

<2°C

TEMANOTAT

Hydrogen som
klimaløsning



Redaksjon:

Anders Bjartnes (ansvarlig redaktør)

Martin Larsen Hirth

Lars-Henrik Paarup Michelsen

Håvar Skaugen

Lars Ursin

Ansvarlig utgiver:

Norsk klimastiftelse

Design | **Haltenbanken**

Illustrasjoner | **Jørgen Håland/JHaland.com**

Forsidebilde:

Det bobler hydrogengass fra elektroden under en elektrolysereaksjon.

Foto | **CA Heckler/flickr.com**

Lisens | **CC-BY-NC-ND**

Bidragstere:

Johan Hustad | professor ved Institutt for energi- og prosesssteknikk og direktør for NTNU Energi, NTNU

Mona Mølnvik | senterleder ved NCCS og forskningssjef, SINTEF

Anne Neumann | professor ved Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse, NTNU

Velaug Myrseth Oltedal | assisterende instituttleiar ved Institutt for maskin og marinfag, Høgskulen på Vestlandet

Martin Tengler | senior hydrogenanalytiker, Bloomberg New Energy Finance

Hilde Johnsen Venvik | professor ved Institutt for kjemisk prosesssteknologi, NTNU

Federico Zentih | seniorforsker, SINTEF og førsteamanuensis II ved Institutt for energi- og prosesssteknikk, NTNU

Takk til:

Håkon Eidsvåg | PhD-stipendiat ved Institutt for datateknologi, Høgskulen på Vestlandet

Innhold

3 | Innledning

4 | Ekspertintervju: – Vi kommer ikke utenom hydrogen

Teknologi

6 | Slik virker en brenselcelle

8 | Elektrolyse: Strøm + vann = hydrogen

10 | Gassreforming: Hydrogen fra fossilt

12 | Fordeler ved hydrogen

13 | Ulemper ved hydrogen

Marked

14 | Grønt hydrogen øker kraftig

16 | Får vi solgt norsk blått hydrogen?

17 | Ekspertintervjuet: Hva kan hydrogen gjøre for oss?

Politikk

18 | Hydrogen må til for å nå klimamålene

20 | Etterspørselen må opp

21 | Nå gjelder det, når smeller det?

22 | Kilder



Norsk klimastiftelse
NORWEGIAN CLIMATE FOUNDATION

Innledning

Når stadig flere land og selskaper setter mål om netto null utslipp innen 2050, vokser også interessen for hydrogen som klimaløsning.

Hydrogen er ikke noe nytt i energisammenheng. Allerede på 1800-tallet fikk man de første demonstrasjonene av vannelektrolyse og brenselceller. Hydrogen har blitt brukt i luftballonger og luftskip, og senere også i ekspedisjoner til verdensrommet. Her hjemme brukte Norsk Hydro elektrolyse av vann i store deler av forrige århundre for å produsere hydrogen som innsatsfaktor til kunstgjødsel.

Fra slutten av den andre verdenskrigen og utover 1950-tallet ble det forsket på hydrogen som rakettdrivstoff, og senere som flydrivstoff. Utover 1970-tallet ble det for alvor lansert som drivstoff i biler, men tok aldri av. På midten av 2000-tallet skjedde det samme.

Etter nok en bølgedal har interessen for hydrogen økt igjen, denne gangen spesielt ansporet av at mange nå ser viktigheten av å fase ut fossile brenslere en gang for alle.

Hydrogen er ingen magisk løsning på klimaproblemet, men det er en av mange teknologier som det med god grunn satses milliarder på akkurat nå, verden over. Det er mange fordeler ved hydrogen fremfor andre energibærere. Men det er også utfordringer knyttet til produksjonen, utrulling og bruken av hydrogen.

For Norge er hydrogen spesielt interessant av to grunner: Vi har naturgitte forutsetninger for å produsere mye av det, siden vi har store fornybare energiresurser. Og vi har tilgang til naturgass. Men

det hefter problemer ved begge disse fordelene. Produksjon av hydrogen fra naturgass gir CO₂ som biprodukt, og det må håndteres. Utvinning av naturgass gir også utslipp. Produksjon av hydrogen fra vannelektrolyse krever mye fornybar energi. Denne er mer effektivt brukt direkte. I tillegg er teknologien dyr og trenger politisk drahjelp for å bli konkurransedyktig.

Dette notatet kan ikke gi svar på alle spørsmål i diskusjonene som nå pågår om hydrogenets rolle i fremtidens energisystem. Men notatet skal hjelpe deg å henge bedre med og bidra konstruktivt i diskusjonene.



Hydrogen og ammoniakk

Mye av hydrogenet som produseres i dag brukes videre i produksjon av ammoniakk, blant annet til kunstgjødsel. Ammoniakk er imidlertid også egnet som brensel. Man kan se for seg at mange av transportløsningene vil bruke ammoniakk og ikke hydrogenbrenselceller i fremtiden. For enkelhets skyld skiller vi ikke i dette notatet mellom hydrogen som brukes direkte og det som brukes som ammoniakk.

Ekspertintervjuet: – Vi kommer ikke utenom hydrogen

– Det ser lovende ut for en hydrogenøkonomi, med noen forbehold, sier senior hydrogenanalytiker Martin Tengler fra Bloomberg NEF (BNEF).

Interessen for hydrogen har gått i bølger, men skjøt for alvor fart igjen i 2020. Før har det blitt med ambisjonene, men Martin Tengler mener det er grunn til å tro at det er annerledes denne gangen. Mens det før handlet mest om personbiler, er hydrogen nå et verkøy for å avkarbonisere større deler av økonomien.

– Og spesielt de sektorene hvor det er vanskelig å elektrifisere direkte. På noen områder, som for eksempel stålproduksjon, hjelper det ikke med mer sol- eller vindkraft. Her kan hydrogen spille en rolle.

Industri og tungtransport driver markedsutviklingen

– Om vi fortsetter det resonnementet, hvilke sektorer er mest egnet for å ta i bruk hydrogen?

– Hydrogen er allerede et veldig stort marked. Den årlige produksjonen er [mer enn hundre millioner tonn](#). 99 prosent av dette produseres fra fossil energi uten karbonfangst og lagring.

Når vi snakker om sektorer som kan bruke hydrogen laget av fornybar energi - grønt hydrogen - er det fornuftig å se dit hydrogen brukes i dag; som produksjon av ammoniakk og oljeraffinering.

Deretter har du områder hvor hydrogen ikke brukes i dag. BNEF har beregnet at karbonprisen som kreves for å gjøre et bytte til grønt hydrogen i stålproduksjon, kan være så lav som 50 dollar per kg CO₂, hvis du kan produsere grønt hydrogen for 1 dollar per kg. Dette tror vi er mulig, sannsynligvis før 2050 i mange land.

I tillegg til industri, kan transportsektoren være godt egnet for hydrogen. Ikke for personbiler, men i tungtransport og lastebiler, hvor batterier har en vektulemppe. I maritim sektor tror vi hydrogen vil spille en rolle som viktig bestanddel i ammoniakk.

Tror grønt hydrogen vil vinne på pris

– Hva vet vi om kostnadsbildet for blått versus grønt hydrogen?

– Globalt kjenner vi i BNEF til fire anlegg hvor man i dag produserer hydrogen og fanger utslippene.

Forutsatt at kostnadene vi samlet inn fra disse prosjektene er representative, er kostnaden for lagring av karbon per kilo produsert hydrogen ca 0,60 dollar per kg. Hvis du legger det til kostnadene for produksjon av hydrogen fra billig, fossil energi, så får du en pris på 1,60 dollar per kg for blått hydrogen.

Dette er mye billigere enn å produsere grønt hydrogen i dag. Men legges forventet kostnadsutvikling til grunn, er grønt hydrogen billigst de fleste steder innen 2030, og i hvert fall innen 2050. Men det kreves sannsynligvis en kombinasjon av karbonpriser og subsidier for å få industrien i gang.

Tilgang på areal kan skape regionale utfordringer

– For å lage grønt hydrogen trenger du store mengder fornybar energi. Har vi nok areal til det?

– Globalt har vi nok areal for å bygge så mye fornybar energi som trengs. Men regionalt er det utfordringer. Noen områder har gode forutsetninger: Nord-Afrika, Australia, land i Sør-Amerika, til og med Norden. Andre land, som Japan hvor jeg bor, har ikke nok areal. Derfor planlegger de å importere, men det i seg selv innebærer mange utfordringer.

