

Markedsvurdering

Danmarks muligheder i en fremtidig brintøkonomi

Marts 2023



Forord

Med denne markedsvurdering ønsker CIP Fonden at vise, hvordan Danmark kan bidrage til den grønne omstilling af Europa ved at tage del i det voksende marked for grøn brint.

Grøn energi er en mangelvare, og Danmark har en enestående mulighed for mærkbart at bidrage til energiuafhængigheden for og omstillingen af vores nærmeste naboer.

Det viser CIP Fondens markedsvurdering, som anslår hvor stort Danmarks potentiale er, og hvilken værdi en indfrielse af potentialet kan have for dansk eksport.

I CIP Fonden har vi sat os et ambitiøst mål: vi vil sikre, at næste generation oplever et velstående, bæredygtigt Danmark med en 100% grøn landbrugs- og fødevarersektor, med intelligente digitale løsninger i den offentlige sektor og med en fremtidssikret infrastruktur og et samfund med sammenhængskraft.

CIP Fonden igangsatte i efteråret 2022 et projekt, hvis formål er at præsentere en udrulningsplan for en sammenhængende brint- og PtX-infrastruktur i Danmark. Planen skal understøtte udbygningen af vedvarende energi og dansk eksport, styrke Danmarks grønne førerposition og bidrage til Europas forsyningssikkerhed og energiuafhængighed.

Som led i projektet har CIP Fonden udarbejdet denne markedsvurdering, hvis ambition er at kvalificere Danmarks

muligheder i en hastigt voksende brintøkonomi. Gennem en sammenligning af vores nabolandes efterspørgsel efter grøn brint og vores egne muligheder for produktion og forventninger til forbrug, giver vi en indikation af, hvordan fremtidens brintmarked ser ud, og hvilken rolle Danmark kan få i markedet – både på kort og på lang sigt.

Markedsvurderingen giver et unikt indblik i centrale dele af det nordeuropæiske brintmarked. Markedsvurderingen skal læses som en vurdering af det fremtidige brintmarked og Danmarks muligheder for at forsyne dette marked.

Markedsvurderingen viser, at der er et potentiale for, at Danmark kan blive storeksportør af brint og få en central rolle i at nedbringe CO₂-aftrykket i landene omkring os. Men det kræver rettidig handling og udbygning af både vedvarende energi og infrastruktur.

CIP Fonden præsenterer i maj 2023 en plan for en sammenhængende brint- og PtX-infrastruktur i Danmark.

Vi håber, at denne markedsvurdering læses i lyset af den hensigt, der her er beskrevet.

God læselyst!



Torben Möger Pedersen
Bestyrelsesformand i CIP Fonden



Anders Eldrup
Bestyrelsesmedlem i CIP Fonden



Charlotte Jepsen
Ledende partner i CIP Fonden

Sammenfatning

Danmark kan med fordel sætte gang i planlægningen af en brintinfrastruktur med eksportforbindelse til udlandet.

Det viser en markedsvurdering, CIP Fonden har foretaget. Markedsvurderingen konkluderer, at der kommer en stor, uopfyldt efterspørgsel efter grøn brint hos vores nærmeste naboer, og at Danmark har potentiale til at blive storeeksportør af brint. Men potentialet risikerer at glide os af hænde, hvis ikke der handles og træffes de nødvendige politiske beslutninger nu. En brintinfrastruktur med forbindelse til udlandet vil bidrage til energiuafhængighed, gøre Europa grønnere og Danmark rigere.

BRINT ER CENTRAL FOR GRØN OMSTILLING

Europæiske klimamål og ønsker om energiuafhængighed vil drive en fundamental omstilling af energisystemet frem mod 2050. Udbygningen af volatile, vedvarende energikilder vil være markant, og brint baseret på vedvarende energi vil spille en central rolle i balanceringen af elsystemet og i omstillingen af den europæiske industri, landbruget samt fly- og skibstrafikken. Grøn brint vil erstatte traditionelle, fossile brændstoffer – enten direkte eller som videreforædlede Power-to-X-produkter.

EU VIL PRODUCERE OG IMPORTERE BRINT

Med øget forbrug af brint fra vedvarende kilder åbner et nyt, grønt energimarked. EU har mål om at producere 10 mio. tons brint om året i 2030 og et mål om import af tilsvarende mængder udefra, svarende til et samlet EU-forbrug på op imod 700 TWh. De næste få år bliver afgørende for, hvem der kommer til levere til netop det marked.

Det vil ikke alene blive afgjort af private aktører, men derimod de lande, der skaber de bedste rammer for udbygningen af vedvarende energi og elektrolysekapacitet og lægger sporene for markedsadgangen.

DANMARKS GRØNNE POTENTIALE

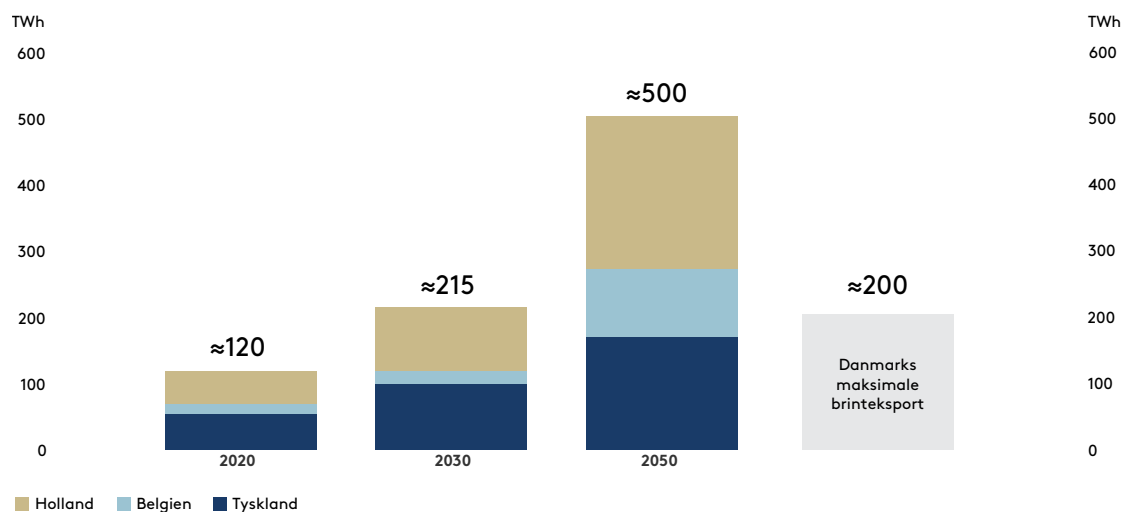
Danmark har et stort vindpotentiale, og især i Nordsøen har vi store, gode områder med meget vind og lav havdybde. Det giver os de laveste produktionsomkostninger på store mængder vedvarende elektricitet blandt alle Nordsølandene, og udbygningen af vedvarende energi kan omkostningseffektivt øges markant, især hvis vi også introducerer havbaseret brintproduktion.

OVERSKUD AF GRØN STRØM FØR ANDRE

Danmark bliver ifølge Energistyrelsen selvforsynende med grøn strøm i 2027, og når det gælder brint, kan vi blive mere end selvforsynende i 2030. Samtidigt vokser Tysklands, Hollands og Belgiens brintefterspørgsel så betydeligt, at vi fra start vil kunne afsætte hele vores overskydende brintproduktion, og meget mere til over tid. De lande er interessante, fordi de politisk aktivt har valgt import af grøn brint som del af deres strategi for at nå deres grønne omstilling.

I 2030 forventer de tre lande selv at forbruge omkring 215 TWh brint og have et importbehov, der i selv et konservativt scenarie er på mere end 140 TWh brint. Danmark kan levere 16 TWh eller godt 10 pct. af det samlede importbehov.

Figur 1: Tyskland, Belgien og Hollands forventede brintefterspørgsel overstiger Danmarks potentielle brinteksport



Kilder: 2020: TNO PUBLIEK (2020) for Holland, Deloitte (2021) for Belgien og Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (2020) for Tyskland, 2030: Economie (2022) for Belgien, Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (2020) for Tyskland og Ministry of Economic Affairs and Climate Policy (2020) for Holland, og 2050: estimeret af COWI.

Anm.: Danmarks brinteksport i 2030 vurderes at kunne udgøre 16 TWh, jf. egne beregninger baseret på Energistyrelsen (2023) og Regeringens klimapartnerskab for energi- og forsyning (2020).

EKSPORTPOTENTIALE PÅ OP TIL 100 MIA. KR.

Tyskland, Holland og Belgiens importbehov svarer i 2030 til et eksportmarked på 70 mia. kr., som Danmark kan tage del i med en eksport af brint for omkring 8 mia. kr. Markedet vil i årene efter vokse i takt med den grønne omstilling, og Danmark kan, ved fuld og rettidig udbygning af nuværende, kendte og screenede danske arealer til vedvarende energi, få mulighed for at eksportere for omkring 100 mia. kr. årligt.

Det svarer til, hvad vi i dag eksporterer for, når det gælder energiteknologi- og services. Ser man på de helt store eksporterhverv som life-science og fødevareklyngen, er de til sammenligning omkring hhv. 152 og 164 mia. kr.

Realismen i forventningerne til den danske brinteksport kan illustreres ved at se på det nuværende brintmarked, som i 2020 størrelsesmæssigt lå i omegnen af 120 TWh fordelt på Tyskland, Holland og Belgien. Sammenlignet med den danske eksportforventning i 2030 på cirka 16 TWh kigger vi således ind i et marked, som allerede i dag er af væsentlig størrelse – og langt større end Danmarks umiddelbare produktionsforventninger.

UDLANDSFORBINDELSER ER AFGØRENDE FOR EKSPORTMULIGHEDERNE

Danske beslutningstagere kan på denne baggrund med fordel sætte gang i planlægningen af en brintinfrastruktur med forbindelse til udlandet og skrue op for udbygningen af vedvarende energi. Forbindelser til afsætningsmarkederne er forudsætningen for, at danske udviklere vil investere i elektrolysekapacitet.

For en brintinfrastruktur med udlandsforbindelser er afgørende for markedsadgangen og dermed rentabiliteten i investeringerne i brintproduktion. En brintrørsinfrastruktur er således en forudsætning for, at vi i Danmark får skabt et brintmarked og understøtter den grønne omstilling, der følger med.

Efterspørgslen fra syd kombineret med Danmarks mulighed for en betydelig produktion af vedvarende energi skaber en unik position for Danmark i den nordeuropæiske omstilling, til gavn for både klimaet, europæisk energiforsyning og dansk økonomi.

Men den position er der mange, der gerne vil indtage. For mens brintefterspørgslen fra Holland, Tyskland og Belgien er en enestående mulighed for Danmark, så orienterer landene sig også mod andre muligheder for sikre leverancer til omstillingen af deres industrier. Det viser sig i praksis, når både Tyskland, Holland og Belgien indgår aftaler med henblik på import af brint fra andre lande end Danmark, som ligger meget længere væk.

ANDRE LANDE ER I GANG MED PLANLÆGNINGEN

Alle tre lande har allerede delvist udbygget deres brintinfrastruktur, fordi de allerede i dag bruger fossilt baseret brint og er langt med planerne om videre udbygning. De planer risikerer at gå uden om Danmark, hvis ikke vi viser, at vi er klar til at indgå i markedet.

Det så vi et konkret eksempel på, da tyske RWE og norske Equinor i starten af 2023 indgik aftale om et undersøisk brintrør, gennem dansk søterritorium, som i første omgang skal forsyne Tyskland med blå brint direkte fra Norge.

På samme vis ser vi flere eksempler på, at landene indgår importaftaler med mellemøstlige og sydeuropæiske lande. For hver langvarig aftageraftale, der bliver indgået, bliver markedet, som ellers kan dækkes fra Danmark, mindre.

Situationen kræver handling fra de danske beslutningstagere. Derfor kommer CIP Fonden, med udgangspunkt i markedsvurderingen, med tre anbefalinger til danske beslutningstagere:

Der bør;

- lægges en plan for etableringen af en brintinfrastruktur med forbindelse til udlandet
- sættes fart på udbygningen af vedvarende energi
- skabes rammer, så den danske del af Nordsøen kan udvikles og udnyttes til fordel for Europas grønne omstilling.

Indhold

Forord	2
Sammenfatning	3
Indledning	6
Et brintmarked under etablering	8
Danmark: Lavt energiforbrug, stort produktionspotentiale	10
Danmarks unikke konkurrencefordele	12
Brintmarkedet i dag	16
Brintmarkedet i fremtiden – store eksportmuligheder	17
Danmarks muligheder for storskala eksport	20
Ny infrastruktur, ny regulering	23
Konklusioner og anbefalinger	25
Kilder	27

I CIP Fonden udtænker og udvikler vi projekter, der understøtter transformationen af det danske samfund i en mere bæredygtig retning. Vi er en uafhængig og almennyttig forening, der leverer konkrete og implementerbare løsninger for en langsigtet omstilling af det danske samfund.

Se mere på cipfonden.dk

” Hydrogen will play a pivotal role in achieving an affordable, clean and prosperous economy. Hydrogen allows for cost-efficient bulk transport and storage of renewable energy and can decarbonize energy use in all sectors.

Green Hydrogen for a European Green Deal (2020)

” ...we agree to explore joint cross-border renewable energy projects and identify infrastructure needs to enable the integration of renewable energy needed to ensure security of supply and affordable energy in our homes and businesses, while respecting Member States' national energy policy priorities and their choices of energy mix.

Fra Marienborgerklæringen (august 2022) underskrevet af regeringschefer fra landene omkring Østersøen med undtagelse af Rusland

” ...to pave the way for the further expansion of offshore wind, we have decided to jointly develop The North Sea as a Green Power Plant of Europe, an offshore renewable energy system connecting Belgium, Denmark, Germany and the Netherlands and possibly other North Sea partners, including the members of the North Seas Energy Cooperation (NSEC).

Fra Esbjergklæringen (maj 2022) underskrevet af regeringscheferne fra Tyskland, Holland, Belgien og Danmark

Disclaimer

Informationen i denne rapport er af generel karakter og er ikke beregnet til at udgøre professionel rådgivning og bør ikke behandles som en erstatning for specifik juridisk eller professionel rådgivning. CIP Fonden afgiver ingen erklæringer eller garantier med hensyn til fuldstændigheden eller nøjagtigheden af informationen heri og påtager sig ingen forpligtelser eller ansvar med hensyn til fuldstændigheden, nøjagtigheden, eller brugen af informationen fremlagt i denne rapport. CIP Fonden påtager sig intet ansvar for tab, direkte eller indirekte, der kan opstå som følge af investeringsbeslutninger baseret på oplysninger fremlagt i denne rapport. CIP Fondens formål er at udarbejde forslag og løsninger, der understøtter samfundets bæredygtige udvikling.

