

Maj 2023

Roadmap for en dansk brintinfrastruktur til fremtiden



Forord

CIP Fonden præsenterer med denne rapport forslag til en sammenhængende brintinfrastruktur for Danmark.

Brintinfrastrukturen er designet med henblik på at understøtte den grønne omstilling i Europa og de politisk fastsatte klimamål, booste dansk eksport og balancere energisystemet.

Forslaget viser, hvor brint-rørene mest hensigtsmæssigt placeres, hvordan de dimensioneres, hvordan de bedst forbindes til udlandet, og i hvilke etaper de kan udbygges i.

Krigen i Ukraine og brugen af naturgas som politisk våben har bragt Danmark og Europa i en historisk energikrise, som kommer oveni en stadig mere påtrængende klimakrise. Energipolitik er blevet sikkerhedspolitik, og det accentuerer behovet for at øge tempoet i den grønne omstilling.

Der er det seneste år truffet markante og langtrækkende politiske beslutninger om forsyningssikkerhed og grøn omstilling. Beslutninger, som ændrer betingelserne for vores energiforsyning og den underliggende infrastruktur – og fra et godt udgangspunkt: priserne på den vedvarende energi er blevet konkurrencedygtige, og den grønne energi kan høstes i stadig større grad.

Kernen i beslutningerne er behovet for elektrificering og integration af grøn energi fra volatile kilder som vind og sol sammen med nye teknologier til at producere grøn brint og PtX-produkter, der understøtter grøn omstilling af energikrævende industriprocesser, tung transport og landbruget.

Omstillingen kræver dog tilsvarende beslutninger om den infrastruktur, der skal binde den nye kapacitet med aftagere i Danmark og udlandet og binde de nye energiformer. Infrastrukturen er afgørende for forsyningssikkerhed og de forretningsmæssige potentialer i den grønne energi, hvad enten vi taler strøm eller brint, da den er adgangen til markedet.

Det påtrængende behov for yderligere grøn omstilling er en mulighed for, at danske virksomheder og det danske samfund kan høste store gevinster ved at være "first movers". CIP Fondens markedsvurdering fra marts 2023 viste, at Danmark har nogle af de bedste forudsætninger for at producere grøn brint i Nordeuropa og blive storekøber i et omfang svarende til den nuværende eksport af grøn energi- og miljøteknologi. Grøn brint kan blive det nye olie- og gaseventyr – uden klimabelastning og baseret på vedvarende kilder.

Det forudsætter imidlertid, at der fra centralt hold sker rettidig langsigtet planlægning af den kollektive infrastruktur, og at regulering og rammevilkår er kendte og på plads. Det reducerer usikkerheden og omkostninger hos udviklere og private investorer og fremmer de private investeringer i grøn energi og infrastruktur, som bliver afgørende for, at omstillingen lykkes.

En relevant og veldimensioneret infrastruktur vil give danske PtX- og brintproducenter mulighed for at etablere en stærk markedsposition tidligt i et kommende europæisk brintmarked. En struktureret og sammenhængende planlægning og robust udbygning af infrastrukturen på tværs af el, brint og Power-to-X produkter vil desuden kunne skabe basis for et økosystem af forskellige aktører i værdikæden og særligt de steder i landet, hvor storskala projekter er realistiske. Det vil også kunne give danske virksomheder erfaringer og læring, som kan bruges globalt og dermed bidrage til, at Danmark har en mulighed for at fastholde og udbygge sine grønne styrkepositioner.

CIP Fondens forslag til en sammenhængende brintrørinfrastruktur for Danmark skal ses i sammenhæng med ønsket om forsynings-sikkerhed, potentialet for grøn omstilling og CO₂-reduktioner samt eksport og erhvervsudvikling i Danmark.

Vi håber, at rapporten læses i lyset af den hensigt, den er skrevet.

God læselyst!



Anders Eldrup
Bestyrelsesmedlem i CIP Fonden



Charlotte Jepsen
Ledende partner i CIP Fonden

Sammenfatning

Danmark kan høste store gevinster ved at investere i et brintrørsnet med udlandsforbindelser. Kombinationen af attraktive betingelser for produktion af vedvarende energi og grøn brint og et produktionspotentiale, der langt overstiger det indenlandske forbrug, skaber grundlag for eksport af grøn brint til vores nabolande til en samlet værdi af 100 mia. kr. årligt. Forudsætningen for at realisere eksportpotentialet er, at der etableres en brintrørsinfrastruktur med udlandsforbindelser, som i første omgang giver adgang til markederne i Tyskland, Holland og Belgien. Der er tale om et langt-fra-land-brinteventyr primært i Nordsøen, som vil kræve en samlet investering på 130 mia. kr. over de kommende 15-20 år. Beløbet afspejler, at der etableres to dedikerede 15 GW brintøer i Nordsøen med udlandsforbindelser, og at brintrørene er designet til at håndtere de langsigtede mængder, der forventes afsat til især Tyskland.

GRØN BRINT HAR STORT POTENTIALE I DEN GRØNNE OMSTILLING

Grøn brint lavet af vedvarende energi kommer til at spille en afgørende rolle i den grønne omstilling af de energi-intensive industrier og de dele af landbruget og transportsektoren, som ikke kan elektrificeres direkte. Uden brint og de grønne brændstoffer og ammoniak, der laves heraf via Power- to-X, kommer vi ikke i mål med de politiske målsætninger for dekarbonisering. Grøn brint har potentialet til at reducere de globale CO₂-emissioner med 20 procent i 2050, ifølge McKinsey.

Derfor er interessen for grøn brint som redskab til dekarbonisering stor og afspejles i et historisk højt antal annoncerede brintprojekter rundt omkring i verden. Men interessen skærpes også af markante politiske initiativer som Inflation Reduction Act i USA og Green Deal Industrial Plan i Europa, som understøtter produktion af grøn brint og Power-to-X produkter.

Det er dyrere at lave grøn brint end fossil baseret brint. Prisen på grøn brint afhænger især af prisen på vedvarende energi og dernæst også af prisen på elektrolyseteknologi. Over tid vil de priser falde. Sammen med krav om net-zero udledninger, stigende CO₂-kvote priser, afgifter mv. vil det bringe prisen på det grønne alternativ ned. Brint transporteres bedst og billigst via rør og vil blive produceret der, hvor den grønne energi er billigst, dvs. hvor solen skinner og vinden blæser.

DANMARKS UNIKKE KONKURRENCEFORDELE GIVER STORT EKSPORTPOTENTIALE

Danmark har gode betingelser for at producere vedvarende energi til konkurrencedygtige priser, især i Nordsøen og Østersøen. Det skyldes store områder med en kombination af gode vindforhold og lave havdybder, som er velegnede til at etablere havvindparker og energioer. Det giver Danmark en omkostningsfordel på op til 10 pct. ved produktion af brint i stor skala med afsæt i energioer og dedikerede brinthubs med forbindelser til udlandet som vist i CIP Fondens Markedsvurdering.

Da vi i Danmark samtidig tidligt bliver selvforsynende med grøn energi, er der basis for eksport i stor skala til landene omkring os, hvoraf flere har en erklæret strategi om at importere grøn brint til omstilling af de energitunge sektorer, som ikke kan elektrificeres. Det gælder især Tyskland, Holland og Belgien, men også Polen og dele af Sverige kan få brug for at importere brint.

Danmark kan på sigt – og ved at udnytte nuværende kendte og screenede arealer til vedvarende energi – producere 216 TWh grøn brint årligt, når der samtidig er taget højde for den energi, der skal bruges til den direkte elek-

trificering af Danmark. Det er meget mere, end hvad vi selv har brug for. Derfor kan knap 200 TWh grøn brint eksporteres til en værdi på omkring 100 mia. kr. årligt (faste priser). Det er lidt mere, end hvad vi i dag eksporterer grøn energi- og miljøteknologi for. Og mere, end hvad vi årligt netto har eksporteret olie og gas for gennem tiden. I modsætning til olie- og gasudvindingen er grøn brint baseret på en udtømmelig kilde.



BRINTRØRSINFRASTRUKTUR ER GATEWAY TIL MARKEDET

Det kræver en infrastruktur af brintrør at forbinde producenter med aftagerne. Den skaber markedsadgangen. Med det store eksportpotentiale er det centralt, at brintinfrastrukturen samtænkes med og kobles til andre landes planlagte infrastruktur i Nordsøen, Østersøen og fra land til Tyskland. Det giver adgang til de væsentligste aftagere og skaber samtidig stordriftsfordele, hvor flere deler udgifterne. Derfor bør de danske myndigheder og planlægningsansvarlige hurtigst muligt få etableret samarbejde med vores nabolande – primært Tyskland, Holland og Belgien – som vi især forventer at skulle eksportere til og få etableret en fælles opfattelse af behovet for transport af brint og dermed dimensionering af brintrørene.

DEN RETTE DIMENSIONERING FRA START

Selv om det tager tid at udbygge den nødvendige, vedvarende energi og brintproduktion, skal infrastrukturen dimensioneres til at håndtere de fremtidige mængder. Det er centralt, at brintinfrastrukturen bygges stor nok fra starten til at rumme de forventede, fremtidige mængder. Og hellere begynde med store rør, da anlægsudgifterne er så høje, at det bedre kan betale sig at bruge lidt større, men dyrere rør fra start end at grave flere gange med parallelle, mindre rør.

Større rør giver også mere fleksibilitet i forhold til at lagre brint i rørene, mens mindre rør på et tidligere tidspunkt får behov for tryksætning og udbygning af kompressorstationer.