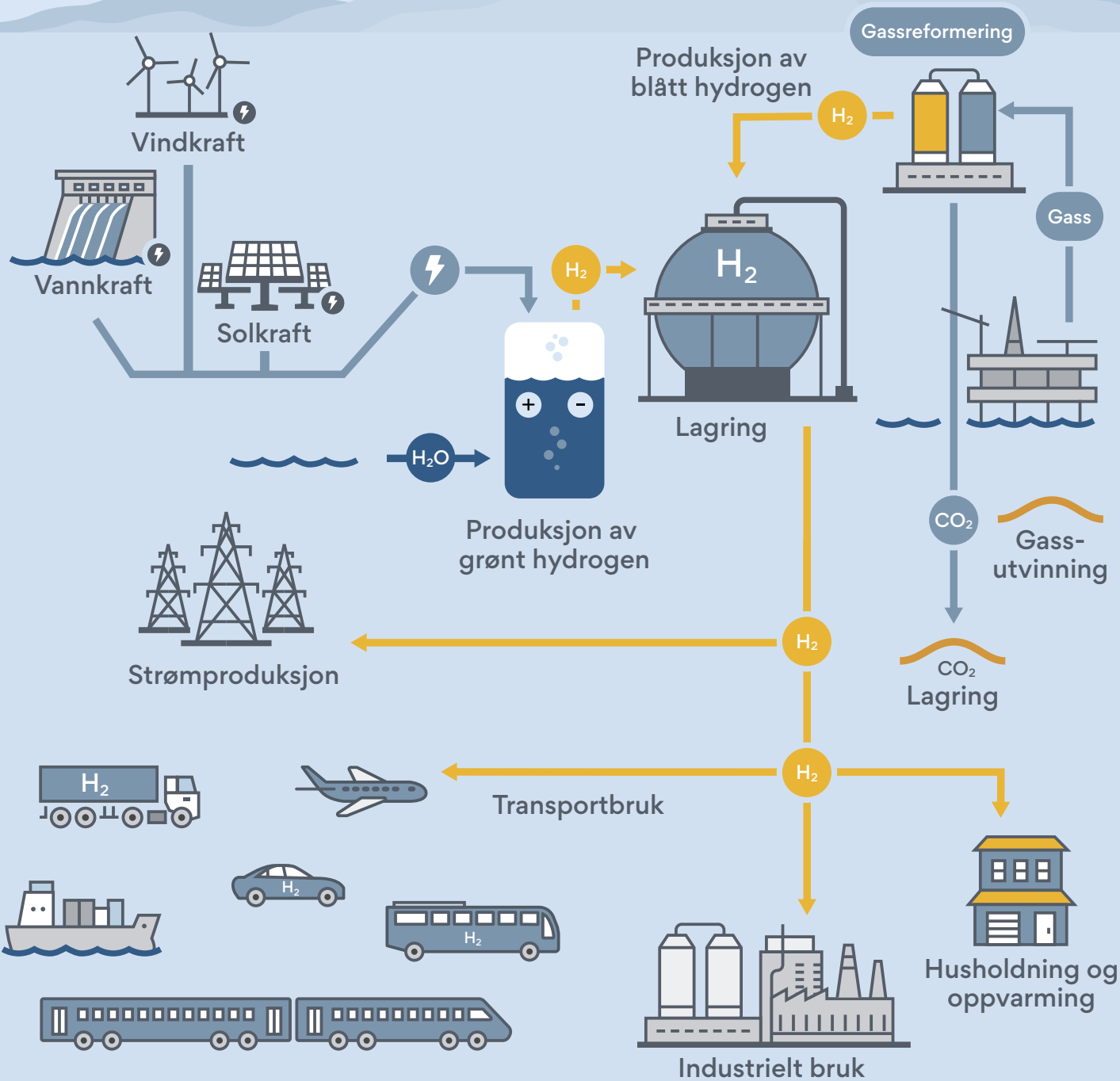
Globalt eller nasjonalt marked?

– Tror du vi vil se noen store knutepunkter som produserer og eksporterer hydrogen globalt?

– Hvis du kan produsere mye hydrogen på ett sted, vil det sannsynligvis være billigere enn tilsvarende mengde fra ti mindre anlegg. Men hvis du produserer hydrogen for et større område, må du frakte det til sluttkunden, noe som selvfølgelig vil øke kostnadene.

Holder man til like ved en rørledning som kan transportere hydrogen, kan kostnaden være veldig lav. Men foregår transporten med lastebiler, eller til og med skip til steder som Japan, kan den fort bli svært høy.

Dersom du sammenligner hydrogen med naturgass i flytende form – LNG – så trenger du mer energi for



ILLUSTRASJON: JHALAND.COM

å gjøre hydrogen flytende og mer plass for å frakte samme mengde energi. Da ser du raskt hvordan kostnadene øker.

Da tror vi det er mer fornuftig å frakte det som ammoniakk. I tillegg til å lagre mer energi per volumener, er en ekstra fordel at du kan bruke ammoniakk direkte. Du trenger ikke å konvertere det tilbake til hydrogen.

Knapphet på areal i deler av verden gjør at vi nok vil se eksport fra store knutepunkter. Men tilgjengelige transportformer vil være avgjørende for hvor store geografiske markeder man får.



Alternative transportmåter for hydrogen

I tillegg til transportmåtene Tengler nevner kan man frakte hydrogen ved hjelp av litt kjemi:

LOHC (*liquid organic hydrogen carriers*): Hydrogen bindes kjemisk til bestemte væsker, som kan transporteres i romtemperatur

Powerpaste: Hydrogen blandes med magnesium og stabilisatorer til en pasta som slipper ut igjen hydrogen når den reagerer med vann.

Slik virker en brenselcelle

Det går an å bare brenne hydrogen for å utnytte energien. Men mest effektivt er det om man bruker hydrogen til å lage strøm i en brenselcelle.

Brenselcellen består av to deler, med en membran og en elektrisk krets mellom dem. På den ene siden tilfører du brenselet, hydrogen. På den andre siden tilfører du oksygen – gjerne bare i form av luft.

– Dersom du splitter hydrogenet i ett proton og ett elektron, går protonet gjennom membranen. Elektroner tvinges inn i den elektriske kretsen og beveger seg over på andre siden gjennom den, og du får strøm, sier Federico Zenith. Han er førsteamanuensis II ved NTNU og seniorforsker på SINTEF med blant annet brenselceller som forskningsområde.

– Membranen er som regel bygget av en form for plast med små vannlommer som protonene kan bevege seg gjennom. Vi har i tillegg en katalysator på begge sider, typisk platina. Platina er dyrt, men du trenger veldig små mengder av det per celle. Katalysatoren er imidlertid viktig – spesielt på luft-siden, som er den vanskelige. Det er ganske lett å splitte hydrogen i protoner og elektroner. Å få dem sammen med oksygenet igjen er mer komplisert, sier Zenith.

For at den reaksjonen skal skje, må man ha flytende vann med protoner i, som må komme i kontakt både med strømkretsen og oksygen-gass.

– Det blir fort mye rot. Dette har man forsket på i mange tiår, og det er fortsatt en liten hodepine.

Klaffer alt, produserer brenselcellen strøm. Biproduktene fra reaksjonen er vann og spillvarme.

– Dette er snakk om lavverdivarme. Det blir ikke voldsom varmeutvikling – nok til for eksempel å drive en kupevarmer hvis brenselcellen driver en bil, for eksempel, sier Zenith.

En enkelt hydrogenbrenselcelle kan typisk levere

i underkant av 1 volt. For å få høyere spenning, og det er som regel nødvendig, kobler man flere celler sammen i serie. Slike serier kalles ofte stacks. Skalerbarheten gjør brenselceller anvendelige til mange formål:

– Alle transportmidler kan i prinsippet bruke brenselceller, sier Zenith.

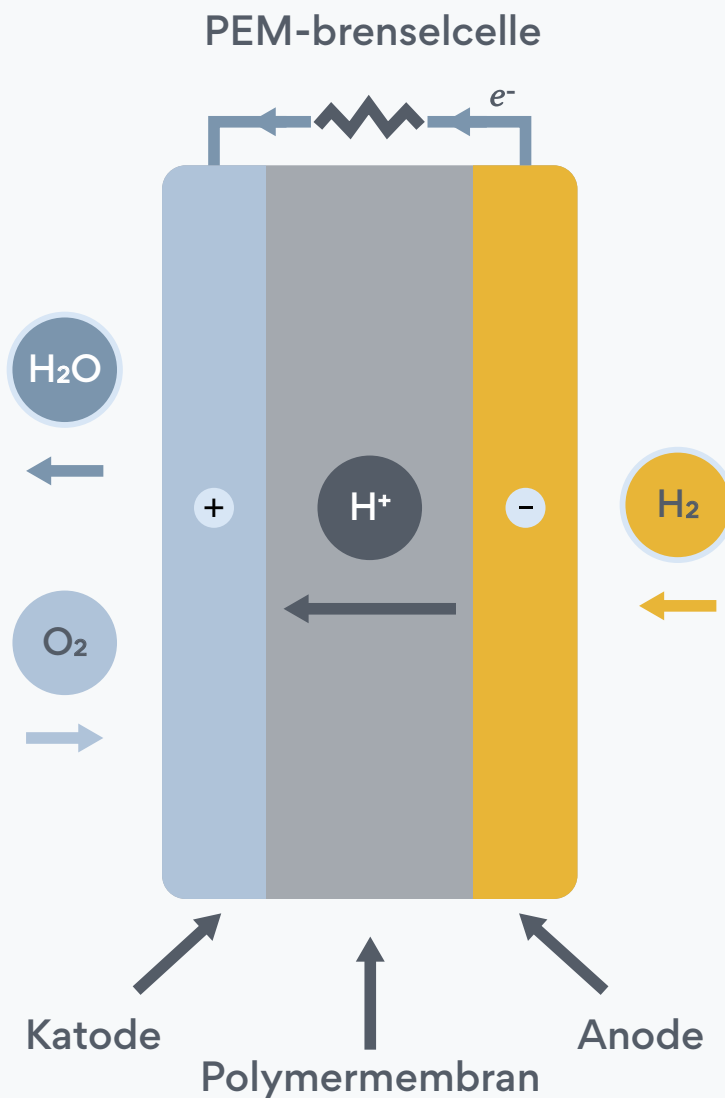
Hydrogenbrenselceller produserer strøm og kan brukes i alle kjøretøyer til å drive elmotorer. De har møtt sterk konkurranse spesielt i landtransporten på grunn av stadig bedre og billigere batteriteknologi.