Indledning

Klimakrav og ønsker om uafhængighed i energiforsyningen har for alvor sat gang i Europas grønne omstilling.

I de kommende år vil der ske en fundamental omstilling af den traditionelle energieforsyning, og transformationen mod grønnere samfund vil skabe nye værdikæder og behov for ny energinfrastruktur.

Traditionelt har det været lande med de bedste fossile undergrunds-reserver, der har kunnet skabe velstand ved at levere energi til verden omkring sig. Nu bliver det de lande med den bedste adgang til vedvarende kilder som vind og sol, der har muligheden og ansvaret for at blive katalysatorer i den grønne omstilling og sikre regioners forsyningssikkerhed og energiuafhængighed.

FRA FOSSILE TIL GRØNNE BRÆNDSLER

Traditionelt har fossile brændsler været bærende i energisystemerne, hvor forskellige brændsler er blevet brugt til at producere elektricitet eller anvendt direkte i den tunge industri og transporten.

Vedvarende kilder som vind, sol og biomasse er velkendte i produktionen af elektricitet, og omstillingen fra fossil baseret til grøn elektricitet er i dag i høj grad et spørgsmål om udbygning. Men når det kommer til omstillingen af den tunge industri og transportsektoren, der ikke kan elektrificeres, er der behov for at introducere nye, grønne produkter til energisystemet.

Fossil naturgas kan delvist erstattes med grøn biogas produceret på bæredygtig biomasse og på den måde levere CO_{2e}-reduktioner til industrien.

Men over tid vil biomasse, som også bliver brugt direkte i elproduktionen, blive en knap ressource, ligesom der vil være øget behov for grønne brændstoffer til både industrien og den tunge transport. Her bliver Power-to-X, med grøn brint som base, løsningen.

I fremtiden bliver både grøn strøm, biogas og grøn brint centrale for den grønne omstilling og forsyningssikkerheden. Med mange fluktuerende kilder til vedvarende energi øges også betydningen af at være koblet sammen med nabolandes energisystemer og dermed andre energikilder som fx vandkraft og atomkraft.

GRØN BRINT SOM NY ENERGIBÆRER

Af fremtidens tre store energibærere bliver grøn brint den helt nye aktør. Grøn brint kan produceres fra vedvarende elektricitet, og den er nødvendig for omstillingen af de tunge industrier, landbruget og transportsektoren.

Grøn brint kan enten bruges direkte i industrielle processer, eller den kan omdannes til Power-to-X-produkter, som kan bruges som gødning i landbruget eller som grønt brændstof i fly- og skibstrafikken.

Grøn brint kan modsat elektricitet lagres. Og så kan den produceres på en måde, der kan balancere elnettet og mindske investeringer i udbygning af nettet over tid, som ellers ville være nødvendige for at håndtere store og meget varierende mængder af vedvarende energi. Der kan skrues op for produktionen af grøn brint og PtX-produkter, når der er meget vedvarende energi, og når behovet for elektricitet ellers er begrænset.

Grøn brint er bredt og internationalt anerkendt som en helt central del af den grønne omstilling.

Derfor har EU også lavet mål for både produktion og import for at imødegå den store efterspørgsel, fremtidige EU-lande vil få. Det er suppleret med mål for, hvor meget af teknologien bag EU selv skal producere.

Europæiske lande handler også selvstændigt for at få adgang til fremtidens grønne brændstoffer. Store forbrugere,

Grøn brint og PtX



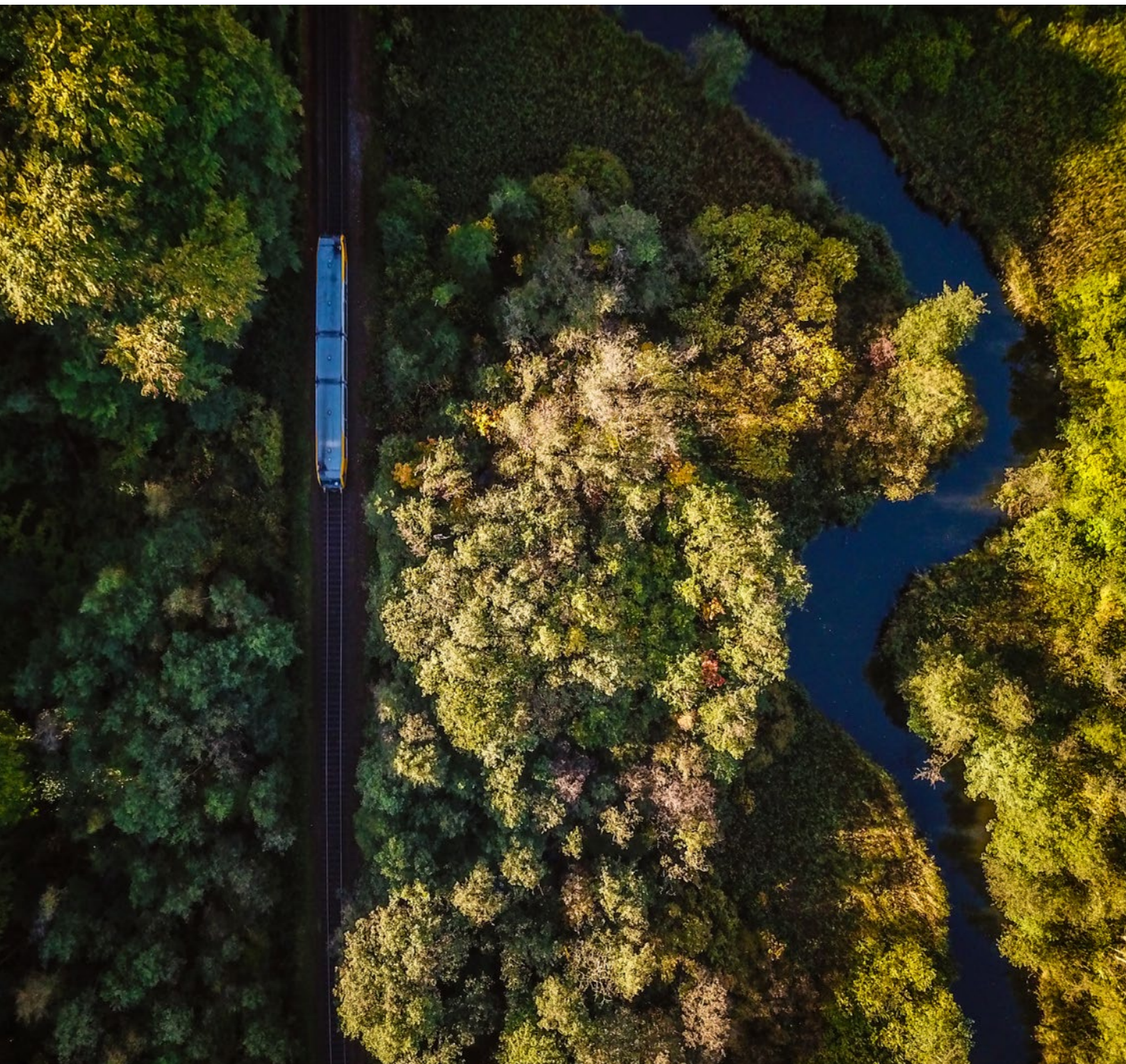
Grøn brint dannes ved at spalte vandmolekyler i brint og ilt gennem elektrolyse med grøn strøm fra vedvarende kilder, f.eks. vindmøller eller solceller.

Brint kan bruges direkte i industrien eller omdannes til Power-to-X-produkter (PtX), f.eks. e-metanol eller e-ammoniak. PtX-produkter kan bruges direkte som brændstof i fly- og skibstrafikken eller som grøn gødning i landbruget.

som fx Tyskland og Holland, søger nu efter mulige leverandører gennem planlægning af infrastruktur og etableringen af værdikæder til Mellemøsten og Sydeuropa, hvor store solmængder har potentialet til at producere grøn brint.

Værdikæderne for energi gennemgår i øjeblikket en transformation: fremtidens store energileverandører bliver ikke de lande med olie og gas i undergrunden. Det bliver de lande, der har adgang til store mængder billig vedvarende energi. Og det bliver de lande, der tager ansvar for nærområdernes grønne omstilling og skubber på for den grønne udvikling.

Formålet med denne markedsvurdering er at evaluere Danmarks muligheder for at blive eksportør af grøn brint. Vurderingen foretages gennem en kvalificering af brintbehovet hos tre af vores nærmeste naboer, Tyskland, Holland og Belgien og Danmarks produktionsmuligheder.



Brint i farver



Grøn brint er baseret på vedvarende energi.

Grå brint er baseret på fossil energi.

Blå brint er baseret på fossil energi, hvor der laves tilsvarende CO_{2e} fangst for at kompensere for brintens CO_{2e} udledning. Kombinationen skønnes nødvendig i en overgangsperiode fra grå til grøn brint.

Et brintmarked under etablering

Internationalt sker der meget på den grønne dagsorden. Reduktionsmål, der rykker tættere på, og ønsker om energiuafhængighed er udslagsgivende for, at landene i Europa sætter fart på planlægningen af deres grønne omstilling i praksis.

FLERE EU-LANDE VIL IMPORTERE GRØN BRINT

Størstedelen af de europæiske lande har en brintstrategi, og flere lande, herunder Tyskland, Holland og Belgien, tilkendegiver i deres strategier, at de forventer at blive nettoimportører af grøn brint.¹

Omstillingen af tung industri og transportsektoren skaber et behov, der overstiger landenes egne produktions-forventninger. På infrastrukturens side er der omfattende planer i landene omkring Danmark, også når det gælder import.

Transport af brint og PtX



Brint transporteres bedst og billigst gennem en rørført brintinfrastruktur. Det kan være dedikerede brintrør eller retrofittede naturgasrør.

I modsætning til brint kan PtX-produkter lettere og billigere transporteres via skib over lange afstande.

NY BRINTINFRASTRUKTUR PÅ VEJ UDEN OM DANMARK

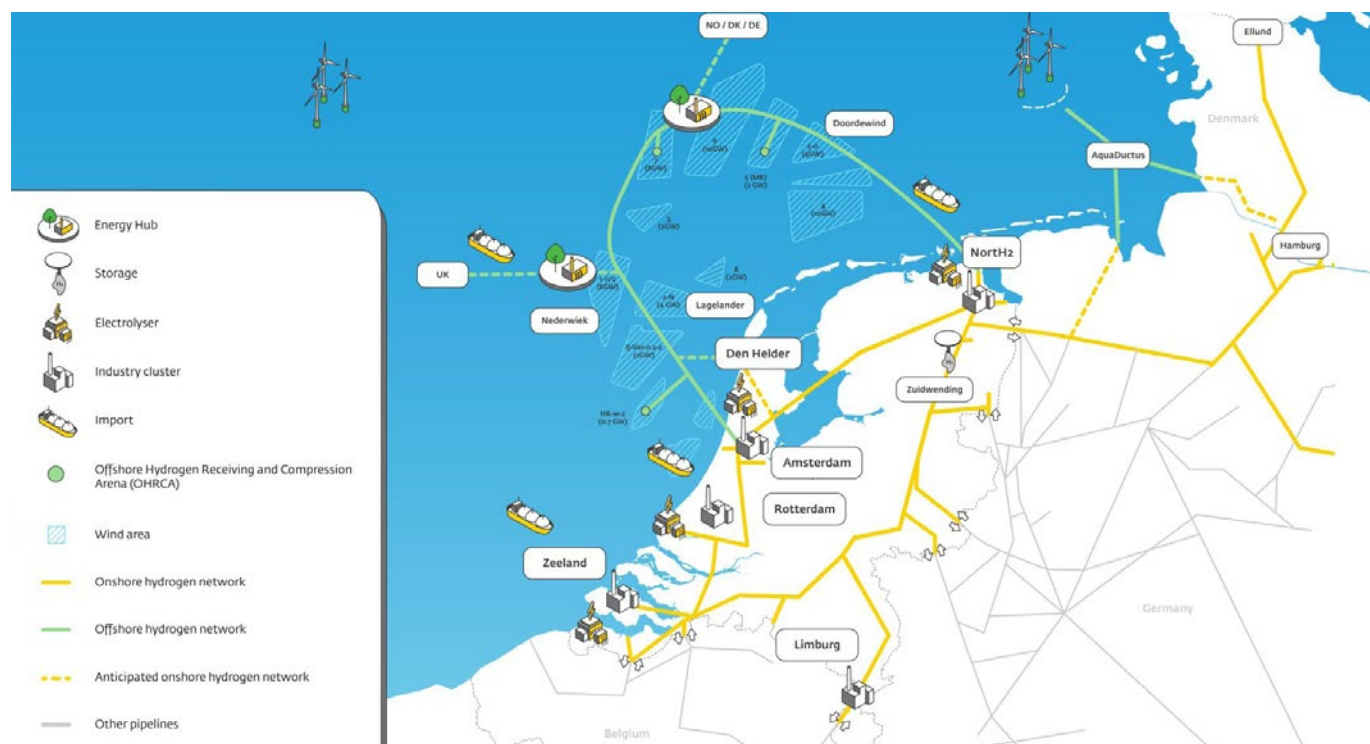
Globalt findes der i dag omkring 5.000 km brintinfrastruktur. Det meste er placeret i USA efterfulgt af Belgien og Tyskland, hvor grå brint bruges til den tunge industri.

I 2050 forventes brintinfrastrukturen at dække over 200.000 km med mere end 50.000 km alene i Europa, jf. Brinckmann (2023).

Tyskland planlægger et 1.800 km langt brintnet bygget inden 2027², og Belgien planlægger at bygge op til 160 km brintinfrastruktur inden 2026 som led i etableringen af European Hydrogen Backbone³.

Den hollandsk-tyske energioperatør Gasunie har planer for udvikling af en brintinfrastruktur, som forbinder lande, forbrugere og producenter, jf. figur 2. Formålet er både at udvikle brintmarkedet og skabe relevante importforbindelser.

Figur 2: Holland og Tyskland planlægger brintinfrastruktur med forbindelse til Danmark



Kilde: Gasunie (2022a). For opdateringer omkring hollandsk brintinfrastruktur se Gasunie (2023).

¹ Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (2020) for Tyskland, Economie (2022) med Belgiens brintstrategi, Ministry of Economic Affairs and Climate Policy (2020) for Holland

² Reuters (2022a)

³ Economie (2022) med Belgiens brintstrategi

Den nederlandske brintinfrastruktur forventes udrullet i etaper, hvoraf den første, som forbinder centrale industriområder, ventes klar i 2025/2026. Anden etape ventes at være færdig i 2027/2028 og sidste etape i 2030⁴.

OGSÅ PLANER FOR IMPORTFORBINDELSER

Ud over en landbaseret forbindelse til Danmark fra Hamborg har Holland og Tyskland netop ansøgt EU om midler til etablering af 400 km havbaseret forbindelse, AquaDuctus. Den går fra Tyskland ud til relevante havvindparker og mulig brintproduktion via Helgoland og ud til Dogger Banke, hvor det også vil være muligt for tilkobling af forbindelser fra andre lande som fx Storbritannien og Danmark⁵.