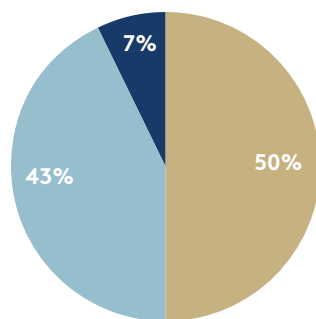
Når infrastrukturen dimensioneres til fremtidigt behov, vil behovet for lagring under jorden i kaverne også være begrænset i den første periode, mens markedet er under udvikling.

FORSKELLE MELLEM LANDBASERET BRINTPRODUKTION OG OFFSHORE PRODUKTION PÅ ENERGIER

Som tidligere beskrevet i CIP Fondens Markedsvurdering fra marts 2023 forventes især Tyskland, Holland og Belgien at blive store aftagere af dansk brint med et samlet importbehov på op til 500 TWh. Potentialet for produktion af grøn brint i Danmark er i høj grad knyttet til vindressourcerne – især dem fjernt fra land og primært i Nordsøen.

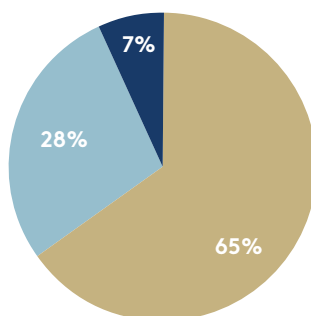
Der er omkostnings- og stordriftsfordele knyttet til at producere brint tæt på den

Andel af vedvarende energi-potentiale $\approx 104,6$ GW.



■ Nordsøen ■ Landbaseret + Kystnær ■ Bornholm

Forventet brintproduktion pba. infrastruktur i alt ≈ 216 TWh

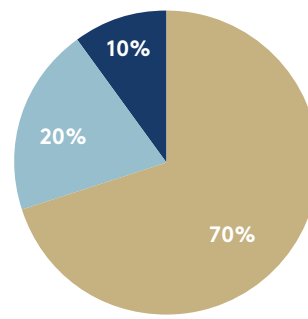


■ Nordsøen ■ Landbaseret + Kystnær ■ Bornholm

vedvarende energi og dermed skal hensyn ved produktion af brint til havs på energier, som måske snarere er brintøer, hvor der især produceres brint, men også grøn strøm.

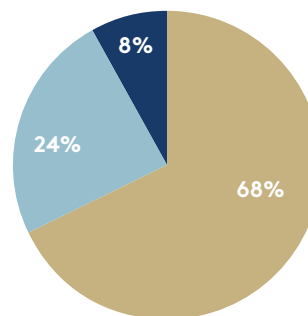
En stor del af den fremtidige grønne brintproduktion forventes at kunne leveres fra to dedikerede brintøer i Nordsøen, på Doggerbanke og i nærheden af den planlagte, kommende statslige energier, med forbindelser til både Danmark og Tyskland. Dertil kommer produktion på energien Bornholm, som med fordel kan kobles til en international forbindelse.

Forventet andel af brinteksport ≈ 197 TWh ≈ 100 mia. kr.



■ Nordsøen ■ Landbaseret + Kystnær ■ Bornholm

Andel af investeringsbehov ≈ 130 mia. kr.



■ Nordsøen ■ Landbaseret + Kystnær ■ Bornholm



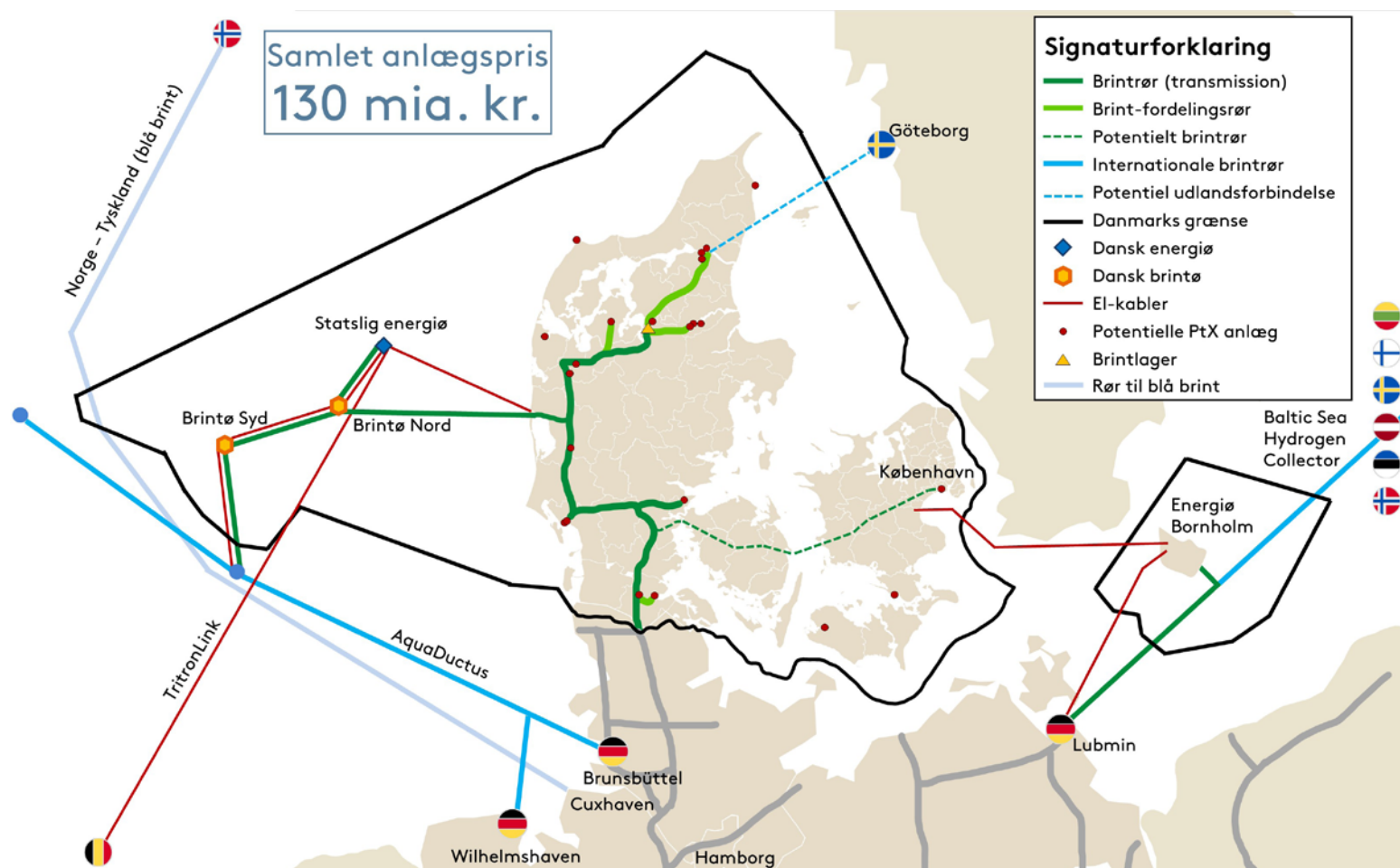
Brintproduktion langt ude på havet på dedikerede brintøer er dog en langt mere kompleks og risikofyldt investering og med færre og større aktører end brintproduktion på land. Når det gælder den landbaserede brintproduktion og tilhørende infrastruktur er der taget afsæt i den markedsdialog, som Energinet og Evida gennemførte i 2022, og som resulterede i 70 indmeldte brintproducerende anlæg og en samlet produktion på 37 TWh. Efter en screening fra KPMG synes to tredjedele af mængderne fra disse projekter realiserbare og have behov for en tilknyttet brintinfrastruktur.

Placeringen af brintinfrastrukturen bygger på disse anlæg og deres placering, tilgængeligheden af vedvarende energi i området samt el-nettets linjeføring, kapacitet og udbygningsplaner. Der er desuden skelet til, hvor større byer eller erhvervsklynger potentielt vil kunne aftage overskudsvarmen fra brint- og Power-to-X anlæg. Det peger samlet på et behov særligt i Jylland baseret på forbindelse fra Tyskland og op til Nordjylland med fordelingslinjer til betydende brintproducenter i Vest- og Nordjylland.

BRINT GIVER FLEKSIBILITET I ENERGIFORSYNINGEN OG ER NØDVENDIG, HVIS POLITISKE MÅLSÆTNINGER SKAL INDFRIES

I designet af brintinfrastrukturen har det også været vigtigt at tage hensyn til fleksibilitet i den samlede energiforsyning, så man opnår fordelene ved sektorkobling og balancering mellem forskellige energikilder. Grøn brint kan i modsætning til elektricitet lagres i storskala, og der kan skrues op og ned for brintproduktionen alt efter, hvornår der er meget vedvarende energi i systemet.

Brintproduktionen kan dermed bidrage til at balancere el-nettet og mindske behovet for udbygning af el-nettet til at håndtere de me-



CIP Fondens plan for sammenhængende brintinfrastruktur fuldt udbygget i 2045

get store mængder vedvarende energi, som der er politiske ambitioner for. Faktisk er det vanskeligt at forestille sig, at el-nettet, såvel i Danmark som i udlandet, vil kunne absorbere så store mængder grøn strøm, som de politiske erklæringer for Nordsøen og Østersøen lægger op til. Derfor er brint en nødvendig del af vejen til at indfri de politiske målsætninger. Og derfor er eksport også en nødvendig kon-

sekvens, da målsætningerne langt overstiger, hvad Danmark selv kan bruge.