FOTO: TRUCKPR
LISENS: CC-BY-NC-ND



Strøm fra hydrogen

Den mest effektive måten å utnytte energien i hydrogenmolekylet på, er å bruke det i brenselceller. I brenselcellen splittes hydrogenatomene i enkeltkomponentene sine, et proton og et elektron. Protonet passerer gjennom membranen til katoden. Elektronet går inn i den elektriske kretsen og lager strøm. På den andre siden reagerer protonet og elektronet med oksygenmolekyler, og lager vann. Strøm, vann og litt varme er de eneste produktene fra reaksjonen.



ILLUSTRASJON: JHALAND.COM



Fakta: Hydrogen i alle farger

Hydrogen produserer bare vanddamp når det forbrenner. Men siden hydrogen er en energibærer som må fremstilles, er det utslippet til fremstillingsmåten som avgjør hvor rent det er. Det er derfor du hører om grått, blått og grønt hydrogen:

- **Grønt hydrogen** er fremstilt ved elektrolyse av vann med fornybar energi som sol-, vind- eller vannkraft.
- **Grått hydrogen** produseres ved gassreforming av olje, naturgass eller kull. Sluttproduktene blir hydrogen og CO_2 , der CO_2 slippes ut til atmosfæren.
- **Blått hydrogen** er også produkt av gassreforming, men her fanges CO_2 som deretter kan transporteres og lagres.
- Det finnes også andre fargevarianter som brukes. Blant disse **turkis hydrogen**: Fossile brenslere utsettes for pyrolyse, altså de brytes ned ved høy temperatur uten tilgang til oksygen. Sluttproduktet blir hydrogen og rent karbon (*carbon black*).

Elektrolyse: Strøm + vann = hydrogen

Elektrolyse er en kjemisk reaksjon der det skjer en overføring av elektroner. Hydrogen kan lages ved vannelektrolyse: Da blir vannet delt i enkeltkomponentene hydrogen og oksygen.

Det er på sett og vis det motsatte av det som skjer i en brenselcelle. Men der reaksjonen i en brenselcelle skjer av seg selv og produserer strøm, må en elektrolysereaksjon tilføres strøm for at den skal skje. I tillegg trengs det en katalysator, forteller Velaug Myrseth Oltedal, assisterende instituttleder ved Institutt for maskin og marinfag ved Høgskulen på Vestlandet.

– For å si det litt enkelt: Det er ofte en barriere for å sette i gang en kjemisk reaksjon, katalysatorens jobb er å gjøre den barrieren lavere. Du får i gang reaksjonen litt lettere.

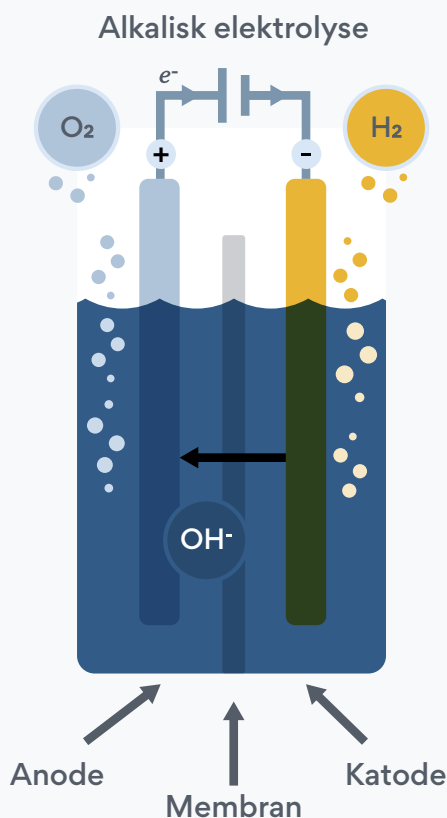
Litt avhengig av teknologien man bruker, kan

virkningsgraden – altså hvor mye energi man får i form av hydrogen delt på hvor mye energi man bruker – være på rundt 70 prosent. Resten forsvinner først og fremst i varmeutvikling.

Apparatet som brukes til elektrolysen, kalles en elektrolyseapparat. De kommer i alle størrelser, fra bokstavelig talt lommestørrelse til industrielle enheter som kan produsere flere tonn hydrogen per dag.

Det finnes flere typer elektrolyseteknologi. **Alkalisk elektrolyse** er den som har blitt utnyttet kommersielt lengst i Norge.

– Det er en prosess vi har lang erfaring med, som det er relativt lave kostnader til, sier Oltedal.

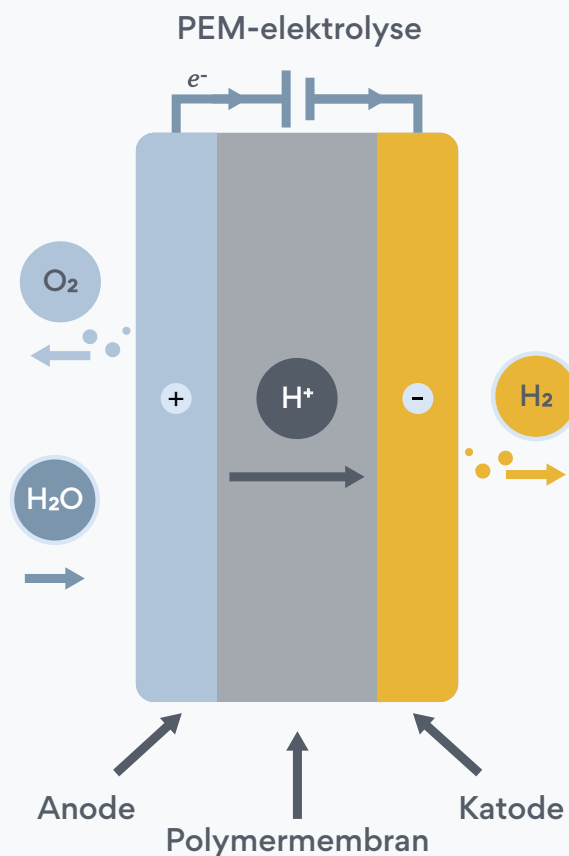


Alkalisk elektrolyse

Allerede i 1927 begynte Norsk Hydro med alkalisk elektrolyse på Notodden. Da ble hydrogenet brukt som innsatsmiddel i produksjon av kunstgjødsel. Alkaliske elektrolyseapparat er driftssikre, billige å bygge og krever lite vedlikehold.

PEM-elektrolyse

PEM kan stå for både Proton-exchange membrane og polymer electrolyte membrane, men prinsippet er det samme: Mellom katoden og anoden er det en membran som kun slipper gjennom protonene – altså den positivt ladde hydrogenkjernen. Det er voksende interesse for PEM-elektrolyse.



ILLUSTRASJON: JHALAND.COM

Som navnet antyder, foregår alkalisk elektrolyse i basisk miljø. En annen metode, som er lettere skalerbar, er **PEM-elektrolyse**. Den foregår i surt miljø, og krever dyrere og sjeldnere materialer til katalysatoren. Til gjengjeld har den høyere energieffektivitet.

– Den er modulær, altså du kan sette sammen mange små enheter til et system som leverer den mengden hydrogen du trenger. Teknologien har også kortere responstid enn alkalisk elektrolyse – du kan skru produksjonsmengden raskt opp og ned, avhengig av hvor mye energi du har tilgang til, sier Oltedal.

Også alkaliske elektrolysører kan kobles sammen til større, fleksible systemer. Men nettopp den korte responstiden gjør at PEM-elektrolyse er ideell å koble på variabel kraftproduksjon, som sol- og vindkraft.

– Når det blåser, eller solen skinner, men du ikke får omsetning for kraften, bruker du kraftoverskuddet til å lage hydrogen. Siden kan du bruke hydrogen-brenselceller til å produsere kraft når vinden eller solen svikter. Det kan også brukes til balansering av kraftnettet, sier Oltedal.



Det forskes også på andre typer elektrolyse til hydrogenproduksjon. For eksempel SOEC eller *fastoksidelektrolyse*. I den er membranen fremstilt av keramiske materialer og prosessen kan ha høyere energieffektivitet enn de to mer utbredte variantene. Til gjengjeld krever den svært høy temperatur (600–900 °C) for å fungere.

Gassreforming: Hydrogen fra metan

Hydrogen kan også produseres fra naturgass. Da får man gassen til å reagere med vanndamp, oksygen eller en blanding av disse ved høy temperatur.

