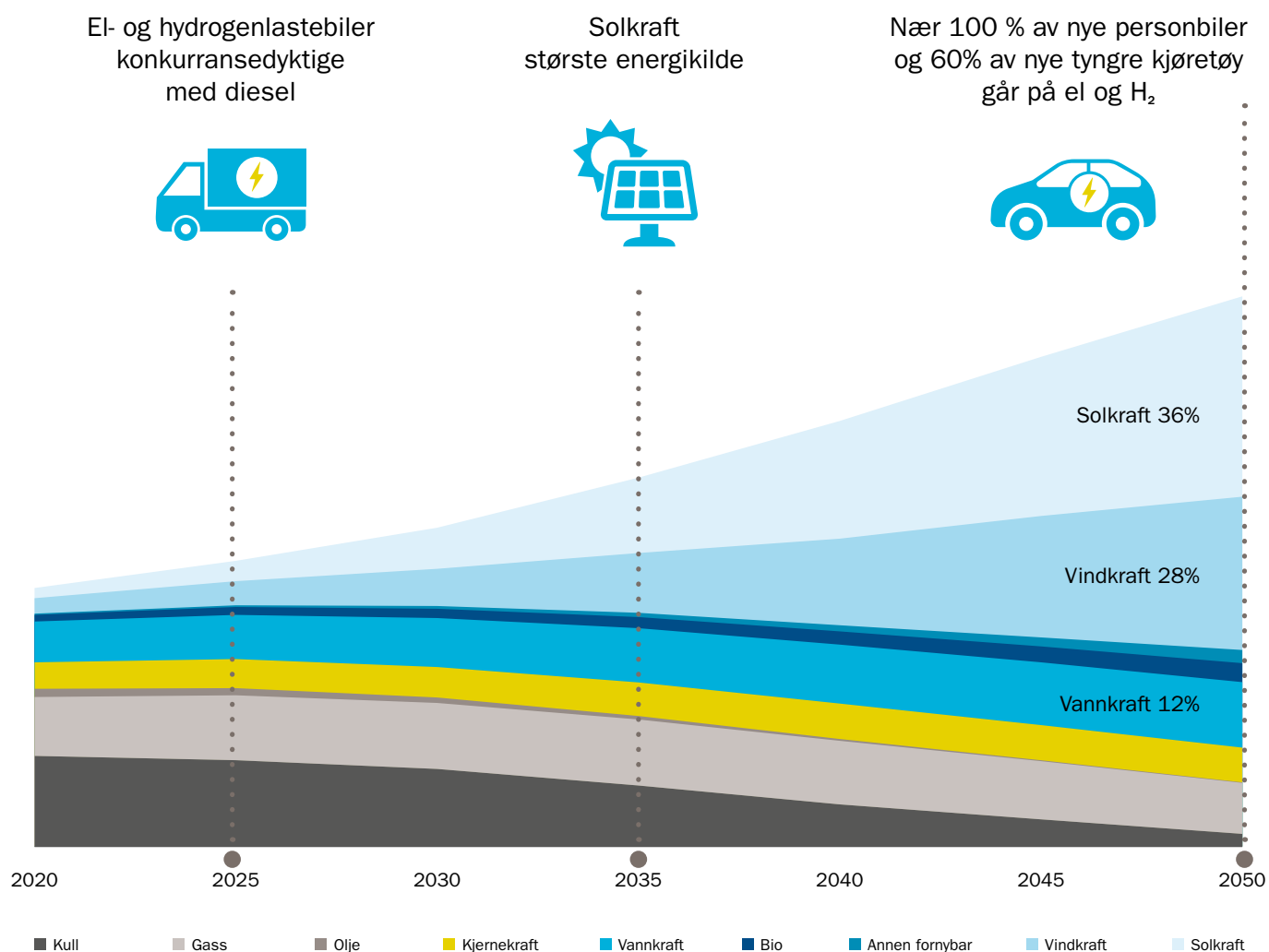
Globale energitrender og norske muligheter

Statkrafts Lavutslippsscenario



Statkrafts Lavutslippsscenario 2019

For å nå klimamålene må verden kutte utslipp i raskere tempo og større omfang enn vi ser i dag. I Lavutslippsscenarioet faller kostnadene for solkraft med 50% og vindkraft med 40% til 2050. En fornybar kraftsektor gjør elektrisitet stadig mer attraktivt som energikilde i transport-, bygg- og industrisektoren. Dette resulterer i 44% lavere energirelaterte klimagassutslipp i 2050 enn i dag, i tråd med en 2-gradersbane. Gass blir største utslippskilde og kraftsektoren blir 80% fornybar i 2050.



Verdens elektrisitetsproduksjon fram til 2050 (TWh)

Endringer globalt fra i dag til 2050



x30 / x8

Sol-/vindkraft-
kapasitet



-60%

Kostnad for solkraft
med batteri ***



x2

Elektrisitets-
behov



-43%

Olje-
etterspørsel



x20

Strømforbruk i
transport



-62%

Energi-
intensitet **



-44%

Klimagass-
utslipp *



Vindkraft dekker nær 30% av elektrisitetsbehovet i verden i 2050. Foto: Getty Images/piola666

Energiverden i endring

Forutsetninger for Lavutslippsscenarioet

For fjerde år på rad presenterer Statkraft sitt Lavutslippsscenario. Scenarioet tar utgangspunkt i kjente teknologier og forutsetter en optimistisk-realistisk videreføring av dagens trender innen fornybar og grønn teknologi. I tillegg forutsetter scenarioet at man søker å tilrettelegge for energiomstillingen, samt en tilstrekkelig mobilisering av privat kapital. Dette betyr at marked, teknologi og politikk i hovedtrekk drar i samme retning. Nytt av året er at vi analyserer horisonten helt frem mot 2050¹.

Energisystemene endres raskt

Den største endringen fra i fjor er at vi i år nok en gang justerer kostnadsestimatene våre for solkraft nedover. Dette øker intensiteten i trendene vi skisserte i fjor. I de fleste land i verden lønner det seg allerede i dag å installere fornybar kapasitet hvis ny kraft trengs. I Lavutslippsscenarioet ser vi at i land med gode sol- eller vindressurser vil ny fornybarkapasitet også lønne seg framfor eksisterende kull- eller gasskraft i nær framtid.

Det enorme kostnadsfallet på fornybar kraft gjør at det blir stadig mer attraktivt å avkarbonisere industri-, transport- og byggsektorene gjennom elektrifisering. De områdene som ikke kan elektrifiseres direkte, kan utnytte den fornybare kraften ved å bruke hydrogen som energibærer. Sammen med en raskere omstilling av kraftsektoren, ser vi de største endringene fra i fjor innen transportsegmentet, der særlig langdistansetransport i større grad går over til elektrisitet og hydrogen.

Vi ender opp med et globalt energisystem som ser fundamentalt annerledes ut enn det vi kjenner i dag, der sektorene er tettere integrert gjennom elektrisitet og hydrogen. Bedre samspill mellom sektorene reduserer også behovet for fossile brenslers. Vi får en lavere etterspørsel etter kull og olje, og en gassetterspørsel som flater ut globalt. Dette fører til at de energirelaterte klimagassutslippene synker.

Vi må gjøre mer av alt

I år som i fjor ender vi opp med globale energirelaterte utslipp i Lavutslippsscenarioet som er i tråd med en 2-gradersbane. Energirelaterte utslipp står for omtrent tre fjerdedeler av de globale klimagassutslippene. Det siste året har 1,5-gradersmålet blitt mer aktualisert, derfor har vi i år også analysert hva som skal til for at energirelaterte utslipp følger en 1,5-gradersbane. Dette har vi gjort gjennom et dyppdykk i den europeiske energisituasjonen. Siste del av rapporten viser at det er fullt mulig å følge en 1,5-gradersbane med dagens teknologi. Kostnadene knyttet til dette vil trolig være langt lavere enn kostnadene knyttet til konsekvensene av å ikke oppnå en 1,5-gradersbane. Den største forskjellen mellom Lavutslippsscenarioet og en 1,5-graders energiverden er hastighet. Vi ser de samme løsningene i begge analysene, men en 1,5-gradersbane krever langt raskere handling der flere teknologiske løsninger må utvikles i parallell.

Politisk vilje er avgjørende

For å få en tilstrekkelig hastighet på omstillingen og dermed begrense den globale oppvarmingen ned mot 1,5 grader kreves det betydelig politisk vilje. De siste årene har det vært en forsterkning av klimapolitikken i mange land i verden. Klima- og energipolitikken utformes imidlertid ikke i et vakuum. Parisavtalen bygger på at land samarbeider og har tillit til at andre land oppfyller sine forpliktelser. Teknologioverføring, handel og gjensidig tillit gjør det lettere å nå de globale klimamålene. Konflikt og mistillit gjør det vanskeligere å nå klimamål. De siste årene har vi sett tendenser i retning av mindre samarbeid og mer konflikt, noe som kan gjøre det vanskeligere å lykkes med en rask og dyp avkarbonisering av verdensøkonomien.

¹ Lavutslippsscenarioet bygger på Statkrafts egne globale og regionale analyser og modeller i tillegg til dybdestudier av eksterne kilder. Scenarioet baserer seg verken på en lineær framskrivning av dagens trender eller tar utgangspunkt i et klimamål og analyserer seg bakover.

Bakgrunn: Ekstremvær, globalt klimaengasjement og fragmentert politikk



Figur 1: Ekstremvær gir store konsekvenser. Her fra Flåm, der store nedbørsmengder sendte elva ut over sine bredder og førte til store skader. Foto: Tore Meek/NTB scanpix.

Det siste året har skolestreikene *Fridays for Future* vokst fram som en internasjonal bevegelse. Skolestreikene nådde sitt foreløpige klimaks da 1,4 millioner skoleelever streiket 15. mars 2019. Også selskaper, byer og land setter klima høyere på dagsordenen². En rekke europeiske land har satt nasjonale tidsfrister for å oppnå klimanøytralitet, inkludert Norge i 2030, Finland i 2035, Island i 2040, Sverige i 2045, og Danmark, Frankrike, Nederland, Portugal, Spania, Storbritannia, og Tyskland i 2050. EU kommisjonen lanserte sin 2050-strategi i fjor som presenterer åtte scenarier for å omstille energisystemet. Strategien skal bidra til at EU – som er ansvarlig for om lag 10 prosent av verdens klimagassutslipp – skal bli i stand til å oppnå klimanøytralitet i 2050. Vi observerer også at karbonprising innføres i flere land og for flere sektorer.

Kina og Mexico ruller gradvis ut sine nasjonale kvotesystem, Nederland har valgt å innføre en karbonpris fra neste år og EUs kvotesystem er blitt styrket det siste året. Globalt finnes nå 57 karbonprisingmekanismer som enten er i drift eller har en fastsatt tidsplan for implementering. Dette dekker ca. 20% av globale klimagassutslipp og er en økning på 11 initiativ siden i fjor³.

Global oppvarming med synlige konsekvenser

Økt klimaoppmerksomhet skyldes i stor grad at konsekvensene av global oppvarming blir lettere å se. Vi har allerede nådd en økning i global gjennomsnittstemperatur på rundt 1°C over førindustriell tid. De siste fire årene har vært de varmeste i historien. Effektene av klimaendringene merkes på stadig flere områder. Flere arter er

² C40 Cities (2019): <https://www.c40.org>, RE100 (2019): www.re100.org, We Mean Business (2019): www.wemeanbusinesscoalition.org, the Climate Group (2019): <https://www.theclimategroup.org/ev100-members>

³ World Bank 2019. State and Trends of Carbon Pricing: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/31755>

utryddingstruet i dag enn noen gang tidligere i menneskets historie⁴. I 2018 økte klimagasskonsentrasjonen i atmosfæren, havnivået fortsatte å stige, og temperaturen i havoverflaten var rekordhøy. Utbredelsen av sjøis i Arktis og Antarktis er betydelig under gjennomsnittet. Samtidig blir havet surere mens utbredelsen av varmtvannskoraller går drastisk ned.

Også når det gjelder ekstremvær er konsekvensene store. 62 millioner mennesker ble rammet av naturkatastrofer i 2018. Flom rammet 35 millioner mennesker, mens over 9 millioner mennesker ble utsatt for tørke. To orkaner, Florence og Michael, traff USA og gjorde skader for 49 milliarder dollar. Ekstremvær har ført til en global økning av hungersnød etter flere år med nedgang.

I Nord-Europa førte den rekordvarme og tørre sommeren i fjor til store tap i matvareproduksjonen, mens 1500 døde av hete i Frankrike, og 25 000 hektar skog brant opp i Sverige. Selv om det er komplekse årsakssammenhenger når det gjelder hver enkelt hendelse, vet vi at menneskeskapte klimaendringer øker både omfanget og frekvensen av ekstremvær⁵. Forsikringssekskapene har vært tidlig ute for å forstå kostnadssiden av klimaendringer. Reassuranseselskapet Munich Re advarte i 2019 om at forsikringspremiene for privatpersoner kan bli så høye at forsikring mot klimaendringer vil bli et sosialt problem. Morgan Stanley estimerte kostnadene ved klimaeledegger til 650 milliarder US dollar i perioden 2016-2018⁶.

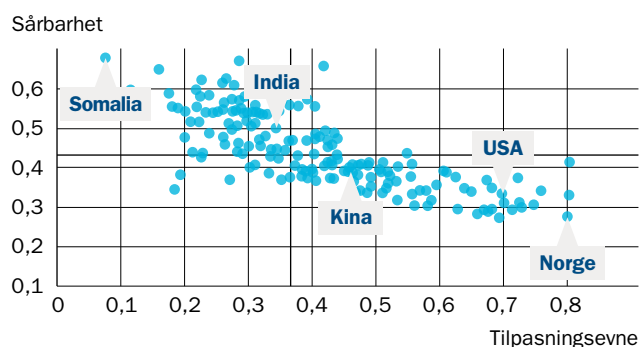
KINA, USA OG INDIA ER DE LANDENE I VERDEN SOM SLIPPER UT MEST KLIMAGASSER

Kina, USA og India slipper ut nesten halvparten av verdens klimagasser. Endringer i disse markedene får store konsekvenser for utslipp og energibalansen globalt og her skjer det mye. USA går fra nettoimportør til nettoeksportør av energi samtidig som gass og fornybart slår ut kull i kraftmiksen. Kullkraftproduksjon i USA er nå på sitt laveste nivå på 30 år og står for 27% av kraftmiksen.

Samtidig leder Kina an i både produksjon og forbruk av fornybar energi, og de er i gang med å rulle ut verdens største klimakvotestystem. Alvorlige problemer med luftforurensing i mange byer og et stigende energibehov er en viktige drivere. Forurensningen i storbyer har blitt et omfattende helseproblem og har skapt økt engasjement for renere luft.

Dette ser vi også i India, der elleve av verdens tolv mest forurensede byer ligger. Her ser vi at veksten innenfor kullkraft flater ut, og ny installert effekt kommer hovedsakelig fra vind- og solkraft. Målet er å nå 100 GW sol og 75 GW vind innen 2022. I april 2018 annonserte Indias statsminister Narendra Modi at alle landsbyer i India har blitt påkoblet elektrisitetsnett. En halv milliard mennesker har fått tilgang til strøm i India siden 2000, men fortsatt er 840 millioner mennesker uten strøm på verdensbasis⁸.

Klimaendringene rammer land ulikt



Figur 2: Fattige land mest utsatt for klimaendringer. Rangering av lands sårbarhet og tilpasningsevne i 2017⁷.

Klimagassutslippene økte for andre år på rad

I oktober i fjor kom FNs Klimapanel 1,5°C-rapport som viser de alvorlige klimakonsekvensene en 2-gradersbane gir framfor en 1,5-gradersbane⁹. Rapporten understreker samtidig den høye risikoen for å overstige utslippsbanen i perioder, dersom det ikke gjøres raske og drastiske utslippskutt de neste ti årene. Hvis banen overstiges kan irreversible klimaendringer som tining av tundraen i Sibir og smelting av is i Arktis trigges. Rapporten viser også at konsekvensene av den globale oppvarmingen slår ujevnt ut, der blant annet India er et av landene som vil bli rammet hardest av tørke, hetebølger og stigende havnivå. Disse konsekvensene vil igjen påvirke matforsyning, matpriser, folkeforflytninger og økonomisk vekst.

⁴ IPBES [FNs naturpanel] (2019): <https://www.ipbes.net/global-assessment-report-biodiversity-ecosystem-services>

⁵ World Meteorological Organization (2019): https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5789

⁶ Risk and Insurance (2019): <https://riskandinsurance.com/cost-of-climate-change>

⁷ University of Notre Dame Global Adaptation Index (2018): <https://gain.nd.edu/our-work/country-index/matrix>

⁸ World Bank (2019): <http://documents.worldbank.org/curated/en/517781558037625254/Tracking-SDG-7-The-Energy-Progress-Report-2019>

⁹ IPCC (2018): <https://www.ipcc.ch/sr15>



Figur 3: Skolestreiker for klima, her fra en demonstrasjon foran Stortinget i Oslo, skaper momentum verden over. Foto: Tom Hansen/NTB scanpix.

Som et paradoks til dette har de energirelaterte klimagass-utslippene økt både i 2017 og 2018 etter tre år med utflating. Hoveddriveren for utslippøkningen har vært økonomisk vekst og økt energiforbruk¹⁰. Selv om Europa reduserte sitt forbruk av fossile energikilder og vi ser en dreining mot økt fornybar energi globalt, vokser ikke fornybar energi sterkt nok til å dekke opp for økningen i energiforbruket. Etterspørselen etter både gass, olje og kull økte på verdensbasis, særlig i Asia og USA. Dette bidro til at de globale utslippene i 2018 gikk opp med 1,7 prosent til 33 Gt CO₂.

Investeringer flyttes fra fossil energi til fornybar

For tredje år på rad ble det i 2018 investert mer kapital i kraftsektoren enn i olje- og gassektoren globalt. Det investeres nå nesten 2,5 ganger mer kapital i fornybar energi enn i fossil energiproduksjon. De store kullselskapene diversifiserer seg vekk fra nye kullprosjekter og det foregår en konsolidering i markedet. Parallelt ser man at forsikringsselskaper, banker

og investeringsfond trekker seg ut av investeringer i fossile energikilder. Goldman Sachs har estimert at hoveddriveren for at kullselskaper har falt 60% i verdi de siste fem årene er at globale aktører trekker seg ut av kullinvesteringer¹¹. En undersøkelse fra Oxford universitet viser at investorer krever høyere avkastning enn tidligere for å investere i større kull- og oljeprosjekter på grunn av økt risiko. Undersøkelsen viser også at oljeselskapene prioriterer mindre og enklere prosjekter som skiferolje og å maksimere eksisterende produksjon framfor nye store utviklingsprosjekter¹². I 2018 hadde over tusen institusjoner forpliktet seg til å trekke sine investeringer ut av fossil energi under gitte kriterier¹³.