Tyskland og Frankrig har samtidig indgået aftale om at videreføre den påtænkte H2Med-forbindelse fra den iberiske halvø via Frankrig til Tyskland⁶.

Det forventes, at Tyskland senere i 2023 vil udgive en egentlig importstrategi for brintområdet, herunder behov for rørføring og hvad der kan indskibes⁷. Til sammenligning har Danmark ingen konkrete planer om etablering af en brintinfrastruktur.

EKSISTERENDE OG NYE RØR

I Europa forventes mellem 60 og 80 pct. af brintinfrastrukturen at bestå af opgraderede gasrør, som både er en billigere og hurtigere løsning sammenlignet med nyetablering af dedikerede brintrør⁸. Holland forventer fx at genanvende omkring 85 pct. af gasnettet til brint, ifølge Gasunie (2022b).

Den mulighed har Danmark kun i mindre grad, da der er planer om at bruge det danske naturgasnet i mange år endnu, bl.a. til biogas.

En dansk brintinfrastruktur vil derfor i højere grad skulle bestå af nye, dedikerede brintrør, som kræver godkendelser, nye arealer og en vis etableringsfase.

Danmark er dermed fra start bagud sammenlignet med nabolandene, da vi skal bruge længere tid på at etablere en brintinfrastruktur.

LEVERANDØRAFTALER MED ANDRE LANDE

De omfattende planer for etablering af brintinfrastruktur vidner om, at landene ser ind i et stort forbrug til omstillingen af industrierne. Men da de ikke selv har mulighed for at producere brinten i de nødvendige mængder, søger de også mod andre lande, der kan dække deres efterspørgsel.

I starten af 2023 indgik tyske RWE og norske Equinor en aftale om et undersøisk brintrør, som i første omgang skal forsyne Tyskland med blå brint⁹. Forbindelsen går gennem dansk søterritorium, men uden forbindelse til Danmark.

BLÅ BRINT FRA NÆR OG FJERN

Der er flere eksempler på, at landene indgår importaftaler og samarbejder med fjernere lande: Holland og Tyskland har etableret værdikæder til Emiraterne m.h.p. at sikre en europæisk forbindelse til brint fra Mellemøsten¹⁰, og Tyskland fik allerede i 2022 første leverance baseret på blå brint¹¹.

E.ON i Tyskland har på samme vis indgået en fælles forståelsesaftale (Memory of Understanding, MoU) med en australsk leverandør af grøn brint startende fra 2024 og med en målsætning om 5 mio. ton brint om året i 2030. Det svarer energimæssigt til omkring 1/3 af, hvad Tyskland tidligere importerede fra Rusland til opvarmning¹².

Aftaler som disse viser, at landene søger mod fjernere områder for at dække deres kommende brintefterspørgsel – mod nye værdikæder og nye afhængighedsforhold.

AFTAGERAFTALER NØDVENDIGE FRA START, MEN BINDER OGSÅ AFSÆTNINGEN FOR EN TID

Samtidigt indsnævrer aftaler markedet for dansk deltagelse i takt med, at der indgås langvarige aftageraftaler med andre lande. Aftageraftaler (PPA'er) af en vis varighed ventes at blive normen i opbygningen af det nye brintmarked.



Brintinfrastruktur – genbrug eller nybyg?

Nogle lande har allerede en etableret brintinfrastruktur målrettet brug af fossilt baseret brint.

Naturgasnettet kan i en række tilfælde retrofittes og bruges til brintinfrastruktur. Rørene skal dog inspiceres og vil kun kunne tåle et vist tryk. Genbrug vil betyde, at man hurtigere og billigere vil kunne få etableret mere brintinfrastruktur end ved nybyggeri. Det kræver, at man ikke længere har behov for naturgasnettet, fx til biogas, eller til CO_{2e}.

Nye brintrør kan tåle større trykforskelle og vil dermed også kunne lagre brint mere fleksibelt end fx genbrugte gasrør.

Kilder: Evida, Energinet, Brinckmann (2023) m.fl.

⁴ Vandoorne (2022), Ministry of Economic Affairs and Climate Policy (2022)

⁵ Fluxys (2023)

⁶ Hydrogen Central (2023)

⁷ Hydrogeninsight (2023)

⁸ Brinckmann (2023)

⁹ RWE (2023)

¹⁰ EU Observer (2023)

¹¹ Golf Business (2022)

¹² Reuters (2022b)

Danmark: Lavt energiforbrug, stort produktionspotentiale

Danmark er kendt som et grønt foregangsland, som tidligt investerede i vedvarende energi. Biomasse og landvindmøller har historisk spillet en stor rolle i omstillingen fra fossile brændsler og er senest suppleret af sol og havvind, hvor havvind fremover får en væsentligt større rolle i vores energiproduktion.

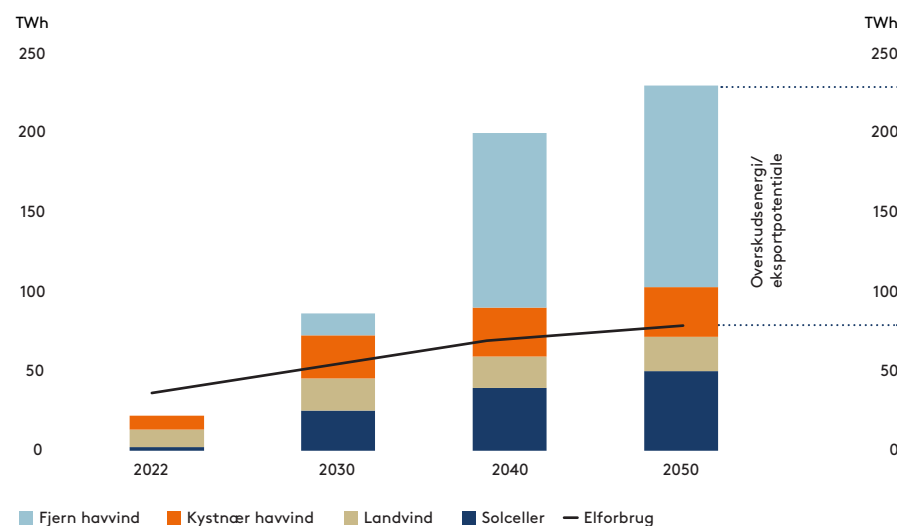
STORT POTENTIALE FOR VEDVARENDE ENERGI FRA HAVVIND

Der er i dag installeret en samlet kapacitet på omkring 2,3 GW havvind, men det danske havvindspotentiale er på godt 40 GW¹³. Det skyldes, at Danmark har store områder i især Nordsøen med god mulighed for at etablere havvind.

Energistyrelsen vurderer, at solceller og landvind tilsammen kan bidrage med omtrent den samme mængde vedvarende energi.

Figur 3 viser Danmarks forventede energiproduktion i dag, i 2030, 2040 og 2050 sammenlignet med Energistyrelsens forventninger til energibehovet til den direkte elektrificering. Figuren viser, at der vil være overskydende energi fra vedvarende energi, som kan laves til brint og enten videreforarbejdes til PtX produkter eller eksporteres direkte som brint.

Figur 3: Danmark producerer mere energi, end vi skal bruge til direkte elektrificering fra 2030 og frem



Kilde: Energistyrelsen (2023)

Anm: Danmarks energiproduktion for de forskellige kilder og strømforbrug er angivet i TWh.

GW, TWh og brintmængder

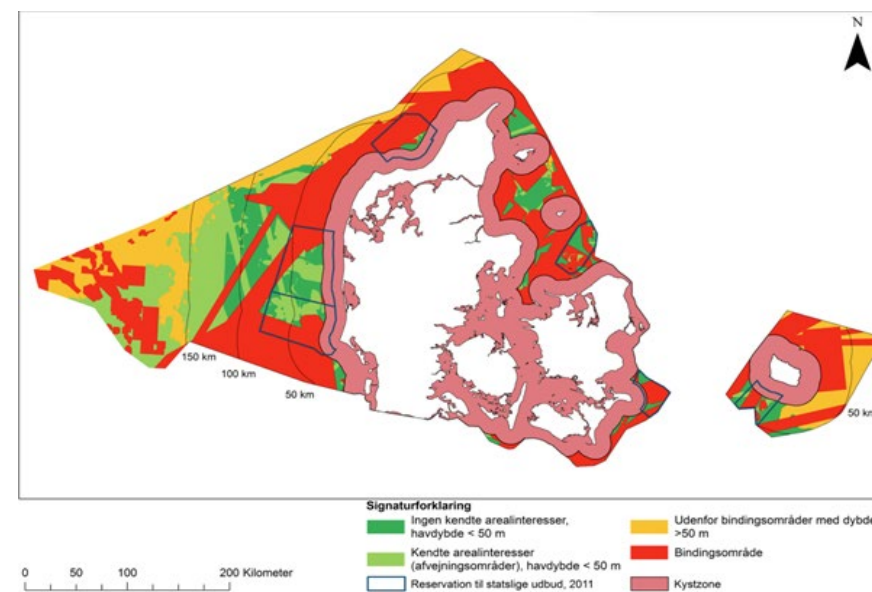
Gigawatt (GW) er en måleenhed for elektrisk effekt. Den beskriver produktionskapacitet.

Terawatt-time (TWh) er en måleenhed for produktion og forbrug af energi.

1 GW elektrolysekapacitet svarer til ca. 4 TWh.

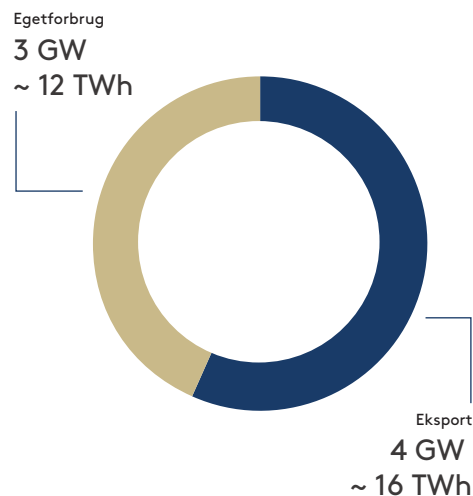
1 mio. ton brint svarer til ca. 33 TWh

Figur 4: Der er flere relevante arealer for udbygning af havvind



Kilde: Energistyrelsen (2019)

Figur 5: Danmark ventes at producere mere end dobbelt så meget som vores eget brintbehov i 2030



Kilde: Egne beregninger på baggrund af Energistyrelsen (2023) og Regeringens klimapartnerskab for energi- og forsyning (2020)

Dermed kan Danmark direkte understøtte den grønne omstilling af Europa og europæisk forsyningssikkerhed.

DANMARK SNART SELVFORSYNENDE MED GRØN STRØM

Ifølge Energistyrelsen forventes Danmark at blive selvforsynende med grøn strøm til den direkte elektrificering allerede fra 2027¹⁴.

Energistyrelsen forventer, at Danmark også vil producere brint, og at der allerede i 2030 produceres mere, end Danmark selv skal bruge. Danmark vil, efter Energistrelsens forventninger, producere 16 TWh mere brint, end Danmark skal bruge til eget forbrug¹⁵.

VEDVARENDE ENERGI – EN OPLAGT EKSPORT

Efter 2030 forventes Danmarks produktion af energi at vokse hurtigere end forbruget, og energi vil derefter være en eksportvare, der kan bidrage til Europas grønne omstilling.

Eksporterer Danmark i 2030 den forventede mængde overskydende energi, kan det være i en størrelsesorden omkring 8 mia. kr. årligt, hvis energien eksporteres i form af brint¹⁶. Men Danmark råder over nogle arealer og ressourcer til vedvarende energi, der kan producere omkring dobbelt så meget energi, som Danmark får brug for frem mod 2050.

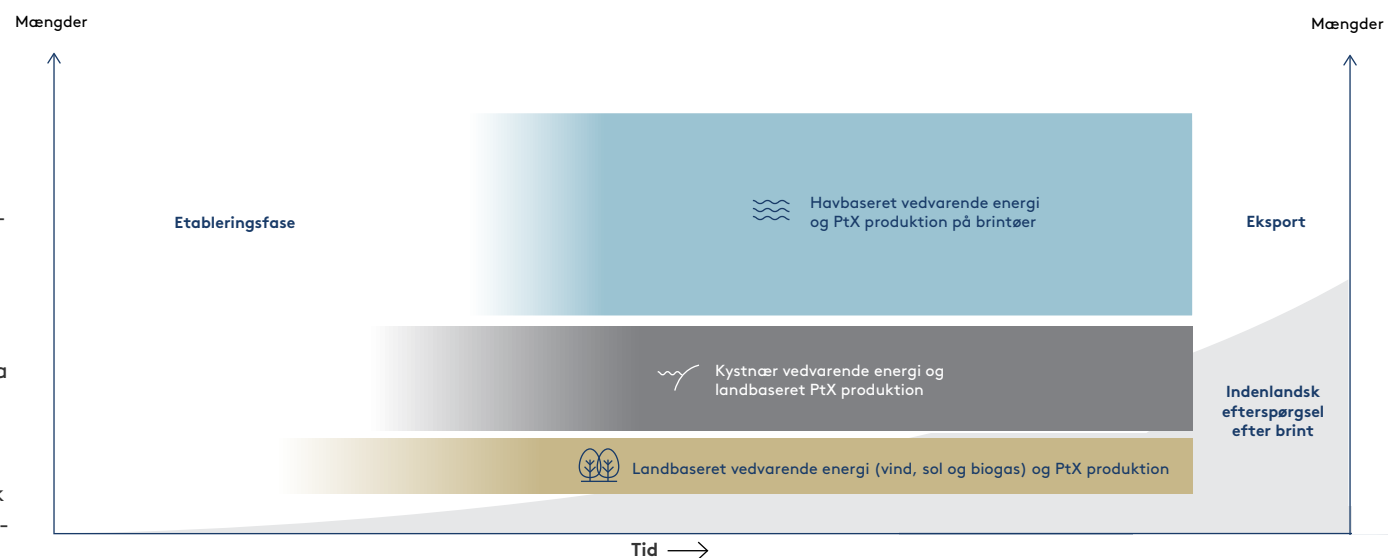
EKSPORTPOTENTIALE I TAKT MED UDBYGNING

Danmarks eksport til udlandet må forventes at kunne starte i årene mellem 2027 og 2030, hvor Danmark både producerer mere grøn strøm og brint, end der er behov for til eget forbrug.

Hvor meget eksporten vil vokse afhænger af de regulatoriske rammer, konkurrenceforhold og konkret markedsadgang gennem relevant infrastruktur.

I starten ventes dansk brintproduktion især være landbaseret og levere til indenlandsk behov, mens især brug af kystnær og fjern havvind muliggør produktion i en skala, der tillader eksport, jf. figur 6.