Et biprodukt av prosessen er CO₂. Men den må uansett fanges, for at hydrogengassen skal være brukbar, forklarer Hilde Johnsen Venvik, professor ved Institutt for kjemisk prosesssteknologi ved NTNU.

– I dag slippes den gjerne ut – da kaller man hydrogenet som skapes for grått hydrogen. Hvis man derimot sørger for at den ikke slippes ut til atmosfæren, men lagrer den et trygt sted, får vi blått hydrogen – som i prinsippet er utslippsfri, sier hun.

Gassreforming foregår ved 700–1000 °C og høyt trykk og er ikke ufarlig. CO er brennbar og giftig, og hydrogen er eksplosivt. Men det er håndterbart, forsikrer Venvik.

En utfordring ved å gjøre prosessen utslippsfri, er at man ofte bruker opptil 30–40 prosent av metanet til brensel for å varme prosessen. Det gir CO₂

som også må fanges hvis man skal kalle sluttproduktet blått hydrogen. Det er imidlertid også prosesser under utvikling som bruker elektrisk fyring.

– Det krever selvsagt at el-kraften er helt fornybar. Bruker du strøm fra kullkraft, blir det fullstendig meningsløst.

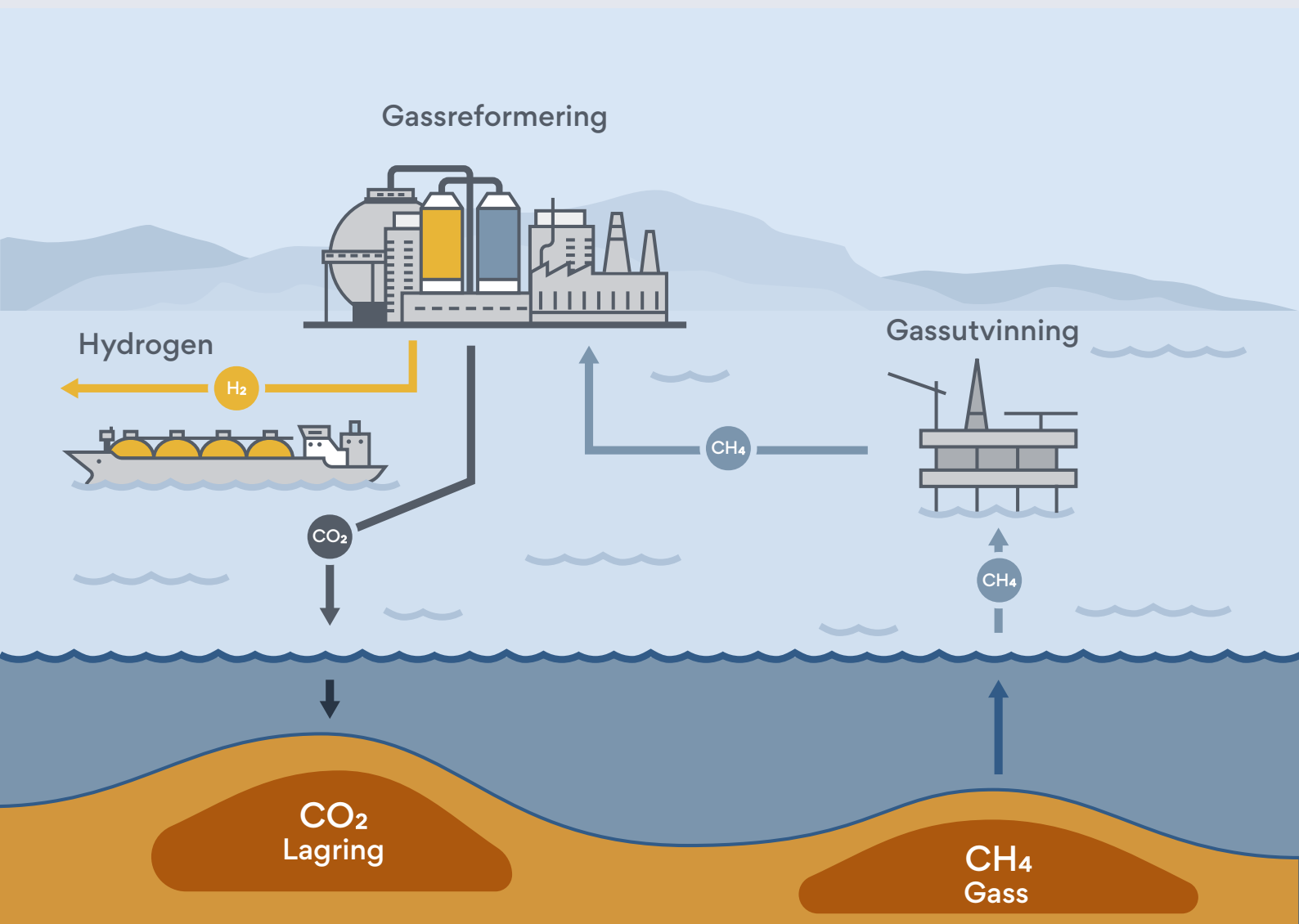
Den største fordelen med gassreforming er skalering. Tommelfingerregelen for elektrolyse er at om du dobler kapasiteten, må du også doble kostnadene. Med gassreforming øker kostnadene med en faktor på 1,7 om kapasiteten dobles.

– En fordel med elektrolyseproduktet er at det er ekstremt rent. Men hydrogen fra reformering er generelt rent nok til energibruk. Det er først og fremst når du skal bruke det til helt spesielle formål at renheten er et strengt krav, sier Venvik.



Trollfeltet er det største gassfunnet på norsk sokkel noensinne. Blått hydrogen kan bli en måte å utnytte ressursene på feltet når markedet for naturgass tørker inn.

FOTO: ØYVIND
KNOPH ASKELAND,
NORSK OLJE OG
GASS
LISENS: CC-BY-SA



ILLUSTRASJON JHALAND.COM

Hydrogen fra naturgass med CO₂-fangst og -lagring

Naturgass er en blanding av hydrokarboner, altså stoffer som består av grunnstoffene karbon og hydrogen. Det enkleste hydrokarbonet er metan (CH₄), og det er dette stoffet det er mest av i naturgass.

I naturgassreforming bruker man fortrinnsvis metanet fra naturgass til å lage hydrogen. Gassreforming gir et produkt som består av CO – altså karbonmonoksid, hydrogen, noe CO₂ og en del vann. Dette foregår i en reaktor med en katalysator som består av nikkel på 700–1000 grader. Man kan også gjennom flere påfølgende trinn få CO til å reagere med dampen igjen. Da blir

det mer av både hydrogen og CO₂. Til slutt sitter du igjen med hydrogen, CO₂ og resten av vanddampen.

Frem til nå har det vært normalt å slippe CO₂ fra prosessen rett ut i atmosfæren. Det er dette som kalles grått hydrogen. Men siden CO₂ allerede er fanget i prosessen, kan den derfor fraktes til et egnet sted og lagres permanent. Da kan hele produksjonen i teorien bli utslippsfri, og vi får blått hydrogen.

Fordeler med hydrogen

+ Utslippsfritt i bruk

For å utnytte energien fra hydrogen, trenger den bare reagere med oksygen – og eneste utslipp er vann. Også produksjonen *kan* være utslippsfri.

+ Brenselceller er mer effektive enn forbrenningsmotorer

Den faktiske virkningsgraden i en brenselcelle er rundt regnet 54 prosent. Langt bedre enn en forbrenningsmotor, som har maksimal virkningsgrad på 35 prosent.

+ Det beste valget til lange distanser

Her er en tommelfingerregel: Kjøretøy flest på batteri, kilometer flest på hydrogen. – Batterier er tunge, og du trenger større og tyngre batterier jo lengre distansen blir, sier Federico Zenith ved NTNU og SINTEF

+ Høy energitetthet

Hydrogen har høy energitetthet målt i vekt: 120 MJ/kg. Det er den høyeste energitettheten per vektenhet av noen brenslere. Med god margin.

+ Billig å lagre

Å lagre hydrogen i dag koster om lag 12 dollar per kWh. – Batteriteknologien er i en rivende utvikling, men lagringskostnaden vil aldri komme i nærheten av det. Det er vanskelig nok å kripe under 100 dollar per kWh – og der er det fysikkens lover som setter grensene, sier Federico Zenith.

Ulemper med hydrogen

- Produksjonen skaper utslipp i dag**

Ifølge Det internasjonale energibyrået IEA var under 1 prosent av hydrogenproduksjonen i 2019 grønn. Fortsatt er produksjonsmetoder som gir utslipp vesentlig billigere.
- Du får bedre virkningsgrad med batteri-elektrisk**

Hvis energilagring ikke er noe problem, er batteridrift alltid mest effektivt: Det kan gi alt fra 80–95 prosent virkningsgrad,
- Lav energitetthet**

Hydrogen har mye høyere energitetthet per vektenhet enn konkurransen, men vesentlig lavere energitetthet per volumenheter. Å kjøle det ned til det blir flytende hjelper. Ammoniakk har noe høyere energitetthet per volumenheter (men vesentlig lavere per vektenhet).
- Grønt hydrogen krever mye strøm**

Skal hydrogen produseres ved elektrolyse, kreves det strøm. Det trengs også til alt det andre som skal elektrifiseres. Dermed må det bygges ut mer fornybar energi for å få nok hydrogen, som krever mer areal. Og areal er et knapphetsgode.
- Dyrt å satse = komplisert utrulling**

Selv om fordelene på mange områder mer enn kompenseres for ulempene ved hydrogen, er det vanskelig å få snøballen til å rulle. Professor Hilde Johnsen Venvik ved NTNU mener det i stor grad er en høne-og-egg-problematikk.