Ny fornybar kraftproduksjon dekker nærmere halvparten av elektrisitetsveksten. Installert kapasitet økte med 8 prosent til 171 GW i fjor, hvorav ny sol- og vindkraftkapasitet stod for 84 prosent (henholdsvis 108 GW og 50 GW). Samtidig har kapitaltilstrømningen globalt ligget flatt. Dette skyldes i stor grad fallende teknologikostnader spesielt i solkraft. Den relativt lave vekstraten for solkraftkapasitet i forhold til tidligere år (9%)

¹⁰ IEA World Energy investments (2019): <https://www.iea.org/wei2019>

¹¹ Goldman Sachs (2018): <https://www.goldmansachs.com/insights/pages/reports/re-imagining-big-oils-f/re-imagining-big-oils-report.pdf>

¹² Oxford Institute for Energy Studies (2019): <https://www.oxfordenergy.org/publications/energy-transition-uncertainty-implications-change-risk-preferences-fossil-fuels-investors/?v=c2f3f489a005>

¹³ Fossil free (2018): <https://gofossilfree.org/wp-content/uploads/2018/12/1000divest-WEB-.pdf>

skyldtes primært endringer i rammebetingelser i Kina. Derimot så man høye vekstrater i andre regioner, blant annet oppnådde Latin-Amerika 50% årlig vekst¹⁴.

Elektrisitetsforbruket økte nesten dobbelt så mye som energiforbruket i 2018. At etterspørselen etter elektrisitet øker mer enn etterspørselen etter energi skyldes både at flere mennesker får tilgang til strøm og at industri, varme og transportsektoren elektrifiserer seg vekk fra fossilt. Det ble i 2018 solgt to millioner elektriske biler. Det tilsvarer en vekst på 70 prosent. Den globale elbilparken er dermed over fem millioner og hele 1,1 millioner elbiler ble solgt i Kina alene. Europa utgjorde det nest største markedet med 385 000 solgte elbiler. EU har fått på plass nye utslippsgrenser for personbiler fram til 2030 og en rekke land har satt mål om å fase helt ut salg av fossile personbiler. Tidligst ute er Costa Rica og Norge med mål for henholdsvis 2021 og 2025, mens Danmark, Irland, Nederland og Sverige har mål for 2030 og Frankrike og Storbritannia har mål for 2040. Kina har innført en elbilkvote i nybilsalget som øker fra 10 prosent i 2019 til 15 prosent i 2025, tilsvarende ca. syv millioner elbiler. India har satt et mål om at elbiler skal utgjøre 15 prosent av nybilsalget i 2023.

Også innenfor de andre transportsegmentene skjer det endringer. Salg av elektriske busser vokste med 32 prosent til 425 000 på verdensbasis hvorav 99 prosent ble kjøpt i Kina. Samtidig skjerpes regelverk og klimamål for transportsektoren på nasjonalt, regionalt og globalt nivå. Etter flere år med forhandlinger, vedtok International Maritime Organization (IMO) i 2018 et mål om å halvere klimagassutslippene fra internasjonal skipsfart innen 2050 i forhold til 2008-nivå og i vår ble det enighet i EU om utslippskrav for lastebiler. Også når det gjelder bruk av hydrogen i transport skjerpes målene. 15 land i verden har nå innført mål eller støtteordninger for bruk av hydrogen til veitransport, deriblant Kina, Japan og flere EU land¹⁵.

Globalt politisk landskap skaper usikkerhet

De siste årene har vi sett tendenser som tyder på at verden går i en retning av mindre samarbeid og mer konflikt, med risiko for både hard Brexit og eskalerende handelskrig mellom de to største økonomiene i verden. Vi har fått politiske

ledere med en mer populistisk agenda i mange land både i Europa og ellers i verden, noe som viser at mange velgere ønsket et alternativ til det bestående. Vi ser de samme tendensene i energi- og klimapolitikken. Mens ungdom over hele verden har protestert for en mer offensiv politikk, har de gule vestene i Paris protestert mot konsekvensene av denne politikken. Mange populistiske partier i Europa har begynt å gå imot en ambisiøs klimapolitikk og argumenterer for at omstillingen vil ha store kostnader og føre til tap av arbeidsplasser¹⁶.

Derfor var det også knyttet stor spenning til årets valg til EU parlamentet. Selv om populistiske partier og EU-motstandere styrket seg i årets EU-valg og parlamentet blir mer fragmentert, fikk de populistiske partiene lavere oppslutning enn ventet på forhånd. Samtidig gikk grønne og liberale partier frem. Tendenser til økt nasjonalisme på den ene siden og mer makt til de grønne partiene på den andre siden kan gi grobunn for en mer offensiv klimapolitikk i Europa, men øker også risikoen for polarisering og konflikter.

Klima- og miljøspørsmål er i ferd med å bli en sak som går på tvers av de tradisjonelle skillelinjene i politikken og bidrar til et mer fragmentert politisk landskap i mange europeiske land. Dette kan gjøre det vanskeligere å komme til enighet om brede og langsiktige kompromisser i klimapolitikken, både lokalt, nasjonalt, for EU som helhet og globalt. En effektiv energiomstilling vil kreve økt samarbeid på alle nivåer. Dersom økt polarisering gjør at det ikke er mulig å få til gode kompromisser kan det bli vanskeligere å nå klimamålene. Som en motsats til dette ser vi samtidig en sterk dreining av kapital inn mot bærekraftige investeringer som følge av økt klimarisiko og en kraftig mobilisering hos de unge.



Figur 4: Tendenser til fragmentering og polarisering i det politiske landskapet globalt. Her ved Protestbevegelsen Gule Vester i Paris. Foto: Getty images/Bloomberg

¹⁴ Bloomberg (2019), Global Wind Market Outlook Q119, Global Solar PV Market Outlook Q219: www.bnef.com, IEA (2019): <https://www.iea.org/wei2019>

¹⁵ IMO (2018): <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>, EU Clean mobility package (2018): http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3708_en.htm IEA (2019): <https://www.iea.org/hydrogen2019>

¹⁶ WRI (2018): <https://www.wri.org/blog/2018/12/yellow-vests-movement-isn-t-anti-climate-action-it-s-pro-social-justice>



Vannkraft dekker 12% av elektrisitetsbehovet i verden i 2050. Fornybar, fleksibel vannkraft har en unik evne til å håndtere store variasjoner i annen fornybar kraftproduksjon og blir en viktig klimaløsning.
Foto: Statkraft/Nils Lund

Globalt Lavutslippsscenario: Fra fossil energi til fornybar elektrisitet

I dette kapitlet presenteres Statkrafts globale Lavutslippsscenario fram til 2050. Energisystemet endrer seg i en takt de færreste hadde forutsett for bare få år siden. Utbyggingshastigheten innen landbasert vind og solkraft er høy. Kostnadsfallet på fornybar teknologi og andre nøkkelteknologier, som batterier og elektrolyser, vil prege hele energisektoren framover. Dette kapitlet presenterer hvordan det globale energisystemet endres gitt at utbyggingstrendene vi har sett innen fornybar teknologi de siste årene fortsetter over tid. Med utslippsfri energi tilgjengelig til en lav kostnad i kraftsektoren, blir det kostnadseffektivt å elektrifisere i de andre sektorene som bygg, industri og transport. Dette kutter utslipp og endrer hele energisystemet globalt.

Sol er den raskest voksende energikilden i verden og produksjonen økte med 25 prosent i fjor¹⁷. En kraftig reduksjon i produksjonskostnadene for solceller, relativt kort prosjektutviklings- og byggetid og en stigende etterspørsel etter fornybar energi gjør at solkraft vokser raskere enn alle andre energikilder fram mot 2050 i Lavutslippsscenarioet. Med denne utviklingen blir solkraft den største kilden til kraftproduksjon allerede fra 2035.

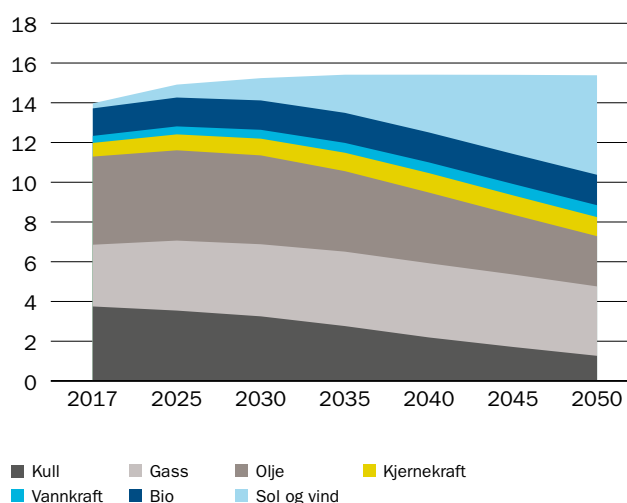
Ettersom sol- og vindkraft stadig flere steder er billigere enn ny kull- og gasskraft blir beslutningen om å bygge ut fornybar energi enklere. I tillegg til å være et grønt alternativ, blir det nå også det økonomisk beste alternativet. Dermed blir det også enklere å få gjennomslag for ambisiøse politiske mål, noe som skaper positive synergier mellom marked, teknologi og politikk globalt. I Lavutslippsscenarioet vil verdens elektrisitetsbehov mer enn dobles til 2050, og fornybar kraftproduksjon mer enn seksdobles. Bare veksten i solkraft alene vil dekke to tredjedeler av all veksten i elektrisitetsbehov for samme periode.

Sol og vind blir største energikilder og gass største utslippskilde

I Lavutslippsscenarioet vil primærenergi vokse med gjennomsnittlig 0,3% per år til 2050 ettersom energieffektivisering ikke fullt ut kan veie opp for befolkningsvekst og velstandsutvikling¹⁸. Dette er betydelig lavere enn den historiske gjennomsnittsveksten på 2% per år fra 2000 til i dag. Energietterspørselen begynner å falle svakt etter 2040, samtidig ser vi allerede i dag en dreining fra fossil til fornybar energi. Både kull- og oljeetterspørselen faller betydelig. Likevel er det fortsatt en stor andel fossil energi igjen i energisystemene i 2050¹⁹. Elektrisitet vil vokse kraftig i alle sektorer, i gjennomsnitt over åtte ganger raskere enn primærenergi fram mot 2050.

Etterspørsel etter primærenergi globalt

Mrd toe



Figur 5. Global energibalanse i primærenergi fra i dag og fram til 2050. Lavutslippsscenario 2019 (mrd toe).

Fornybar kraft endrer premisene for energisystemene

I Lavutslippsscenarioet får vi en fornybarandel i kraftsektoren globalt på over 80% i 2050 der nær 70% av kraftproduksjonen er variabel sol- og vindkraft. Vindkraft vil dekke nesten 30% av kraftetterspørselen i 2050 mens solkraft vil være største kilde til kraftproduksjon fra rundt 2035 og dekke nær 40% av kraftetterspørselen i 2050. Kull og olje vil fases nesten helt ut i kraftsektoren innen 2050, mens også gasskraften etterhvert får en avtagende rolle.

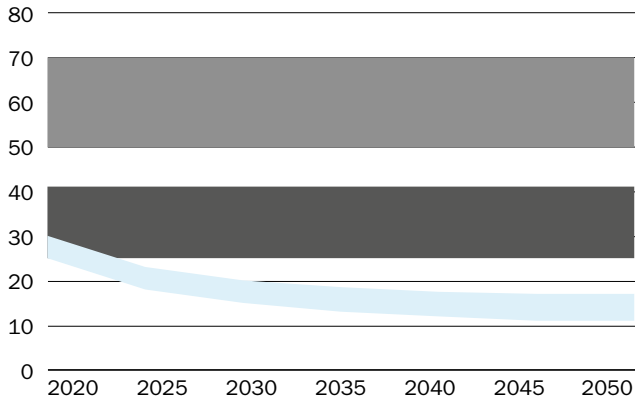
¹⁷ IHS Markit (Q1 2019): <https://technology.ihs.com/609463/pv-installations-tracker-q1-2019>, <https://technology.ihs.com/609083/pv-module-supply-chain-tracker-q1-2019>

¹⁸ Primærenergi er mengden utvunnet energi før energitap som følge av konvertering, transport og foredling av energien fram til sluttbruk.

¹⁹ Lavutslippsscenarioet benytter IEA sin beregningsmetode. I primærenergeberegninger tar man da høyde for at mye av den fossile energien går tapt i prosessering og transport fram til sluttbruk, mens man antar null tap for fornybar energi. BP benytter en alternativ beregningsmetode med omtrent likt tap for fossil og fornybar kraftproduksjon. Da vil fossil energi dekke rundt 30% i 2050 istedenfor nesten 50% av primærenergi. Den absolutte mengden fossil energi i verden vil imidlertid være uendret for begge beregningsmetodene.

Kostnadsutvikling solkraft og kullkraft

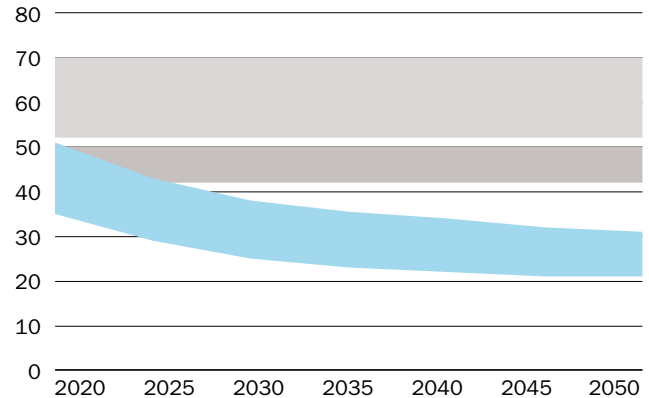
EUR/MWh



■ Ny kullkraft ■ Eksisterende kullkraft ■ Solkraft

Kostnadsutvikling vindkraft og gasskraft

EUR/MWh



■ Ny gasskraft (CCGT) ■ Eksisterende gasskraft ■ Landbasert vindkraft

Figur 6. Forventet kostnadsutvikling for solkraft i områder med gode solressurser i forhold til ny og eksisterende kullkraft (venstre) og vindkraft i områder med gode vindressurser i forhold til ny og eksisterende gasskraft (høyre) i EUR/MWh.

En usikker men avgjørende faktor framover blir farten på teknologiutviklingen. De siste to årene har veksten i fornybarkapasitet gått betydelig saktere enn hva som kreves for å nå 2-gradersmålet, for ikke å snakke om 1,5-gradersmålet. I Lavutslippsscenarioet legger vi til grunn et fortsatt bratt kostnadsfall per MWh og høy utbyggingstakt fram til rundt 2030. Etter dette avtar kostnadsfallet noe, først for vind og deretter for solkraft (figur 6). Utfallsrommet her er stort. Hvis kostnadskurven flater ut tidligere tar det lengre tid før fornybarkostnadene faller og utbyggingstakten vil bli lavere enn nivåene i Lavutslippsscenarioet.



For *vindkraft* har kostnadene falt mye og det har allerede blitt rimeligere å bygge ny vindkraft enn å bygge ut nye gass- eller kullkraftverk i store deler av verden (figur 6). Vi har fått større, mer effektive og mer robuste turbiner som produserer mer kraft, krever mindre vedlikehold og har lengre levetid. Mye av teknologiutviklingen de siste årene har vært fokusert på områder med begrensede vindressurser. En viktig drivkraft for den teknologiske utviklingen er utbredelsen av et anbudssystem basert på auksjoner der utbyggeren som har lavest krav til subsidier vinner kontrakten. I tillegg har utbyggerne blitt mer erfarne og effektive i gjennomføring av prosjekter og oppnådd bedre kvalitet i alle ledd, inkludert infrastruktur. Selskapene som leverer vindteknologien blir mer globaliserte og konsoliderte.

Vi observerer at kostnadene for å bygge vindparker har startet å konvergere på tvers av geografier. I dag dekker de ti største vindteknologi produsentene 85% av markedet.

I Lavutslippsscenarioet forventer vi en evolusjon heller enn en revolusjon innen landbasert vindkraftteknologi, og læringskurven (kostnadsutvikling som en funksjon av installert kapasitet) flater ut etter 2030 i takt med at teknologien blir mer moden. Digitalisering i drift og vedlikehold bidrar også til forbedringer. En stor andel av drifts- og vedlikeholdskostnadene til en vindpark vil påvirkes av driftstiden. I timer med lave strømpriser kan vindkraftprodusentene justere sin produksjon som en respons til sine variable kostnader. Dette kan gi en noe jevnere produksjonsprofil og lengre levetid.

Hvis vi antar at levetiden for eksisterende vindkraftverk er rundt 25 år vil vi se mer og mer fornying av gamle vindparker fram mot 2040 og 2050. De oppgraderte kraftverkene vil med samme kapasitet kunne produsere mye mer energi (TWh) som følge av teknologiforbedringer. De neste 5-10 årene kan vi dermed anta en tredobling av installert kapasitet for hver ny turbin som erstatter en gammel turbin. Det forventes samtidig mindre konflikt ved fornying av gamle vindparker enn ved utbygging av nye vindparker ettersom dette allerede er arealer med både vindturbiner og infrastruktur på plass. Vi anslår at omtrent hver femte nye turbin i 2050 er en fornying av en gammel turbin.



Solkraft vil få en høyere vekstrate enn vind ettersom teknologien er enklere å bygge ut, areal ikke vil være en begrensende faktor i samme grad som for vindkraft, samt at kostnadene generelt vil bli enda lavere enn for vind. Vi observerer fortsatt overraskende høye kostnadsfall de siste årene, med et fall i modulkostnader på rundt 20% i løpet av 2018. Også her har anbudssystem basert på auksjoner presset prisene ned. De laveste budene kjennetegnes av spesielt gode underliggende solressurser, kort avstand til nærmeste transmisjonsnett og lave finansieringskostnader. Andre avgjørende faktorer er lokale forhold som tariffstruktur, auksjonsregler og rammebetingelser, lokalt kostnadsnivå, solandel i kraftmarkedet og teknologivalg. Det forventes for eksempel at integrasjonskostnadene, som nettilkopling, øker framover. Når det gjelder valg av teknologiløsning ser vi at flere velger monteringsystem som kan følge solens posisjon (trackers) for å produsere kraft også i timer med lavere effekt fra sola og dermed få en litt flatere produksjonsprofil over døgnet. Dette kan delvis kompensere for prisetallet i timer med høy solandel og kan derfor lønne seg i områder med mye solkraft selv om teknologien er litt dyrere. I dag dekker bakkemonterte storskala solkraftverk ca. halvparten av totalkapasiteten og denne andelen forventes å øke noe framover. Vi anslår at levetidskostnadene for solkraft og landbasert vindkraft faller med henholdsvis rundt 50% og 40% fram mot 2050.

Åtte ganger mer vindkraft kapasitet og tretti ganger mer solkraft mot 2050

I Lavutslippsscenarioet anslår vi globale volum på rundt 14 000 GW solkraft og nær 5 000 GW vindkraft i 2050, tilsvarende en årlig strømproduksjon på henholdsvis 21 000 TWh og 16 000 TWh. Vi observerer i dag at det er stor forskjell på de ulike landenes utbyggingskapasitet. I Kina har man nådd 15 GW vindkraftutbygging på ett år, mens India kun har nådd 3 GW på ett år så langt. For å nå disse volumene blir det viktig de neste årene å få mobilisert både leverandørindustri og kapital som støtter opp om høyere utbyggingskapasitet globalt.

Volumene anslått i Lavutslippsscenarioet er betydelig lavere enn hva som ansees som teknisk potensial globalt²⁰. For landbasert vindkraft spesielt ser vi imidlertid at avstand til befolkning, alternativ bruk av landarealer og lokal motstand mot naturinngrep vil kunne dempe veksten i enkelte land.