SIKKERHEDSMÆSSIGE HENSYN GENNEM FLERE FORBINDELSER

Den geopolitiske udvikling har gjort det presserende at iagttage sikkerhedsmæssige hensyn vedrørende infrastruktur. Et aspekt heraf er at reducere sårbarheden og risiko

for flaskehalse med fleksibilitet gennem flere forbindelser, og ved at der kan veksles mellem el- og brintproduktion. Derfor er behovet for el-kabler og forstærkninger også tænkt ind i infrastrukturplanen. Og med forbindelser til såvel Danmark som til Tyskland af el og brint, er der mulighed for at optimere transporten af energi. Samtidig sikrer det, at elektrolyseværkerne på brintøerne ikke bliver flaskehalse

for afsætning af vedvarende energi fra de omkringliggende vindparker, og at der kan stilles om fra brintproduktion til produktion af el, når markedspriserne tilsiger det. Selv om man måske i udgangspunktet kunne have klaret sig med en enkelt forbindelse fra de store produktionssteder, tilsiger såvel sikkerhedshensyn som markedsmæssig fleksibilitet flere kanaler.

FASEOPDELT UDBYGNING AF BRINTINFRASTRUKTUREN

Brintproduktionen afhænger af, hvor og hvor meget vedvarende energi der produceres, og hvornår den kan være etableret. Det giver derfor også mening at time brintinfrastrukturen efter det. Derfor lægges der op til at starte med landbaseret brintinfrastruktur med afsætningsmulighed til Tyskland og siden udbygge med offshore forbindelser i stigende omfang og med flere kanaler. Det giver også fleksibilitet og mulighed for at opnå større

viden om de konkrete etapebehov over tid.

Selvom etableringen af en jysk backbone brintinfrastruktur er første led i udbygningsplanen, er etableringen af offshore infrastruktur i Nordsøen med henblik på eksport det centrale og bærende element i den samlede plan. Her er der en risiko for, at den planlagte, statslige energiø dimensioneres for lille i forhold til, at der både skal produceres strøm til direkte elektrificering i Danmark og Belgien og samtidig være nok tilbage til en rentabel brintproduktion med tilhørende infrastruktur. Dette skal ses i lyset af, at energiøen er tiltænkt den bedste placering i Nordsøen, når det gælder vind- og bundforhold.

Etaperne i udbygningsplanen er designet, så de kan stå alene og ikke afhænger af fremtidige beslutninger. Det giver en sikkerhed og robusthed i den samfundsmæssige investeringscase. Fx er det stadig usikkert, hvor stort

behovet for transport af grøn brint tværs over Danmark bliver. Behovet for denne forbindelse kan derfor kvalificeres over tid og indtænkes i en senere fase. Samtidig tegner der sig et muligt regionalt behov for grøn brint omkring Göteborg, som Danmark potentielt kan forbindes til. Disse brintrørsforbindelser er derfor ikke en del af udbygningsplanen, men kan blive det, hvis fremtidige analyser viser, at der er et behov.

For at kunne realisere den skitserede udbygningsplan er der behov for flere centrale beslutninger inden for en kort tidshorisont. Det handler bl.a. om hensynet til de developere og entreprenører, der skal bygge infrastrukturen. Helt overordnet er det en afgørende forudsætning, at der bliver truffet beslutning om de statslige udbud af havvind og open-door-projekterne, så der er tilstrækkelig vedvarende energi til både elektrificering og brintproduktion. De mest centrale beslutnin-

ger, der skal træffes, bliver nedenfor beskrevet i relation til brintinfrastrukturprojekternes forventede etableringsforløb.

INVESTERINGSBEHOV PÅ 130 MIA. KR. I ALT

Investeringsbehovet er opgjort ud fra de anlægsinvesteringer, der følger direkte af den anbefalede infrastruktur, dvs. brintrør, kompressorer, brintøer og det kendte, afledte behov for elforstærkninger. Omkostninger til allerede besluttede anlæg som fx de statslige energiøer i Nordsøen og på Bornholm er ikke medtaget.

Brintinfrastrukturinvesteringerne omfatter heller ikke investeringer til udbygning af den vedvarende energi og elektrolyse, da disse investeringer knytter sig til produktionssiden.

Her vil markedsudviklingen og den teknologiske udvikling drive priserne i nedadgående retning. Dertil kommer implikationerne af

Investeringer	Anlægsinvesteringer, mia. kr.	Driftsomkostninger, mia. kr. pr. år
Første fase: 2024-2018 Den jyske Backbone	25	0,6
Anden fase: 2029-2035 Udbygning offshore og til udlandet	38	0,9
Tredje fase: 2036-2045 Opskalering, flere koblinger og balancering	67	1,4
I alt	130	2,9

Kilde: COWI (2023)



den nye mulighed for overplanting (tættere placering af vindmøller til havs). Den samlede basisinvestering beløber sig til ca. 130 mia kr. over en periode på 20 år, hvoraf hovedparten af investeringen falder omkring 2030-2040. Brintinfrastrukturen bliver dermed Danmarks-historiens største anlægsinvestering.

Til sammenligning har Femern Bælt forbindelse en anlægsramme på 55 mia. kr. (2015-priser). De enkelte faser af brintinfrastrukturudbygningen kan også sammenlignes med, hvad det koster at udbygge el-nettet, hvor Energinet fx forventer at skulle investere 25 mia. kr. i el-transmission i perioden 2022-2027.

RISICI VED AT ETABLERE EN BRINTINFRASTRUKTUR

Der er risici forbundet med at etablere en så omfattende infrastruktur med et så langt tidsperspektiv. Først og fremmest er der usikkerhed om det fremtidige markedsbegreb og dermed dimensioneringen af infrastrukturen. En del af den risiko reduceres gennem politiske beslutninger om dekarbonisering og understøttelse af brintproduktion.

Desuden kan markedssaktørerne forpligtes på deres syn på det fremtidige behov gennem "open season" indmeldinger. Erfaringen fra en række andre markeder er, at udbuddet skaber sin egen efterspørgsel. Derfor er der også en risiko ved ikke at handle. En afventende tilgang vil overlade initiativet til andre i forhold til, hvor de fremtidige energihubs i Europa placeres, og hvem der skal producere fremtidens grønne energi.

Derudover er der teknologiske risici, som kan gå i begge retninger. Fx anslår IEA, at prisen på elektrolyse vil være 70 pct. lavere i 2030, hvilket vil gøre grøn brint mere konkurrencedygtig. Omvendt er der risiko for konkur-

rence fra alternativer som batterilagring og brændselsceller, hvor der i øjeblikket sker en stor teknologisk udvikling. Men brint har ikke mange alternativer, når det gælder energiintensive industriprocesser og den tunge transport, og det lægger bund under markedet.

Den største risiko knytter sig til ressourcerne. Det gælder kvalificeret arbejdskraft til den grønne omstilling, som allerede nu er en udfordring. Det gælder råstoffer og sjældne metaller, som kun findes få steder og gennem udfordrende forsyningskæder. Det gælder afledt infrastrukturbehov i form af havnekapacitet. Og det gælder finansiering, hvor den grønne kapital synes at være til stede, men hvor udfordringen er at få den kanaliseret ud til konkrete projekter gennem finansieringsmodeller, der er relevante for de private aktører.

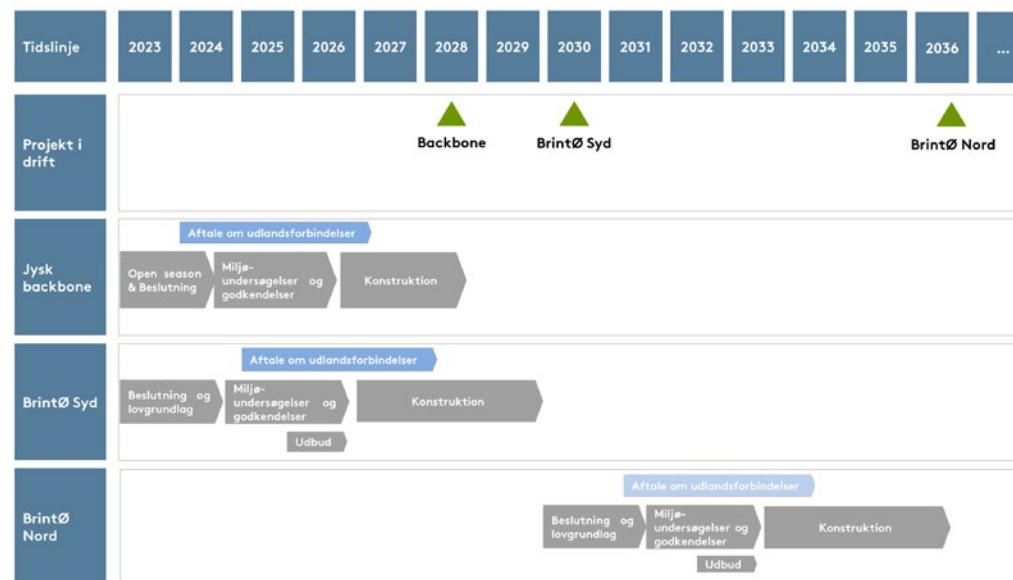
Dertil kommer udfordringen ved, at mange lande har klimamål og projekter, der skal realiseres nogenlunde samtidigt med flaskehalse til følge. Det kan delvist håndteres ved klare tidsplaner samt effektiv koordinering og planlægning på tværs.

STATENS ROLLE OG BEHOVET FOR REGULERING

Markedet for grøn brint er stadig umodent og har behov for rammer, der kan være med til at reducere risici for de kommende markedssaktører. Det er samtidig præget af det klassiske "hønen-eller-ægget" dilemma i forhold til, at der skal tages beslutning om store, kapitaltunge og irreversible investeringer på et tidligt tidspunkt i forhold til markedets udvikling.