 - Du får ikke etablert et marked uten at teknologien og produksjonen er på plass, og uten markedet får du ikke utviklet teknologien eller produksjonen, sier hun.

CO₂-fangst og -lagring

Skal blått hydrogen lykkes, og telles som utslippsfritt, må CO₂-fangstgraden opp i borti-mot 100 prosent. Det kan vi få til, forsikrer Mona Mølnvik, direktør for FME Norwegian CCS Research Centre og forskningssjef i Sintef Energi.

- Med de mest effektive prosessene er det mulig å komme opp mot 98–100 % fangstgrad, sier hun.

Mølnvik forteller at behovet for blått hydrogen kan ha blitt systematisk undervurdert: Mange modeller har krevd 100 prosent fangstgrad fra karbonfangst for at modellen skal velge blått hydrogen i konkurranse med grønt. Siden det hittil sjelden har vært mulig, har de samme modellene regnet inn uforholdsmessig små andeler av hydrogen med karbonfangst og -lagring.

- Dermed har ikke energimodellelene tatt høyde for større andeler av CCS som en del av løsningen, og det har vært en svakhet. Men nå har vi teknologi som kommer høyere i fangstgrad enn de gamle modellene har lagt til grunn, både for hydrogenproduksjon og andre utslippskilder, sier hun.

Les hele intervjuet med Mona Mølnvik:

<https://energiogklima.no/eksper-tintervjuet-vi-ma-ha-alt-og-vi-ma-ha-det-fort/>

Grønt hydrogen kan øke raskt

Snaut 500 megawatt elektrolysekapasitet blir installert i 2021. Men nå renner også gigawatt-prosjektene inn. Grønt hydrogen kan være i ferd med å bli stort, og utviklingen kan gå raskt.

I en rapport skrevet på oppdrag fra Hydrogen Council anslår McKinsey at over 228 storskala hydrogenprosjekter var på et eller annet stadium i planleggingsfasen i januar 2021. Selv om de bare teller prosjekter som har elektrolysekapasitet på over 1 MW, blir totalsummen over 60 GW. Rundt 26 GW av disse kan være operative innen 2030, resten en eller annen gang i løpet av 2030–2040.

EU og Australia leder

EU har flest prosjekter på gang, og har også et mål om 40 GW kapasitet og 10 millioner tonn produksjon av grønt hydrogen innen 2030.

Det foreløpig største prosjektet i EU-området er NorthH2-prosjektet på 10 GW i Emshaven i Nederland, der også Equinor er involvert. Australia har flest store prosjekter, med Asian Renewable Energy Hub på 14 GW som det største.

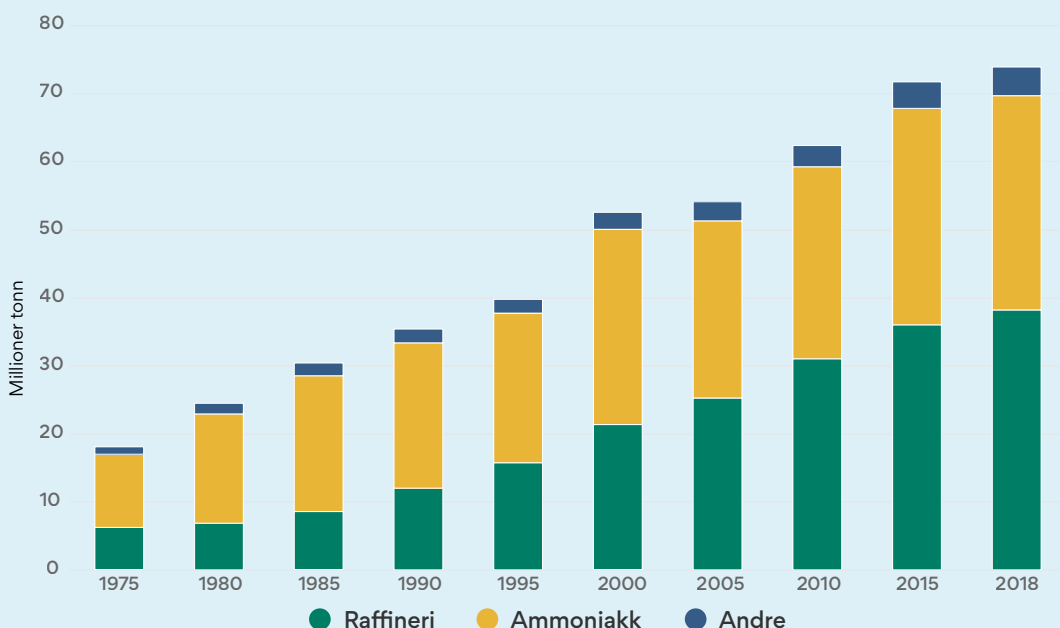
Saudi-Arabia seiler også opp som en viktig aktør. Her er det Helios Green Fuels-prosjektet på 4 GW i den planlagte, billøse byen Neom ved Rødehavet som er flaggskipet.

Kina har Asias største prosjekt foreløpig, men både Japan og Sør-Korea har vedtatt strategiske veikart for hydrogen.

Chile ser foreløpig ut til å lede i Sør- og Mellom-Amerika, der blant annet Aker Horizons nye datterselskap Aker Clean Hydrogen har prosjekter. Chile har satt seg mål om bli blant verdens tre største eksportører av grønt hydrogen. Også Colombia, Mexico og Uruguay har planer.

I Afrika har Marokko inngått en strategisk avtale med Tyskland om leveranser av grønt hydrogen fra lokal solkraft i fremtiden. Sør-Afrika har også vedtatt en hydrogenstrategi.

Global etterspørsel etter hydrogen, 1975–2018



KILDE
DET INTERNASJONALE ENERGIByRÅET (IEA)



Mange grønne gigawatt-prosjekter på gang

Verdens største grønt hydrogen-anlegg per mars 2021 ligger i Canada og er på 20 MW. Men det er prosjekter i gigawatt-skala på gang mange steder, og den geografiske spredningen er stor. På kartet over vises noen av de aller største som har byggestart i løpet av 2020-tallet. Merkelappene viser elektrolyser-kapasitet i GW (også representert ved høyden på stolpene) og antatt årlig produksjon av hydrogen.

Den globale etterspørselen etter rent hydrogen utgjør i dag rundt 70 millioner tonn per år – en tredobling fra 1975, viser tall fra Det Internasjonale Energibyrået. Mesteparten av dette går til oljeraffineriprosesser og produksjon av ammoniakk til kunstgjødsel. Og så å si all produksjon er grått eller brunt hydrogen.

Etter IEAs Sustainable Development Scenario (SDS) vil det være behov for 7,9 millioner tonn grønt hydrogen i 2030. Selv med alle prosjektene som er annonsert hittil er det foreløpig langt fra nok til å nå dette målet. Og som vi skal se senere, må det hundredobles innen 2050 skal klimamålene nås.

På den ene siden kan man påpeke at de fleste større prosjektene nevnt ovenfor ble annonsert bare i løpet av 2020. Men det kan også hende, som McKinsey-rapporten for Hydrogen Council fremholder, at blått hydrogen kan bli konkurransedyktig med grått hydrogen allerede ved slutten av 2020-tallet, gitt at man får skalert opp transport- og lagringsleddene.

Hydrogen Council argumenterer derfor for at blått og turkis hydrogen – «low-carbon hydrogen» som de kaller det – må være en del av den nye hydrogenøkonomien.

Får vi solgt norsk blått hydrogen?

Norge dekker 22 prosent av EUs naturgassmarked. EU planlegger å fase ut naturgassen og fase inn egenprodusert hydrogen.

EU prioriterer i sin hydrogenstrategi egenproduksjon av grønt hydrogen. De åpner samtidig for bruk av blått hydrogen på kort og mellomlang sikt.

Professor Anne Neumann ved NTNU mener EU neppe vil avvise norsk blått hydrogen dersom etterspørselen overstiger egen kapasitet.

– Med riktig timing, kan Norge kapre markedsandeler med relativt billig blått hydrogen. Hvis Norge lykkes med å skalere opp og etterspørselen øker i EU – hvorfor skal EU-land da holde seg for gode for å kjøpe dette blå hydrogenet?

Mona Mølnvik, forskningssjef ved SINTEF Energi og direktør for forskningssenteret NCCS, mener imidlertid det er viktig for Norge med en viss ydmykhet i møte med markedene:

– Fra et europeisk perspektiv kan vi ikke ta utgangspunkt i at de er mer interessert i å kjøpe

hydrogen fra Norge enn fra andre. Det vil handle om pris, forsyningssikkert, og utslipp. Vi må forstå hvordan vi kan bygge opp en hydrogeneksport fra Norge som er attraktiv for kjøpere i Europa, sier hun.