Der det er begrensninger på tilgjengelig landareal for utbygging, forventer vi at vindkraft til havs vil kunne bli et attraktivt alternativ. Kostnadene for bunnmontert havvind har blitt betraktelig redusert de siste årene, og i områder som ligger nær land med mye vind og grunt vann kan denne teknologien bli konkurransedyktig innen nær framtid. Det er stor usikkerhet knyttet til flytende havvind, selv om kostnadene forventes å falle også her. Foreløpig er denne teknologien kostbar sammenlignet med både bunnmontert havvind og særlig landbasert vind og solkraft. Vi forventer derfor

FLYTENDE SOLKRAFT PÅ EKSISTERENDE VANNKRAFTMAGASINER

Flytende solkraft er solcellepaneler som ved hjelp av flottører kan plasseres på vannoverflater, enten det er i innsjøer, fjorder, på havet eller i et vannkraftmagasin. Dersom anlegget plasseres i vannkraftmagasin kan det bruke allerede eksisterende infrastruktur. Anlegget vil også redusere fordampningen fra magasinet. Det er tøff konkurranse på pris i markedet og det blir viktig å finne kostnadseffektive løsninger. Ved utgangen av 2017 var det installert 0,25 GW flytende solenergi i verden, og utbredelsen er forventet å vokse til rundt 10 GW innen 2030. Volumet vil være betydelig mindre enn for landbasert solkraft. Så langt er det meste av flytende solceller installert i Asia, og det er ventet at det først og fremst er der veksten vil fortsette, særlig i land som India og Sør-Korea.

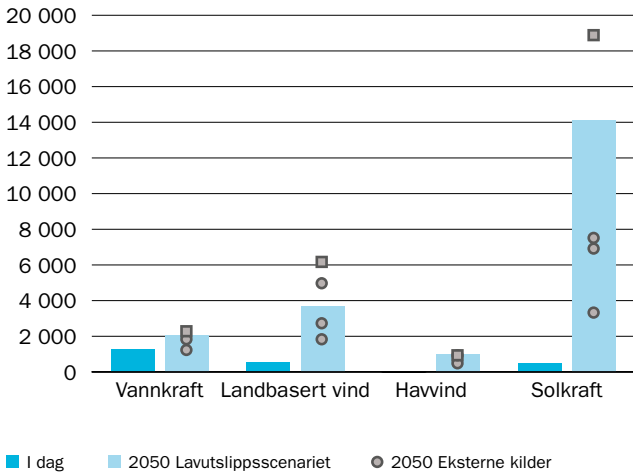


Figur 7. Flytende solanlegg, Statkraft anlegg i Albania. FoU prosjekt. Konseptet er utviklet av det norske selskapet Ocean Sun. Denne løsningen krever lite materiale per kilowatt. Hver enhet består i prinsippet bare av en duk, flyteringer i plast og utstyr til forankring, samt solcellepaneler. Foto: Statkraft.

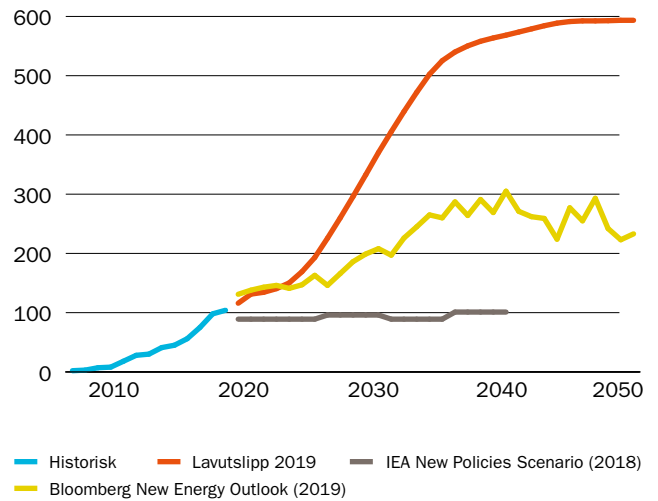
at land som har alternativer tilgjengelig generelt vil velge disse mer kostnadseffektive løsningene. Imidlertid finnes det områder globalt som har begrenset med ressurser, der flytende havvind dermed er mer aktuelt. Det er foreløpig usikkert hvor store volumer som vil bygges i disse områdene og hvor raskt dette vil skje. Dette betyr at kostnadsutviklingen, som er svært avhengig av det globale utbyggingsvolumet, også er usikker.

²⁰ Deng, Haigh, et. al (2015) anslår teknisk potensiale i 2030 på mellom 7500 og 51 000 TWh for landbasert vindkraft og enda høyere for havvind, og mellom 48 000 og 415 000 TWh for solkraft.

Fornybar energi globalt, i dag og i 2050 GW



Årlige solkraftinstallasjoner GW



Figur 8. Fornybar kapasitet i dag og i 2050 for Lavutslippsscenarioet og eksterne kilder (venstre). Årlig utbygging av solkraftkapasitet per år (høyre).

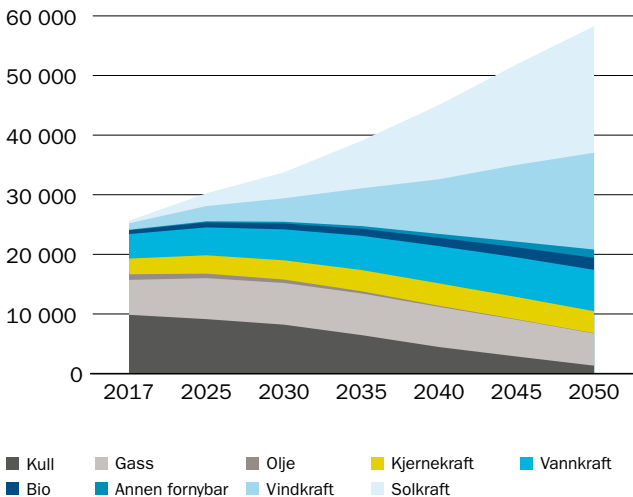
Elektrifisering blir det viktigste klimatiltaket for energibruk i bygg, industri og transport

Det er overordnet fem grupper av klimatiltak tilgjengelige for å redusere fossil energibruk i bygg-, industri- og transportsektoren: 1) energieffektivisering og sirkulær økonomi, 2) elektrifisering, 3) utslippsfri hydrogen, 4) karbonfangst og lagring/bruk,

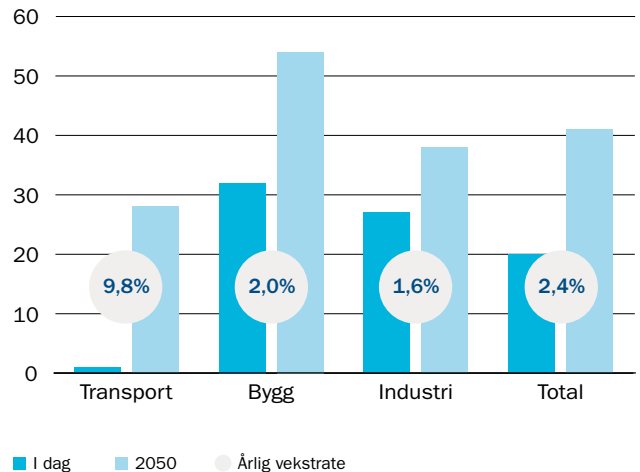
samt 5) bioenergi. Når kostnadene faller for fornybar kraft blir avkarbonisering gjennom elektrifisering stadig mer attraktivt.

I Lavutslippsscenarioet blir elektrisitet konkurransedyktig i forhold til fossile alternativer i flere segmenter innen industri-, bygg- og transportsektoren. I løpet av få år vil det være billigere å kjøpe en elektrisk bil enn en konvensjonell personbil, uten subsidier.

Verdens elektrisitetsproduksjon TWh



Elektrisitetsandel av energiforbruk %



Figur 9. Elektrisitetsproduksjon fram til 2050 i TWh (venstre). Elektrisitetsandel av total energiforbruk per sektor i dag og i 2050 og gjennomsnittlig årlig vekstrate i prosent per sektor (høyre).

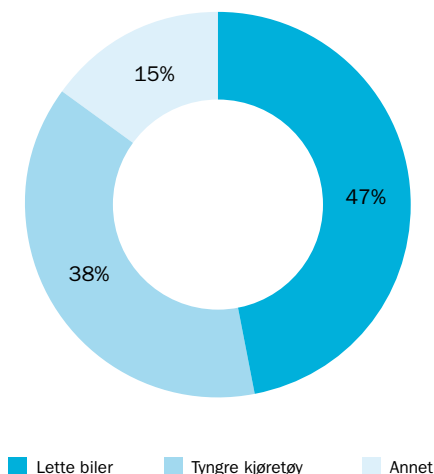
Her får elektrifiseringen drahjelp av teknologiutvikling på batterisiden. I tillegg forventer vi politisk tilrettelegging når det gjelder infrastruktur.



Transportsektoren er den sektoren med laveste andel elektrisitet av total energiforbruk i dag, med bare én prosent, men vekstraten til 2050 er høyere enn i de andre sektorene. Vi oppnår en elektrisitetsandel på ca. 28% i transportsektoren i 2050 i Lavutslippsscenarioet. Med fallende batterikostnader, økt politisk momentum og rask omstilling hos bilprodusentene anslår vi at transportsektoren elektrifiseres fortere enn tidligere antatt. I Lavutslippsscenarioet antar vi også at andre segmenter som lastebiler, tog og skip følger etter. Her vil både batterielektriske og hydrogendrevne kjøretøy med brenselcelle være aktuelle og komplementære løsninger. I Lavutslippsscenarioet anslår vi at prosentandelen el- og hydrogenkjøretøy av nybilsalget er nær 100% for personbiler og 60% for tyngre kjøretøy i 2050 på verdensbasis²¹. I tillegg vil vi se en betydelig andel biodiesel og hybridifisering innenfor tungtransport og maritim sektor.

Av en elektrifiseringsandel på 28% i transport står personbiler for nesten halvparten av elektrisitetsforbruket i 2050 mens tungtransport og busser står for over en tredjedel (figur 10). Tog, skip og mindre kjøretøy som scooter og sparkesykler står for resten. Dette inkluderer også en betydelig andel fornybar hydrogen, primært for tyngre kjøretøy.

Andel elektrisitet fordelt på transportsegment i 2050
TWh



Figur 10. Elektrisitetsforbruk fordelt på transportsegment i 2050 inkludert forbruk av elektrisitet til hydrogenkjøretøy.

ELBILER KUTTER UTSLIPP SELV NÅR DE KJØRER PÅ KULL- OG GASSKRAFT

Å kjøre el- og hydrogenbiler er 100% utslippsfritt. Klimagassutslippene fra elbiler kommer primært fra kraftmiksen der man lader bilen. Resten kommer fra produksjon av batteriet, bilen og motoren. Flere studier har sett på klimagassutslipp fra elbil i forhold til bensin og dieselbil i et livsløpsperspektiv. I følge ulike studier kan utslipp fra batteriproduksjon variere fra 12-50g/km avhengig av hvor mye kull- og gasskraft man antar i kraftmiksen i det landet der batteriene lages. Hvis man lader elbilen med den gjennomsnittlige kraftmiksen i Europa i dag vil elbilen ha under halvparten av klimagassutslippene til en dieselbil i et livsløpsperspektiv ifølge våre og eksterne analyser²². Med en ren kraftsektor som i Norden og Frankrike, reduseres utslippene med mer enn 80% i forhold til en dieselbil. Kraftmiksen i Europa blir gradvis grønnere med mer sol- og vindkraft. Dette øker klimaeffekten ved å bytte til elbiler. På toppen av dette er den europeiske kraftproduksjonen kvoteregulert gjennom det europeiske klimavotesystemet²³. Det betyr at utslipp fra strøm til lading av en elbil allerede er innenfor et fastsatt kvotetak som strammes inn årlig. Dette er ikke tilfelle ved diesel og bensin. Man kan si at elektrifisering av bilparken flytter klimagassutslipp inn i kvoteregulert sektor samtidig med at utslippene reduseres.



Elektrifiseringsandelen i bygninger øker til 54% i 2050 fra dagens 32% i Lavutslippsscenarioet. Denne veksten skyldes først og fremst at man bytter fra kull, gass, olje og bio (vedfyring) til elektrisitet innen oppvarming og matlagning. Spesielt er elektriske varmepumper kostnadseffektive oppvarmingsløsninger (se informasjonsboks om varmepumpe på side 16). I tillegg øker etterspørselen etter elektrisitet innen belysning, apparater og kjøling. Energieffektivisering i både komponenter og bygninger begrenser veksten.

²¹ Vi anslår at rundt 70% av hydrogen til veitransport vil produseres fra elektrolyse og at hydrogendrevne og batterielektriske kjøretøy blir komplementære løsninger innen tungtransport. Lokal elektrolyse nær sluttbruk får fordeler ved å unngå kostnader ved distribusjon og konvertering.

²² Utslippsfaktor på 300gCO₂/kWh i EU28s kraftmikse i 2015. Metastudie av flere livsløpsanalyser: rundt 120-205 gCO₂e/km for en dieselbil mot ca. 90-100gCO₂e/km for en elbil for 200 000 kjørte kilometer. Transport & Environment (2017): <https://www.transportenvironment.org/publications/electric-vehicle-life-cycle-analysis-and-raw-material-availability>

²³ Mer om det europeiske kvotesystemet: https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_en

VARMEPUMPER BLIR ET VIKTIG LAVUTSLIPPSALTERNATIV TIL FOSSIL OPPVARMING

Varmepumper bruker strøm og utnytter omgivelsesvarme fra luft, bakke eller sjø til å produsere varme. Teknologien muliggjør at varme kan transporteres fra et lavere til et høyere temperaturnivå. Varmeenergien blir ført gjennom en fordampner som øker presset og gjør at varmeenergien blir omdannet til gassform. Den varme gassen flyter deretter gjennom en kondensator som sørger for at varmen blir overført til tappevann, vannbåren varme eller inneluft.

Salget av varmpumper nådde en rekordhøyde med 16 millioner enheter globalt i 2018, opp 18 % fra 2017. I Europa økte salg av varmpumper med 12% i fjor og dekker ca. 10% av den europeiske varmesektoren.

Varmepumper kan produsere tre til fire ganger mer varme enn tradisjonelle fossile ovner ved samme energiforbruk. Selv en varmpumpe fyrt med 100% kullkraft vil gi mindre eller like mye klimagassutslipp som en svært effektiv gasskjele med 90% virkningsgrad. Da er ikke metanlekkasjer fra gassnettet inkludert. Innenfor oppvarming av bygninger blir derfor varmpumper et viktig klimatiltak selv i land med mye kull i kraftmiksen. Videre vekst globalt avhenger av politiske rammebetingelser ettersom varmpumpe har høyere innkjøpspris enn gasskjele²⁴.



Innenfor *industrien* vil elektrisitet, hydrogen, energi- og materialeeffektivitet og en begrenset mengde bio erstatte deler av kull-, olje- og gassforbruket. Varme til industrien står for 15% av globale klimagassutslipp i dag, og over halvparten kommer fra stål-, sement- og kjemisk industri. For industriprosesser som krever lav varme blir elektrifisering en kostnadseffektiv løsning. I Lavutslippsscenarioet øker elektrisitetsandelen fra 27% i dag til 38% i 2050. Samtidig ser vi at hydrogen spiller en større rolle, spesielt etter 2040.

Flere detaljer rundt klimaløsninger i transport, bygninger og industri er beskrevet i neste kapittel.

Samspeillet mellom sektorer blir mer komplekst og hydrogen får en rolle

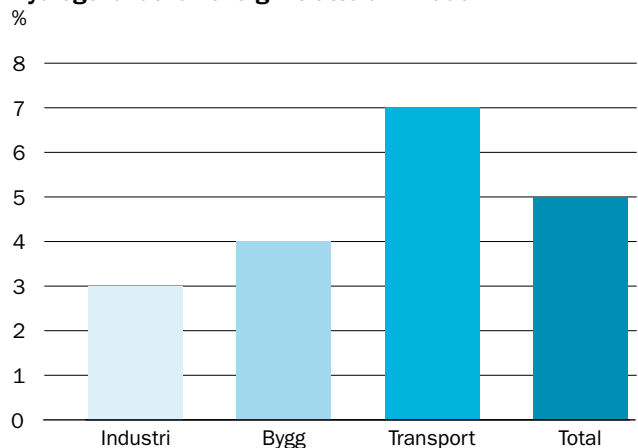
En konsekvens av elektrifisering er at alle energisektorene blir tettere knyttet sammen enn de har vært historisk. At kraft-, industri-, transport- og bygningssktorene blir mer avhengig av hverandre kalles *sektorkobling*. En slik sammenkobling av sektorene har store konsekvenser for kraftmarkedet.

Kraftsektoren har historisk sett hatt en begrenset rolle i energilandskapet som har vært dominert av direkte bruk av kull, olje og gass. Elektrifisering vil gjøre kraftsektoren stadig mer sentral. I tillegg til at etterspørselen etter kraft øker, vil sektorkobling bidra med fleksibilitetsløsninger i kraftsystemet og ulike former for energilagring.

Noen områder vil være krevende eller uhensiktsmessige å elektrifisere direkte. En kostnadseffektiv løsning innen flere segmenter er da å omdanne elektrisitet til *utslippsfri hydrogen*. I Lavutslippsscenarioet ser vi en gradvis fremvekst av bruk av hydrogen globalt. Dette skjer først og fremst i transportsektoren, men også til en viss grad innen industri. Hydrogenbruk i varmesektoren kommer spesielt etter 2040.

Hydrogen produsert fra fornybar strøm forventes å bli en viktig klimaløsning. Fornybar hydrogen vil påvirke kraftmarkedet på flere måter. Kostnadene for hydrogenproduksjon fra elektrisitet varierer med strømpris og brukstid for elektrolyser. Den optimale hydrogenproduksjonen vil derfor balansere brukstimer med varierende strømpris. Fleksibel kjøring av elektrolyser vil kunne gi verdi tilbake til strømmettet. For optimal nytte av denne fleksibiliteten bør verdien elektrolyseren har for nettet reflekteres i tariffene. Hydrogen kan også konverteres tilbake til kraft ved hjelp av brenselcelle eller gassturbiner for lengre perioder med lite vind og sol. Dette anslås som en relativt dyr fleksibilitetsløsning og våre analyser tilsier derfor kun lave volum av hydrogen til kraft mot slutten av analysehorisonten. Hydrogen som klimaløsning blir videre diskutert på side 25.

Hydrogenandel av energi i sluttbruk i 2050



Figur 11. Andel hydrogen av energi i sluttbruk per sektor globalt i 2050. Lavutslippsscenario 2019

²⁴ NOVAP (2019): <https://www.varmepumpeinfo.no>, IRENA (2019): <https://www.irena.org>, IEA (2019): <https://www.iea.org/wei2019>

UTSLIPPSFRI HYDROGEN BLIR EN AVGJØRENDE BRIKKE FOR Å OPNÅ NULLUTSLIPP I VERDENS ENERGISEKTORER

Hydrogen er det dominerende grunnstoffet i universet og det enkleste atomet i verden. Det meste av hydrogen på jorden er kjemisk bundet til andre grunnstoff, vanligst i form av vann. Hydrogengass er fargeløs og uten lukt og smak.

Norge installerte sin første elektrolyse på Norsk Hydro på Notodden i 1927 for bruk i gjødselproduksjon. Rundt halvparten av verdens hydrogenproduksjon på ca. 70 millioner tonn i året brukes i dag til å lage ammoniakk, mens ca. en fjerdedel brukes i raffinerier.