Figur 6: Der er forskellige faser og roller i udbygningen af dansk brintproduktion



Kilde: Egen illustration

¹⁴ Der er i indeværende analyse forudsat, at arealer knyttet til ansøgninger knyttet til åben-dør processen, kommer i anvendelse med projekter svarende til 23 GW, trods den aktuelle, midlertidige suspension af ordningen.

¹⁵ Konservativt estimat. Danmark ventes jf. Energistrelsens (2023) at have 6,9 GW elektrolysekapacitet i 2030 og et egetforbrug på 2-3 GW jf. Regeringens klimapartnerskaber - Energi og forsyning (2020). Med et egetforbrug svarende til 3 GW vil der således være mellem 3,9-4,9 GW elektrolysekapacitet til produktion derudover.

¹⁶ Jf. Green Power Denmark (2020) vil et centralt estimat for prisen på grøn brint i 2030 være ca. 17 kr./kg. brint på baggrund af EA Energianalyse (Balmorel modellen).

Danmarks unikke konkurrencefordele

I Nordsøen har Danmark gode forhold for produktion af vedvarende energi.

Blandt Nordsølandene har Danmark, udover et stort areal, gode områder med stærk vind og lav havdybde, som er blandt de mest velegnede til energiproduktion.

NORDSØEN SOM NORDEUROPAS BEDSTE KILDE

Danmarks områder gør det mere relevant at udvikle arealerne til energiproduktion, og sammen med deres geografiske placering tæt på de nærmeste importlande har Danmark de laveste produktionsomkostninger for grøn strøm blandt Nordsølandene¹⁷.

Derfor kan det være fordelagtigt, både for Danmark og vores nærmeste naboer, at Danmark udnytter arealerne med henblik på at eksportere grøn energi til udlandet.

Energistyrelsen vurderer også, at Danmark har potentialet til at blive en signifikant nettoeksportør af energi, og at både Tyskland, Holland og Belgien vil kunne aftage energi fra Danmark¹⁷.

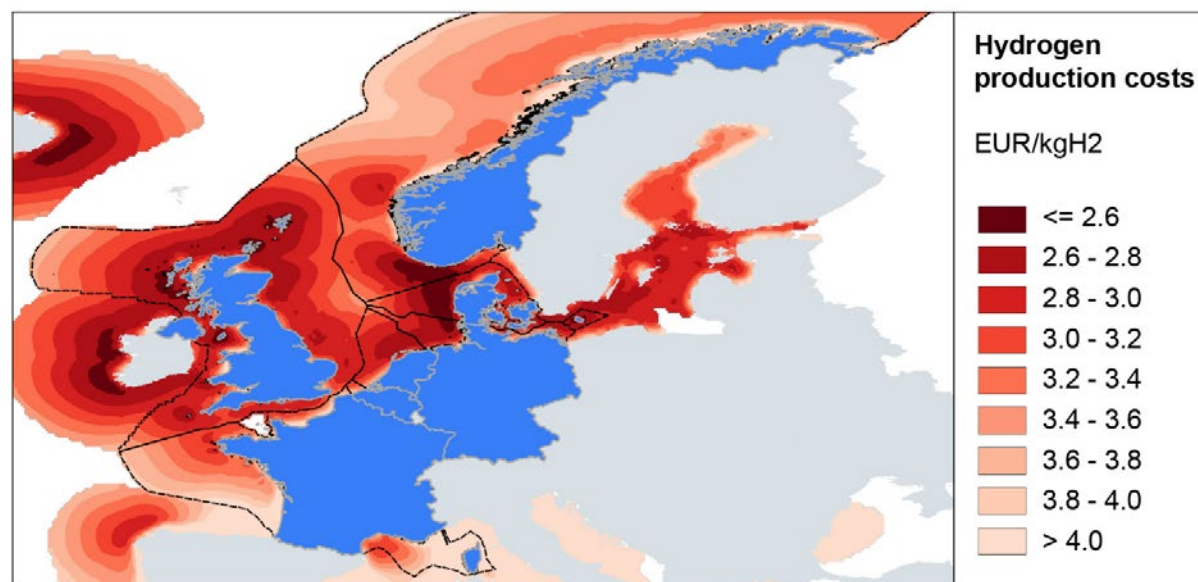
Ifølge Energistyrelsen vil offshore brintproduktion øge mulighederne for yderligere udbygning, og dermed eksport.

Dette begrundes i brintens relativt lave transportomkostninger, ligesom brintproduktion generelt kan højne effektiviteten, da den kan produceres i perioder med lavt elektricitetsbehov og lagres.

Figur 7 til venstre illustrerer Danmarks omkostningsfordele ved brintproduktion. Danmark har dermed et godt udgangspunkt for at producere den grønne, billige energi, som Europa mangler.

Figur 7: Produktionsomkostninger ved brintproduktion er relativt lave omkring Danmark

Hydrogen production costs from offshore wind in the Accelerated scenario, 2030



IEA. All rights reserved.

Notes: This map is without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area. The analysis is based on hourly wind speed data from Copernicus Climate Change Service (2020).⁵⁶

Assumptions: CAPEX for offshore wind EUR 1 700-1 800/kW; offshore hydrogen transport costs: EUR 0.27/kg H₂/100 km; other assumptions see notes of previous figure.

Kilde: IEA (2021b)

¹⁷ Energistyrelsen (2022)

5 - 10%



Så meget billigere forventes dansk brint i gennemsnit at kunne produceres på en dansk energiø sammenlignet med brint fra en tysk energiø.

Kilde: Brinckmann (2023)

Hvorfor kan Danmark konkurrere på produktion af grøn brint?



- Danmark har nogle af de bedste vindressourcer i Europa og samtidig lavbundede havområder, som er velegnede til at etablere havvindparker og producere store mængder vedvarende energi.
- Danmark har en vis omkostningsfordel på produktion af vedvarende energi og brint i storskala.
- Danmark har snart 100 pct. grøn strøm til eget forbrug og kan derfor bruge overskydende strøm til brintproduktion. Andre lande er stadig i gang med at opbygge kapacitet til deres direkte elektrificering.
- Danmark har ledige ressourcer til en høj, sikker og stabil leverance til vores nærmeste naboer.
- Det danske koncept for energiøer og brinthubs muliggør stordrifts- og storskalaproduktion, som er økonomisk konkurrencedygtige med nabolandene, og hvor placeringen fjernt til havs gør dem mindre udsatte for konkurrerende krav til arealanvendelsen.



Inflation Reduction Act (IRA)



Den amerikanske regering offentliggjorde i sommeren 2022 lovpakken Inflation Reduction Act (IRA), som med 369 mia. dollar indeholder de største investeringer i klima og energi i amerikansk historie. IRA indebærer bl.a. investeringer i vedvarende energi, som skal bidrage til at halvere de amerikanske CO₂-udledninger mod 2030.

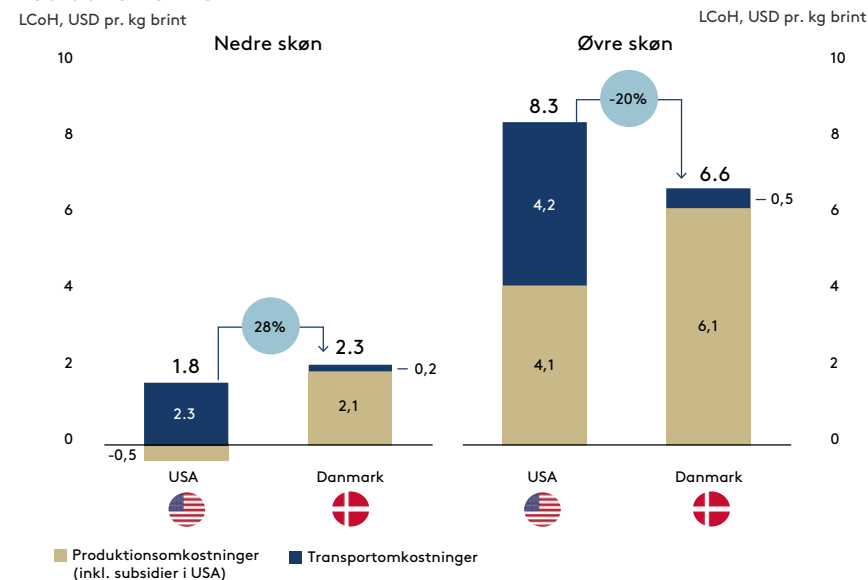
IRA indeholder betydelige økonomiske fordele for producenter af grøn brint, som over en tiårig periode kan få skattefradrag, der ventes at kunne halvere prisen på produktionen af grøn brint på kort sigt. Fradraget er tilgængeligt for virksomheder med økonomisk aktivitet i USA.

EU har udtrykt bekymring over IRA, som kan skævvride konkurrencen på det grønne marked, herunder også i brintproduktionen. De amerikanske skattefradrag for brintproduktion risikerer at trække investeringer fra Europa til USA på bekostning af den europæiske brintproduktion og grønne arbejdspladser.

Samtidig er der – afhængig af fradragets størrelse – risiko for, at stærkt subsidieret grønt brint fra USA kan underbyde europæisk grønt brint, selv inkl. dyrere transport med skib og evt. omdannelse til andre energiformer, jf. boks om cracking.

Beregninger fra Copenhagen Economics viser, at IRA potentielt kan gøre amerikansk brint konkurrencedygtigt overfor dansk brint. Figur 2 viser konkurrenceforholdet mellem hhv. dansk og amerikansk produceret brint leveret til det tyske marked. Når amerikansk brint subsidieres i et omfang, der udligner eller ligefrem mere end opvejer produktionsomkostningerne, vil det alt andet lige kunne konkurrere med dansk produceret brint på det tyske marked med en lille omkostningsfordel. Usikkerhederne ligger især på produktionssiden, og i den øvre del af spændet vil dansk brint omvendt være konkurrencedygtigt.

Figur 8: Subsidieret amerikansk brint kan i nogle tilfælde konkurrere med dansk brint



Kilde: Beregninger foretaget af Copenhagen Economics¹⁸

Anm.: LCoH angiver levelized cost of hydrogen, dvs. standardiserede produktions- og transportomkostninger frem til brug samme sted med hhv. skib (fra USA til Tyskland) og via brintrør (fra Danmark til Tyskland).

Med subsidier kan det derfor ikke afvises, at amerikansk brint bliver billigere end, hvad der kan produceres i Europa.

EU-kommissionen fremlagde i starten af 2023 Green Deal Industrial Plan, som skal forbedre EU's grønne industriers konkurrenceevne. Green Deal Industrial Plan indeholder tiltag, som bl.a. skal skabe forudsigelig og forenklet regulering og sikre hurtigere adgang til finansiering, fx gennem faste tidsfrister for sagsbehandling, one-stop shop procedurer for vigtige teknologier som vind- og solenergi, øget målretning af allerede afsatte puljer mv.

Det forudsættes i markedsvurderingen, at EU finder et relevant modsvar til den amerikanske subsidiering af bl.a. brint og PtX. EU har også en målsætning om, at halvdelen af det fremtidige grønne brintbehov skal produceres inden for EU, og at EU selv skal kunne udvikle og stå bag fremstilling af elektrolysekapacitet.

¹⁸ Copenhagen Economics på baggrund af Fuel Cells and hydrogen observatory (2023), International council and clean transportation (2023), ICCT (2023), Goldman Sachs (2022), nationale brintstrategier, AURES database, IRA lovgivning, IRENA (2022), IEA (2019), Agora (2021), EDISON (2021), McKinsey (2021), Johnston et.al (2022) og EWI (2020).



Cracking af PtX til brint: en game-changer?



Power-to-X produkter som fx ammoniak og methanol er en videreforædling af brint. Men produkterne kan omdannes til brint igen ved cracking – en metode, der slår molekyleerne i stykker og muliggør opdeling igen.

Metoden er energikrævende og omkostningsfuld, men kan fx betyde, at man kan lave ammoniak, lagre det og senere omdanne det til brint igen. Det betyder i princippet, at PtX-produkter kan sejles til Europa og konverteres til brint igen, med et energitab til følge.

Er prisen for at lave PtX –produktet tilstrækkelig lav inkl. transport- og cracking-omkostninger, kan det konkurrere med europæisk produceret brint. Fx hvis brintproduktionen subsidieres i andre lande, jf. boks om IRA.

Foreløbige beregninger viser, at omkostningerne ved produktion af eksempelvis ammoniak i Marokko, transport til Danmark og cracking tilbage til brint ikke er væsentligt forskellige fra omkostningerne ved at producere brint i Danmark baseret på vedvarende fra fx danske energikilder.

Beregningerne er imidlertid forbundet med stor usikkerhed, men i en del tilfælde vil den danske brint være billigere. Det er ikke entydigt, hvem der kan være billigst i 2030 og vinde markederne. Andre forhold vil også spille ind, som fx forsyningssikkerhed, geopolitiske forhold og generelle rammevilkår.

Kilder: IEA (2019), Copenhagen Economics (2022b) m.fl.

Brintmarkedet i dag

Brint baseret på fossil energi, også kaldet grå brint, bliver i vid udstrækning allerede brugt i dag. Europas samlede brintforbrug ligger på omkring 8,6 millioner tons brint årligt, svarende til 341 TWh¹⁹, og det forventes at fordobles til omkring 700 TWh frem mod 2030²⁰. Tyskland er i dag Europas største producent af fossil brint og har et væsentligt egetforbrug svarende til 1/5 af Europas samlede forbrug.

HVOR BRUGER MAN BRINT I DAG?

I dag bliver brint primært anvendt i den petrokemiske industri og i stålindustrien. Holland er Europas næststørste producent af fossil brint og samtidigt storforbruger af brint til produktion af stål og forskellige kemikalier.

Belgien har en række industrielle clusters med stor ammoniakproduktion, petrokemisk produktion og stålproduktion, der også er baseret på grå brint.

De store industrier i Tyskland, Holland og Belgien, har i dag et samlet brintforbrug, som løber op i omkring ca. 120 TWh årligt (2020), jf. figur 9.