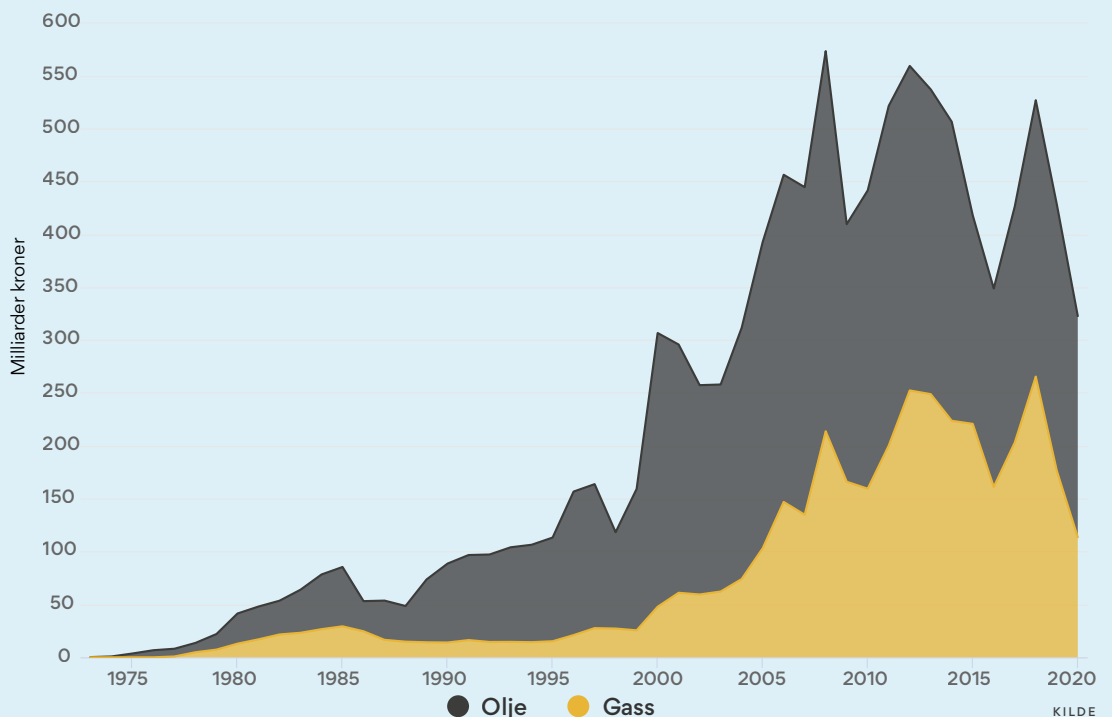
Neumann advarer på sin side mot å satse alt på ett kort, og mener vi også må være forberedt på at det ikke vil være noe marked verken for norsk naturgass eller blått hydrogen.

– Det beste alternativet er egentlig bare å være mer åpne om alt dette: Hvordan kan vi utvikle ny industri som kan ta over for petroleumsvirksomheten vår? Slik at vi ikke trenger å være så avhengige av akkurat den bransjen? Sånt oppleves jo gjerne litt blasfemisk å snakke om i Norge. Men å ikke snakke om det er rett og slett feigt. Forståelig, men feigt.

Storindustri på hell: Norsk eksport av olje og gass etter verdi

Verdien av gass-eksporten har økt kraftig de siste 20 årene, og Norge er i dag verdens tredje største gasseksportør. Det aller meste av norsk gass eksport går til EU.

Globale prognoser for fremtidig gassforbruk peker oppover på kort sikt, men veksten vil finne sted i Asia og Afrika sør for Sahara. I EU peker pilene nedover.



Ekspertintervjuet: Hva kan hydrogen gjøre for oss?

Avvenningen fra fossil energi er tøff. Hydrogen kan i mange tilfeller være rett medisin, ifølge professor og direktør for NTNU Energi, Johan Hustad.

– Hva er det med hydrogen som gjør det så viktig for den grønne omstillingen?

– Når du anvender hydrogen, får du bare utslipp av vann. Produksjonen kan i prinsippet gjøres helt uten utslipp av klimagasser – det gjelder både grønt og blått hydrogen.

– Interessen for hydrogen har jo gått i bølger, men det har liksom aldri blitt noe av. Hvorfor skal det være annerledes denne gangen?

– Først og fremst fordi vi har en større forståelse for alvoret i klimasituasjonen enn vi noen gang har hatt før. Klimamålene har fått større betydning etter Paris-avtalen. I tillegg vet vi mer om hvilke alternativer som passer best i de ulike sektorene, og vi ser at hydrogen vil måtte spille en viktig rolle i mange av dem.

– Hva er utfordringene?

– Det er flere. For eksempel knyttet til distribusjon: En utfordring har med tettheten til hydrogen å gjøre – den er lavere i forhold til naturgass. En annen er hvor høyt trykk du kan transportere gassen med gjennom rørsystemene. Sprøhet og lekkasjer er utfordringer her som det forskes på.

På mange områder mangler vi også et skikkelig distribusjonssystem. Vi har nesten 100 000 langtransportskip på havet hver dag. Skal de bytte til hydrogen, må vi ha både systemer for fremdrift og fungerende distribusjons- og lagersystem.

– Hva med produksjonen?

– Der er skala den største utfordringen. Norge forsyner i dag Europa med nærmere 22 prosent av deres naturgassforbruk. Skal vi bytte dette over til hydrogen, er det snakk om veldig store mengder.

Her har Norge en fordel med tanke på produksjon av blått hydrogen. Det kan skaleres opp raskere enn elektrolyse. Utfordringen er at for at det skal lønne seg, må det være et marked nedstrøms.

Elektrolyse er i utgangspunktet småskalteknologi som må skaleres opp gradvis. Fordelen med grønt hydrogen er at du kan begynne med lokal produksjon og anvendelse, knyttet til en fabrikk eller trafikknutepunkt.

– Hva trenger vi for å lykkes med å etablere en hydrogenøkonomi her i landet?

– Strenge miljøkrav, og insentiver for å oppfylle dem. Det er ikke nok å bare sette krav. Og det er ikke nok å bare pøse ut med insentiv. Det er kombinasjonen som gir resultater.

– EU heier frem eget grønt hydrogen. Foreløpig er det blått hydrogen som kan se ut som har størst potensial til å bli storindustri i Norge. Vil vi få solgt hydrogenet vårt?

– Den overordnede strategien i EU er jo å bli selvforsynt med energi. Samtidig: Ser man på mengdene det er snakk om her, ser man fort at dette ikke lar seg gjøre uten blått hydrogen. Det skal et veldig stort antall elektrolysører til for å erstatte europeisk import av norsk naturgass.

Hydrogen må til for å nå klimamålene

Hydrogen er «the last mile to reach net zero», skriver Goldman Sachs. Det store spørsmålet er hva som kreves for å fullføre den mila.

Ved inngangen av 2021 har stater som står for mer enn 65 prosent av verdens CO₂-utslipp forpliktet seg til netto nullutslipp rundt 2050. Da er ikke USA, som mange forventer vil gjøre det samme i løpet av 2021, inkludert. Å sette mål om netto null er også en voksende trend i næringslivet.

I takt med økte klimaambisjoner i politikk og næringsliv har vi også sett en økning i interessen for både grønt og blått hydrogen. Både for å erstatte grått hydrogen som dominerer markedet i dag, og som klimaløsning i sektorer som er særlig krevende å avkarbonisere – som tungindustri og langdistansetransport.

Analyser fra både Wood Mackenzie, BNEF og McKinsey forutsetter at grønt hydrogen vil dominere fremover, selv om spesielt McKinsey og

Wood Mackenzie ser for seg mindre roller også for blått hydrogen. Det er betydelig flere grønne enn blå hydrogenprosjekter underveis.