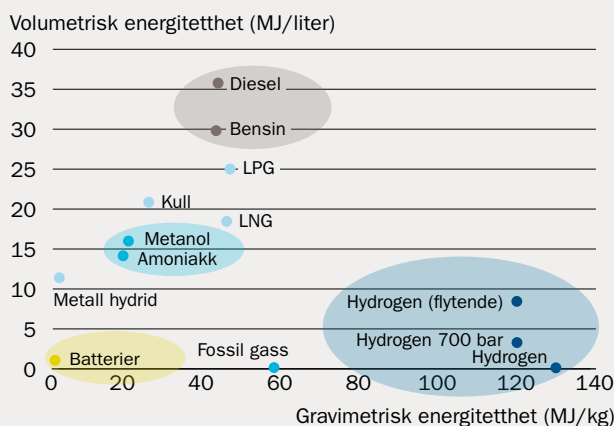
De to vanligste måtene å produsere hydrogen på er med elektrisitet og vann via elektrolyse eller fossil gass via metandamp-reformering (SMR). Med fornybar strøm kalles den første måten «grønn», mens hydrogen fra fossil gass via SMR kalles «grå». Ved å kople SMR med karbonfangst og lagring kan man redusere utslipp med rundt 90% og da kalles gassen «blå» hydrogen. Det er stor usikkerhet knyttet til kostnader for blå hydrogen og til når slike anlegg kan komme i drift.

Grønn hydrogen er 100% utslippsfri, produseres i mindre moduler og er dermed velegnet for anvendelse lokalt, nær forbruket. Blå hydrogen produseres i store enheter sentralt og kan potensielt benytte eksisterende gass-infrastruktur for distribusjon. Mest sannsynlig vil de fremtidige energisystemene ha en blanding av de to kildene, avhengig av tilgjengelige naturressurser, infrastruktur, forbruk i området, samt kostnadsutvikling for teknologiene.

Siden reaksjonen mellom hydrogen og oksygen er eksplosiv krever håndteringen profesjonelle sikkerhetsregler som bør standardiseres internasjonalt. Strenge sikkerhetsregler gjelder også for andre drivstoff som bensin og diesel.

Hydrogengass trenger stor lagringsplass på grunn av den lave energitettheten per volum. Gassen må derfor komprimeres og konverteres hvis den skal transporteres eller lagres i større volum. Ved å gå fra komprimert hydrogen i gassform (700 bar) til flytende trengs mindre plass for like mye energi ettersom energitettheten mer enn doubles. Flytende hydrogen er imidlertid utfordrende å håndtere da det krever en temperatur på -253°C . Andre hydrogenbærere som fornybar ammoniakk og metanol har volumetrisk energitetthet som er tre ganger høyere enn hydrogen i komprimert form (figur 12). De kjemiske egenskapene gjør at omforming fra hydrogen til metanol og ammoniakk kan være gunstig i for eksempel marin langtransport.

Energitetthet i volum og vekt



Figur 12. Energitetthet for ulike energikilder (i volum og vekt)

Et væravhengig kraftsystem krever tilstrekkelige løsninger for fleksibilitet

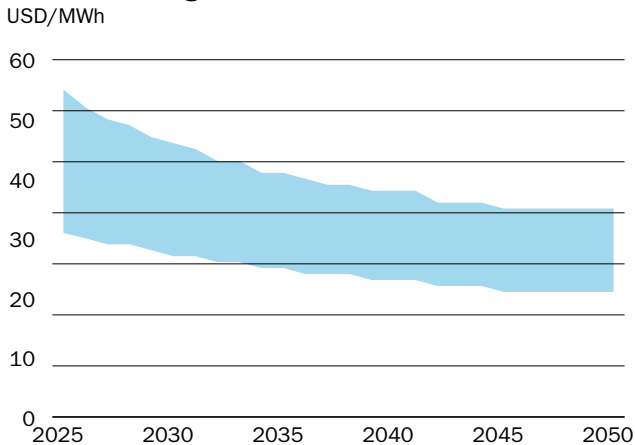
Skiftende vær forårsaker store svingninger i tilgangen på sol- og vindkraft. Det gjør integreringen i energimarkedet krevende. Sol- og vindkraft kalles variable energikilder da de bare produserer når solen skinner eller vinden blåser. En høy andel solkraft eller vindkraft i samme marked uten nok fleksibilitet²⁵ vil presse ned kraftprisen de oppnår og påvirke lønnsomheten til investeringene («kannibaliseringseffekt»²⁶). Når verden får mulighet til å lagre, transportere og bruke elektrisitet fra sol og vind på en mer effektiv måte vil vi se at endringene skyter fart. Ettersom behovet for fleksibilitet i Europa øker, kan norsk vannkraft bli ett av de økonomisk sett mest attraktive alternativene for å dekke de langsiktige fleksibilitetsbehovene og dermed bidra til dekarbonisering av våre naboland. I våre analyser klarer kraftsystemene å håndtere minst 70% variabel fornybar kraft. Selv om teknologikostnadene for sol- og vindkraft faller antar vi at kostnadene for å integrere den variable kraften i kraftsystemet øker parallelt med høyere andel variabel sol- og vindkraft i kraftmiksen. Dette er særlig kostnader

knyttet til nettutbygging og fleksibilitet. Kostnadene vil fordeles på produsent, forbruker og netteier i varierende grad fra region til region. Økte integrasjonskostnader kan gi incentiver til innovative løsninger og teknologiforbedringer. Vi forventer blant annet at investorer vil sette sammen flere kombinasjoner på produksjonssiden som vil jevne ut produksjonsprofilen («produksjonsfleksibilitet»). Eksempler vil være sol- kombinert med vindkraft, solkraft kombinert med batterier og fornybar kraftproduksjon sammen med hydrogenproduksjon. I land med mye sol, som India, kan batterier sammen med solkraft være en god kombinasjonsløsning da man dermed får fleksibilitet for å kunne lagre strøm til kvelden og natten.

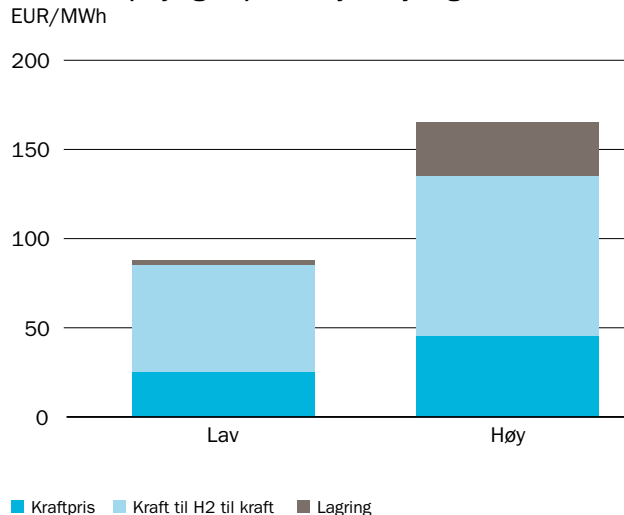
²⁵ Med fleksibilitet menes evnen til å gjøre raske endringer i produksjon eller forbruk for til enhver tid å sikre balanse i kraftsystemene. Dette kan være alt fra momentan endring i effekt over sekunder og minutter (lastregulering) til balansering av kraftsystemet i lengre perioder, dager eller uker, f.eks. i lengre perioder med lite vind.

²⁶ Med kannibaliseringseffekt menes at lønnsomheten til fornybar, uregulerbar kraft faller etter hvert som mer lignende kraft bygges ut.

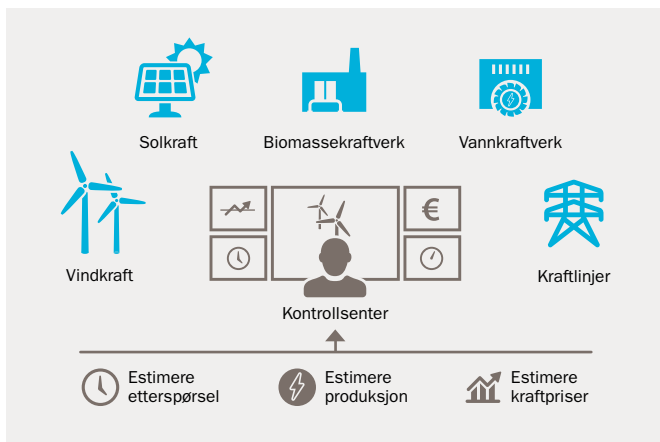
Kostnadsutvikling for solkraft med batteri



Kostnader (høy og lav) for fornybar hydrogen til kraft



Figur 13. Kostnadene faller for solkraft kombinert med batteri. Graf viser område med gode solressurser opp til 4 timer lagring (venstre). Kostnader (høy og lav) for fornybar hydrogen til kraft med brenselcelle i 2030 (EUR/MWh) (høyre). Lavutslippsscenario 2019.



Figur 14. Statkraft opererer Europas største virtuelle kraftverk på 12 000 MW i Tyskland

Det europeiske markedet har først og fremst behov for langsiktig fleksibilitet over dager og uker. Langsiktige fleksibilitetsløsninger kan i dag tilbys fra gasskraft, kullkraft, bio, hydrogen, vannkraft, kabler eller lengre forbruksrespons fra industrien. Regulerbar vannkraft kan tilby både kortsiktig og langsiktig fleksibilitet. Vannkraften kan raskt endre produksjonen og har lave start- og stoppkostnader. Dette gjør vannkraften godt egnet for et framtidig kraftsystem med mer variabel kraft. Der det er mulig vil effektutvidelse i vannkraft være et av de økonomisk sett mest attraktive alternativene for å dekke langsiktige fleksibilitetsbehov. Over tid vil kullkraft fases ut mens gass gradvis erstattes av blant annet utslippsfri hydrogen. I en 1,5-gradersbane kan Europa få en helt utslippsfri kraftproduksjon (se neste kapittel).

INTEGRERING AV VARIABEL SOL- OG VINDKRAFT VED HJELP AV STØRRE VIRTUELLE KRAFTVERK

Det finnes mange mulige fleksibilitetsløsninger for å integrere en høyere andel variabel kraftproduksjon fra sol og vind. Den optimale miksen av løsninger vil avhenge av lokale forhold for de ulike energimarkedene og kraftsystemene vil trenge alle. Grovt sett kan fleksibilitetsløsningene kategoriseres i produksjons- og etterspørselsfleksibilitet, fleksibilitet i det fysiske kraftsystemet (smarte nett og kabler), fleksible markedsløsninger (bedre intradag handel over grensene, handel nærmere sanntid etc.), og sist men ikke minst, fleksible forretningsmodeller²⁷. Virtuelle kraftverk er et eksempel på en fleksibel forretningsmodell:

Å forstå været blir viktigere når man produserer og handler med fornybar energi og det ligger fleksibilitet i å håndtere flere sol- og vindkraftverk på ulike steder sammen. Selv fem minutter før man skal selge produksjonen fra vindparken vet man ikke eksakt hvor mye man kommer til å produsere. Ved å fjerne flere kraftverk kan man for eksempel senke produksjonen hvis det er overskuddskraft og prisene utvikler seg negativt. På den måten kan virtuelle kraftverk balansere produksjonen og begrense overskuddsproduksjon. Dette kan kombineres med eksempelvis fleksibelt forbruk fra industrien, fleksible elektrolysører og lagringsløsninger som batterier.

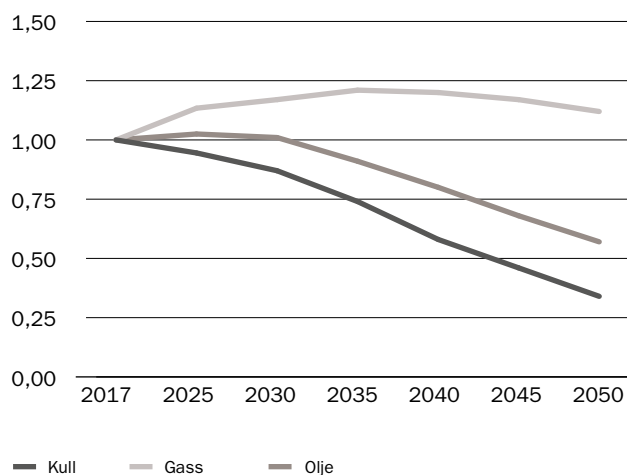
²⁷ Statkraft Lavutslippsrapport 2018 beskriver ulike fleksibilitetsløsninger i mer detalj: <https://www.statkraft.com/globalassets/explained/statkrafts-low-emissions-scenario-report-2018.pdf>

Etterspørsel etter fossil energi faller

Med en grønn kraftproduksjon og økt elektrifisering faller både etterspørselen etter fossile brenslere og dermed klimagassutslippene globalt. Oljeetterspørselen faller primært på grunn av elektrifisering av transport, men også som følge av redusert etterspørsel i industri og varmesektoren og helt utfasing i kraftsektoren. De største konsekvensene ser vi i kullindustrien som faller med to tredjedeler fra i dag over perioden. Også gass-sektoren globalt kommer til å merke energiomstillingen. Gassetterspørselen øker svakt fram til 2040 i Lavutslippsscenarioet for deretter å begynne å falle fram mot 2050. Når vi ser på energirelaterte CO₂-utslipp vil gasssektoren stå for de største utslippene globalt i 2050. Olje går forbi kull rundt 2040 som den største utslippskilden og deretter blir olje passert av gass rundt 2045. Den forsterkningen av dagens teknologi- og markedstrender som vi legger til grunn i Lavutslippsscenarioet resulterer i at energirelaterte CO₂-utslipp går ned med 44% fra i dag og er konsistent med en 2-gradersbane mot 2050 (figur 18). Men vi er fortsatt ikke i mål. For å følge en 1,5-gradersbane må løsningene som er skissert i dette kapitlet komme raskere og endringene være enda dypere. Det vil resultere i store endringer, spesielt for fossil gass, som i stor grad vil erstattes med utslippsfrie løsninger i våre analyser. Dette ser vi nærmere på i neste kapittel.

Etterspørsel etter olje, kull og gass

Indeksert fra 2017



Figur 15. Etterspørsel etter olje, kull og gass indeksert fra 2017 (primærenergi). Lavutslippsscenario 2019.



Figur 16. Etterspørsel etter kull faller med to tredjedeler i 2050. Kulltransport i åpne vogner, Kentucky, USA. Foto: Getty Images/tinabelle

°CICERO

Utslippsbaner i tråd med 1,5-gradersmålet

Gjesteinnlegg av forskningsdirektør Glen Peters, CICERO

Parisavtalen inneholder to viktige klimamål. Det første klimamålet er å begrense global oppvarming til «godt under 2°C» og at det skal «strebes etter» å begrense oppvarmingen til 1,5°C sammenlignet med førindustriell tid (artikkel 2). Det andre klimamålet er å «oppnå en balanse mellom menneskeskapte utslipp og opptak av klimagasser i andre halvpart av vårt århundre». Sistnevnte kan tolkes som et mål om netto nullutslipp av klimagasser mellom 2050 og 2100 (artikkel 4). Å begrense oppvarmingen til 1,5°C er å foretrekke i forhold til virkningene av klimaendringene, men samtidig øker utfordringen rundt klimatiltak og utslippskutt. Mens alle scenarioene krever nettonullutslipp av CO₂ før 2100, er ikke dette tilfellet for alle klimagasser. Dette skyldes at klimaet påvirkes ulikt av langlevde klimagasser som CO₂ med en kumulativ klimaeffekt, og kortlevde klimagasser, som metan og sulfurdioksid, hvor klimaeffektene kan være begrenset til et par tiår.

Rundt hundre 1,5-gradersscenarioer har blitt utviklet ved hjelp av forskjellige «integrerte evalueringsmodeller» (Integrated Assessment Models, IAMs) der man har brukt ulike forutsetninger for teknologiske og sosioøkonomiske parametere. De sosioøkonomiske klimascenarioene (Shared Socioeconomic Pathways, SSPs) gjør det mulig å utforske effektene på klimagassutslipp fra ulike sosioøkonomiske forutsetninger (som befolkning, politiske rammer/utfordringer osv.). Modellene antar ulike teknologikostnader, og har ulike dynamikker og koplinger.

Alle 1,5-graders- og 2-gradersscenarioene har en del like egenskaper, men varierende detaljeringsgrad. Generelt resulterer 1,5-gradersscenarioene i en 50% reduksjon av CO₂-utslipp innen 2030,

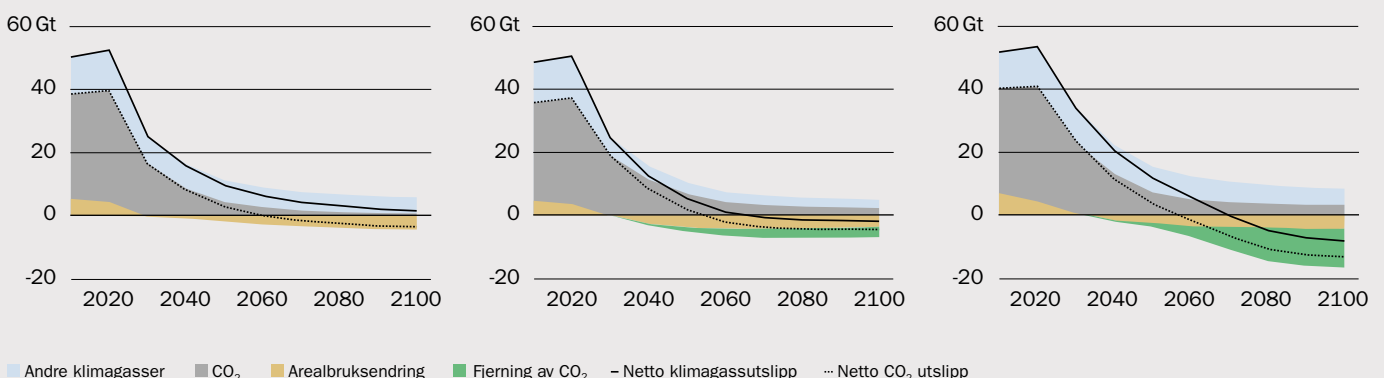
nettonullutslipp av CO₂ rundt 2050 og de inkluderer storskala fjerning av CO₂. Videre resulterer alle scenarioene i en rask nedgang i bruken av fossile brensler og en kraftig økning i bruken av ikke-fossile energikilder. Den relative reduksjonen av kull, olje og gass samt veksten av sol- og vindkraft varierer. Alle scenarioene innebærer CO₂-fjerning, men modellene legger til grunn ulike mengder og teknologier for dette: naturlige løsninger som skogplanting og teknologiske løsninger som bioenergi med karbonfangst og -lagring. Mens CO₂-utslippene er negative etter 2050 i nesten alle scenarioene, er ikke dette nødvendigvis tilfelle for andre klimagasser. Forholdet mellom utslippsreduksjoner av CO₂ og andre klimagasser avhenger av teknologivalg og kostnader i de ulike modellene.

FNs Klimapanelers spesialrapport om 1,5-grader presenterer fire hovedscenarioer som er konsistente med en 1,5-gradersbane. Tre av scenarioene som når 1,5-gradersmålet og overskrider det i liten grad er vist i figur 17 (under). Hvert scenario har ulike sosioøkonomiske og teknologiske forutsetninger. Figuren viser endringer i CO₂-utslipp fra fossil energi, utslipp og opptak fra arealbruksendringer, utslipp fra andre klimagasser, samt CO₂-fjerning.

Statkraft sitt Lavutslippsscenario fokuserer på CO₂-utslipp fra fossile energikilder (det grå området i grafen). Som figuren viser er dette den største kilden til globale klimagassutslipp målt i CO₂-ekvivalenter. Klimaet er imidlertid også påvirket av arealbruksendringer (gult område), CO₂-fjerning (grønt område) og andre klimagasser (blått område). Temperaturresponsen avhenger i tillegg av luftforurensede stoffer som svart karbon og sulfurdioksid, men disse er ikke inkludert i figuren.