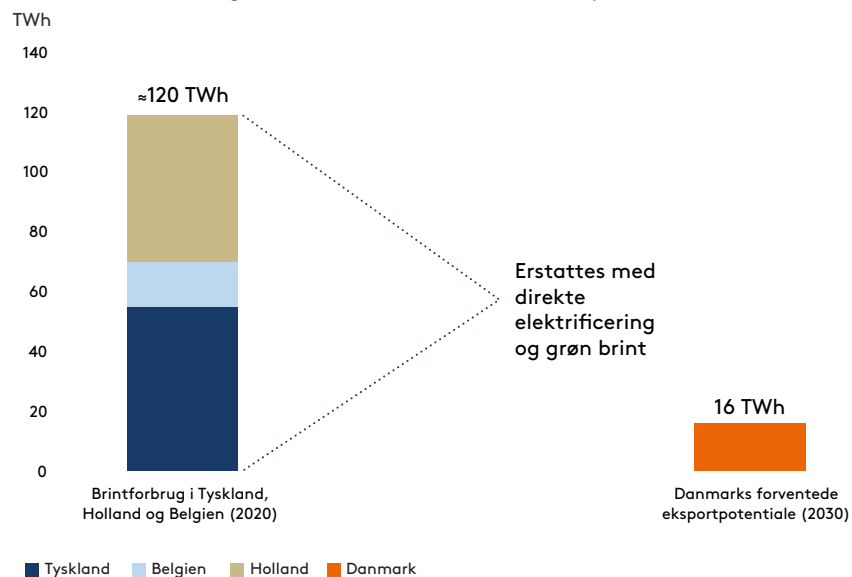
Til sammenligning forventes Danmark at kunne levere 16 TWh i 2030 til andre lande. Brintmarkedet i dag hos vores nærmeste naboer er med andre ord flere gange større end Danmarks forventede eksportmuligheder i 2030.

Det nuværende brintforbrug i Tyskland, Holland og Belgien viser, at der allerede nu er et marked for brint syd for Danmark. Markedet er lige nu mættet med grå brint, men skal omstilles med tiden.

Noget af forbruget vil kunne løses gennem elektrificering, men bestemt ikke alt. Forbruget af grå brint vil sammen med det, der i dag kræver andre fossile brændsler og også vanskeligt kan omstilles, udgøre fremtidens marked for grøn brint, jf. figur 10.

Andre væsentlige forbrugere af grå brint i dag i Europa er Polen, Italien, Spanien, Storbritannien og Frankrig.

Figur 9: Tyskland, Holland og Belgiens nuværende brintforbrug udgør allerede et væsentligt marked for dansk brinteksport

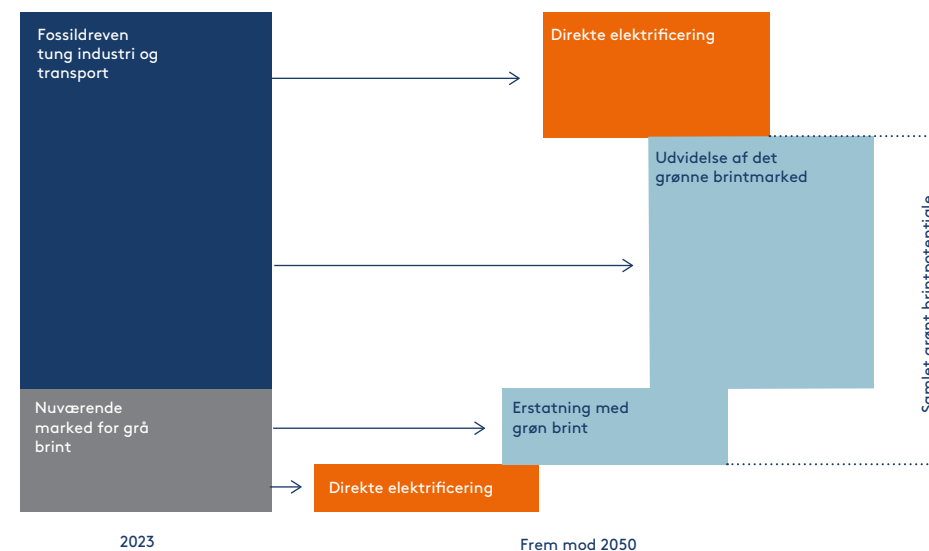


Kilder: TNO PUBLIEK (2020) for Holland, Deloitte (2021) for Belgien og Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (2020) for Tyskland. Danmarks forventede brintforbrug i 2030 er egne beregninger baseret på Energistyrelsen (2023) og Regeringens klimapartnerskab for energi- og forsyning (2020).

¹⁹ FCHO (2022)

²⁰ EU-Kommissionen (2022)

Figur 10: Omstilling af industrier skaber grønt brintpotentiale



Kilde: Egen illustration

Brintmarkedet i fremtiden – store eksportmuligheder

Markedet for grøn brint, og efterspørgslen efter den, forventes at vokse markant frem mod 2030. Tyskland, Holland og Belgien forventer alle, at deres brintforbrug overstiger deres egenproduktion, og at de bliver nettoimportører.

Brintmarkedet vil samtidigt gennemgå en forandring. Dele af industrien, der i dag bruger brint, vil blive elektrificeret. Andre dele vil skifte fra grå til grøn brint.

Over tid vil markedet for brint udvide sig i takt med, at grøn brint udnyttes i omstillingen af sektorer, der i dag bruger fossile brændstoffer. Det gælder industrier, der skifter olie, kul og gas ud med brint, og det gælder fly og skibstrafikken, der skifter fossile brændstoffer ud med brintbaserede Power-to-X-produkter.

IMPORTBEHOV HOS VORES NÆRMESTE NABOER

Tyskland, Holland og Belgien har alle i deres nationale brintstrategier estimeret forventede scenarier for deres brintefterspørgsel og -produktion i 2030. Ud fra disse estimater er det muligt at opstille scenarier for de tre landes importbehov for at afspejle størrelsen på de kommende brintmarkeder.

Det ene scenarie er minimumsmarkedet for dansk eksport baseret på estimater med lavt forbrug i landene og høj produktion, mens maksimumsmarkedet er baseret på estimater for højt forbrug og lav egenproduktion.

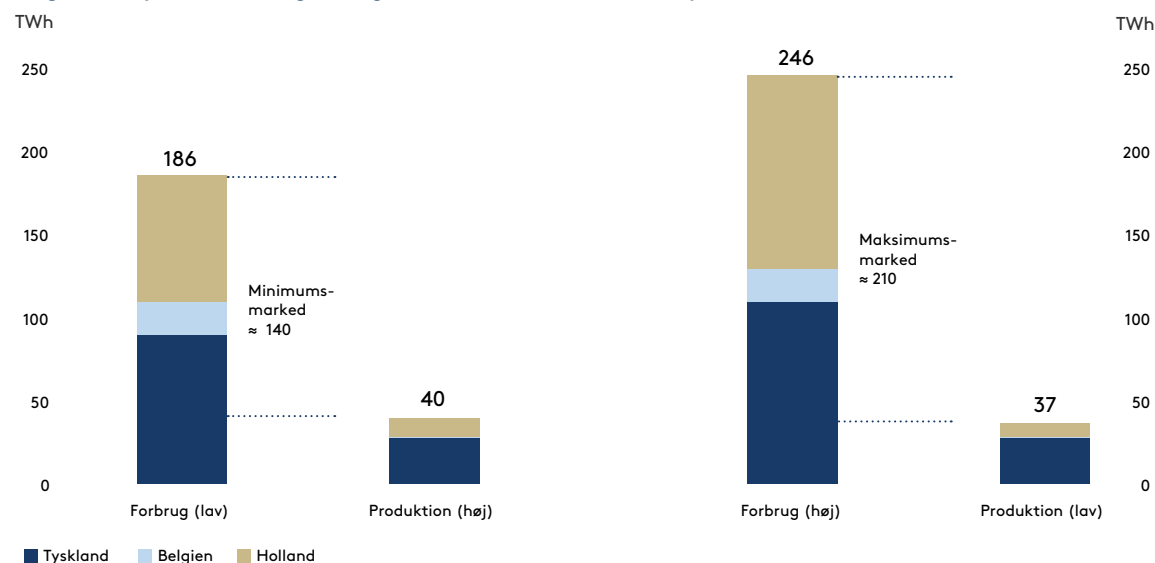
Figur 11 viser hvordan Tyskland, Hollands og Belgiens samlede importbehov i 2030 forventes at være på mellem 140 og 210 TWh.

BRINTEKSPORT KAN FORTRÆNGE 5 MIO. TON CO_{2e}
Danmark forventer i 2030 at kunne eksportere 16 TWh, med mindre udbygningen foregår hurtigere end Energistyrelsen

forventer. Hvis de 16 TWh brint erstatter grå brint, svarer det til en årlig CO_{2e} reduktion på omkring 5 mio. tons CO_{2e}²⁰.

Der er derfor både økonomisk og klimamæssigt grundlag for, at Danmark udbygger vedvarende energi og elektrolysekapacitet hurtigt – også på den korte bane.

Figur 11: Tyskland, Belgien og Holland forventer at importere 140-210 TWh brint i 2030



Kilder: Economie (2022), Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (2020), Ministry of Economic Affairs and Climate Policy (2020)
Anm.: Antagelser fra tysk brintstrategi om 4.000 årlige fuldlasttimer for elektrolyse og en effektivitet på 70 pct. anvendes på tværs af lande. Minimumsmarkedet udgøres af de laveste forbrugsestimater for landene fratrasket de højeste estimater for egenproduktion, mens maksimumsmarkedet udgøres af de højeste forbrugsestimater fratrasket laveste estimater for landenes egenproduktion.

²⁰ Egne beregninger baseret på antagelser om, at grå brint i konservativt estimat udleder 11 kg CO₂ pr. kg brint, og at 1 kg brint svarer til 33,3 KWh.

Selv med det konservative estimat for landenes efterspørgsel, minimumsmarkedet, så vil Danmarks forventede import kun optage en lille del af markedet. Størrelsen på markedet giver en indikation af, at en videre udbygning af dansk vedvarende energi og brintproduktion kan forventes at blive afsat mod syd, når den danske produktion samtidig er omkostningseffektiv.

Minimumsmarkedet på 140 TWh forventes at have en værdi på 70 mia. kr., mens maksimumsmarkedet forventes at have en værdi på godt 100 mia. kr. hos vores nærmeste naboer i 2030²¹.

EKSPORT PÅ 8 MIA. KR. I 2030

Danmarks mulige eksport på 16 TWh brint udgør kun en lille del af behovet men kan have en værdi i 2030 på omkring 8 mia. kr. i nutidens kroner, jf. tidligere.

Efter 2030 og frem mod 2050 ventes efterspørgslen efter grøn brint kun at blive større. Mange lande vil, ifølge deres klimamål, være CO₂ neutrale i 2050, og grøn brint vil blive en vigtig komponent i at omstille de sværeste, og mest energitunge sektorer.

11%

af efterspørgslen fra Tyskland, Holland og Belgien har Danmark mulighed for at dække gennem eksport i 2030

Kilde: Egne beregninger



16 TWh

forventes Danmark at eksportere i 2030

Ifølge estimater fra COWI forventes Tyskland, Holland og Belgien at have en samlet efterspørgsel efter grøn brint på omkring 500 TWh i 2050, når den grønne omstilling skal være nået. Skønnet er baseret på de enkelte landes økonomier, industriernes størrelse og omstillingsbehov, og er altså et udtryk for den mængde grøn brint, landene forventes at skulle bruge årligt efter en grøn omstilling.

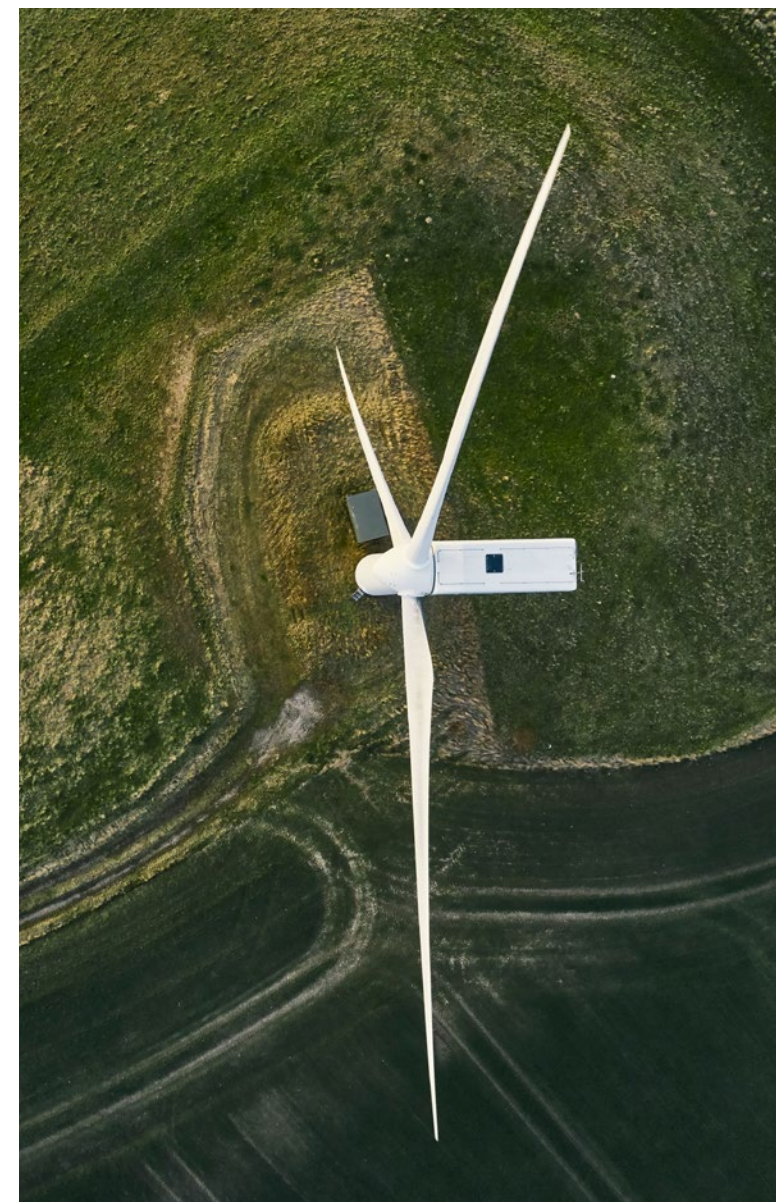
Landene forventer selv at blive nettoimportører jf. deres brintstrategier, og størrelsen på importen vil afhænge af, hvor meget elektrolysekapacitet landene selv får opbygget, og hvilken pris nabolande, som f.eks. Danmark, kan producere brint til. Både fordi markedet ikke kan stille sin egen efterspørgsel, men i endnu højere grad fordi Danmark kan levere billigere brint, end landene selv kan producere.

COWI har analyseret, hvad Danmarks potentielle brinteksport på sigt kan udgøre, når man tager højde for, hvor meget kendte og tilgængelige danske arealer til vedvarende energi muliggør af kapacitet, og fratrækker behovet til Danmarks direkte elektrificering og eget brintbehov. Altså hvad de danske ressourcer inkl. åben dør-arealerne alt andet lige muliggør svarende til en form for maksimalbud på brinteksportpotentialitet baseret på danske ressourcer.

Screenes der for yderligere relevante arealer eller kobles dansk brintproduktion sammen med nærtliggende vedvarende energiproduktion fra fx Tyskland, vil der kunne produceres endnu mere brint.