Grønt hydrogen: Et spørsmål om kostnad

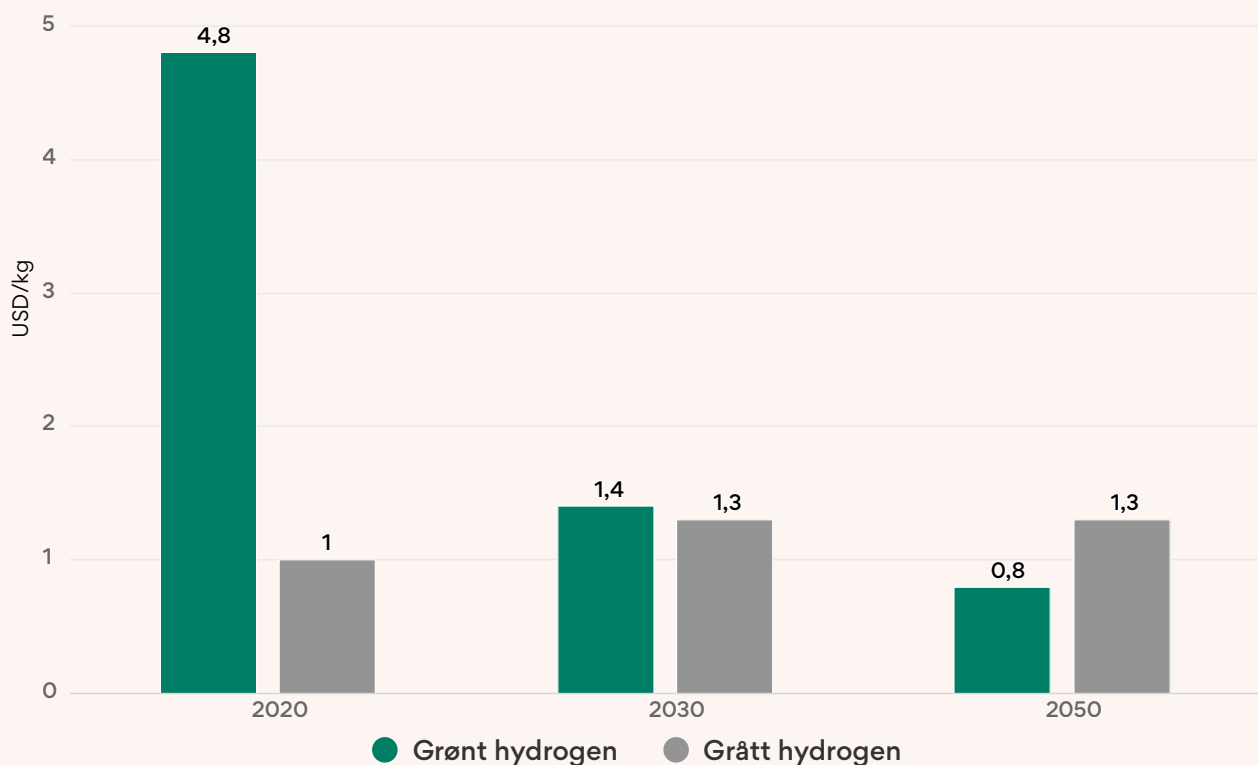
Grønt hydrogen må bli billigere å produsere for at det skal være konkurransedyktig. Kostnadene ved hydrogenproduksjon fra gass eller kull var i 2019 en tredel av kostnadene til utslippsfritt hydrogen.

Det er likevel positive tegn, skriver Bloomberg New Energy Finance (BNEF). De viser til at kostnadene for alkaliske elektrolysører laget i Nord-Amerika og Europa falt med 40 prosent fra 2014–2019. Kinesiske system er enda billigere.

Gitt at produksjonen av elektrolysører skaleres

Grønt hydrogen er dyrt, men kostnadene ventes å falle

Bloomberg New Energy Finance tror grønt hydrogen vil bli konkurransedyktig med grått i løpet av neste tiår.





Bruk av hydrogen for å avkarbonisere tungindustri, slik det er foreslått ved TiZir Titanium & Iron sitt smelteverk i Tyssedal, kan gi et gjennombrudd for hydrogenøkonomien. Men det vil kreve mye energi.

FOTO: TIZIR TYSSDAL

opp, og kostnadene fortsetter å falle, tror BNEF at grønt hydrogen i enkelte markeder kan bli konkurransedyktig med fossilbasert hydrogen allerede rundt 2030. De laveste kostnadene vil man se i storskala lokale verdikjeder – i områder med rikelig tilgang på fornybar kraft, ifølge BNEF.

Økt hydrogenproduksjon krever enorme mengder strøm

Selv scenarier med relativt beskjedent innslag av hydrogen i fremtidens energimiks krever en voldsom økning i produksjonskapasiteten. BNEFs mest ambisiøse klimascenario krever for eksempel produksjon av 800 megatonn grønt hydrogen årlig. Det vil igjen kreve 36 000 TWh strøm, som igjen tilsvarer opptil 14 TW kapasitet ren fornybar energi, avhengig av kapasitetsfaktor for de ulike kildene. Til sammenlikning er 36 000 TWh grovt regnet 12 ganger brutto årlig strømproduksjon i hele EU.

Skulle man brukt ren kjernekraft, kunne man klart seg med 4 TW. Det er imidlertid dyrt, tidkrevende og politisk ikke realistisk. Fornybare kilder er billigere og på alle måter enklere. En utbygging i slike dimensjoner krever imidlertid enormt med areal, som i store deler av verden er mangelvare.

Etterspørselen må vokse raskt

Skal vi holde den globale oppvarmingen under to grader, bør etterspørselen øke med minst 100 millioner tonn hvert femte år fra 2030–2050, ifølge Bloomberg NEF.

Flere land har utviklet egne hydrogen-strategier, noen av dem med konkrete mål for utbygging. Dette har vært en viktig driver bak de mange grønne hydrogenprosjektene som er annonsert. Politikk ser altså ut til å fungere med tanke på å stimulere tilbudssiden, sier Woodmac, som samtidig på peker at det gjenstår en del arbeid på etterspørselssiden.

En forutsetning for en kostnadsutvikling for grønt hydrogen ned mot 1–2 dollar/kg, som er det man må se for at grønt hydrogen skal bli konkurransedyktig, er at man får til en rask og ressurskrevende oppskalering av teknologien. To tiltak er nødvendig: En politikk som stimulerer etterspørselen etter grønt hydrogen og CO₂-prising.

I regnestykkene til BNEF vil selv en kostnad for

grønt hydrogen på 1 USD/kg være avhengig av en eller annen form for CO₂-prising for å kunne konkurrere mot hydrogen produsert ved hjelp av gass eller kull.

Hvor stort markedet for hydrogen vil bli er langt på vei et politisk spørsmål. Med en nølende politikk vil markedet frem mot 2050 øke fra dagens 70 millioner tonn hydrogen til 187 millioner tonn i 2050, eller sju prosent av energiforbruket.

Men dersom vi ser en sterk politikk får vi et helt annet bilde: da kan etterspørselen nærme seg 800 millioner tonn hydrogen per år. Det svarer til 24 prosent av energiforbruket i et 1,5-gradersscenario, skriver BNEF.

Utvalgte land med vedtatte eller annonserte hydrogenstrategier (og EU)

Har vedtatt hydrogenstrategier/veikart med fastsatte produksjonsmål*



Frankrike



EU



Tyskland



Nederland



Portugal



Spania



Belgia

Har vedtatt hydrogenstrategier/veikart *uten* fastsatte produksjonsmål



Australia



New Zealand



Japan



Sør-Korea



Finland



Norge

Har annonsert/det ventes hydrogenstrategier/veikart



Kina



Canada



Irland



Italia



Russland



Chile



Colombia

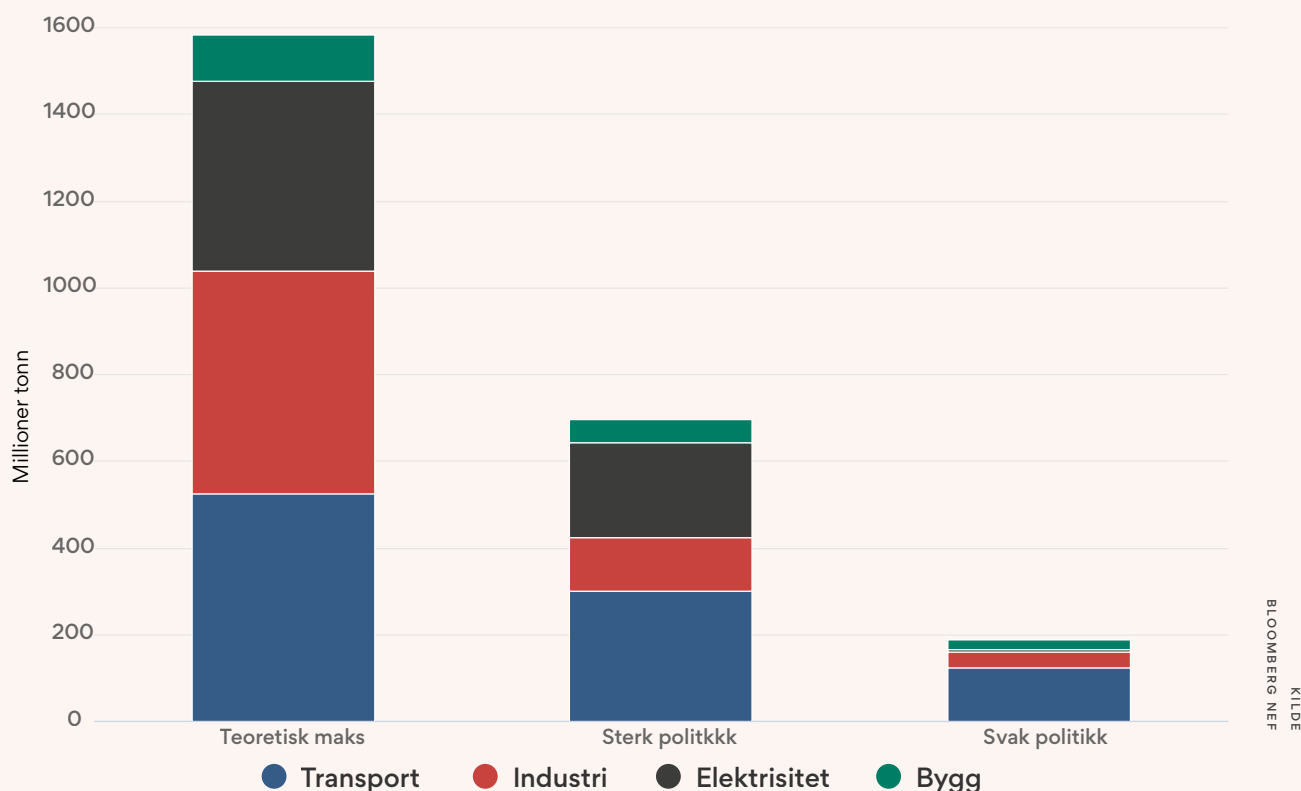


Østerrike

*Merk at eksempelvis også Storbritannia har annonsert produksjonsmål, men uten at de samtidig har vedtatt noen strategi eller veikart.