Staten kan spille en aktiv rolle i forhold til at reducere risici ved etablering af brintinfrastrukturen. Først og fremmest ved at tage risiko på vegne af den fremtidige brug af

Centrale beslutninger og etablering



den kollektive brintinfrastruktur, som så kan betales tilbage over tid. Dernæst ved at sikre relativt fleksible og ukomplicerede rammer fra start for at imødekomme, at der er tale om et marked under opbygning og samtidig imødekomme markedets behov for at kende de langsigtede rammevilkår. En slags "sandkasse-regulering" for en periode, som senere udmøntes i konkrete regler. Det er også princippet i den regulering af brintmarkedet, som EU lægger op til.

Endelig spiller staten også en væsentlig rolle ved at have udpeget den centrale planlægningsmyndighed og koordinator og understøtte klare og mere forudsigelige godkendelsesprocesser. Fx via bindende tidsfrister for sagsbehandlingen og/eller parallelle processer hos forskellige myndigheder. Tid og beslutningshastighed er også en afgørende faktor for, hvilken rolle Danmark kan komme til at spille i brintproduktionen fremover. Og dermed også for, hvor meget Danmark kan understøtte Europa energi- og sikkerhedsmæssigt, og hvilke klimareduktioner vi kan danne grundlag for.



CIP Fondens samlede anbefalinger til en brintinfrastruktur

Danmark har unikke forudsætninger for at understøtte store klimareduktioner i Nordeuropa, hvor grøn brint kan fortrænge fossile brændsler. Klimaeffekten ved at bruge grøn brint i stedet for brint baseret på naturgas svarer til 1/10 af Tysklands samlede udledninger eller 1½ gang vores egen udledning i dag. Og potentialet er større, hvis den grønne brint erstatter olie eller kul.

1. Derfor skal vi etablere produktion af grøn brint og **investere i en sammenhængende brintinfrastruktur.**

Grøn brint kan blive Danmarks næste eksporteventyr på op til 100 mia. kr. om året, hvor vi eksporterer hovedparten af den brint, vi kan producere – især fra Nordsøen, som er central for vedvarende energi i Nordeuropa.

2. Derfor skal vi i udbygningen fokusere på **udlandsforbindelser** og offshore forbindelser og optrappe samarbejdet med udenlandske infrastrukturselskaber.

Brintinfrastruktur kræver store og irreversible anlægsinvesteringer og skal etableres lang tid før, markedet udvikler sig helt.

3. Derfor skal vi fra start **dimensionere til fremtidens behov.**

Grøn brint er endnu et gryende marked, hvor mange af fremtidens markedsaktører ikke findes endnu, og hvor der er stor usikkerhed omkring de enkelte projekter.

4. Derfor har vi behov for **fleksible rammer i starten** og understøttende vilkår, hvor staten påtager sig noget af risikoen ved at understøtte kollektiv brintinfrastruktur med lang tilbagebetalingstid.

Alt i alt foreslår CIP Fonden en udbygning af sammenhængende brintinfrastruktur for Danmark, der kan understøtte de politiske målsætninger og potentialer for udbygning af vedvarende energi og forbinde grøn brint fra Danmark med aftagermarkederne.

5. Derfor bliver den sammenhængende brintinfrastruktur **Danmarks største anlægsinvestering** over to årtier på i alt 130 mia. kr. og med over 1.300 km brintrørsforbindelser.

Efterspørgslen efter grøn brint hos vores nærmeste naboer overstiger langt, hvad Danmark kan producere, hvilket reducerer risikoen. Men der er også brug for andre måder at reducere risiko på.

6. Derfor skal vi **udbygge brintinfrastrukturen i etaper**, der kan stå alene og ikke er afhængig af fremtidige beslutninger (no-regret beslutninger). Mere usikre udbygninger kan kvalificeres i takt med markedsudviklingen.

Der går lang tid fra beslutning til, at der er etableret en brintinfrastruktur. For havvindmølleparker er den gennemsnitlige tid fra beslutning til drift omkring 9 år. Klimaet bliver ikke ved med at have tid nok.

7. Derfor skal vi i **gang med** at beslutte de kommende forbindelser og tilrettelægge godkendelsesprocesser mv., så der ikke bruges unødigt tid i sagsbehandlingen.

Det er vores generations valg, om Danmark fortsat skal være fremtidens grønne foregangsland. Og vores valg, om vi vil bruge vores naturressourcer i form af gode betingelser for at producere store mængder af vedvarende energi til at understøtte andre landes behov i den grønne omstilling.

Den vedvarende energi kan både eksporteres direkte, men også bruges til den grønne "slutsten", som grøn brint kan udgøre ved at binde energiformerne sammen og understøtte grøn omstilling af de vanskeligste sektorer.

Den, der har evnen, har pligten ... gælder også for klimaet.



Indhold

Forord	2
Sammenfatning	3
Indholdsfortegnelse	10
1. Hvorfor skal vi have en brintinfrastruktur?	11
1.1. Brint bliver central i fremtidens energisystem	11
1.2. Markedet for grøn brint er under opbygning	12
1.3. Brintmarkedet i dag	12
1.4. Mange landbaserede brintprojekter i pipeline	13
1.5. Potentialer til brintproduktion findes især offshore	14
1.6. Danmark har en unik eksportmulighed	15
2. Hvad gør EU og andre lande for at udvikle brintmarkedet?	16
2.1. Politiske målsætninger og strategier for det grønne brintmarked	16
2.2. Regulering og rammer for det kommende grønne brintmarked i EU	17
2.3. Andre initiativer til fremme af grøn brint	20
2.4. Nuværende og kommende brintinfrastruktur	23
<u>DEL 1: Hvad skal der være til stede for at etablere en brintinfrastruktur?</u>	27
3. En klar regulering til et marked under opbygning	28
3.1. Hvilken regulering er nødvendig for brintinfrastrukturen?	28
3.2. Marked under etablering vs. et modent marked	28
3.3. Statens rolle i værdikæden?	32
3.4. Brintinfrastruktur til lands og til vands tjener forskellige formål	32
3.5. Tariffer er brugerbetaling for infrastrukturen	34
3.6. Ejerskabsformer i forhold til brintinfrastrukturen	35
3.7. Mulige principper for regulering af kommende brintstruktur	38
4. En langsigtet udbygningsplan for en dansk brintinfrastruktur	40
4.1. Planer for udbygningen af vedvarende energi	40
4.2. Danske brintprojekter efterspørger langsigtede planer	40
4.3. Samarbejde med udenlandske myndigheder er afgørende	41
4.4. First mover fordele ved tidlige og klare udmeldinger om infrastruktur	41

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 almenyttig forening, der leverer konkrete og implementerbare løsninger for en langsigtet omstilling af det danske samfund.

Se mere på cipfonden.dk

<u>DEL 2: Hvordan skal udbygningen ske?</u>	42
5. Designkriterier	43
5.1. Markedsmæssige forhold	43
5.2. Politiske aftaler og bilaterale myndighedsaftaler	44
5.3. Tekniske forhold	45
5.4. Arealbegrænsninger og andre hensyn	46
5.5. Fordeling af energipotentialer, elektrolysekapacitet og brintproduktion	46
6. En faseopdelt udrulningsplan	47
6.1. Første fase: 2024-2028 - landbaseret brintinfrastruktur med jysk backbone	51
6.2. Anden fase: 2029-2035 - udbygning offshore og til udlandet.	52
6.3. Tredje fase: 2036-2045 - skala, flere forbindelser og balancering	56
<u>DEL 3: Hvad koster brintinfrastrukturen? Og hvad er risici og mulige gevinster?</u>	
7. Samlet investeringsbehov	62
7.1. Investeringsbehov i første fase 2024-2028	62
7.2. Investeringsbehov i anden fase 2029-2036	64
7.3. Investeringsbehov i tredje fase 2036-2045	65
7.4. Samlet investeringsbehov for brintinfrastruktur 2024-2045	67
8. Risikoen ved at handle og etablere brintinfrastruktur	68
8.1. Mange slags risici knyttet til etablering af infrastruktur	68
8.2. Teknologiudviklingen skal understøtte markant opskalering	69
8.3. Politiske mål skal følges op af implementering og klare, smidige processer	70
8.4. Stærk international konkurrence om de samme inputfaktorer	70
8.5. Planlægning og konstruktion af infrastrukturen byder også på risici i sig selv	73
8.6. Andre forhold, der påvirker udbygningen af brintmarkedet og infrastrukturen	74
9. Gevinster ved at udbygge brintinfrastrukturen	76
9.1. Ingen grøn omstilling i stor skala uden brint og PtX-produkter	76
9.2. Danmark kan sætte markant internationalt klimaafttryk	76
9.3. Vores største grønne eksportmulighed	79
9.4. Øvrige gavnlige effekter for samfundet	80
10. Et roadmap for udbygningsplanen	83
10.1. Beslutning om en jysk backbone	83
10.2. Principbeslutning om udvikling af Nordsøen	84
10.3. Beslutning om en brintø på Doggerbanke	84
10.4. Beslutning om en brintø Nord	84
Kilder	86

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

Hvorfor skal vi have en brintinfrastruktur?

Kapitel 1

Grøn brint og afledte PtX-produkter kan erstatte fossil energi i en række svært omstillelige sektorer, som fx den tunge industri og dele af transportsektoren. Grøn brint spiller således en vigtig rolle i udviklingen af nye grønne forretnings- og eksportmuligheder i Danmark. Da brint transporteres billigst over lange afstande i en rørført brintinfrastruktur, er etableringen af en sådan infrastruktur forudsætningen for, at der kan etableres produktion af brint og afledte PtX-produkter i Danmark.

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.