Globale klimagassutslipp

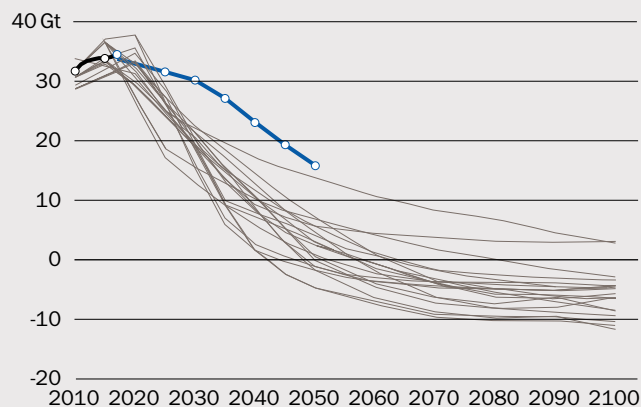
CO₂-eq



Figur 17: Tre karakteristiske 1,5-gradersscenarioer. Alle viser viktigheten av en massiv reduksjon i utslipp fra fossile brensler (grå) og et skift fra avskoging til skogplanting (gul). Kilde: FNs spesialrapport om 1,5-graders global oppvarming.

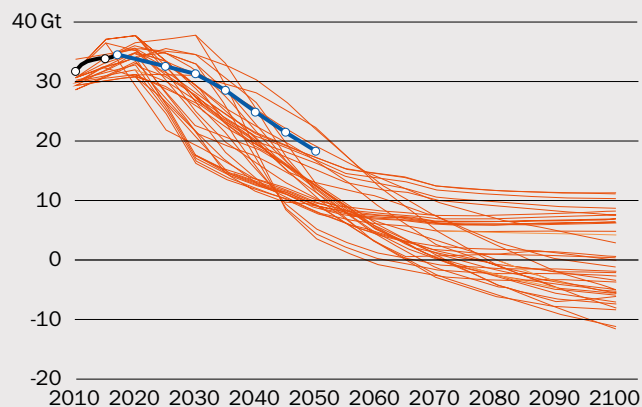
1,5-gradersscenarier

Energirelaterte CO₂-utslipp



2-gradersscenarier

Energirelaterte CO₂-utslipp



Figur 18: Årlige energirelaterte CO₂-utslipp i Statkrafts Lavutslippsscenario (blå linje) sammenlignet med andre 1,5-gradersscenarier (venstre) og 2-gradersscenarier (høyre). Inkludert utslipp fra fossile kilder og bioenergi med karbonfangst og lagring²⁸.

Klimagasser fra *ikke-CO₂ kilder* (CH₄, N₂O, SF₆, HFC-er og CFC-er) er ofte vanskeligere å begrense enn mange CO₂-kilder. CH₄ og N₂O stammer ofte fra diffuse landbrukskilder eller fossile energikilder, men de kan fortsatt bli betydelig redusert (f.eks. ved å redusere kjøttforbruket og tette gasslekkasjer). Scenarioene resulterer typisk i 30% utslippsreduksjoner av andre klimagasser innen 2030, 50% innen 2050 og 60% innen 2100. Noen scenarioer har imidlertid mer aggressive utslippsbaner for andre klimagasser med nullutslipp allerede i 2050, noe som muliggjør litt høyere CO₂-utslipp fra enten fossil energi eller arealbruk eller mindre CO₂-fjerning.

Rundt 10% av dagens klimagasser stammer fra *arealbruksendringer*, primært fra avskoging (deforestation). I nesten alle 1,5-gradersscenarioene øker netto skogsarealer innen 2030 som følge av at avskoging reduseres og man planter mer trær (afforestation). Netto skogplanting skyldes økt skogsareal, verving av områder og aktiv skogsdrift. Dette kan tilsvare et netto karbonlager på mellom 0 og 5 milliarder tonn CO₂ per år avhengig av scenario. Skogplanting fungerer som storskala CO₂-fjerning, samtidig kan det ha negative påvirkninger på landareal, vann og biologisk mangfold.

Nesten alle 1,5-gradersscenarioene forutsetter storskala teknologisk CO₂-fjerning, hovedsakelig ved å kombinere bioenergi med karbonfangst- og lagring. Denne metoden tar opp karbon fra atmosfæren via biomasse, og fanger og lagrer CO₂ når denne biomassen brukes til energiproduksjon. De fleste scenarioene forutsetter at disse teknologiene tas i bruk fra 2020. I det mest ambisiøse scenarioet fjernes 5 milliarder tonn CO₂ per år i 2050 og 10 milliarder tonn CO₂ per år innen 2100. Det finnes også

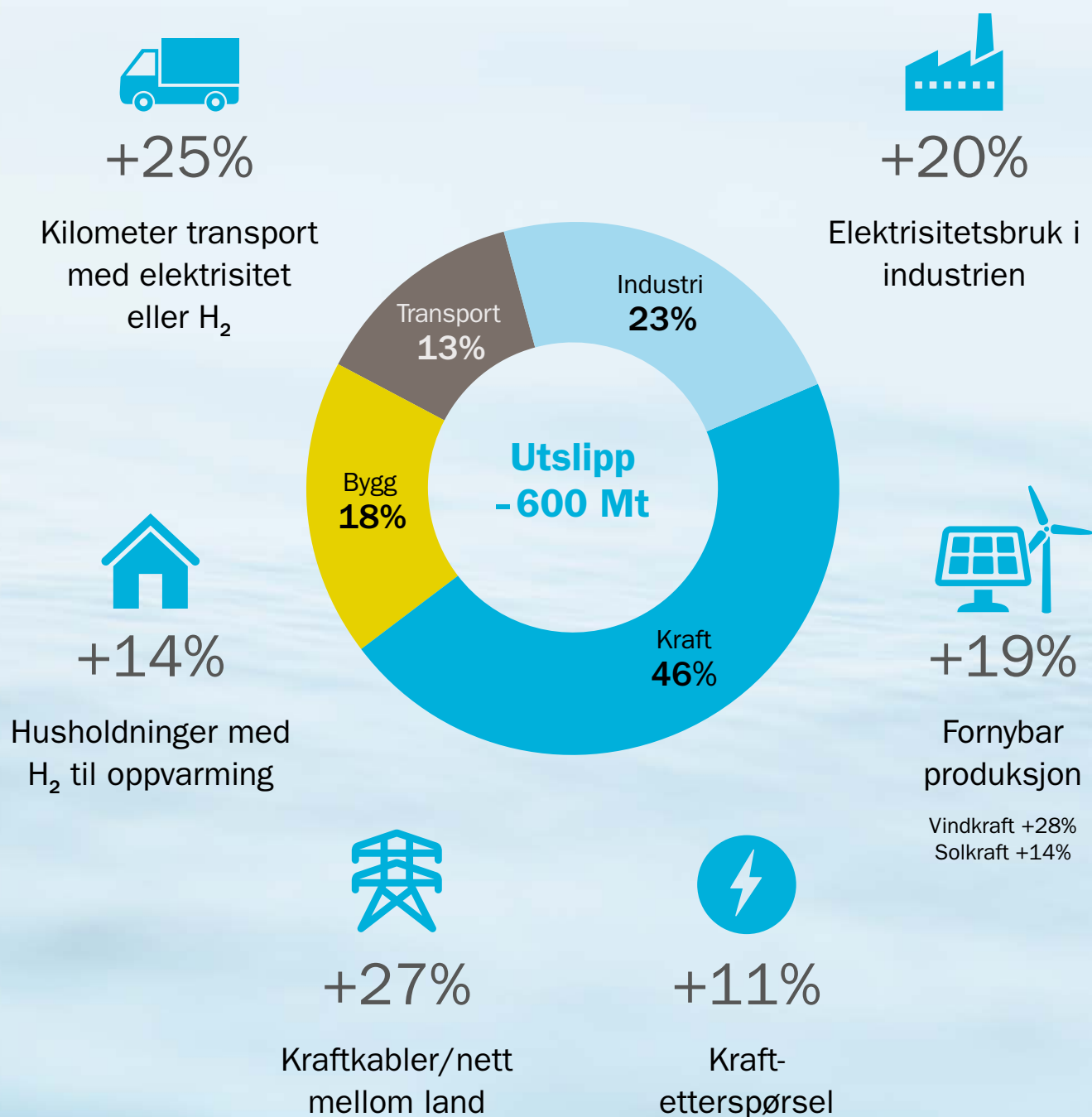
andre former for teknologisk CO₂-fjerning, som å fjerne CO₂ direkte fra luften. Disse teknologiene er vanligvis ikke inkludert i modellene.

Statkraft Lavutslippsrapport fokuserer på *fossile CO₂ utslipp fra energisektoren*. Disse utslippene faller raskt i de fleste 1.5°C scenarioer. Likevel resulterer bare et par scenarioer i nullutslipp av CO₂ fra energisektoren. Dette er fordi det er krevende å redusere utslipp i enkelte sektorer som langdistanse transport og metallproduksjon. Etter 2050 varierer energirelaterte fossile CO₂ utslipp mellom 0 og 5 milliarder tonn CO₂ per år, avhengig av modell. I 2-gradersscenarioene er det mulig med utslipp på opp til 10 milliarder tonn CO₂ per år. Ved å kople bioenergi med karbonfangst og lagring til disse scenarioene, oppnår mange likevel netto nullutslipp av CO₂ fra energisektoren.

Figur 18 (over) viser årlige energirelaterte CO₂-utslipp i Statkrafts Lavutslippsscenario (blå linje) relativt til en rekke 1,5-gradersscenarioer (til venstre) og 2-gradersscenarioer (til høyre) med CO₂ utslipp fra både fossil energi og bioenergi med karbonfangst og lagring. Som figurene viser er utviklingen i Statkrafts Lavutslippsscenario klart mest konsistent med 2-gradersscenarioene (høyre).

²⁸ Scenario data fra: IAMC 1.5°C Scenario Explorer hosted by IIASA (release 1.1) <https://data.ene.iiasa.ac.at/iamc-1.5c-explorer>, analysert i Rogelj, Shindell, et al, Mitigation pathways compatible with 1.5°C in the context of sustainable development, i «Special Report on Global Warming of 1.5°C (SR15)», Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 2018: <http://www.ipcc.ch/sr15>

Endringer fra Lavutslippsscenarioet (2-gradersbane) til 1,5-gradersbane for Europa:



Løsninger for å nå en 1,5-graders utslippsbane

I forrige kapittel så vi at dersom de pågående endringene i energimarkedene fortsetter med uforminsket styrke, kan verdens energirelaterte utslipp være konsistente med en 2-graders bane. Skal verden klare å begrense utslippene i tråd med en 1,5-gradersbane må omstillingen skje i et mye raskere tempo og større omfang enn i dag. I følge IPCC vil da det gjenværende karbonbudsjettet halveres i forhold til en 2-gradersbane²⁹. I dette kapitlet vil vi se nærmere på hva som skal til for at energirelaterte klimagassutslipp kan følge en 1,5-gradersbane istedenfor en 2-gradersbane. Dette gjør vi ved å analysere Europa i detalj. Vi setter som en forutsetning at 1,5-gradersmålet skal nås, og ser hvilke implikasjoner dette har for det europeiske energisystemet i forhold til Lavutslippsscenarioet.

Vi ser at det er krevende, men fullt mulig å følge en 1,5-gradersbane. Løsningene finnes, og det vil høyst sannsynlig være betydelig billigere for verden samlet å gjennomføre omfattende og raske tiltak heller enn å gjøre mindre. Løsningene skissert for Europa vil også være aktuelle for andre land i verden, men farten og styrken i utslippskutt fra de ulike løsningene vil variere³⁰.

Alle energisektorer må kutte utslipp raskt

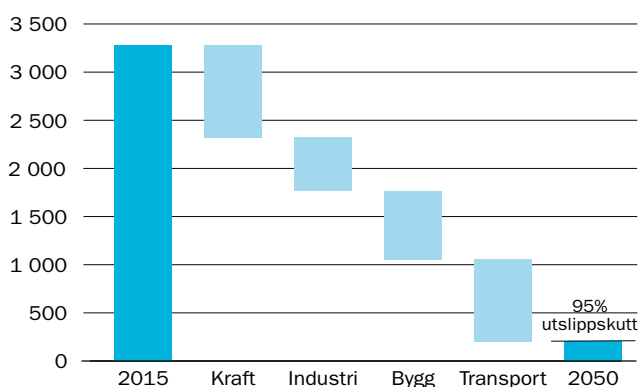
Globalt er gapet mellom utslippene fra Lavutslippsscenarioet og utslippene fra gjennomsnittsbanen fra FNs klimapanel for 1,5-grader på ca. 16 Gt CO₂ i 2050. Som vist i figur 18 fra CICERO har alle 1,5-gradersscenarioene i grafen lavere globale energirelaterte CO₂-utslipp fram mot 2050 enn Lavutslippsscenarioet. For å nå 1,5-grader må vi derfor iverksette ytterligere utslippskutt. Det er store variasjoner i utslippene i de ulike 1,5-gradersscenarioene avhengig av kombinasjoner, omfang og implementeringstidspunkt for løsninger som velges. For eksempel benyttes ulik grad av fjerning av CO₂ og karbonfangst og lagring. I alle de globale scenarioene faller bruken av fossile brenslere betydelig og karbonintensiteten i kraftsektoren nærmer seg null.

Alle scenarioene antar fortsatt aggressive utslippskutt etter 2050, inkludert fra andre klimagasser som metan. Se side 20 og 21 fra CICERO for flere detaljer knyttet til de globale scenarioene.

For å bedre forstå hva som skal til for at de europeiske energisystemene kan komme til en 1,5-gradersverden har vi analysert de ulike sektorene i Europa i mer detalj ved hjelp av en modell for hele energisystemet.³¹

Eksperter anslår at EU må kutte sine klimagassutslipp med mellom 90% og 100% i 2050 fra 1990 for å være på linje med en global utslippsbane på 1,5°C. Se informasjonsboks på side 24 for flere detaljer. I våre analyser har vi antatt utslippskutt på 95% i den europeiske energisektoren innen 2050. Da får vi en helt utslippsfri kraftsektor. I figur 19 ser vi hvordan utslippskuttene må øke fra i dag i alle sektorer hvis 1,5-gradersmålet skal nås. Dette resulterer i ytterligere utslippskutt i Europa på 600Mt CO₂ i 2050 i forhold til Lavutslippsscenarioet.

Energirelaterte CO₂-utslipp i Europa
MtCO₂



Figur 19. Utslippskutt i Europa fra i dag til 2050 i en 1,5-gradersbane i Mt CO₂.

²⁹ IPCC sin siste 1.5°C rapport (<https://www.ipcc.ch/sr15>) viser oppdaterte estimater for karbonbudsjett der det gjenstår ca 1170 GtCO₂ for en 66% sjanse å begrense temperaturen til under 2°C i 2100 og ca 580 GtCO₂ for en 50% sjanse å begrense temperaturen til 1.5°C i 2100. Estimaten er ca 300 GtCO₂ høyere enn tidligere IPCC rapport (AR5) pga bedre kunnskap og mer avanserte metoder.

³⁰ Blant annet vil energibehovet måtte øke betydelig i flere land i verden for å oppnå bærekraftsmålene, mens energietterspørsel forventes å avta i Europa. Det er fortsatt 3 milliarder mennesker i verden som ikke har tilgang til ren matlaging og 840 millioner har ikke tilgang på strøm. IRENA Global Energy Transformation, 2019.

³¹ Modellen er basert på GENeSYS-Mod utviklet av Technische Universität Berlin ("Designing a Model for the Global Energy System—GENeSYS-MOD: An Application of the Open-Source Energy Modeling System (OSeMOSYS)" av Konstantin Löffler, Karlo Hainsch, Thorsten Burandt, Pao-Yu Oei, Claudia Kemfert, og Christian Von Hirschhausen (2017).



Figur 20. EU er ansvarlig for om lag 10 prosent av verdens klimagassutslipp i dag. Foto: Getty Images/77studio.

EUs ANDEL AV GLOBALE UTSLIPPSKUTT I EN 1,5-GRADERSBANE

EU kommisjonen la i høst fram sin strategi for et karbonnøytralt Europa. Den ikke-bindende strategien innebærer at EU kan bli blant de første til å nå målet om nullutslipp i 2050. Strategien er nå under forhandling hos medlemslandene og EU parlamentet. Flertallet av medlemslandene ønsker at EU forplikter seg til å bli klimanøytral innen 2050, mens et fåtall av landene var uenige på det siste rådsmøtet 20. juni i år. Dermed er foreløpig verken ambisjon eller tidsløp for strategien avklart. Strategien inneholder en rekke ulike scenarier for utslippskutt mot 2050.

Fleire nyere studier anslår at EU-landene må kutte klimagassutslippene sine med 80% i 2050 fra 1990-nivåer for å være konsistent med en 2-gradersbane. For å være konsistent med en global 1,5-gradersbane viser eksterne studier at EU må redusere sine utslipp med mellom 91-96% fra 1990-nivåer innen 2050³². For å følge en 1,5-gradersbane anslår eksperter at verden må nå netto null CO₂-utslipp i god tid før 2100 (se også side 20 og 21). Det er store usikkerheter i analyser og estimater, blant annet når det gjelder effekten av kritiske vippepunkt og effekten på global oppvarming fra andre klimagasser. Mange analyser anbefaler derfor at EU bør nå netto null klimagassutslipp innen 2050 og at raske utslippskutt vil gi økt sjanse for å begrense global oppvarming og vil være billigere enn å vente³³.

Alle sektorene må ta sin del av de ekstra utslippskuttene. Vi har sett nærmere på hvordan utslipp kan reduseres de i ulike sektorere. Statkraft sin energisystemmodell forutsetter at de mest samfunnsoptimale løsningene for Europa blir valgt. Kostnadsoptimeringen gjøres på tvers av regioner og sektorer. En kostnadseffektiv omlegging av energisystemene i henhold til modellanalysen resulterer i at kraftsektoren kutter 46%, industrien 23%, bygninger 18% og transport 13% av de 600Mt ekstra utslippskuttene i 2050. Her vil andre fordelinger mellom sektorene også være mulig. EU kommisjonens 2050 strategi analyserer blant annet to ulike 1,5-gradersbaner der den første primært utforsker ulike teknologiløsninger og den andre legger til grunn betydelige endringer i livsstil³⁴.

Elektrifisering avgjørende for å nå en 1,5-gradersbane

Som nevnt i forrige kapittel, finnes det grovt sett fem hovedløsninger for å redusere de energirelaterte klimagassutslippene: energieffektivisering og sirkulær økonomi, elektrifisering, utslippsfri hydrogen, karbonfangst og lagring/ bruk, samt bioenergi. Statkrafts analyser viser at elektrifisering sammen med energieffektivisering blir de viktigste virkemidlene for å gå fra Lavutslippsscenarioet til en 1,5-gradersbane. Elektrifisering står for over 80% av de ytterligere utslippskuttene som trengs i transportsektoren, mens i byggsektoren og industri står elektrifisering for rundt halvparten (figur 21).