Politisk satsing kan gi store ringvirkninger

Ifølge Bloomberg NEFs analyser kan styrken og innretningen på hydrogenpolitikken fremover være avgjørende for rollen hydrogen vil spille i fremtiden.



Nå gjelder det, når smeller det?

Bloomberg NEF har identifisert syv tegn investorer bør se etter for å vite når oppskaleringen av hydrogenøkonomien er for alvor i gang.

De kan også leses omvendt, som en ønskeliste over politikk som kan utløse investeringer:

1. Flere land vedtar netto-null-mål i lovs form – noe som vil kreve avkarbonisering også i de «vanskelige» sektorene.
2. Harmonisering av hydrogenstandarder og fjerning av regulative barrierer.
3. Konkrete målsetninger for produksjon og bruk, med investeringsmekanismer – så produsenter får inntekter, og utstyrsfabrikanter tør å investere i teknologiskiftet.
4. Strengere utslippskrav til tungtransport – og andre insentiver som stimulerer transportsektoren til å bytte til hydrogen og ammoniakk.
5. Regler og markeder for lavutslippsprodukter bygges – slik at produsenter av dagens forurensende produkter får insentiver til å bytte til hydrogen.
6. Avkarboniseringspolitikk og relevante virkemidler for tungindustri innføres.
7. Utstyr til transport, produksjon og bruk av hydrogen blir hyllevare.

Kilder

EKSTERNE ARTIKLER OG RAPPORTER:

BloombergNEF (2020): Hydrogen Economy Outlook - Key messages. Bloomberg Finance L.P., New York

BloombergNEF (2020): New Energy Outlook 2020 - Executive Summary. Bloomberg Finance L.P., New York

Hydrogen Council/McKinsey&Company (2021): Hydrogen Insights - A perspective on hydrogen investment, market development and cost competitiveness. Hydrogen Council, Brussel.

IEA (2019): The Future of Hydrogen, Seizing Today's Opportunities. IEA, Paris.

IEA (2020): Energy Technology Perspectives 2020. IEA, Paris.

IEA (2020): World Energy Investment 2020, IEA. Paris.

IPCC (2018): Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. In Press.

IRENA (2019): Hydrogen: A renewable energy perspective. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

Horne, H& Hole, J. (2019): Hydrogen i det moderne energisystemet. *Teknologianalyser* nr. 12/2019, NVE, Oslo.

IRENA (2020): Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

IRENA (2021), World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

NVE (2019): https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2019/faktaark2019_12.pdf

Reigstad, G. A., Coussy, P., Straus, J., Bordin, C., Jaehnert, S., Størset, S. Ø., & Ruff, B. (2019): Hydrogen for Europe-Final report of the pre-study. *SINTEF Rapport*.

Sapountzi, F.M., Gracia, J., Weststrate, C., Fredriksson, H. & Niemantsverdriet, H. (2017): Electrocatalysts for the generation of hydrogen, oxygen and synthesis gas. *Progress in Energy and Combustion Science*. 58. 1-35. DOI: 10.1016/j.pecs.2016.09.001

Sloop, J. L. 1978: Liquid hydrogen as a propulsion fuel, 1945-1959 (Vol. 4404). *Scientific and Technical Information Office*, National Aeronautics and Space Administration.

OFFENTLIGE DOKUMENTER:

Europakommisjonen (2020): A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. Europakommisjonen, Brussel.

Olje- og energidepartementet og Klima- og miljødepartementet, 2020: Regjeringens hydrogenstrategi - på vei mot lavutslippssamfunnet. Lastet ned 24.02.2021 fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/40026db2148e41eda8e3792d259efb6b/y-0127b.pdf>

NETTSIDER:

Baumann, Bauke (2021): «Green hydrogen from Morocco – no magic bullet for Europe's climate neutrality» Besøkt 19.03.2021. URL: <https://eu.boell.org/en/2021/02/09/green-hydrogen-morocco-no-magic-bullet-europes-climate-neutrality>

Evans, Simon & Gabbatiss, Josh/CarbonBrief (2020): «In-depth Q&A: Does the world need hydrogen to solve climate change?». Besøkt 19.03.2021. URL: <https://www.carbonbrief.org/in-depth-qa-does-the-world-need-hydrogen-to-solve-climate-change>.

Guterres, António (2020): «Carbon Neutrality by 2050: the World's Most Urgent Mission». Besøkt 19.03.2021. URL: <https://www.un.org/sg/en/content/sg/articles/2020-12-11/carbon-neutrality-2050-the-world%E2%80%99s-most-urgent-mission>

Collins, Leigh/ReCharge (2020): «Gigawatt-scale: the world's 13 largest green-hydrogen projects». Besøkt 19.03.2021. URL: <https://www.rechargenews.com/energy-transition/gigawatt-scale-the-worlds-13-largest-green-hydrogen-projects/2-1-933755>

Seehusen, Joachim/Teknisk Ukeblad (2020): «Nå skyter hydrogen fart: Fremtidens kull er vann». Besøkt 19.03.2021. URL: <https://www.tu.no/artikler/na-skyter-hydrogen-fart-fremtidens-kull-er-vann/503302>

Thomas, Nathalie, Sheppard, David & Hume, Neil/Financial Times (2021): «The race to scale up green hydrogen». Besøkt 19.03.2021. URL: <https://www.ft.com/content/7eac54ee-f1d1-4ebc-9573-b52f87d00240>

Ramskov, Jens/ING/ (2020): «Danske forskere i Science: Fastoxid-elektrolyse kan vinde teknologikampen om power-to-x». Besøkt 19.03.2021. URL: <https://ing.dk/artikel/danske-forskere-science-fastoxid-elektrolyse-kan-vinde-teknologikampen-power-to-x-239255>

Olje og energidepartementet/Oljedirektoratet (2021): «Eksport av olje og gass.» Besøkt 19.03.2021. URL: <https://www.norskpetroleum.no/produksjon-og-eksport/eksport-av-olje-og-gass/>

Faris, Jay/H2Bulletin (2020): «Which countries are backing the hydrogen economy?» Besøkt 19.03.2021. URL: <https://www.h2bulletin.com/countries-hydrogen-economy-goals-policies/>

INTERVJUER PÅ TOGRADER.NO:

Ursin, Lars: Ekspertintervjuet: – Slutt å nøle med hydrogensatsingen! (Nils Røkke). Publisert 11.05.2020 på www.tograder.no/ekspertintervju/ekspertintervjuet-slutt-a-nole-med-hydrogensatsingen/

Hirth, Martin Larsen: Ekspertintervjuet: – Hvis vi mener alvor med netto null, kommer vi ikke utenom hydrogen. (Martin Tengler). Publisert 22.03.2021 på <https://energiogklima.no/?p=61291>

Ursin, Lars: Ekspertintervjuet: Hva kan hydrogen gjøre for oss? (Johan Hustad). Publisert 23.03.2021 på <https://energiogklima.no/?p=63129>
Ursin, Lars: Ekspertintervjuet:

Ursin, Lars: Ekspertintervjuet: Slik virker en brenselcelle (Federico Zenith). Publisert 29.03.2021 på <https://energiogklima.no/?p=63108>

Ursin, Lars: Ekspertintervjuet: – Vi må ha alt, og vi må ha det fort (Mona Mølnvik). Publisert 06.04.2021 på <https://energiogklima.no/?p=63116>

Ursin, Lars: Ekspertintervjuet: Strøm + vann = hydrogen (Velaug Myrseth Oltedal). Publisert 07.04.2021 på <https://energiogklima.no/?p=63110>

Ursin, Lars: Ekspertintervjuet: Ekspertintervjuet: Snart skal også gassen fases ut (Anne Neumann). Publisert 12.04.2021 på <https://energiogklima.no/?p=63131>

Ursin, Lars: Ekspertintervjuet: Slik lages hydrogen fra naturgass (Hilde Johnsen Venvik). Publisert 19.04.2021 på <https://energiogklima.no/?p=63113>

Vi støtter
klimaformidlingsprosjektet

<2°C

ENOVA

 fortum


pwc

 Statkraft

KLIMAVITENSKAP
OG ENERGIOMSTILLING

<2°C

Togradersprosjektet formidler kunnskap om klimaproblem og -løsninger.

Prosjektet er et samarbeid mellom Norsk klimastiftelse,
Bjerknessenteret for klimaforskning, NHH, NTNU,
Universitetet i Bergen og Universitetet i Stavanger.