Hvis Danmark, som et regneeksempel, udnytter samtlige screenede danske arealer til udbygning af vedvarende energi²², og producerer brint af den overskydende energi ud over Danmarks eget behov, vil Danmark alt andet lige kunne eksportere omkring 200 TWh brint.

Figur 12 viser forholdet mellem det danske potentiale for brinteksport sammenlignet med Tysklands, Hollands, og Belgiens forventede efterspørgsel i 2050.



²¹ Med samme antagelser som fodnote 16.

²² Baseret på 15,6 GW kystnær vind, 6,2 GW landvind, 30 GW sol, 41 GW havvind, jf. COWI (2023).

POTENTIALE PÅ 100 MIA. KR.

Figuren viser, at hvis Danmark udbyggede vedvarende energi til det maksimale potentiale, ville Danmark kunne dække omkring 40% af Tysklands, Hollands og Belgiens samlede brintefterspørgsel. Det svarer til en eksportværdi på omkring 100 mia. kr. årligt i nutidens kroner, jf. COWI (2023).

Danmark har således mulighed for at udbygge til fuld kapacitet med afsætningsmuligheder mod syd, hvis den overskydende energi konverteres til brint.

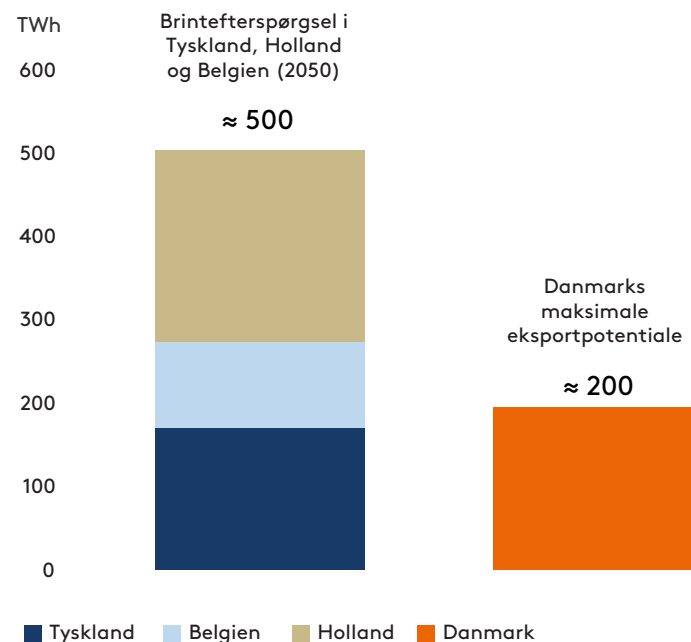
Til sammenligning har den samlede, danske eksport af energiteknologi og -services en værdi omkring 105 mia. kr. (2021) jf. Energistyrelsen og er således af nogenlunde samme størrelse som det dansk baserede brintpotentiale.

De største vareeksportområder for Danmark i dag er til sammenligning life science, som i 2021 eksporterede for omkring 152 mia. kr., mens den samlede fødevareklynge (landbrug og videreforædling) eksporterede for 164 mia. kr. i 2020.

Den potentielle, grønne brinteksport er således af en signifikant størrelse og baseret på en vedvarende energikilde, der ikke udtømmes modsat fx olie og naturgas.

Den danske eksport af olie og naturgas toppede i 2012 med en værdi omkring 62 mia. kr. (faste priser), jf. Danmarks Statistik.

Figur 12: Brintefterspørgsel på længere sigt ift. DK's maksimale eksport potentiale



Kilde: COWI (2023) beregning af forventet efterspørgsel og muligt eksportpotentiale på vegne af CIP Fonden.

Anm: Potentielt dansk eksportpotentiale er beregnet som mulig brintproduktion baseret på maksimal VE-udbygning efter screenede danske arealer og elektrolysekapacitet fratrukket Danmarks forventede egetforbrug i 2050. Brintefterspørgslen i Tyskland, Holland og Belgien er beregnet ud fra omstillingspotentialet i landene baseret på deres industristruktur, forventet økonomisk udvikling mv.

Danmarks muligheder for storskala eksport

I Danmark er der mange brintbaserede projekter på vej, som enten har ambitioner om at producere brint eller brintbaserede Power-to-X-produkter.

Projekterne er tidligt i udviklingsfasen, og der er derfor stor usikkerhed forbundet med deres realisering. Alligevel giver projekterne en indikation af, hvordan der i Danmark kan skabes brintproduktion på den korte bane. Af en markedsdialog, som KPMG har foretaget for Energinet og Evida, fremgår det, at der i Danmark kan være en elektrolysekapacitet på over 14 GW allerede i 2030.

UDMELDTE PROJEKTER MED STØRRE KAPACITET

Kapaciteten er betydelig, og både større end den politiske målsætning på 4-6 GW i 2030 og Energistyrelsens forventninger på omkring 7 GW i 2030.

Trods usikkerhed om realiseringen af alle projekterne, er potentialet stort med mulighed for, at Danmark i 2030 har en betydelig produktion af grøn brint.

Da Danmark ventes at få et begrænset behov for brint og PtX-produkter til indenlandsk forbrug, er mange danske brintprojekter afhængige af en brintinfrastruktur udlandsforbindelser²³.

Uden en brintinfrastruktur får projekterne ikke en afsætningskanal, og uden udlandsforbindelser bliver de ikke forbundet med et marked, der har en stor efterspørgsel og forventes at vokse markant.

BRINTINFRASTRUKTUR TIL UDLANDET ER MARKEDSADGANG

Udlandsforbindelserne skaber derfor markedsadgangen. Og givet den store aktivitet hos vores nærmeste naboer med importbehov, er det relevant, at Danmark orienterer sig mod deres planlagte strukturer og forbrugssteder.

Den danske landbaserede brintproduktion ventes allerede at vokse betydeligt mellem 2027 og 2028, hvis der bliver etableret en brintinfrastruktur med forbindelse til udlandet.

Adgang til vedvarende energi og en brintinfrastruktur til især Tyskland er altså afgørende for, at Danmark på den helt korte bane kan blive producent og eksportør af brint.

Samtidig er der for Danmark store muligheder for at supplere med offshore brintproduktion. Som det blev beskrevet i tidligere afsnit, er Danmarks mange, vindrige arealer i Nordsøen gunstige for produktionen af vedvarende brint. Endda så gunstige, at der er en vis produktionsfordel sammenlignet med de andre Nordsølande – omkring 5-10%, når man sammenligner en potentiel dansk energiø med en tysk energiø.

Skal der storskalaproduktion til, vil havbaseret, dedikeret brintproduktion have en fordel. Omkostningsforskellen er endnu større – op mod 15-20 pct. – når man sammenligner med landbaseret brintproduktion, jf. figur 13.

Omkostningsfordelene for brintproduktion på en dansk energiø er tilskrevet flere forhold herunder, at 1) det elektriske tab mindskes, når brintproduktionen rykkes tættere på fx vindmøllerne, 2) en højere udnyttelse af elektrolysekapaciteten, gennem et højere antal fuldlasttimer og 3) lavere transportomkostninger, da energien transporteres billigere som brint fremfor som elektricitet.



BRINTPRODUKTION PÅ ØER I NORDSØEN

En dansk brintbaseret produktions-ø, kan pga. effektivitet, lokale forhold og skala producere brint konkurrencedygtigt og lidt billigere end fx Tyskland.

På grund af markedets størrelse kan det være økonomisk fordelagtigt at etablere flere energiøer med det primære formål at producere brint – en form for brintøer.

Der er således et marked for dedikerede, danske brintøer i Nordsøen, hvis primære formål er at producere brint til markedet mod syd, når det danske behov er dækket.

Sådanne brintøer kan etableres sideløbende med de politisk bestemte energiøer, og de kan opføres på kommercielle vilkår.

For mens de danske energiøer vil få en vigtig rolle for den danske forsyningssikkerhed og elnettets balancering, vil Danmark ikke have behov for energien fra brintøer til selvforsyning.

Brintøer kan etableres udelukkende med eksportsigte, og de kan placeres strategisk i Nordsøen i forhold til andre landes vedvarende energi og infrastruktur.

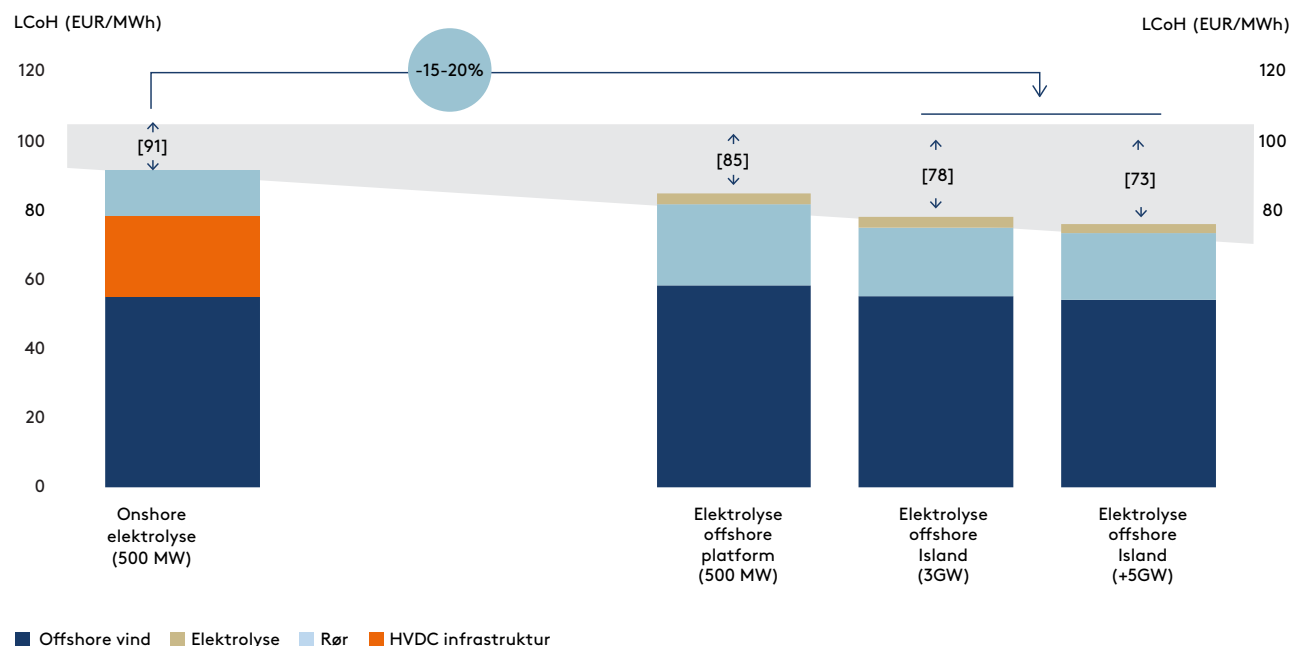
De, der først anlægger infrastrukturen, påvirker markedet og afsætningskanalerne. Og hvis der i Danmark kommer rammer for udnyttelsen af Nordsøens potentiale, vil landene mod syd få adgang til billig, grøn energi, mens Danmarks eksportindtægter øges. Det giver derfor mening, at Danmark i sine overvejelser om fremtidig energiinfrastruktur orienterer sig mod, hvor der kan afsættes overskydende energi, og hvor der allerede er fremskredne planer om brintinfrastruktur.

Danske omkostningsfordele og muligheder for at blive storekøber af grøn brint skal ses i lyset af, hvordan der bliver investeret i vedvarende energi og infrastruktur omkring os.

Selvom markedet har en overbevisende størrelse, og Danmark har omkostningsfordele på brintproduktion, kan potentialet kun realiseres, hvis der handles tidligt.

Vedtagelsen af en dansk brintinfrastruktur med udlandsforbindelse vil øge chancen for realiseringen af brintproduktion på land i Danmark, ligesom sunde regulatoriske rammer, der muliggør etableringen af brintøer og brintinfrastruktur i Nordsøen vil skabe en konkurrencefordel i forhold til andre lande, som i højere grad vil koble sig op på Danmarks planer og indrette importstrategier derefter.

Figur 13: Omkostningsfordelene ved brintproduktion er størst på offshore energiøer

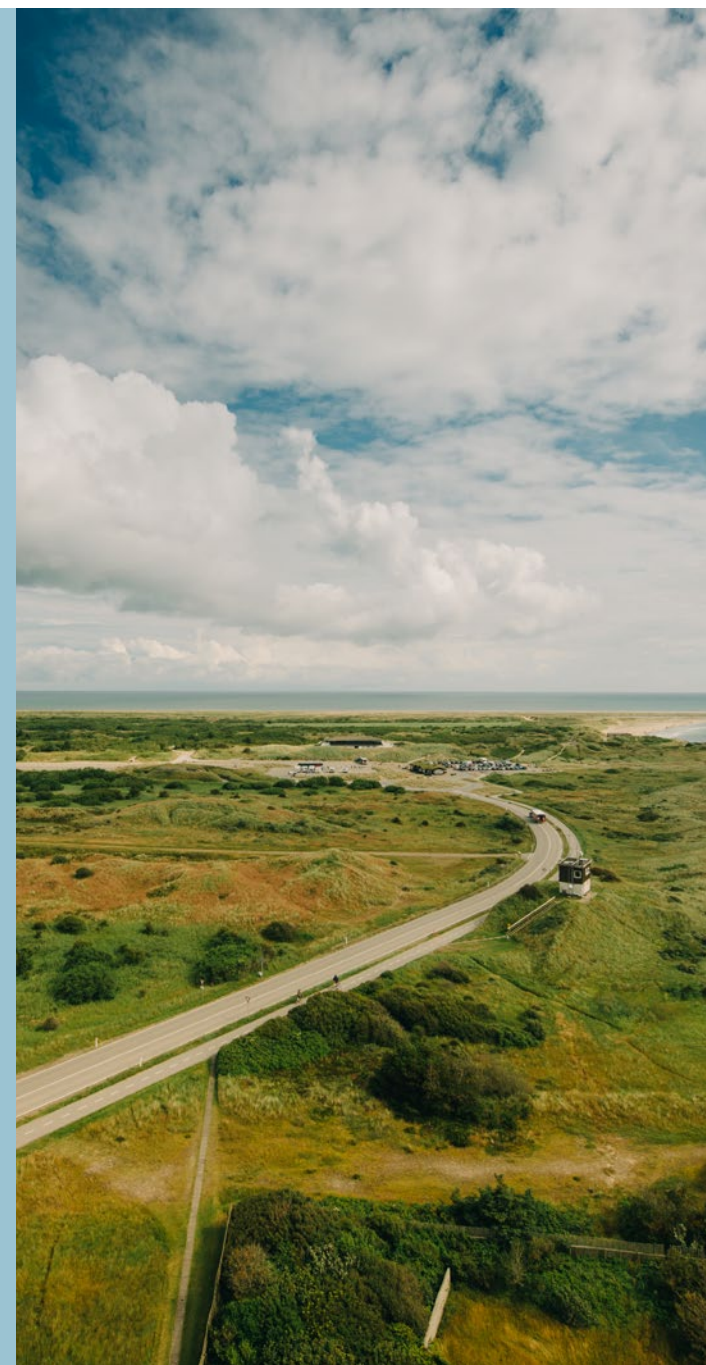


Kilde: Brinckmann (2023) for CIP Fonden

Hvad får samfundet ud af, at Danmark producerer og eksporterer grøn brint?