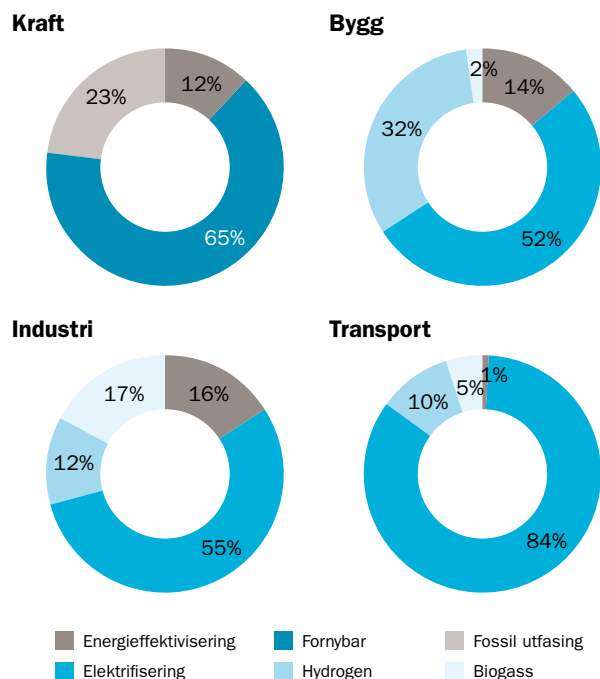
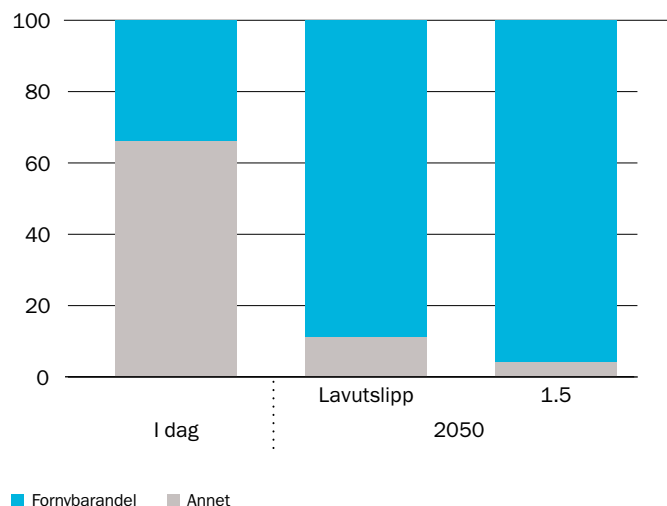


Fig 21. Kostnadsoptimal avkarbonisering per sektor i Europa i tråd med 1,5-gradersbane fra i dag til 2050. Industrien inkluderer kun energibruk og ikke innsatsfaktorer. Statkraft analyser.

Kraftmiksen i Europa

% av TWh



Figur 22. Kraftmiksen i Europa i Lavutslippsscenarioet og 1,5-gradersbane, % av TWh. Statkraft analyser.

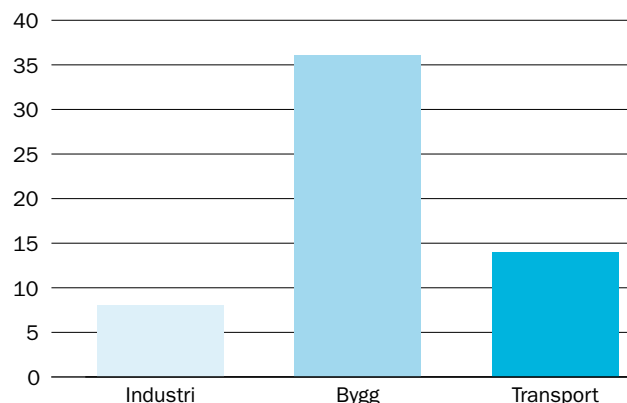
Det massive kostnadsfallet innen sol- og vindkraft gjør utslippsfri energi tilgjengelig de aller fleste steder i verden. Å utnytte denne energien for å kutte utslipp også i transport-, industri- og byggsektoren blir i de fleste tilfeller det mest kostnadseffektive klimatiltaket. I Statkrafts analyser øker elektrisitetsforbruket i EU med 11% i en 1,5-gradersbane sammenlignet med Lavutslippsscenarioet over perioden. Ny sol- og vindkraftproduksjon dekker hele det økende elektrisitetsforbruket i 2050 samtidig som det erstatter over 80% av kull- og gasskraft som går ut av kraftmiksen³⁵. Dette gjør at 85% av kraftetterspørselen dekkes av variabel fornybar kraftproduksjon i Europa i 2050 og fornybarandelen totalt blir 96% (figur 22).

Hydrogen får en sentral rolle som klimaløsning

Innen noen områder er det vanskelig å elektrifisere energibehovet direkte. Hvis en 1,5-gradersbane skal nås, blir utslippsfri hydrogen en kostnadseffektiv løsning i flere anvendelser. Egenskapene i form av utslippsfri, fleksibel lagringsevne og anvendelse på tvers av sektorer gjør hydrogen i ulike former til en kostnadseffektiv

Andel hydrogen av totalenergi i 2050

%



Figur 23. Andel hydrogen av totalenergi i sluttbruk i Europa i en 1,5-graders utslippsbane i 2050. Statkraft analyser.

lavutslippsløsning. Som forventet, øker andelen hydrogen i Europa med nesten 150% i et 1,5-gradersscenario i forhold til Lavutslippsscenarioet i våre analyser.

Kostnadsfall på fornybar hydrogen kan komme fort, drevet av lavere teknologikostnader for fornybar elektrisitet og forventet kostnadsfall for elektrolyser etter hvert som produksjonen når skala. Hydrogen fra fornybar elektrisitet med gode sol- og vindressurser vil raskt bli konkurransedyktig med fossile løsninger som diesel i tungtransport, men også med blå hydrogen basert på fossil gass og karbonfangst- og lagring i våre analyser (figur 24).

Hydrogen tar mye plass per energi og må derfor konverteres til flytende form eller ammoniakk dersom større volum skal lagres eller transporteres over lengre avstander (se informasjonsboks om hydrogen på side 17). For hvert konverteringssteg tapes noe energi og kostnadene går opp. Generelt sett tilsier derfor våre analyser at lokal hydrogenproduksjon fra fornybar elektrisitet nær etterspørselen oftest er den billigste løsningen, selv om det ikke alltid vil være mulig eller tilgjengelig.

³² 2-graders utslippsbane betyr at verden har en 66% sjanse for å holde global oppvarming under 2°C fra førindustriell tid i 2100. Analyser varierer med 76% til 84% utslippskutt fra 1990 i 2050 for EU, inkludert LULUCF. 1,5-graders utslippsbane betyr at verden har en 50% sjanse for å holde global oppvarming under 2°C fra førindustriell tid i 2100. EC (2018): https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en

³³ NEEA metastudie (2018): <http://www.pbl.nl/en/publications/global-and-regional-greenhouse-gas-emissions-neutrality>, JRC Global Energy and Climate Outlook 2018: <https://ec.europa.eu/jrc/en/geco>

³⁴ Statkraft sin energisystemmodell analyserer i hovedsak kostnadseffektive kombinasjoner av teknologiløsninger på tvers av sektorer og i mindre grad livsstilsendringer. EU 2050 strategi: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en, scenarioene 1.5TECH, 1.5LIFE

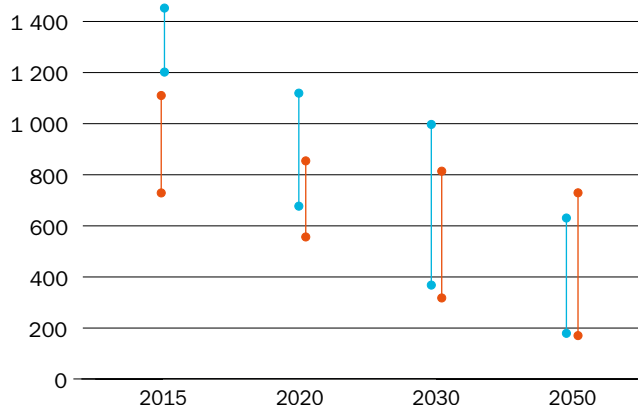
³⁵ De resterende 20% erstattes av bio-, vannkraft og kjernekraft inkludert noe hydrogen og bio med karbonfangst og lagring.

Elektrifisering sammen med energieffektivisering blir de viktigste klimatiltakene for å gå fra en 2-gradersbane til en 1,5-gradersbane
Foto: Getty Images/Werner Nystrand/Folio



Kapitalkost, 100 MW elektrolysør

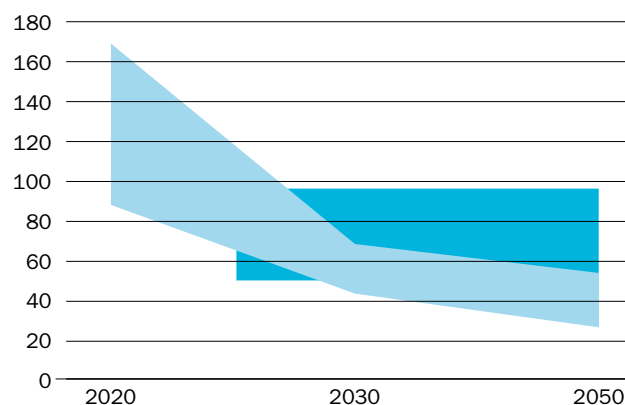
EUR/MW (tusen)



Alkaline elektrolysør PEM elektrolysør

Totalkostnader for hydrogen

EUR/MWh



Grønn hydrogen Blå hydrogen

Figur 24. Kostnadsfall for elektrolysør, eksterne kilder, (venstre). Totalkostnader for å produsere grønn og blå hydrogen (høyre). Statkraft analyser og IHS Cera 2018.³⁶

Når elektrisitet konverteres til hydrogen via elektrolyse beholdes typisk rundt 65% av den opprinnelige energien i dag. Med forbedringer i elektrolyseteknologien forventes dette å øke til opp mot 80% over perioden. Dersom hydrogen deretter skal brukes i brenselcelle til for eksempel en lastebil står man igjen med under halvparten av energien. En brenselcelle som kombinerer varme og kraft vil derimot kunne beholde rundt 60% av den opprinnelige energien og vil være å foretrekke der det er mulig. Våre analyser ser primært bruk av utslippsfri hydrogen i ulike former i transport-, bygg- og industrisektoren. Vi ser også en liten andel hydrogen til kraftproduksjon, spesielt i områder med dårlig utbygd strømnnett og noe i perioden etter 2040 som erstatning for fossil gass.

Transportsektoren – lastebiler, skip og fly omstilles vekk fra fossilt

Transportsektoren stod for 22% av de europeiske klimagassutslippene i 2017 og en tredjedel av energiforbruket. Utslippene fra transportsektoren har økt med 20% siden 1990, i motsetning til andre europeiske utslipp som har gått ned i den samme perioden. Veitransport er den desidert største gruppen og står for mer enn 70% av energietterspørselen fra sektoren, etterfulgt av luftfart, maritim sektor og jernbane (figur 25).

Energiforbruk i transport i dag

%

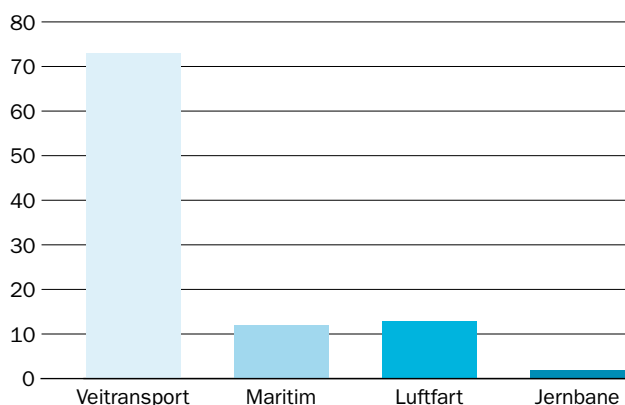
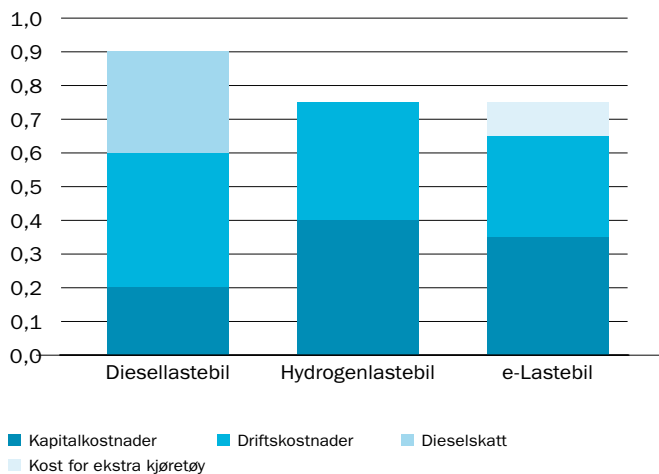


Fig 25. Energiforbruk per undersektor i dag.

³⁶ Alkaline elektrolysør er per i dag den vanligste teknologien mens PEM (Polymer Electrolyte Membrane) elektrolysør er en dyrere, men mer fleksibel teknologi. Kostnadene for begge forventes å falle betydelig neste ti år.

Livsløpskostnader lastebil

EUR/km



Figur 26. Levetidskost for tyngre lastebiler i 2030 med kjøremønster egnet for henholdsvis hydrogen og elektrisitet³⁷. Statkraft analyser.

I Statkrafts analyser av en 1,5-graders utslippsbane er det transportsektoren som kutter mest klimagasser i forhold til dagens nivå. Innenfor veitransport står *lette kjøretøy* for tre fjerdedeler av klimagassutslippene. For dette segmentet vil elektriske biler bli den dominerende løsningen, og i våre analyser blir disse raskt konkurransedyktige med diesel- og bensinbiler.

Å redusere utslipp i langdistanse-transport er mer komplekst. Innen *tungtransport* viser våre analyser at elektriske kjøretøy enten i form av hydrogen-brenselcelle eller batteri vil bli dominerende i 2050. Hydrogenlastebiler og batterielektriske lastebiler vil komplementere hverandre for ulike anvendelser avhengig av kjøreavstand, last og brukstid. Begge vil kreve betydelig utbygging av infrastruktur i form av lade- og fyllstasjoner. I tillegg vil man kunne redusere utslipp fra fossile kjøretøy i en overgangsordning ved å innføre ulike energieffektiviserings tiltak, bedre logistikk og driftsstyring. Fossil gass og innblanding av bio- eller syntetisk drivstoff og hybridløsninger vil få en rolle i overgangen til nullutslipp. Vi antar noe skifte av transportform fra vei til tog, men dette er krevende. I våre analyser vil fortsatt hovedandelen av varer fraktes på vei. Tungtransport forventes å bli møtt med stadig strengere utslippskrav³⁸.

En analyse av totalkostnadene for å eie en diesellastebil sammenlignet med elektrisk- og hydrogenlastebil viser at både elektriske og hydrogendrevne lastebiler vil være konkurransedyktige med diesellastebiler fra slutten av 2020-tallet. Nivået på dieselavgiften og tariffstrukturen for elektrisitet vil påvirke lønnsomheten. Energieffektiviseringsgevinster ved å gå over til elektrisk motor i forhold til dagens forbrenningsmotor spiller også inn på lønnsomheten. Andre kriterier, som tilgang til fyll- eller

ladeinfrastruktur, tilgang på bilmodeller, krav til oppetid, kjørelengde, vekt og mengde på last og insentivordninger vil være avgjørende for hvilken løsning som velges (figur 26). For eksempel kan en renovasjonsbil i byen egne seg for elektrisk, mens hydrogen kan være foretrukket for tungtransport over lengre avstander med høye krav til oppetid.

Også løsninger for transport utenom vei vil være kritisk for å klare en 1,5-gradersbane. Her er det ulike løsningsalternativer og vi anslår at det vil være behov for alle sammen for ulike anvendelser. Både skips- og luftfart er så tett knyttet sammen globalt at internasjonalt samarbeid om løsninger blir spesielt viktig for å klare å kutte utslipp i disse sektorene.

I dag er over halvparten av alle tog i Europa elektriske, mens resten kjører på diesel eller gass. Å skifte en del av transporten over fra vei eller fly til tog blir en viktig klimaløsning i en 1,5-gradersbane og energibruk i jernbane mer enn doubles fra i dag til 2050 i Statkrafts analyser. Innenfor jernbane anslår vi at den gjenstående delen som ikke allerede er elektrifisert i Europa vil elektrifiseres i et 2050-perspektiv.

Skipsfart er sterkt avhengig av olje i dag. Internasjonal shipping står for 2-3% av globale klimagassutslipp og sektoren forventes å vokse på grunn av økt global handel³⁹. Innen skipsfart vil man innføre ulike effektivitetsløsninger, og i tillegg vil dagens skipsolje gradvis erstattes med ulike lavutslippsbrenslers. Fjorårets enighet i FN sin sjøfartsorganisasjon IMO om at sektoren minst skal halvere sine utslipp innen 2050 fra 2008 er en viktig milepæl. Elektrisitet i form av batteri eller komprimert hydrogen vil få en rolle for kortere og regelmessige avstander, som ferger og innenlands transport. For lengre distanser vil det være både volum- og vektbegrensninger i disse løsningene. Her vil syntetiske brenslers som ammoniakk og metanol fra fornybar elektrisitet være kostnadseffektive lavutslippsalternativer. Fossil gass, hybride løsninger, energieffektivisering og marine gassolje (MGO) vil være viktige i en overgangsordning og bærekraftig biobrenslers vil spille en rolle, men dette forventes å være en begrenset tilgjengelig ressurs⁴⁰.

³⁷ For 40 tonn lastebil, 500km kjørelengde per dag, infrastrukturkostnader fordelt på 30 biler. Antar egnet kjøremønster i forhold til lade- og fyllinfrastruktur.

³⁸ EC Clean Mobility Package (2018): http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3708_en.htm. Det ble enighet i EU om første utslippsmål for lastebiler i februar 2019 (i trilogi).

³⁹ EC (2018): https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en, DNV GL (2018): <https://eto.dnvgl.com/2018>

⁴⁰ EC (2018): https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en, Energy Transition Commission (2018): <http://www.energy-transitions.org/mission-possible>, Transport & Environment (2018): <https://www.transportenvironment.org/publications/roadmap-decarbonising-european-shipping>, Lloyds (2018): <https://www.lr.org/en/insights/global-marine-trends-2030/zero-emission-vessels-2030>, DNV (2018): <https://www.dnvgl.com/expert-story/maritime-impact/alternative-fuels.html>

SYNTEISK METANOL

Utslippsfri hydrogen kan brukes sammen med CO₂ for å lage syntetisk drivstoff, syntetiske gasser eller syntetiske produkter, som metanol, metan og DME (dimetyleter). Metanol er en alkohol og håndteres som f.eks. etanol og bensin. Metanol er en internasjonal handelsvare. Tilpassede skipsmotorer og biler kan gå på inntil 100% metanol, men dagens regelverk tillater rundt 3% direkte innblanding i bensin. Det finnes flere typer brenselceller for metanol og noen er i kommersiell bruk i liten skala. Klimaeffekten av å bruke CO₂ inn i ulike prosesser (CCU) avhenger blant annet av om CO₂en som brukes er fanget fra fossile kilder, fra biologiske kilder eller er fanget fra luften.

Gitt dagens billige skipsolje og den globale profilen til næringen, trengs politiske incentiver for å få til dekarbonisering av maritim sektor. Det forventes at endringer i denne sektoren vil drives av internasjonale reguleringer fra IMO kombinert med regionale regler blant annet i innseilingsområder og havner.