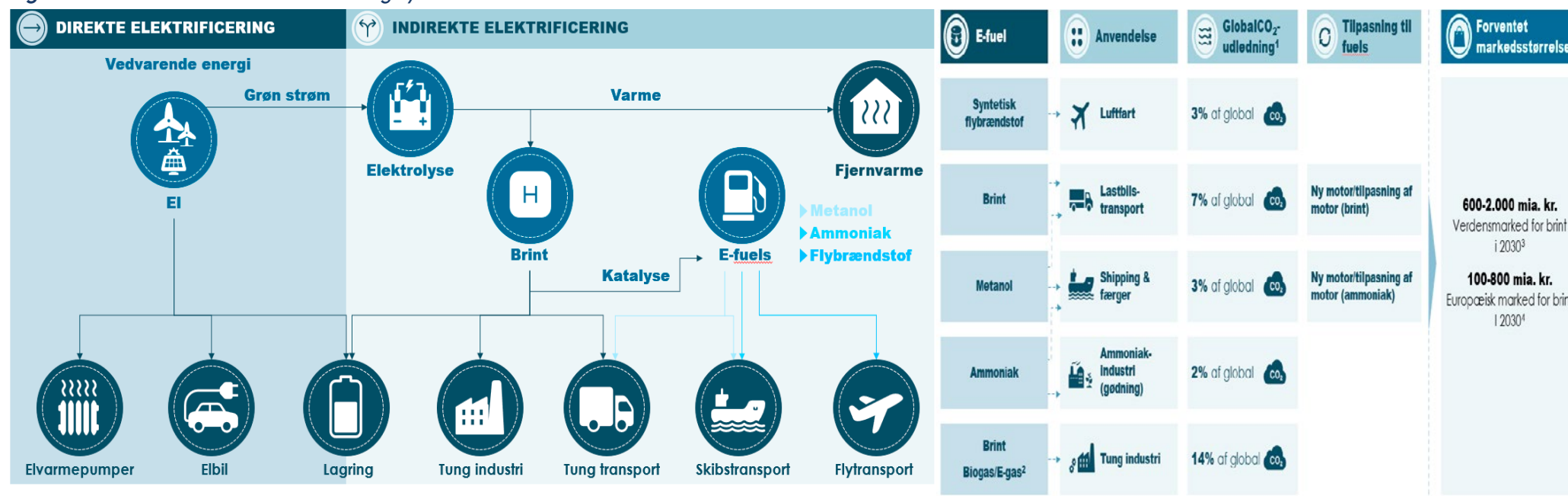
Kilde: CIP Fonden (2023), Brinckmann (2023)

1.1 Brint bliver central i fremtidens energisystem

Udfasningen af fossile brændstoffer som kul, olie og naturgas kræver grønne alternativer. Mens persontransporten, husholdningernes opvarmning og en del industrielle processer kan elektrificeres, så er det ikke muligt at elektrificere hverken den tunge industri, skibstransporten eller flytransporten. Her er der behov for grønne brændsler, hvor energindholdet er højt, og her kommer grøn brint til at spille en central rolle.

Grøn brint er resultatet af en elektrolyseproces, hvor grøn elektricitet fra fx vindmøller eller solceller bruges til at spalte vand. Derfra kan brinten bruges direkte som erstatning for kul i den tunge industri eller benzin i den tunge vejtransport, eller den kan videreførdes til Power-to-X-brændstoffer, som fx grøn methanol, som kan erstatte fossilt baseret flybrændstof eller grøn ammoniak, som både bruges i skibstransporten og landbruget. Betydningen af grøn brint i fremtidens energisystem er vist i figur 1.1.

Figur 1.1: Grøn brint i det samlede energisystem



Kilde: Copenhagen Economics

GRØN BRINT STYRKER FORSYNINGSSIKKERHEDEN

Udover at være helt central i omstillingen af svært omstillelige sektorer, så kommer brinten også til at spille en vigtig rolle for det grundlæggende energisystem. Udbygning af vedvarende energiproduktion baseret på volatile kilder som fx vind og sol sætter et pres på energisystemet, hvor det i dag ikke er muligt at lagre energien, til behovet opstår. Her vil brint – i samspil med biomasse – spille en central rolle som energilager, der kan opbygges, når energibehovet til direkte elektrificering er lav, og forbruges efter behov. Der kan således skrues op for produktion af grøn brint, når der er overskud af vedvarende energi, hvilket aflaster el-nettet. Det styrker forsyningssikkerheden i takt med, at fossile brændsler udfases.

1.2. Markedet for grøn brint under opbygning

Mens der allerede er et marked for grå (fossilt baseret) brint med en tilhørende infrastruktur i bl.a. Tyskland, Holland og Belgien samt USA, er markedet for grøn brint i sin spæde opstart.

På verdensplan er der ifølge Topsoe aktuelt installeret en samlet elektrolysekapacitet svarende til 3½ GW vedvarende energi. Markedsudviklingen fremadrettet tilsiger en markant kapacitetsopbygning. Danmark har et mål om 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030.

Grøn brint handles endnu ikke som et kommercielt produkt med en pris. Markedet vil blive udbygget i takt med, at den grønne omstilling øger behovet for en grøn energibærer, der kan servicere de energiintensive industrier og transportformer, som ikke kan elektrificeres direkte.

Markedet for grøn brint understøttes allerede af flere politiske og markeds-mæssige initiativer, som enten gør produktionen af grøn brint billigere eller øger prisen på de fossile alternativer, så den "grønne præmie" reduceres.

Initiativerne tæller politiske mål om dekarbonisering og klimaneutralitet, sektorkrav til klimareduktioner, specifikke krav til iblanding af grønne brændsler i brændstoffer, CO₂-afgift for virksomheder (i Danmark), EU-krav om afrapportering af klimaeffekter samt en række økonomiske incitamenter gennem støttepuljer, skattebegunstigelser og indirekte subsidier som reducerede tariffer.

Blandt de markeds-mæssige forhold kan nævnes stigende CO₂-kvotepriser over tid, virksomhedsspecifikke klimamål baseret på egne ESG-målsætninger, prisen på grøn strøm samt teknologisk udvikling, der gør elektrolyse mere efficient og tillader storskalaproduktion.

Disse forhold betyder tilsammen, at der i løbet af de kommende år vil udvikle sig et betydende marked for grønt brint, som vil være regionalt i sin karakter, og hvor konkurrencen som udgangspunkt være geografisk afgrænset¹.

DET FØRSTE SKRIDT PÅ VEJ MOD EN BRINTRØRSINFRASTRUKTUR

Tyskland har med en betydelig tung industri, det øjeblikkelige stop for import af russisk gas, og ambitiøse klimamål en stor udfordring med at få tilstrækkelig adgang til grønne brændstoffer, der kan erstatte kul, olie og naturgas. Det betyder, at Tyskland ser mod andre lande, heriblandt Danmark, for at få adgang til tilstrækkelige mængder grøn brint.

Det første store skridt mod en dansk brint-økonomi blev taget, da Danmark og Tyskland i marts 2023 underskrev en hensigtserklæring

om at forbinde de to lande med en brintrørs-forbindelse, så dansk overskudsenergi i fremtiden kan bruges til at omstille den energitunge tyske industri.

Selvom et brintrør til Tyskland er vigtig for den nye, danske brintindustri, så er forbindelsen kun en lille del af løsningen. I Danmark er mange brintprojekter undervejs, og da brint bør transporteres gennem en rørført infrastruktur, er der behov for en langt mere udbredt landbaseret brintinfrastruktur, som forbinder danske brintproducenter med forbindelsen til Tyskland. Men derudover ligger Danmarks helt store potentiale i Nordsøen, hvor potentialet for dansk energiproduktion mangedobler Danmarks nuværende produktion. En udnyttelse af dette potentiale vil kræve, at en brintinfrastruktur ligeledes udbygges i Nordsøen.

1.3. Brintmarkedet i dag

Den internationale aktivitet på brintområdet vidner om et marked, der er under hastig udvikling. Store dele af verdenen har sat ambitiøse klimamål, og grøn brint har potentialet til at reducere de globale CO₂-emissioner med 1/5 i 2050. Der er således stigende brintbehov blandt de tunge industrier og dele af transportsektoren, som ikke kan omstilles gennem direkte elektrificering.

Som nævnt bliver fossil brint allerede i en vis udstrækning anvendt i Europa, hovedsageligt i stålindustrien og i produktionen af ammoniak og petrokemiske produkter.

Det samlede europæiske forbrug af fossil brint er i dag på omkring 350 TWh. Tyskland, Holland og Belgien er blandt de største forbrugere, og deres samlede forbrug svarer til mere end en tredjedel af Europas samlede forbrug². Selvom Tyskland i dag er Europas



¹ Dette understøttes af, at der allerede i dag er store prisforskelle på grå brint på tværs af lande og områder, jf. Axcelfuture (2023)

² CIP Fonden 2023. Europas samlede forbrug er på 341 TWh, og Tysklands, Hollands og Belgiens forbrug udgør omkring 120 TWh.

største producent af fossil brint, så forventer hverken Tyskland eller de to andre lande i fremtiden at kunne dække deres voksende behov for grøn brint. Interessen for grøn brint som redskab til dekarbonisering er stor og afspejles i et historisk højt antal brintprojekter globalt³.

TYSKLAND, HOLLAND OG BELGIEN FORVENTES AT FÅ ET BETYDELIGT FORBRUG AF GRØN BRINT

I 2030 forventer de tre lande at have et brintforbrug på omkring 215 TWh og i 2050, og når målet om klimaneutralitet skal være indfriet, forventes forbruget at runde 500 TWh. Udviklingen i de tre landes forventede brintefterspørgsel fremgår af figur 1.2.

På trods af et stort behov for brint forventer landene ikke selv at kunne producere de nødvendige mængder. I de tre landes nationale brintstrategier har de alle erklæret sig som dedikerede importnationer. Det afspejles i deres internationale aktiviteter, hvor de indgår aftaler med leverandører af grønne brændstoffer forskellige steder i verden, herunder Danmark.