- Potentielle eksportindtægter på op mod 100 mia. kr.– på niveau med eksporten af energiteknologi og -services i dag – og med tilhørende skatteindtægter til samfundet.
- Energieksport, der fx kan afløse olie og naturgas, og hvor ressourcen ikke udtømmes.
- Højproduktive og relativt højtlønnede arbejdspladser knyttet til etableringsfase og efterfølgende brintproduktion – med en geografisk variation oftest uden for de største byer.
- Balancering af det danske el-net og aflastning af behovet for at udbygge el-infrastrukturen til at håndtere de store mængder vedvarende energi, som kan udnyttes i brintproduktionen, når der produceres mere energi end der behov for til den direkte elektrificering.
- Brint og PtX produktion forudsætter en markant udbygning af vedvarende energi, som i sig selv medfører længere perioder med lavere el-priser, men også perioder med højere el-priser end i dag (større udsving) og generelt reducerer energipriserne til gavn for danske virksomheders konkurrenceevne og danske forbrugere.
- Understøtter grøn omstilling for en større region, når Danmark bedst og billigst kan producere store mængder grøn brint i Nordeuropa til den nødvendige omstilling af industri og transport.
- Understøtter politisk målsætning om at gøre noget ved globale klimaproblemer på et område, hvor Danmark har mulighed for at gøre en reel forskel, og som har potentiale til at blive blandt vores største bidrag til den internationale grønne omstilling.
- Større uafhængighed i energiforsyningen, og dermed understøttelse af en sikkerheds- og energipolitisk dagsorden i EU.

Kilde: Baseret på input fra COWI (2023), Copenhagen Economics (2022b), Green Power Denmark (2020), IRENA (2022) og EA Energyanalyse (2020)



Ny infrastruktur, ny regulering

Et nyt energimarked kræver en ny infrastruktur og tilhørende regulering.

Det er helt afgørende for et kommende brintmarked, hvordan infrastrukturen organiseres og reguleres. Spørgsmål om ejerskab, drift, omkostningsfordeling og finansiering er – sammen med den fysiske infrastruktur – afgørende for udviklingen af et brintmarked. Aktørerne skal ikke blot kende de kommende forbindelser, men også betingelserne for at bruge dem, og omkostningerne forbundet med det.

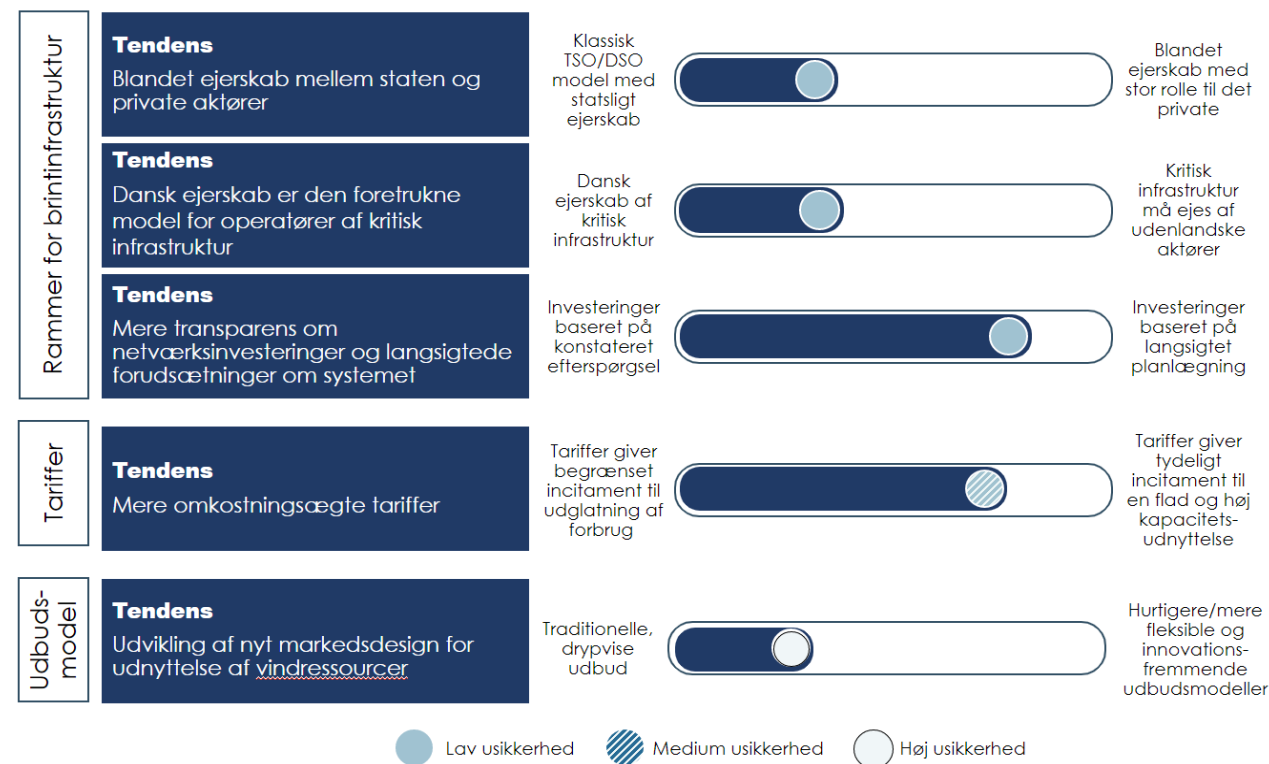
ERFARING OG TENDENSER FRA ANDEN REGULERING

I Danmark har vi stor erfaring med energiinfrastruktur og regulering heraf, men endnu ingen erfaring med reguleringen af brintinfrastruktur. Ved at inddrage tidligere regulering af energiinfrastruktur kan de mest brugbare tendenser og erfaringer inspirere den fremtidige regulering på brintområdet. Et kommende brintmarked vil dog adskille sig fra fx el-markedet og naturgas, da der kun vil være få store producenter og få store aftagere, der skal tilkobles brintnettet. Færre brugere betyder, at prisstrukturen kan, og givetvis skal være, anderledes.

Copenhagen Economics (CE) har på foranledning af CIP Fonden vurderet, hvordan det fremtidige reguleringsmæssige landskab for en brintinfrastruktur kan se ud i Danmark. CE fremhæver, at det er overvejende sandsynligt med en TSO-model for brint i Danmark som væsentlig aktør på den landbaserede produktion og rørføring og med en præference for dansk ejerskab, jf. figur 14. Udlandsforbindelserne kan imidlertid også etableres til havs direkte fra den vedvarende energikapacitet med et kommercielt afsæt.

Nye industrier og nye behov er vanskelige at imødekomme på baggrund af konstateret efterspørgsel, som ellers har været et fremherskende princip for energiinfrastrukturudbygningen

Figur 14: Fem tendenser som ventes at manifesterer sig mere eller mindre udtalt i det danske energisystem, inkl. brintinfrastruktur, i de kommende år



Kilde: Copenhagen Economics (2022a)

hidtil. Her har Energinet fået lidt flere muligheder med den langsigtede udviklingsplan (LUP), som muliggør en vis udbygning i forhold til et forventet marked.

CE vurderer, at det bliver, og bør blive, kapacitetsbaserede, omkostningsægte tariffer, der bliver dominerende.

BETAL EFTER BRUG I FORHOLD TIL KAPACITET

Kapacitetsbaserede tariffer skaber incitament hos brugerne til at benytte infrastrukturen på tidspunkter, hvor der ellers er relativt lavt forbrug. Modsat bliver det dyrere at benytte infrastrukturen i de områder og på de tidspunkter, hvor produktionen er stor.

Det reducerer omkostningerne ved udbygning af infrastrukturen, og det giver aktørerne incitament til at indtænke infrastrukturens dimensionering i deres brug.

Princippet om kapacitetsbaserede tariffer er også fremherskende i en række af vores nabolande, når det gælder el-markedet. Landene har samtidig el-tariffer, der i højere grad understøtter større elforbrugere, som fx PtX-producenter, jf. figur 15.

Det vil også være muligt at indføre geografisk differentierede tariffer m.h.p. at tilskynde til, at el- og brintinfrastrukturen udnyttes bedst muligt.

Endelig vurderer Copenhagen Economics, at det på nuværende tidspunkt er relativt usikkert, hvordan markedsdesign og udbudsmodeller vil se ud for stadigt mere komplekse infrastruktur-projekter i f.eks. Nordsøen.

USIKKERHED OG VENTETID ØGER OMKOSTNINGERNE

Usikkerheden omkring den fremadrettede regulering, hvad enten den handler om, hvorvidt der kommer infrastruktur eller ej, tidshorisonten for det, og hvor den i så fald måtte blive placeret, hvad det koster at benytte den, og hvem der skal eje og/eller finansiere den, er markant på alle dimensioner.

Da usikkerhed sætter sig i form af øgede omkostninger hos udviklere og brugere, er det relevant for en samfundsøkonomisk udvikling og understøttelse af den grønne omstilling at søge at nedbringe usikkerheden, hvor det er muligt. Også regulatorisk.

For grøn brint er der mulighed for et meget stort eksportpotentiale, hvilket alt andet lige taler for, at de kommercielle aktører bærer en stor del af risikoen og finansieringen, mens statens opgave især orienterer sig mod overordnet planlægning og rettidig tilrettelæggelse af regulering og rammevilkår.

Jo længere tid, der går, før reguleringen er på plads og rammerne kendte, jo større risiko er der for, at andre etablerer sig med infrastruktur, der sætter rammerne for markedsadgangen og langsigtede aftageraftaler omkring det kommende, grønne brintmarked. Det kan skabe en form for adgangsbarriere - en entry cost - for andre aktører.

Tabel 1: Tendenser i tarifreguleringen for el på tværs af lande

Land	Volumetrisk	Kapacitets-baseret	Tids-differentieret	Geografisk differentieret	Eltarif til PTX/storkunder
Danmark	✓	✗	✗	✗	~ 15 EUR/MWh
Holland	✗	✓	✗	✗	~ 4 EUR/MWh*
Tyskland	✓	✓	✗	✗	~ 0 EUR/MWh Efter 20 år:
Belgien	✓ (~60%)	✓ (~40%)	✓	✗	
Sverige	✓ (~20%)	✓ (~80%)	✗	✓	~ 3 EUR/MWh Efter 20 år:

Kilde: Copenhagen Economics (2022a)

Anm.: Volumetrisk tarif betyder, at man betaler efter transporterede mængder, mens kapacitetsbaserede tariffer også tager højde for, hvor mange der ellers bruger infrastrukturen, og om der dermed er høj belastning eller ej på kapaciteten. Tids- og geografisk differentiering er andre måder at tilskynde brugen af infrastrukturen til tidspunkter/områder, hvor der ikke er kapacitetsudfordringer. El-tarifferne til storkunder påvirker produktionsomkostningerne hos kommende producenter af brint og PtX-produkter, såfremt den grønne strøm har benyttet el-nettet.

Konklusioner og anbefalinger

Danmark står over for et stort eksportpotentiale, som med fordel kan udnyttes til gavn for Europas grønne omstilling, energiuafhængighed, og med positive effekter for dansk økonomi.

STORT EKSPORTMARKED SYD FOR GRÆNSEN

Syd for Danmark vil Tyskland, Holland og Belgien få en stor efterspørgsel efter grøn brint til omstillingen af bl.a. deres tunge industrier. Danmark har potentialet til at eksportere grøn brint til Tyskland allerede i 2030, og frem mod 2050 kan handelsomsætningen runde 100 mia. kr. årligt i vedvarende indtægter.

Men at indfri potentialet kræver, at der bliver etableret en brintinfrastruktur, sat gang i udbygningen af vedvarende energi, og at der bliver skabt lukrative rammer for udviklingen af de danske arealer i Nordsøen.

Grøn brint er internationalt anerkendt som en vigtig brik i den grønne omstilling. Brint kan, modsat elektricitet, lagres, og den kan skabe en mere effektiv energiproduktion og balancere elnettet.

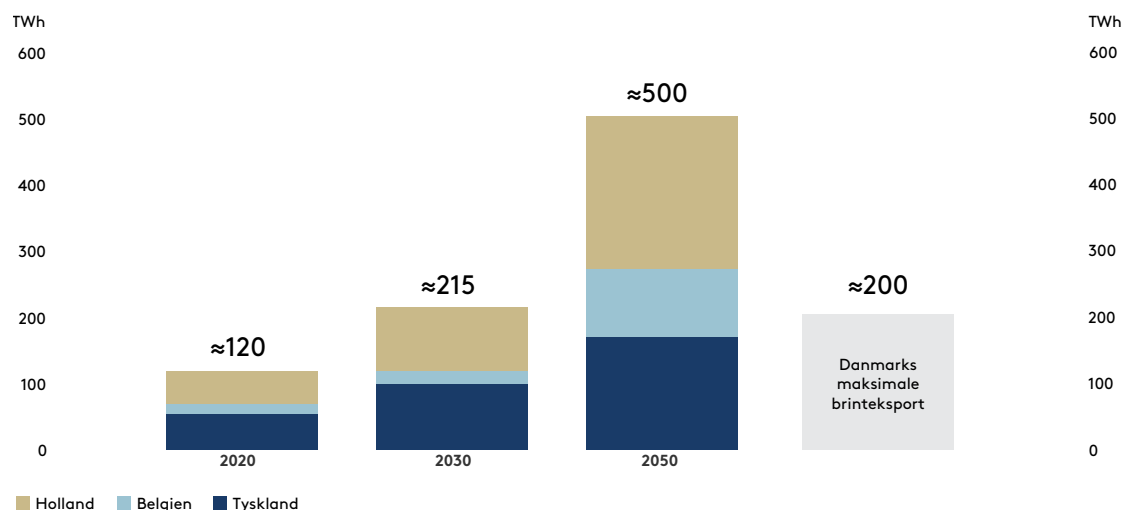
Samtidigt kan brint erstatte fossile alternativer i industrien, ligesom den er base for fremtiden Power-to-X-produkter, der skal omstille fly- og skibstrafikken og understøtte grøn gødning til landbruget.