Utslipp fra internasjonal *flytrafikk* står for ca. 2% av globale energirelaterte CO₂ utslipp i dag og forventes å øke. Her vil klimaløsningene være relativt dyre og krevende og det er færre alternativer. Bærekraftig biobrensel forventes å være en av få løsninger som egner seg for langdistanse flytrafikk og bør trolig prioriteres for denne sektoren. Vi ser også at

batterielektrisk kan tas i bruk for kortere avstander og at det vil bli en rolle for hybride løsninger og syntetiske drivstoff.

For transportsektoren i Europa sett under ett viser våre analyser at for å komme fra Lavutslippsscenarioet til en 1,5 gradersbane øker elektrisitetsandelen av energibruken i transport med 7% i 2050, mens oljeandelen faller med 14%. Hydrogen og bio holder seg relativt stabilt og øker henholdsvis med 2% og 4%. Analysene inkluderer kun intra-EU skipsfart og luftfart (figur 27).

Bygninger – oppvarming i Europa bruker over 80% fossilt i dag

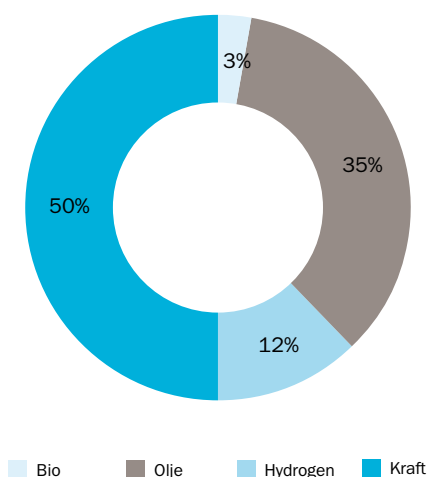


Over 70% av energibruken i bygninger i Europa, både kommersielle og private, brukes til oppvarming. Resten er elektrisitet til bruk i apparater og belysning.

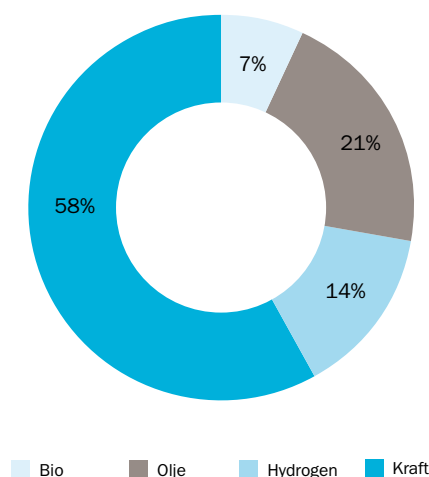
For å komme ned på en 1,5-gradersbane ser vi et lappeteppes av ulike løsninger som energieffektivisering, elektrifisering, bio, fjernvarme og hydrogen. Løsningene vil blant annet bestemmes av kostnader, lokale forhold, tilgjengelig infrastruktur og tilgang på naturressurser.

Fossile brensler står i dag for over 80% av oppvarmingen, mens 12% er elektrisitet. Det er store variasjoner fra land til land. I Norge kommer rundt 70% av oppvarmingsbehovet fra fornybar elektrisitet, mens i Storbritannia kommer over 60% fra fossil gass. Nesten alle de britiske husholdningene er i dag knyttet opp mot gassinfrastrukturen og bruker gass til oppvarming og matlagning. Husholdningens gassforbruk gir store sesongvariasjoner i gassetterspørsel med spesielt stort behov i vintermånedene. Dette gjelder både for Storbritannia, Tyskland og Frankrike. I et 1,5-gradersscenario vil gass kunne erstattes

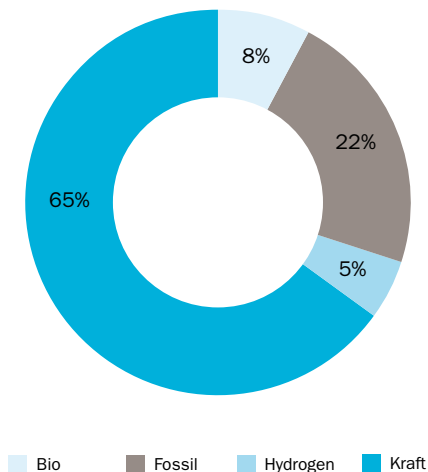
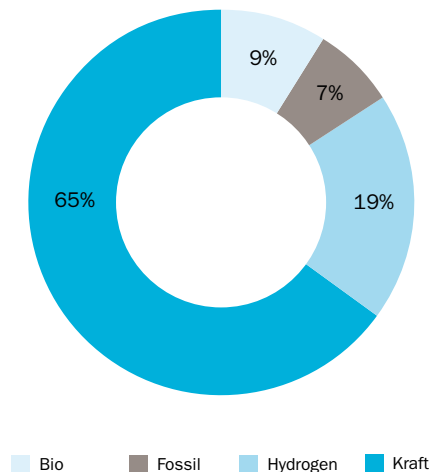
Transport: Lavutslippsscenarioet (2050)



Transport: 1,5-gradersbane (2050)



Figur 27. Sluttbruk energi i transport i 2050 fordelt på kilde for Lavutslippsscenarioet og 1,5-gradersbane for Europa. Grafene inkluderer kun intra-EU skipsfart og luftfart. Statkraft analyser.

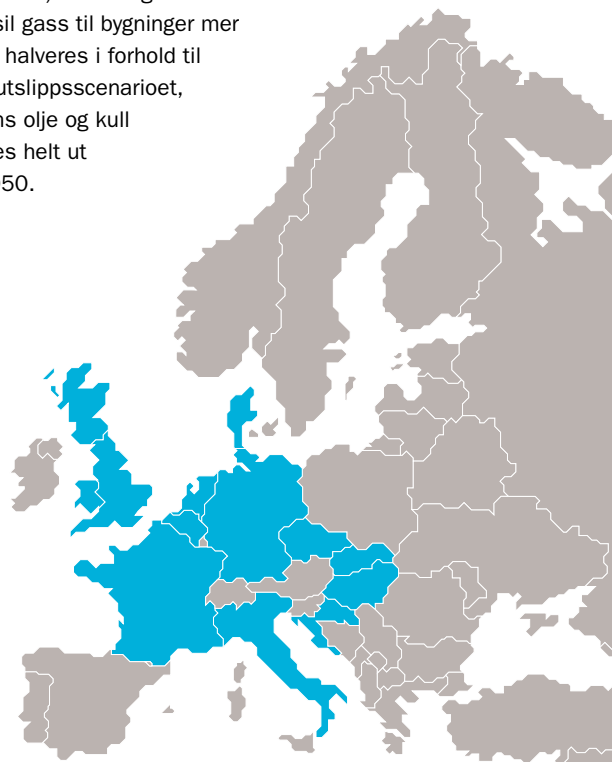
Bygninger: Lavutslippsscenarioet (2050)**Bygninger: 1,5-gradersbane (2050)**

Figur 28. Sluttbruk energi i bygninger i 2050 for Europa fordelt på kilde for Lavutslippsscenarioet og 1,5-gradersbane. Statkraft analyse.

med elektriske varmepumper som det mest kostnadseffektive tiltaket, men dette vil ikke være mulig overalt. I våre modeller øker elektrisitetsandel i oppvarming til 35% i 2050. Andre løsninger vil være energieffektiviseringstiltak (inkludert renovering av bygningsmassen), biovarme eller at man kan blande inn hydrogen i eksisterende gassinfrastruktur. I dag ligger de politisk fastsatte grensene på mellom 5-15% innblanding av hydrogen. Det forskes nå på å konvertere gassinfrastruktur og husholdningsapparater i hele byer for å kunne bruke 100% hydrogen i framtiden, blant annet gjennom et pilot-program i Leeds-området i Nord-England⁴¹. Å konvertere Europas gassinfrastruktur til hydrogen er komplekse og langvarige prosjekter som blant annet involverer oppgradering og utskifting av rør, kompressorer, brennere og apparater. Det inkluderer flere millioner husholdninger og fordrer derfor myndighetsstyrte programmer.

Statkrafts analyser viser at for å komme fra Lavutslippsscenarioet til 1,5 gradersbane i Europa øker hydrogenandelen av den totale energibruken i bygninger med 14% i 2050, mens elektrisitet holder seg på rundt to tredjedeler når man inkluderer apparater og belysning. Hydrogen kommer i hovedsak inn etter 2040. Hydrogenandelen blir en blanding av grønn hydrogen fra fornybar kraft og blå hydrogen fra fossil gass med karbonfangst og lagring,

og tas primært i bruk i Storbritannia, Frankrike, Tyskland og Italia. Dette er land som bruker mye fossil gass til oppvarming i dag (figur 29). Samtidig vil bruk av fossil gass til bygninger mer enn halveres i forhold til Lavutslippsscenarioet, mens olje og kull fases helt ut i 2050.



Figur 29. Markerte land står for over 85% av gassetterspørselen til oppvarming i Europa

⁴¹ H21(2019): <https://www.h21.green/about>. Man har erfaring med rundt 50% innblanding av hydrogen i gass både fra Storbritannia med som ble brukt på 1800-tallet og blant annet fra Singapore i dag.

Industrien: dekarboniserer ved hjelp av elektrifisering, energisparing, hydrogen og bio



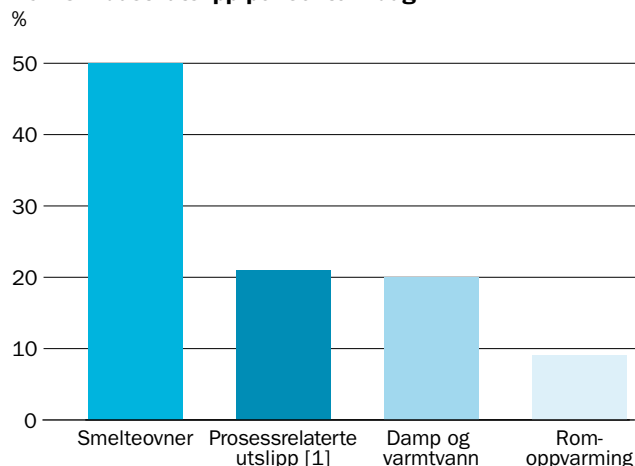
Industri sektoren bruker gass, strøm, kull og olje og står for 25% av energiforbruket i EU. Spesielt er energiintensiv industri som stål, sement og ammoniakk viktige undersektorer

for å redusere utslipp. Ulike undersektorer har ulike utfordringer og løsninger. Flyten av materialer og produkter mellom de ulike sektorene skaper et tett nettverk som øker kompleksiteten. Klimagassutslippene kan grovt deles i tre hovedkilder der to tredjedeler av utslippene kommer fra høytemperatur-prosesser. Prosessrelaterte utslipp fra kjemiske reaksjoner dekker rundt en femtedel av utslippene, mens resten kommer fra oppvarming av arealer. Prosessrelaterte utslipp er ikke inkludert i våre energisystemmodell analyser.

Energieffektivisering og sirkulær økonomi med bedre materialbruk og gjenvinning er viktige løsninger for å redusere klimagassutslipp i industrien⁴². I tillegg er det generelt fire ulike teknologier som kan redusere utslipp i industrien:

1. Bruk av utslippsfri hydrogen til varme, som reduksjonsagent og som innsatsfaktor
2. Direkte elektrifisering av industriprosesser
3. Bruk av biomasse til varme, som reduksjonsagent og som innsatsfaktor
4. Karbonfangst med enten bruk eller -lagring (CCUS)

EU 28 Industriutslipp per sektor i dag

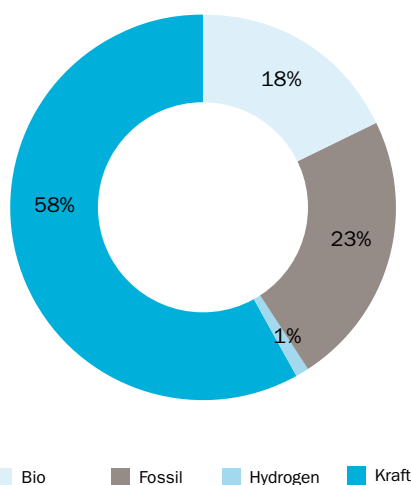


Figur 30. Europeiske industriutslipp fordelt på kilder ekskludert raffinerier og indirekte utslipp (i 2015)⁴³. [1] Utslipp fra kjemiske reaksjoner utenom forbrenning.

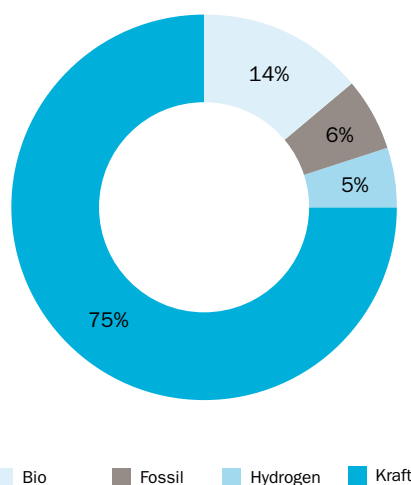
Hvilke alternativer som er de mest kostnadseffektive vil variere både mellom de ulike industriktorene, men også avhengig av bl.a. fysisk beliggenhet og tilgang på naturressurser.

Statkrafts analyser av kostnadsoptimale løsninger for Europa resulterer i en fordeling av energibruk i industrien som vist i figur 31.

Industri: Lavutslippsscenarioet (2050)



Industri: 1,5-gradersbane (2050)



Figur 31. Sluttbruk energi i industrien i 2050 for Europa fordelt på kilde for Lavutslippsscenarioet og 1,5-gradersbane. Statkraft analyse.

⁴² Energy Transition Commission (2018): <http://www.energy-transitions.org/mission-possible>

⁴³ SET_NAV Project (2018), low-carbon transition of EU industry by 2050: <http://www.set-nav.eu>

For å komme fra Lavutslippsscenarioet til 1,5 gradersbane øker elektrisitetsandelen i industrien med ca. 15% mens fossilandelen reduseres med 17%. Hydrogen øker med 4% mens noe bio flyttes fra industrien til transportsektoren da bærekraftig bio forventes å være en begrenset ressurs.

FORNYBAR AMMONIAKK TIL LAVUTSLIPP GJØDSEL OG NULLUTSLIPP DRIVSTOFF

Fornybar (grønn) ammoniakk basert på hydrogen fra elektrolyse har fått fornyet interesse de siste årene. Fornybar ammoniakk lages ved at fornybar hydrogen tilføres nitrogen i en Haber-Bosch prosess og konverteres til ammoniakk (NH₃). Ammoniakk er giftig og krever derfor gode sikkerhetsrutiner som allerede er velutviklet i dag for industrielt bruk.

Innen industrien forventes en gradvis dreining av kundepreferanser for grønne produkter, deriblant jordbruksvarer basert på fornybar gjødsel. Flere industriaktører begynner å tilpasse seg en slik framtid. Det forventes derfor et økende volum av fornybar ammoniakk til produksjon av gjødsel i Europa og globalt.

Grønn ammoniakk er også én av få utslippsfrie løsninger til maritim bruk. Ammoniakk er en internasjonal handelsvare og relativt enkelt å håndtere. Ammoniakk kan brukes som innblandingsprodukt i ulike drivstoff. Det kan også etter hvert benyttes direkte i forbrenningsmotorer og i ulike typer brenselceller og er derfor en god kandidat til nullutslippsdrivstoff. Forbrenning av ammoniakk vil gi NO_x utslipp som må håndteres med en katalysator tilsvarende teknologien i dagen dieselmotorer. Det forskes på bruk av ammoniakk direkte i brenselcelle uten å splitte det i hydrogen og nitrogen først. I brenselceller dannes det ikke NO_x og energitilnyttelsen øker i forhold til forbrenningsmotorer. Ammoniakk i brenselcelle vil være aktuelt for store skip som transporterer gods over lengre avstander. Skipene vil være billigere enn skip som anvender flytende hydrogen og i tillegg har ammoniakk bedre volumetrisk energitetthet enn hydrogen. Ammoniakk er også lettere å lagre og distribuere.

Kostnadene for grønn ammoniakk forventes å falle med kostnadsfall i fornybar kraft og i utstyr som elektrolysører og enklere Haber-Bosch anlegg. I dag er grå ammoniakk, fremstilt fra fossilt, billigere enn grønn, men kostnadsforskjellen kan gradvis utjevnes med lavere energikostnader og økende CO₂ kostnader. Man trenger videre forskning og utvikling, men også politiske rammebetingelser som insentiverer en overgang fra fossilt til fornybar ammoniakk. Over tid kan grønn ammoniakk brukt som drivstoff ha potensial til å konkurrere med avgiftsfri diesel.

Implikasjoner for kraftsektoren

Utviklingen mot en 1,5-gradersbane får store implikasjoner for kraftsektoren. Dette gjelder både hvordan energi produseres, endringer i kraftetterspørsel og også fleksibiliteten i kraftsystemet.

I kraftsektoren i en 1,5-gradersbane, vil kullkraft være helt ute av den europeiske kraftmiksen innen 2040 og gasskraften blir den største utslippskilden. Sammen med regulerbar vannkraft får gasskraft tidlig rollen som fleksibilitetsløsning, spesielt for lengre perioder med lite vind. Dette gjør at antall kjøretimer faller signifikant og at små gassmotorer erstatter de større gasskraftverkene (CCGT). For å balansere systemer dominert av solkraft, typisk innenfor en 24-timers periode, vil det være mange konkurrerende *kortsiktige fleksibilitetsløsninger* som batterier, smartlading av elbiler, fleksibel produksjon, kabler og nett, samt fleksibel etterspørsel. Med fallende teknologikostnader ser vi spesielt at kombinasjonen sol og batterier blir mer kommersielt lønnsomt i områder med mye solkraft (figur 13).

Den tette sammenkoblingen av energisektorene får implikasjoner for kraftsektoren i form av økte muligheter for etterspørselsfleksibilitet og lagring. Vi forventer at industri-, bygg-, og transportsektorene vil kunne være langt mer fleksible enn etterspørselen vi kjenner i kraftmarkedet i dag. Dette gjør at etterspørselssiden vil få en stadig større påvirkning på strømprisene.

Behovet for *utslippsfri langsiktig fleksibilitet* over flere dager vil kunne dekkes av vannkraft, kabler og nett, noe kjernekraft, litt bio og hydrogen, samt økt etterspørselsrespons. Kabler og nett er ofte underkommunisert som fleksibilitetskilde og vi ser at bruk av mellomlandsforbindelser øker med nesten 30% i energisystemmodellen når man går fra Lavutslippsscenarioet til en 1,5-gradersbane. Mot 2050 vil negative utslipp i form av biovarmekraftverk og karbonfangst og lagring bli viktigere (se side 20 og 21 fra CICERO). I vår energisystemmodell går kjernekraft i Europa litt opp når vi modellerer en 1,5-gradersbane i forhold til Lavutslippsscenarioet. Fleksibel, fornybar vannkraft vil holde seg relativt uendret og dekke rundt 10% av kraftproduksjonen i Europa i 2050. Fornybar, regulerbar vannkraft har en unik evne til å håndtere store variasjoner i andre fornybare kraftkilder som vind- og solkraft og blir en viktig løsning både for kortsiktig og langsiktig fleksibilitet ⁴⁴.