I 2030, hvor de tre lande forventes at have en samlet efterspørgsel på omkring 215 TWh, forventer de kun at kunne producere grøn brint svarende til mellem 15-20 pct. af behovet⁴. Det skaber et importbehov på mere end 170 TWh til en værdi af over 80 mia. kr. årligt.

DANMARK BLIVER HURTIGT SELVFORSYNENDE MED GRØN ENERGI

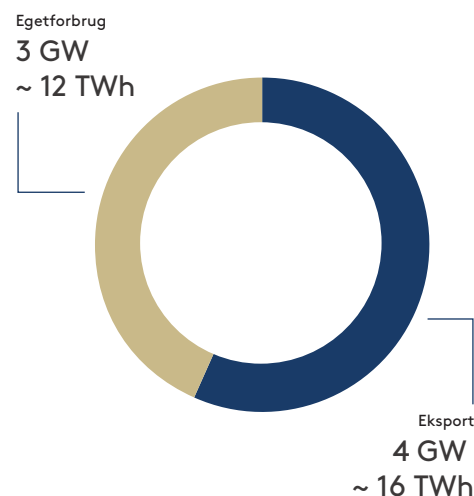
Modsat Tyskland, Holland og Belgien har Danmark et begrænset energiforbrug. Ifølge Energistyrelsen bliver vi selvforsynende med grøn elektricitet allerede i 2027, og vi bliver selvforsynende med grøn brint inden 2030. Efter 2030 forventes Danmarks energiproduktion at vokse væsentligt hurtigere end

energiforbruget, som det fremgår af figur 1.3. Det giver Danmark mulighed for at blive eksportør af grøn energi, herunder også brint, som efterspørges i store dele af Europa. Ifølge Energistyrelsen forventes Danmark allerede i 2030 at overgå de politiske målsætninger med en brintproduktion på 28 TWh. Mere end halvdelen, 16 TWh med en værdi på omkring 8 mia. kr., vil kunne eksporteres til udlandet⁵.

1.4 Mange landbaserede brintprojekter i pipeline

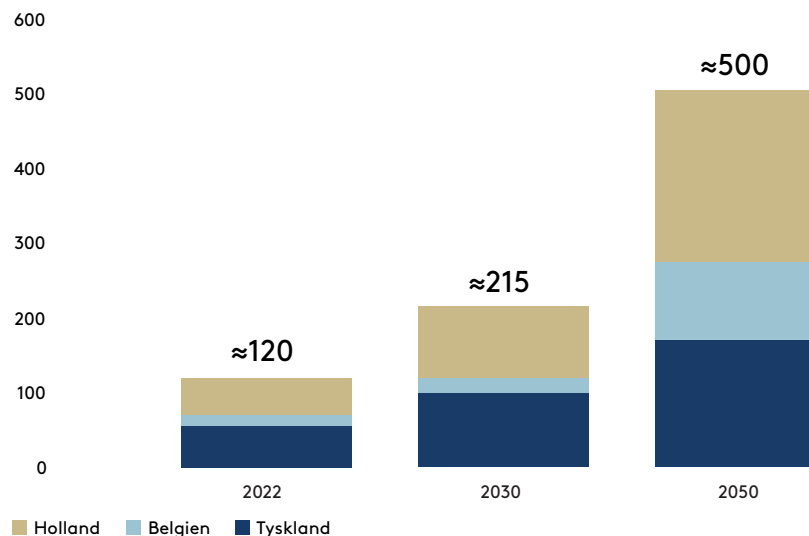
Frem mod 2030 forventes produktionen af dansk grøn brint at komme fra en række landbaserede brint- og Power-to-X-projekter, der er forbundet med enten kystnær havvind eller landbaseret vind og sol. En markedsdialog, som Energinet og Evida har fået foretaget, viser, at antallet af projekter steg fra 32 til 70 fra 2021 til 2022⁶.

Figur 1.3: Danmark forventes at producere mere end dobbelt så meget som vores eget brintbehov i 2030



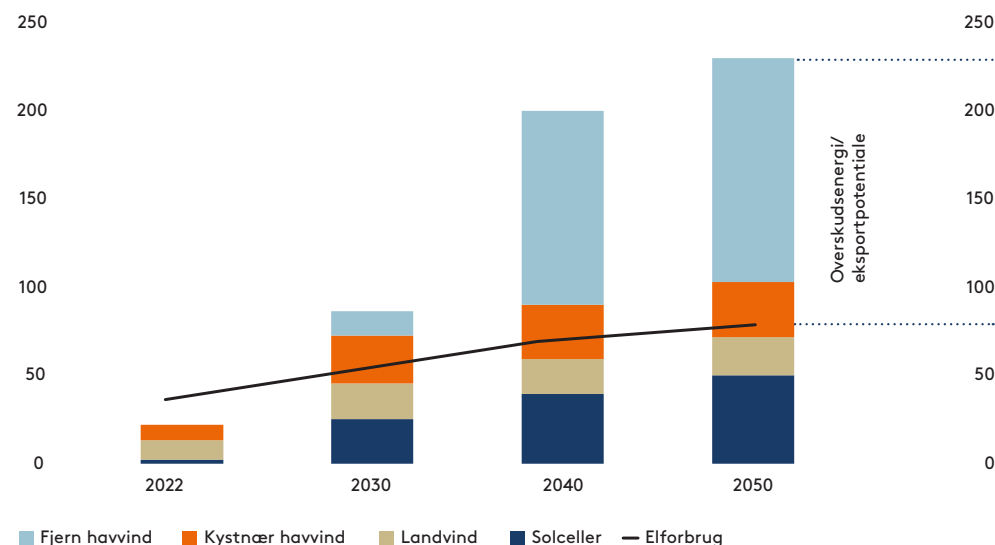
Kilde: Egne beregninger pba. Energistyrelsen (2023) og Regeringens klimapartnerskab for energi og forsyning (2020)

Figur 1.2: Brintefterspørgsel fra Tyskland, Holland og Belgien fra 2020 til 2050 (TWh)



Kilde: CIP Fondens Markedsvurdering (2023)

Figur 1.4: Danmarks forventede energiproduktion og -forbrug (TWh)



Kilde: Energistyrelsen (2023)

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

³ McKinsey (2023)

⁴ Egne udregninger på basis af CIP Fonden (2023)

⁵ CIP Fonden (2023) på baggrund af Energistyrelsen (2023)

⁶ KPMG (2022)

Den seneste markedsdialog fra 2022 indikerer en fremtidig brintproduktion, der overstiger både de politiske målsætninger og Energistyrelsens forventninger. En analyse af sandsynligheden for, at de indmeldte projekter bliver realiseret, estimerer på baggrund af en række vurderingskriterier, at størstedelen af den forventede produktion svarende til omkring 37 TWh forventes at blive realiseret⁷.

De danske, landbaserede brint- og Power-to-X-projekter forventes placeret nær vedvarende energiresourcer, eksisterende elinfrastruktur, fjernvarmenet samt andre aktiviteter i værdikæden. Det betyder, at projekterne forventes at have en betydelig geografisk spredning, som det fremgår af figur 1.5.⁸ Netop den geografiske spredning tydeliggør behovet for en mere omfattende brintinfrastruktur, så brintproducenter kan levere til nettet, og Power-to-X-producenter kan få adgang til brint. Det kom også til udtryk i markedsdialogen fra 2022, der konkluderer, at næsten 90 pct. af brintproduktionen fra rene brintproducerede projekter forventes at blive transporteret via rørbåren brintinfrastruktur.

Modsat er der også dedikerede PtX-projekter, der med egen vedvarende energi, ikke behøver tilkobling til en brintrørsinfrastruktur. Brintprojekter svarende til mere end halvdelen af den forventede produktion finder en brintinfrastruktur direkte nødvendig for en realisering⁹. Selvom den for nyligt indgåede hensigtserklæring om en brintrørsledning fra Tyskland til Danmark er et vigtigt første skridt for at forbinde et kommende udbud i Danmark med efterspørgsel fra Tyskland, er der behov for en mere omfattende indenlandsk infrastruktur i Danmark, hvis de projekter, der lige nu er i støbeskeen, skal kunne levere til det tyske marked. Mere end 60 pct. af