DANMARK SKAL MELDE SIG IND I DE INTERNATIONALE PLANER

Internationalt er der en stor udvikling på området, og der planlægges brint- og PtX-projekter over alt i verden. Aktører i industritunge nationer, som fx Tyskland og Holland, indgår aftaler om brintleverancer fra Sydeuropa, Mellemøsten og Australien, og de anlægger tilhørende brintinfrastruktur. Det skal Danmark orientere sig mod og melde ind, hvor Danmark vil kunne spille en rolle.

Danmark forventes kun at få et begrænset brintforbrug selv i fremtiden, men arealerne i bl.a. Nordsøen rummer et potentiale for storskala brintproduktion, som Danmark med fordel kan høste med henblik på eksport. For Tyskland, Holland og Belgien vil mangle store mængder grøn brint, når de tunge in-

Figur 15: Tyskland, Belgien og Hollands forventede brintefterspørgsel overstiger Danmarks potentielle brinteksport



Kilder: 2020: TNO PUBLIEK (2020) for Holland, Deloitte (2021) for Belgien og Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (2020) for Tyskland, 2030: Economie (2022) for Belgien, Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (2020) for Tyskland og Ministry of Economic Affairs and Climate Policy (2020) for Holland, og 2050: estimeret af COWI.

Anm.: Danmarks brinteksport i 2030 vurderes at kunne udgøre 16 TWh, jf. egne beregninger baseret på Energistyrelsen (2023) og Regeringens klimapartnerskab for energi- og forsyning (2020).

dustrier og transportsektoren skal omstilles, og Danmark har, alt andet lige, gode forudsætninger og de laveste produktionssomkostninger for brintproduktion i nærområdet.

Det skaber et potentiale for, at Danmark kan eksportere store mængder grøn brint til lande, som ikke har mulighed for at dække eget forbrug.

SNART OVERSKYDENDE ENERGI TIL BRINT

Energistyrelsen forventer, at Danmark allerede i 2030 vil producere mere brint, end der behov for til at dække indenlandsk forbrug. Den overskydende brint har i 2030 en eksportværdi på 8 mia. kr., men den dækker kun omkring 10% af den samlede efterspørgsel fra Tyskland, Holland og Belgien.

STORT POTENTIALE, MEN...

Potentialet er meget større, og udbygger Danmark den kendte kapacitet, vil Danmark kunne eksportere brint for 100 mia. kr. årligt. Det er 2/3 mere end eksportværdien for Danmarks olie- og gaseksport, da den var på det højeste.

Danmark har potentialet til at bidrage signifikant til Europas grønne omstilling, den europæiske forsyningssikkerhed og energiuafhængighed.

Men hvis potentialet skal indfries, er der behov for at skabe rammerne for udviklingen af det nye energimarked. Ellers forsvinder de danske muligheder i markedet, når Tyskland, Holland og Belgien indgår strategiske samarbejder og infrastrukturaftaler udenom Danmark. Med afsæt i markedsvurderingen fremlægger CIP Fonden tre anbefalinger til danske beslutningstagere:

CIP Fondens tre anbefalinger til danske beslutningstagere



- **Sæt gang i planlægningen af en brintinfrastruktur med eksportforbindelser til udlandet.** Den konkrete placering bør vedtages med udgangspunkt i omkringliggende landes aktiviteter og deres importbehov. Planerne bør offentliggøres hurtigst muligt for at understøtte, at de enkelte brintprojekter har en afsætningskanal, og for at importlande kan indtænke Danmark i deres forsyningsstrategier og i forhold til etablering af brintinfrastruktur på modtager-siden. Spørgsmål omkring ejerskab og drift af infrastruktur, omkostningsfordeling og finansiering bør fastlægges hurtigst muligt og i dialog med markedet.
- **Sæt fart på udbygningen af vedvarende energi.** Udbygningen af vedvarende energi skal sikre, at brintproducenter får adgang til de fornødne energimængder, og at Danmark bidrager mest muligt til Europas grønne omstilling, når vi har mulighederne for det. Ambitioner, målsætninger og politiske aftaler er ikke nok – der skal handling bag ordene.
- **Skab rammerne for kommerciel storskalaproduktion af brint i Nordsøen.** Hvis Danmark skal udnytte det fulde eksportpotentiale og bidrage mest muligt til den europæiske omstilling, forsyningssikkerhed og energiuafhængighed, skal der skabes rammer, der muliggør storskala udbygning af vedvarende energi i Nordsøen med henblik på brintek-sport. Brintøer dedikeret til eksport er en mulighed, da de danske områder kan producere den billigste brint, som Danmark ikke selv kan forbruge.



CIP Fonden præsenterer d. 30. maj 2023 en samlet plan for fremtidens brint- og PtX-infrastruktur. Planen vil indeholde konkrete forslag til placering og rørføring af en kommende dansk brintinfrastruktur og beskrive investeringsomfanget.

Kilder

AL-Monitor (2022): *Morocco to ramp up green hydrogen production*, maj 2022, <https://www.al-monitor.com/originals/2022/05/morocco-ramp-green-hydrogen-production>

Brinckmann (2023): *H2 Data Catalogue*, februar 2023, https://cipfonden.dk/wp-content/uploads/2023/03/2023-03-22-H2-Data-Catalogue_final-for-Client.pdf

Copenhagen Economics (2022a): *Tendenser i Regulering af Energiinfrastruktur i Danmark*, udarbejdet for CIP Fonden, september 2022, <https://cipfonden.dk/wp-content/uploads/2023/01/Tendenser-for-regulering-af-energiinfrastruktur-i-Danmark.pdf>

Copenhagen Economics (2022b): *De Samfundsøkonomiske gevinster ved rettidige investeringer i dansk energiinfrastruktur*, september 2022, <https://cipfonden.dk/wp-content/uploads/2023/01/CE-De-samfundsmaessige-gevinster-ved-rettidige-investeringer-i-dansk-energiinfrastruktur.pdf>

COWI (2023): *Baggrundsnotat - Efterspørgselsanalyse CIP Fonden*, marts 2023, <https://cipfonden.dk/wp-content/uploads/2023/03/Baggrundsnotat-Efterspørgselsanalyse-CIP-Fonden-21-marts.pdf>

Dansk Energi (2020): *Anbefalinger til en dansk strategi for Power-to-X*, november 2020, <https://greenpowerdenmark.dk/files/media/danskeenergi.dk/dokumenter/2020-11/Anbefalinger-til-en-dansk-strategi-for-Power-to-X.pdf>

Deloitte og Federal Public Service (FPS) Economy (2021): *The role of clean gas in a climate neutral Belgium*, maj 2021, <https://www2.deloitte.com/be/en/pages/energy-and-resources/articles/the-role-of-clean-gas-in-climate-neutral-belgium.html>

EA Energianalyse (2020): *Brint og PtX i fremtidens energisystem*, november 2020, <https://www.ea-energianalyse.dk/wp-content/uploads/2020/11/Brint-og-PtX.-Perspektiv-og-konkurrence-dygtighed-for-produktion-i-DK-251120.pdf>

Economie (2022): *Vision and strategy Hydrogen Update (Belgiens brintstrategi)*, oktober 2022, <https://economie.fgov.be/sites/default/files/Files/Energy/View-strategy-hydrogen.pdf>

Energistyrelsen (2023): *Analyseforudsætninger til Energinet 2022*, januar 2023, https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Hoeringer/af22_-_sammenfatningsnotat.pdf

Energistyrelsen (2019): *Havvindspotentialet i Danmark - screening af de danske farvande for mulige placeringer til ny havvind*, april 2019, https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Vindenergi/final_26_april_2019_analyserapport_for_124_gw_screening.pdf

[nal_26_april_2019_analyserapport_for_124_gw_screening.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Vindenergi/offshore_wind_potential_in_the_north_sea.pdf)

Energistyrelsen (2022): *Offshore Wind Potential in the North Sea*, marts 2022, https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Vindenergi/offshore_wind_potential_in_the_north_sea.pdf

EU-Kommissionen: *Hydrogen*, tilgået marts 2023, https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-systems-integration/hydrogen_en

EU-Kommissionen (2021): *The role of hydrogen in meeting our 2030 climate and energy targets*, juli 2021, <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/50cd-7bed-00e4-11ec-8f47-01aa75ed71a1>

EU-Kommissionen (2022): *REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition*, maj 2022, https://ec.europa.eu/commission/press-corner/detail/en/IP_22_3131

EU Observer (2023): *Why is pretrastate UAE going all in on green hydrogen?*, januar 2023, <https://euobserver.com/green-economy/156628>

FCHO (2022): *2022 Hydrogen Supply Capacity and Demand (kap. 2), Fuel Cells and Hydrogen Observatory for Clean Hydrogen Partnership/EU*, marts 2022, <https://www.fchobservatory.eu/sites/default/files/reports/Chapter%202%20-%20FCHO%20Market%20-%202022%20Final.pdf>

Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (2020): *The National Hydrogen Strategy, juni 2020, (Tysklands brintstrategi)*, https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/downloads/files/bmwi_nationale-wasserstoffstrategie_eng_s01.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Fluxys (2023): *Offshore hydrogen pipeline: GASCADE and Fluxys step up plans: System operators apply for PCI status for ambitious North Sea hydrogen infrastructure project*, januar 2023, https://www.fluxys.com/en/press-releases/fluxys-group/2023/230123_press_gascade_fluxys_aqueductus

Gasunie (2019): *Hydrogen supply and demand: present to 2030*, november 2019, https://s3.eu-west-2.amazonaws.com/uploads-7e3kk3/115/waterstof_vraag_en_aanbod_nu-2030-uk-27jan_c78cdf4a7a5b.pdf?UA-142619432-2

Gasunie (2022a): *Gasunie investigates network in North Sea*, oktober 2022, <https://www.gasunie.nl/en/news/gasunie-investigates-hydrogen-network-in-north-sea>

Gasunie (2022b): *Gasunie starts construction of national hydrogen network in the Netherlands*, juni 2022, <https://www.gasunie.nl/en/news/gasunie-starts-construction-of-national-hydro>

gen-network-in-the-netherlands

Gasunie (2023): *Hydrogen network Netherlands*, tilgået marts 2023, <https://www.gasunie.nl/en/projects/hydrogen-network-netherlands>

Gulf Business (2022): *UAE completes first phase of National Hydrogen Strategy*, november 2022, <https://gulfbusiness.com/uae-completes-first-phase-of-national-hydrogen-strategy/>

Green Hydrogen Organisation, *GH2 Country Portal – Morocco*, tilgået marts 2023, <https://www.al-monitor.com/originals/2022/05/morocco-ramp-green-hydrogen-production>

Green Hydrogen Organisation (2022): *The mirage of blue hydrogen is fading*, januar 2022, <https://gh2.org/blog/mirage-blue-hydrogen-fading>

Green Power Denmark (2020): *Anbefalinger til en dansk strategi for Power-to-X*, november 2020, <https://greenpowerdenmark.dk/files/media/danskenergi.dk/dokumenter/2020-11/Anbefalinger-til-en-dansk-strategi-for-Power-to-X.pdf>

Hydrogeninsight (2023): *“Leaked document: Germany will need to import 50-70% of its hydrogen by 2030 and that share will only grow”*, marts 2023, <https://www.hydrogeninsight.com/policy/leaked-document-germany-will-need-to-import-50-70-of-its-hydrogen-by-2030-and-that-share-will-only-grow/2-1-1416856>

Hydrogen-central (2023): *“Germany to Join Mediterranean Hydrogen Pipeline Projekt H2Med”*, 24. januar 2023, <https://hydrogen-central.com/germany-join-mediterranean-hydrogen-pipeline-project-h2med/>

IEA (2019): *The future of hydrogen*, juni 2019, https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf

IEA (2021a): *Global Hydrogen Review 2021*, November 2021, International Energy Agency, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/5bd46d7b-906a-4429-abda-e9c507a62341/GlobalHydrogenReview2021.pdf>

IEA (2021b): *Hydrogen in North-Western Europe*, April 2021, International Energy Agency, https://iea.blob.core.windows.net/assets/ccbc3b01-7403-4c15-90a2-af11dfb92c62/Hydrogen_in_North_Western_Europe.pdf

IRENA (2018): *Hydrogen from renewable power: Technology outlook for the energy transition*, September 2018, https://www.irena.org/-/media/files/irena/agency/publication/2018/sep/irena_hydrogen_from_renewable_power_2018.pdf

IRENA (2022): *Renewable Power Generation costs in 2021*, juli 2022, <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021>

KPMG (2022): *Markedsdialog om brintinfrastruktur*, oktober 2022, udarbejdet for Evida og Energinet, <https://energinet.dk/om-publikationer/publikationer/markedsdialog-om-brintinfrastruktur-2022/>

Ministry of Economic Affairs and Climate Policy (2022): *Ontwikkeling transportnet voor waterstof (Udvikling af transportnet for brint)*, juni 2022, <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-5c57a9ba35fa907dccc805ca0da463dc33b036bb8/pdf>

Ministry of Economic Affairs and Climate Policy (2020): *Government Strategy on Hydrogen*, april 2020, (Hollands brintstrategi), <https://www.government.nl/documents/publications/2020/04/06/government-strategy-on-hydrogen>

Regeringens klimapartnerskaber – Energi- og forsyningssektoren (2020): *I mål med den grønne omstilling 2030. Sektorkøreplan for energi- og forsyningssektorens bidrag til 70%-målsætningen*, marts 2020, https://kefm.dk/media/6650/i_maal_med_den_gronne_omstilling_2030_klimapartnerskab_energi_forsyning_sektor.pdf

Reuters (2022a): *Germany plans 1,800 km hydrogen pipeline network: draft government paper*, december 2022, <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/germany-plans-1800-km-hydrogen-pipeline-network-draft-government-paper-2022-12-02/>

Reuters (2022b): *E.ON and Australia's FFI to explore green hydrogen shipments to Europe*, 29. marts 2023, <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/eon-australias-ffi-explore-green-hydrogen-transport-europe-2022-03-29/>

RWE (2023): *RWE and Equinor agree on strategic partnership for security of supply and decarbonization*, januar 2023, <https://www.rwe.com/en/press/rwe-ag/2023-01-05-rwe-and-equinor-agree-on-strategic-partnership-for-security-of-supply-and-decarbonisation/>

TNO PUBLIEK (2020): *The Dutch hydrogen balance, and the current and future representation of hydrogen in the energy statistics*, juni 2020, <https://repository.tno.nl/islandora/object/uuid%3A77b361fb-0598-40aa-8be2-97e1f6e73ce5>

Vandoorne (2022): *Dutch government gives update on hydrogen policy*, juli 2022, <https://www.vandoorne.com/en/knowledge-sharing/dutch-government-gives-an-update-on-hydrogen-policy/>

Van Wijk og Chatzimarkakis (2020): *“Green Hydrogen for a European Green Deal – a 2*40 GW Initiative”*, Hydrogen Europe, https://www.waterstofnet.eu/_asset/_public/WIC/Hydrogen-Europe_2x40-GW-Green-H2-Initiative-Paper-1.pdf