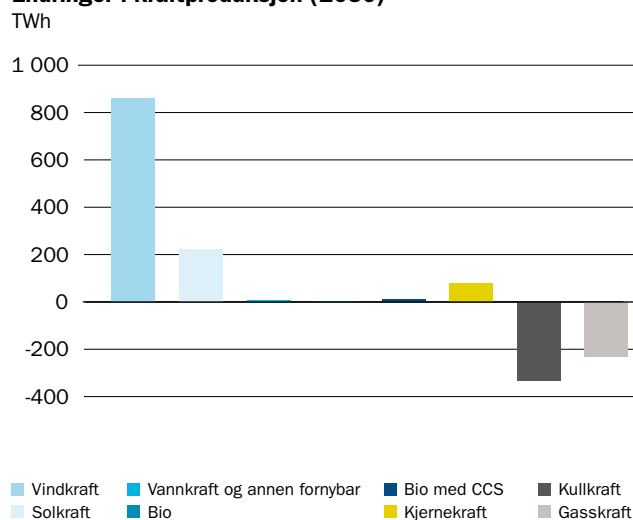
En riktig CO₂-pris er et viktig virkemiddel for å drive omstillingen av kraftsektoren ved å øke lønnsomheten i all utslippsfri kraftproduksjon og redusere lønnsomheten for fossil kraft. Når kraftsektoren i en 1,5-gradersverden er tilnærmet utslippsfri mot 2050, vil en karbonpris primært få en rolle i de andre sektorene og fungere som en forsikring mot at fossil energi ikke kommer tilbake i kraftmarkedet. Når vi kjører energisystem-

⁴⁴ Flere detaljer rundt fleksibilitetsløsninger i Statkraft Lavutslippsrapport 2018: <https://www.statkraft.com/globalassets/explained/statkrafts-low-emissions-scenario-report-2018.pdf>

modellen for Europa får vi en implisitt CO₂-kostnad i 2050 på 50-60 EUR/tCO₂ i Lavutslippsscenarioet og 120-180 EUR/tCO₂ i 2050 i en 1,5-graders utslippsbane i gjennomsnitt for alle sektorene. Dette reflekterer hva omstillingen i form av utslippsreduksjoner koster samfunnet totalt og er betydelig høyere enn dagens CO₂ pris i Europa⁴⁵.

Økt elektrifisering og bruk av grønn hydrogen gjør at kraftetterspørselen i Europa øker med 600TWh i en 1,5-gradersverden i forhold til Lavutslippsscenarioet. Denne økningen, i tillegg til fallende etterspørsel etter kull og gass, vil dekkes av fornybar kraftproduksjon. De siste utslippene i kraftsektoren blir relativt dyre å fjerne, her snakker vi om kostnader på over 100€/MWh. Innen vår analysehorisont ser vi at energitapet gjør at hydrogen konvertert tilbake til kraft er dyrere enn mange andre fleksibilitetsløsninger både for korte og lange perioder. Dette reflekterer likevel et framtidig tak for strømprisene. I våre modeller får vi en mindre andel hydrogen inn i kraftsektoren mot slutten av perioden.

Endringer i kraftproduksjon (2050)



Figur 32. Endringer i kraftproduksjon i Europa i en 1,5-gradersbane i forhold til Lavutslippsscenarioet i 2050 (TWh). Statkraft analyse.

BILINDUSTRIEN BLIR VIKTIG FOR BATTERIUTVIKLING. ELBILER OG BATTERIER BLIR VIKTIG FOR STRØMNETTET

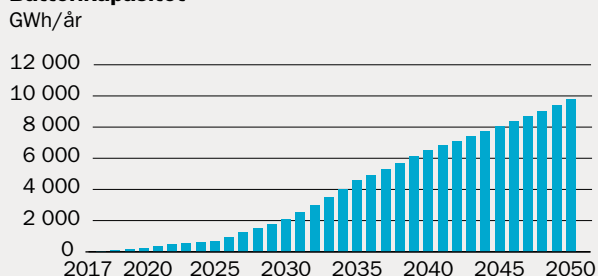
Litium-ion batterier blir stadig billigere og mer effektive. Teknologit utviklingen drives primært fram av bilindustrien. Bilindustrien forventer å ha en årlig produksjonskapasitet på 35 millioner elbiler i 2030⁴⁶.

Dette er i tråd med våre analyser av etterspørselen og det er en betydelig økning fra de rundt to millioner solgte elbilene i fjor. I tillegg til å elektrifisere transportsektoren vil batterier bidra med kortvarig balansering i strømmettet fra noen få sekunder til et par timer. Det foregår mye forskning og utvikling for å forbedre energitetthet, lagring,

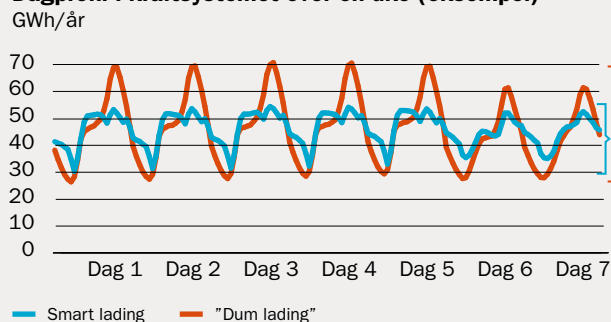
levetid, materialbruk og effektivitet. Samtidig blir batteriene mer og mer spesialdesignet og optimert for ulike bruksområder.

Smartlading av elbiler vil kunne redusere kostnadene i strømmettet betydelig i mange områder og flate ut behovet for annen fleksibilitet innenfor døgnet (figur 33). Teknologien for smartlading finnes allerede i dag. Flere av elbilene tilbyr egne apper for smartlading og enkelte land, som UK, begynner å forby bruk av «dumme» ladere.

Batterikapasitet



Dagprofil i kraftsystemet over en uke (eksempel)



Figur 33. Batterikapasiteten forventes å øke betydelig mot 2050 drevet av bilindustrien (venstre). Smartlading av elbil påvirker dagprofilen i kraftsystemene – eksempel fra 2040 (høyre). Statkraft analyse.

⁴⁵ En implisitt CO₂ kostnad viser hva omstillingen i form av utslippsreduksjoner koster samfunnet totalt. Dette sier ikke noe om hvem som betaler eller bruk av virkemidler, f.eks. en kvotepris, CO₂ skatt/ avgift, regulering eller lignende.

⁴⁶ Deloitte report (2019); <https://www2.deloitte.com/uk/en/pages/manufacturing/articles/battery-electric-vehicles.html>



HURTIGLADER

grønn kontakt

Innenfor europeisk veitransport står lette kjøretøy for tre fjerdedeler av klimagassutslippene. Her vil elektriske biler bli den dominerende løsningen.
Foto: Grønn kontakt

Hvordan tilrettelegge for en 1,5-gradersbane?

For at vi skal nå en 1,5-gradersbane er det viktig at tempoet i omstillingen er høyt nok. Når det gjelder valg av virkemidler er det verken mulig, nødvendig eller smart i dag å bestemme en presis kombinasjon av løsninger for å nå en utslippsbane mot 1,5-grader, fordi kombinasjonen av ulike løsninger vil avhenge av flere forhold. Politiske virkemidler og rammebetingelser bør derfor i størst mulig grad skape sterke, langsiktige og forutsigbare insentiver for å kutte utslipp. På denne måten kan markedsaktørene velge de mest kostnadseffektive løsningene innenfor de ulike segmentene. Ambisiøse klimamål sammen med en riktig pris på utslipp vil være sentrale virkemidler for å drive fram kostnadseffektive løsninger.

Samtidig ser vi allerede nå at dersom man skal få et fornybart og avkarbonisert samfunn, vil det være nødvendig å få på plass følgende:

- En fornybar kraftsektor og økt elektrifisering trenger god *infrastruktur*. Å tilrettelegge for infrastruktur krever et langsiktig perspektiv. Dette gjelder både innen transportsektoren, med ladestasjoner og hydrogenfylllestasjoner, så vel som innen kraftsystemene. Økt elektrifisering krever smarte strømmnett med høy nok effekt både lokalt (distribusjonsnettet) og sentralt (transmisjonsnettet). Kabler og nett mellom land gir økt tilgang til fleksibilitet og større muligheter for å kople sammen kraftproduksjon og etterspørsel. Infrastruktur og mulighet for energihandel mellom geografiske områder blir viktig for å dra nytte av hverandres ulikheter og sammen klare overgangen til en fullt utslippsfri kraftsektor på en raskere og mer kostnadseffektiv måte enn om landene kun iverksetter nasjonale tiltak.
- *Elektrifisering* vil øke betydelig både i transport-, bygg- og industrisektoren i Europa. Det vil være avgjørende at det tilrettelegges for utvikling av bl.a. nullutslippskjøretøy og -skip, ladestrøm i havner, varmepumper og andre teknologier som fremmer elektrifisering. Her vil hastighet og tempo være avgjørende for å nå klimamålene. Norge har allerede et fortrinn med et tilnærmet utslippsfritt kraftsystem, et velutbygget elektrisitetsnett, høyeste andel nysalg av elbiler i verden og en høy andel elektrisitet i bygninger. Europa er i ferd med å ta fatt på oppgaven med elektrifisering. I alle scenarioene i EUs 2050-strategi er elektrifisering en sentral del av løsningen.
- Kraftsystemene og markedene må ha nok fleksibilitet til å klare å absorbere den høye andelen variabel fornybar kraft. Dette fordrer *regionalt samarbeid og markedsdesign* som støtter opp rundt best mulig integrerte kraft- og energimarkeder. Å tilrettelegge for nok fleksibilitet og rask dekarbonisering fordrer mest mulig like konkurranseforhold mellom aktørene, deriblant at elektrisitet ikke diskrimineres i forhold til gass og at man ikke diskriminerer mellom ulike

typer fornybar energi gjennom rammebetingelser. Det er også uheldig om man diskriminerer mellom ulike typer fleksibilitetsløsninger. Vi kommer til å trenge mange av dem; forbrukerfleksibilitet, batterier, infrastruktur og ikke minst fleksibel vannkraft. I tillegg er det viktig at variasjoner i kraftprisen faktisk får virke og blir synlig for sluttbruker. En hensikt med markeder er å gi signaler til investorer om når og hvor det er behov for investeringer. Dersom dette skal gjøres så effektivt og rimelig som mulig bør man unngå reguleringer som gjør at nødvendige investeringer ikke kommer eller kommer på feil sted.

- Vi ser at *fornybar og utslippsfri hydrogen* vil få en viktig rolle for flere områder, særlig innenfor industri og transport. Det blir viktig de neste fem til ti årene å tilrettelegge for kostnadseffektiv produksjon av utslippsfri hydrogen for å få ned enhetskostnader på bl.a. elektrolyser og brenselceller. Dette inkluderer teknologiutvikling. Her har Norge et fortrinn gjennom sine kraft- og gassressurser, et aktivt hydrogenforskningsmiljø og nesten 100 års erfaring med elektrolyse.
- I en 1,5-graders utslippsbane vil *karbonfangst og lagring og bruk* få en viktig rolle i enkelte industrisegmenter, og for å få negative utslipp med bio. I tillegg vil rammebetingelser som legger til rette for *energieffektivisering og sirkulær økonomi* være viktig.
- Et av de viktigste virkemidlene for en rask avkarbonisering er en velfungerende *karbonpris*. En pris på klimagassutslipp gjør utslippsfrie løsninger relativt sett billigere og i stand til å utkonkurrere fossile løsninger. I motsetning til de fleste støttesystemer virker karbonpris teknologinøytralt og favoriserer både eksisterende og nye klimaløsninger. En karbonpris trekker et effektivt skille mellom forurensende og ikke-forurensende aktiviteter.

Denne type virkemidler som er nevnt over vil enklere gjennomføres med et internasjonalt samarbeidsklima som slutter opp om både Parisavtalen og internasjonal handel. Det er usikkerhet knyttet til enkelte lands oppslutning om Parisavtalen, og dette kan svekke andre lands vilje til å oppfylle sine forpliktelser. Også økende proteksjonisme kan svekke tempoet i omstillingen. For å få de store volumene av fornybar kraft, infrastruktur og elektriske løsninger som vi trenger for både en 2-gradersbane og 1,5-gradersbane er det nødvendig at investorene ønsker å investere og at de kan forvente en tilstrekkelig avkastning tilbake. Å skape gode og effektive energimarkeder på tvers av land og sektorer vil bidra til å senke omstillingskostnadene. Det er behov for at markedet, teknologi og politikk drar i samme retning.

En stor del av motstanden vi ser mot klimapolitikk i dag skyldes motstand mot økte kostnader. Når verden går fra kull til fornybar og fra diesel til elbiler vil det være vinnere og tapere. For å sikre bred forankring og legitimitet for klimapolitikken må det jobbes

for at de sosiale fordelingseffektene av politikken blir mest mulig rettferdige. Dette må skje langs flere akser: både geografisk mellom land, og sosialt mellom ulike sosioøkonomiske grupper. Men det må også jobbes for at klimapolitikken blir rettferdig i en tidsakse. En kraftfull og rask omstilling vil kreve store investeringer, men konsekvensene og risikoen knyttet til klimaendringer og klimatilpasning medfører at de samlede kostnadene med høy sannsynlighet blir *mindre* med en rask omstilling enn dersom vi venter. Dette adresseres i neste avsnitt.

Dramatisk mye dyrere å ikke nå klimamålene

Globalt anslås kostnadene for å nå klimamålene til å bli mye lavere enn kostnadene ved å ikke omstille oss.

Når vi modellerer hele energisystemet for Europa legger vi til grunn en kostnadseffektiv omstilling av energisystemet og tett samspill mellom energisektorene. Modellresultatene gir en relativt liten kostnadsendring i forhold til BNP. Systemkostnadene øker med under 1% av BNP når energisektoren omstilles fra en referansebane til en 2-gradersbane og igjen med **under 1% av BNP** når den omstilles fra en 2-gradersbane til en 1,5-gradersbane⁴⁷. Dette er aggregert over perioden fra i dag til 2050. Vi ser at investeringskostnadene øker og utgjør en stadig høyere andel av systemkostnaden når vi går til et mer fornybart energisystem mens driftskostnadene faller i takt med at fossil energi fases ut. Tilsvarende kostnadsanalyser i EU sine 2050-scenarier resulterer også i en kostnadsøkning på i gjennomsnitt under 1% prosent av BNP for å endre energisystemene fra en 2-gradersbane til en 1,5-gradersbane i 2050. Energisystemkostnadene i EU i dag er på ca 12,5% av BNP⁴⁸.

Det er store usikkerheter knyttet til kostnadene for konsekvensene av global oppvarming. Dette vil være kostnader knyttet til ekstremvær, havnivåstigning, påvirkning på produktivitet og helse, matvareproduksjon og migrasjon. Et økende antall forskere og analysemiljøer søker å tallfeste disse kostnadene og måle dem mot kostnadene ved å nå klimamålene. En studie fra Stanford universitet (2018) beregnet kostnadsbesparelsene ved å gå til en 2-gradersbane framfor en referansebane til å tilsvare mellom 5% og 10% av verdens BNP, mens kostnadsbesparelsen ved å gå til en 1,5-gradersbane framfor en 2-gradersbane tilsvarer 3% av BNP. En analyse utført av IRENA (2019) resulterte i at en omstilling til en 1,5-gradersbane vil øke den globale BNP med 5,3 % relativt til et referansescenario når kostnadene ved klimaendringene tas med i beregningen (ekskludert havstigning og ekstremvær)⁴⁹.

De lave sol- og vindkostnadene vi ser allerede i dag og kostnadsfallet vi forventer innen disse og andre nøkkelteknologier framover har satt verden i en posisjon der kostnaden for å omstille oss til en lavutslippsverden er langt lavere enn antatt for bare noen få år siden. I tillegg er disse kostnadene forventet å være langt lavere enn de store og usikre konsekvensene og kostnadene av klimaendringene dersom vi ikke klarer å begrense global oppvarming til under 1,5-grader.

Løsningene på klimautfordringen finnes, og kostnadene knyttet til en energiomstilling til en 1,5-gradersbane anslås å være betydelig lavere enn samfunnskostnadene ved økt global oppvarming. Den store utfordringen framover er dermed å klare å tilrettelegge og mobilisere for en endring som skjer raskt nok til at den globale oppvarmingen begrenses til 1,5 grader.

⁴⁷ Statkraft energisystemmodell, 2018 reell. Kapitalkostnader neddiskontert og inkluderer endringer i mellomlandsforbindelser. Endringer i lokal distribusjon av energi, lokalt strømnnett og investeringer i energieffektivisering er ikke inkludert.

⁴⁸ EC 2050 strategi. Energisystemkostnader inkluderer både kapitalkostnader og energipriser, inkludert investeringer i energieffektivisering. Andelen energisystemkostnader av BNP øke fram mot 2030 for deretter å falle for alle scenarioene i forhold til i dag med mellom 0,2% og 2,6% i 2050. Andelen av BNP er lavere enn tidligere EU-estimer, primært på grunn av lavere forventede teknologikostnader. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en

⁴⁹ IRENA (2019): https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Apr/IRENA_Global_Energy_Transformation_2019.pdf, Stanford (2019): <https://www.nature.com/articles/s41586-018-0071-9>



Sektorer	Statkraft Lavutslippsscenario (2019)	IEA New Policies scenario (2018)	IEA Sustainable Dev. Scenario (2018)	IRENA REmap (2018)	IHS CERA Rivalry (2018)	DNV GL ETO (2018)
Globale energirelaterte CO ₂ -utslipp (GtCO ₂) i 2050	18	36 (i 2040)	18 (i 2040)	9,7	38,6	20
Årlig vekst i primær energietterspørsel 2017-50	0,3%	1,0% (til 2040)	-0,1% (til 2040)	-0,3%	0,9%	-0,6%
Oljeforbruk: Årlig vekst 2017-50	-1,7%	0,4% (til 2040)	-1,5% (til 2040)	-	0,4%	-2,0%
Gassforbruk: Årlig vekst 2017-50	0,4%	1,6% (til 2040)	0,4% (til 2040)	-	1,6%	0,1%
Kullforbruk: Årlig vekst 2017-50	-3,2%	0,1% (til 2040)	-3,6% (til 2040)	-	-0,1%	-3%
<i>Transportsektor</i>						
Oljeandel (final, %)	44%	82% (i 2040)	60% (i 2040)	33%	79%	38%
% Elbil av nybilsalg	98%	-	-	-	34%	50% i 2033, 100% i 2050 ⁵⁰
<i>Kraftsektor (årlig vekst i produksjon, 2017-2050)</i>						
Etterspørsel	2,5%	2,0% (til 2040)	1,6% (til 2040)	2,2%	2,9%	2,9%
Vindkraft	8,5%	6,6% (til 2040)	8,9% (til 2040)	8,9%	6,0%	9,2%
Solkraft	12,5%	10% (til 2040)	12% (til 2040)	12,2%	7,9%	13,5%
Vannkraft	1,6%	1,8% (til 2040)	2,3% (til 2040)	1,8%	1%	1,4%
Fossilandel i kraftsektor (% av TWh, 2050)	12%	49% (i 2040)	20% (i 2040)	9%	52%	15%

Tabell 1. Nøkkeltall i Statkrafts Lavutslippsscenarioet, sammenlignet med IEA, IRENA, IHS Cera og DNV GL⁵¹⁵⁰ Lest av graf, DNV ETO 2018.⁵¹ Scenariene er bygget opp på ulike forutsetninger og er derfor ikke direkte sammenlignbare. Både IEA NPS, DNV ETO og IHS scenariene er deres referansescenario. Statkraft Lavutslippsscenario er et teknologioptimistisk-realistisk scenario.



Statkraft AS
Postboks 200 Lilleaker
0216 Oslo
Tel: +47 24 06 70 00
Besøksadresse: Lilleakerveien 6

www.statkraft.com

For mer informasjon:
Lars Magnus Günther
lars.gunther@statkraft.com