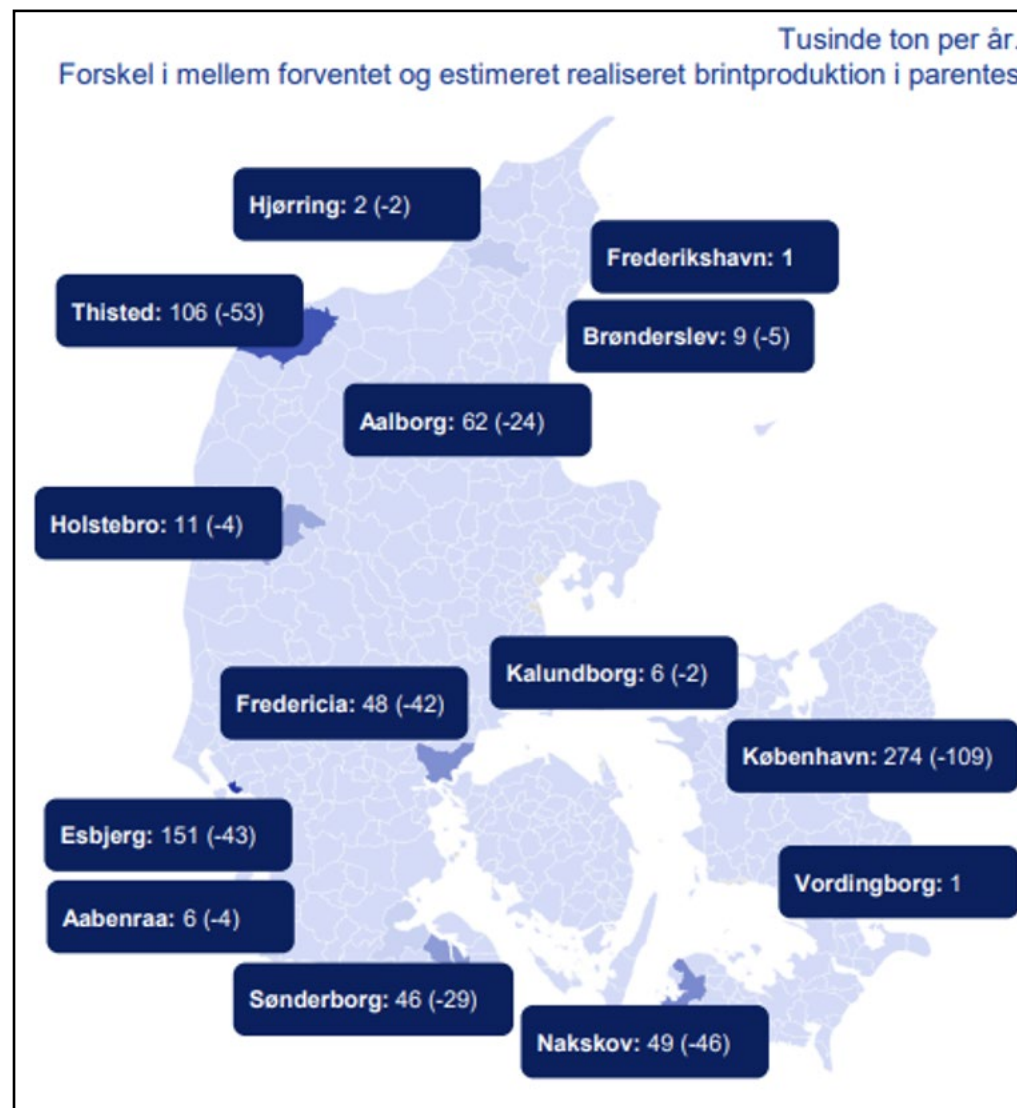
de kommende projekter forventes at skulle eksportere til udlandet, og vished for en kommende dansk brintinfrastruktur er afgørende for deres investeringsvillighed og dermed projekternes realisering.

1.5. Potentialer for brintproduktion findes især off-shore

Der er store potentialer i de danske landbaserede brint- og Power-to-X-projekter. Danmarks helt store muligheder er imidlertid på havet. Den landbaserede produktion i Danmark vil i 2030 udgøre under 10 pct. af den samlede efterspørgsel fra Tyskland, Holland og Belgien. Hvis Danmark vil bidrage til den grønne omstilling af Europa, er der behov for storskala havbaseret brintproduktion.

At Danmark tidligt bliver selvforsynende skaber mulighed for, at vi kan udnytte vores store havarealer til brintproduktion med henblik på til eksport. Havbaseret brintproduktion skaber nogle betydelige stordriftsfordele på mellem 15 og 20 pct.¹⁰ sammenlignet med landbaseret produktion. Det forudsætter, at energien bliver produceret og omdannet til brint lokalt – f.eks. på dedikerede brinttøer. Brinttøer i Nordsøen giver Danmark en enestående mulighed for at eksportere billig grøn energi til nabolandene til gavn for både den grønne omstilling og dansk økonomi. Det er især i Nordsøen, at Danmark har attraktive havarealer med gode vindforhold og lav havdybde. Det betyder, at Danmark kan producere den billigste grønne energi blandt Nordsølandene. Sammenlignet med Tyskland har Danmark mulighed for at producere brint mere omkostningseffektivt, svarende til en omkostningsforskel på mellem 5 og 10 pct.¹¹.

Figur 1.5: Estimeret realiseret brintproduktion fordelt på kommuner



Note: Figur 1.5 viser den forventede realiserede brintproduktion i 2030. Tallene i parentes viser den produktionsmængde, der er blevet frestruktet efter analyse af projekternes sandsynlighed for realisering.

Kilde: KPMG for CIP Fonden 2023

⁷ Egne beregninger og KPMG (2023). 1 GW elektrolysekapacitet forventes at lave en årlig produktion på 4 TWh

⁸ KPMG (2023)

⁹ KPMG (2022)

¹⁰ Brinckmann (2023)

¹¹ Brinckmann (2023)

1.6. Danmark har en unik eksportmulighed

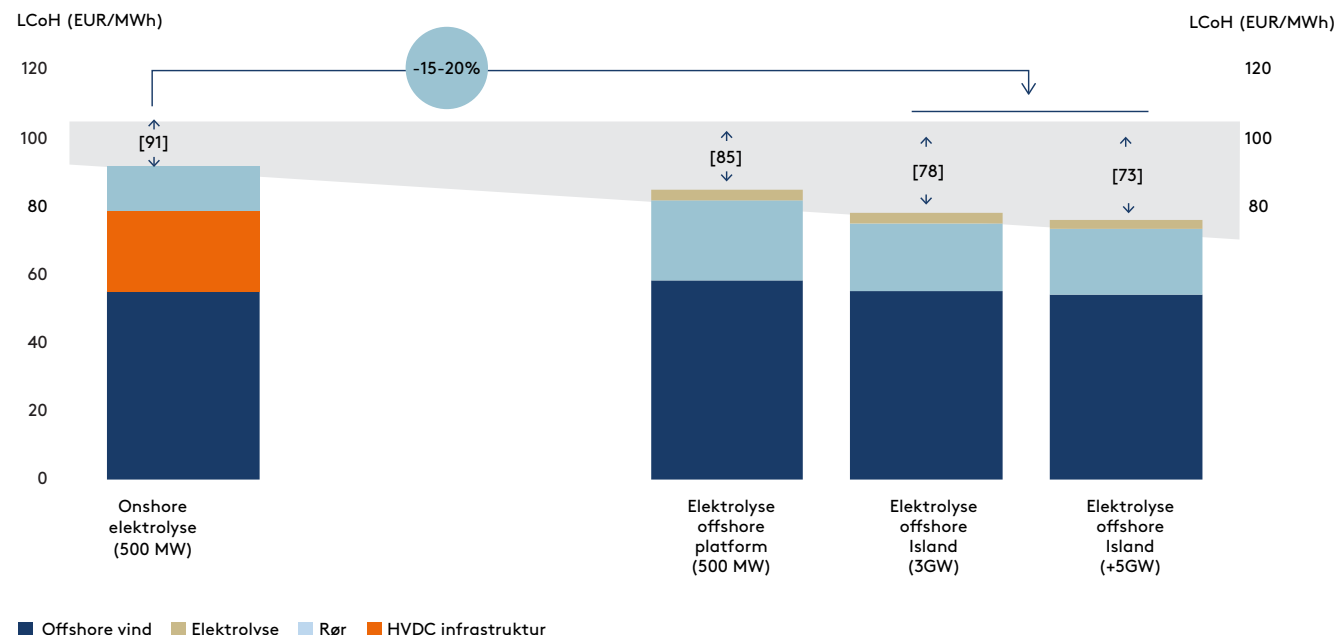
Kombinationen af et stort behov for import af brint i landene omkring os og det forhold, at vi i Danmark hurtigt bliver selvforsynende med grøn brint skaber en unik eksportmulighed for Danmark. Hvis Danmark udnytter samtlige screenede arealer til vedvarende energi, vil der være mulighed for at eksportere for omkring 200 TWh årligt, når Danmarks eget forbrug er fratrasket¹². Det svarer til mere end hele Tysklands brintforbrug med en værdi på omkring 100 mia. kr. årligt i vedvarende eksportindtægter. Men det er samtidig væsentligt mindre, end hvad der forventes at blive efterspurgt fra vores nærmeste naboer.

En realisering af potentialet kræver, at der bliver planlagt og etableret en brintinfrastruktur, som kan transportere brinten, ligesom der skal udvikles et markedsdesign for især Nordsøen, der muliggør etableringen af storskala brintproduktion, fx gennem etableringen af kommercielle brintøer.



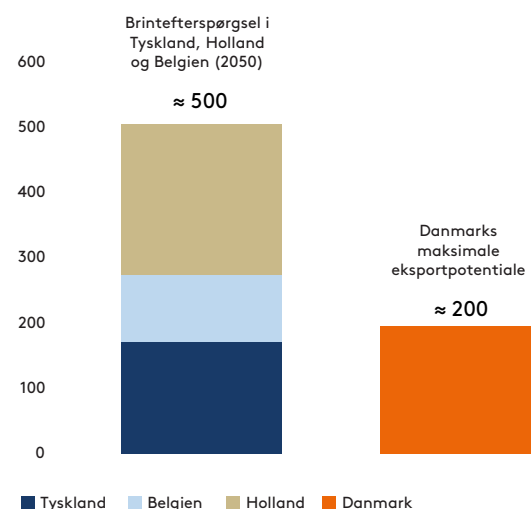
¹² COWI (2023a)

Figur 1.6: Omkostningsfordelene ved brintproduktion er størst på offshore energiøer



Kilde: Brinckmann (2023)

Figur 1.7: Brintefterspørgsel på længere sigt sammenlignet med Danmarks maksimale eksportpotentiale (TWh)



Kilde: COWI (2022)

Anm: Potentielt dansk eksportpotentiale er beregnet som mulig brintproduktion baseret på maksimal VE-udbygning efter screenede danske arealer og elektrolysekapacitet fratrasket 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.

Hvad gør EU og andre lande for at udvikle brintmarkedet?

Kapitel 2

En lang række lande har set potentialet for grøn brint, og flere af vores nærmeste nabo-lande har et erklæret importbehov for grøn brint og er længere fremme end Danmark med konkrete planer for udbygningen af infrastruktur. Også når det gælder internationale forbindelser og offshore forbindelser. De har samtidig bedre mulighed for at omdanne eksisterende naturgasnet til brintinfrastruktur, mens Danmark vil skulle nybygge det meste. EU har rammeregulering på vej og samtidig flere støtteprogrammer til grøn brint, som andre lande ser ud til at bruge i højere grad end Danmark.

2.1. Politiske målsætninger og strategier for det grønne brintmarked

FNs klimamålsætning om Net Zero Emissions i 2030 forudsætter, at der produceres brint og Power-to-X produkter, som på verdensplan vil kræve, at der installeres elektrolysekapacitet på mindst 700 GW i 2030, jf. IEA (2022).

Ved udgangen af 2022 var der installeret omkring 1,4 GW elektrolyse i alt i verden ifølge IEA, så det kræver en eksponentiel udvikling af kapaciteten over de kommende år, som næppe er realistisk. Ifølge Topsoe er der nu installeret omkring 3,5 GW elektrolyse i alt i verden, hvoraf ca. halvdelen er i Europa. EU har som strategisk målsætning, at der i 2024 skal være mindst 6 GW elektrolysekapacitet installeret i EU (EPRS, 2021).

STORE AMBITIONER FOR GRØN BRINT I EU
EU har med REPowerEU strategien store ambitioner for udbygning af vedvarende energi og brintproduktion. Allerede i 2030 stiles der efter at producere 10 mio. ton brint i EU og importere tilsvarende mængder, svarende til et samlet brintforbrug i EU på 20 mio. ton brint eller knap 700 TWh. Det kræver godt 80 GW elektrolysekapacitet inden for EU's grænser i 2030¹, der vil producere brint baseret på 14 pct. af EU's samlede elforbrug. Målet forudsætter både en meget markant udbygning af den vedvarende energi og også en helt ekstraordinær stor udvidelse af elektrolysekapaciteten svarende til knap en 50-dobling af den nuværende installerede elektrolysekapacitet i Europa frem mod 2030. EU-Kommissionen (2023b) forventer, at en brintproduktion på 10 mio. ton brint vil kræve investeringer i et omfang af 335-471 mia. euro, hvoraf omkring 60 pct. vil være investeringer i udbygning af vedvarende energi til at producere brinten af.

Med den seneste Oostende-erklæring² fra 24. april 2023 er der for Nordsøen en ambition om at udbygge den vedvarende energi til 120 GW i 2030 stigende til 300 GW i 2050, hvortil der skal etableres ca. 30 GW elektrolysekapacitet.

Det relativt høje selvforsyningskrav og den meget markante opskalering af vedvarende energi og elektrolysekapacitet skal ses i lyset af den nye geopolitiske situation og viser, at europæisk energipolitik også er blevet til sikkerhedspolitik og industripolitik.

MANGE LANDE HAR LAVET BRINTSTRATEGIER MED POLITISKE MÅLSÆTNINGER

SEU vedtog sin brintstrategi i 2020, hvor det fastslås, at brint er en af hjørnestenene i at opnå klimaneutralitet i EU i 2030. Siden er brint også blevet en afgørende faktor i REPowerEU planen om at frigøre sig fra fossil energi fra Rusland. En række lande har også vedtaget nationale brintstrategier for at skabe klarhed og sætte rammer for virksomheder og potentielle investorer, der enten vil producere eller forbruge brint og Power-to-X produkter. Danmark var med sin Power-to-X strategi fra 2021 ikke blandt de første i EU, men heller ikke blandt de sidste, jf. tabel 2.1.

Andre lande uden for EU har også potentiale til at producere grøn brint, enten til direkte forbrug eller videreforarbejdning til PtX produkter. Fx har Australien mulighed for at producere store mængder vedvarende energi, både sol og vind, ligesom USA har foretaget et strategisk valg om at sikre opbygning og industrialisering af Power-to-X som et afgørende element i at nå sine klimamål, men også med øje for eksport, baseret på markante støtteordninger gennem Inflation Reduction Act³. Flere lande på den arabiske halvø arbejder også med udbygning af brintproduktion baseret på solenergi, hvor bl.a. Oman har ambition om at blive verdens største producent af grøn brint i 2030.

Danmarks målsætning for elektrolysekapacitet på 4-6 GW i 2030 er lidt større end i



¹ EU havde tidligere et mål om udbygning af elektrolysekapacitet på 40 GW i 2030 i sin Fit for 55 strategi, men har siden hævet ambitionen

² Dækker Belgien, Nederlandene, Storbritanien, Luxembourg, Frankrig, Norge, Irland og Danmark

³ Se CIP Fonden (2023) for en nærmere beskrivelse og omkostningsammenligning med dansk produceret brint.

Holland og ca. halvdelen af, hvad Tyskland forventer i 2030. Selv om Tyskland har store planer for udbygning af VE og elektrolysekapacitet, er deres forventede forbrug så stort, at de også er nødt til at importere store mængder brint. Import af brint er erklærede politiske målsætninger for Tyskland, Holland og Belgien (uddybet af CIP Fonden, 2023), men også for Østrig, Tjekkiet og Slovakiet. Primært fordi de ikke regner med at have nok vedvarende energi til at producere grøn brint og grønne brændsler i de mængder, som den grønne omstilling kræver. Andre, større europæiske lande vil også basere deres brintforbrug på grænseoverskridende handel.

Modsat flere af Danmarks nærmeste naboer tegner der sig i Sverige et mere facetteret billede af brintforbruget og -produktionsmulighederne. Ifølge forslaget til Sveriges nationale strategi for fossilfri brint, som blev offentliggjort af Energimyndigheten i 2021, er målet at opnå selvforsyning af brint og grønne brændsler inden 2045⁴. Strategien lægger vægt på udviklingen af en national værdikæde for brintproduktion, lagring og distribution primært til eget forbrug. Dog fremgår det, at Sverige løbende bør vurdere betingelserne for at blive nettoeksportør af brint og ammoniak. Pga. Sveriges geografi og forskellige zoner af industri og mulige områder for produktion af vedvarende energi må der forventes en mere regional tilgang, hvor der nogle steder vil opstå et importbehov, mens der i andre regioner kan være eksport af brint i fraværet af en stor, national brintinfrastruktur.

Strategierne og de afledte handelsmønstre viser, at der er behov for en europæisk brintinfrastruktur, ikke bare i de enkelte lande, men også på tværs af grænserne.

BLÅ BRINT SOM OVERGANGSTEKNOLOGI OG IBLANDING AF NATURGASNETTET

Selv om grøn brint er endemålet og nødvendigt for at gennemføre den grønne omstilling, er det en meget stor udfordring at udbygge tilstrækkelig kapacitet på kort tid, ligesom der kan være timingsmæssige udfordringer mellem, hvornår man forskellige steder er klar til at forbruge grøn brint, og hvornår der er tilstrækkelig produktion, ligesom etableringen af en brintrørsinfrastruktur er afgørende.

De fleste lande udpeger grøn brint som endemålet, men enkelte lande identificerer blå brint som overgangsteknologi. Fx vil Tyskland i en periode fremme brugen af blå brint og importere det i en overgangsperiode til grøn brint⁵. Til det formål er der bl.a. indgået aftale mellem Norge og Tyskland om et brintrør, der skal transportere blå brint fra Norge til Tyskland gennem dansk territorialfarvand⁶.

EU arbejder i sin brinttilgang også med muligheden for at blande grøn brint med andre former for low-carbon brint, herunder blå brint. Dette vil imidlertid kræve en certificering (oprindelsesgaranti) knyttet til brintinfrastrukturen.

Det er teknisk set også muligt at blande brint i naturgasnettet (op til 10 pct. uden større modifikation, jf. Energistyrelsen 2021), hvilket kan være med til at lette overgangen fra den første produktion er klar, og en sammenhængende brintinfrastruktur er etableret, om end produktionsprisen for grøn brint er højere end for den fossilt baserede naturgas.

2.2 Regulering og rammer for det kommende grønne brintmarked i EU

På EU niveau er regulering af det kommende

Tabel 2.1: Eksempler på nationale brintstrategier og målsætninger

Land	Brintstrategi	Elektrolysemål i 2030 (GW)	Forventet eksport?	Forventet import?	Bemærkninger
EU	2020	80 (tidl. 40)		✓	Forventer 50:50 egenproduktion og import af brint
Danmark	2021 (Power-to-X-strategi)	4-6	✓		Energistyrelsen har målsætning om 7 GW elektrolyse i 2030
Nærmeste nabolande					
Tyskland	2020	10		✓ (62-82 TWh)	Tysklands mål for elektrolysekapacitet er 5 GW i 2030 stigende til 10 GW i 2040. Det overvejes pt. at hæve målet til 10 GW allerede i 2030.
Holland	2020	3-4		✓ (64-104 TWh)	
Belgien	2022	-		✓ (20 TWh)	
Sverige		5 GW i 2030 10 GW i 2045 (forslag)	-	-	
Eksempler fra andre EU-lande					
Frankrig	2020	6,5	✓	✓	Forventet import fra Spanien og eksport til Tyskland.
Italien	2021 (Foreløbige retningslinjer)	5	✓	✓	Import fra Nordafrika. Kan potentielt sendes videre til nabolande, hvis infrastruktur er til stede.
Spanien	2020	4	✓		
Polen	2021	2	-	-	
Eksempler uden for EU					
Australien	2019	-	✓		Forventer eksport til Tyskland/Europa via skib.
USA	2022 (Draft)	-	✓		Der er forventning om eksport af brint, og store støtteordninger er vedtaget på baggrund af IRA. Intet mål for elektrolysekapacitet. U.S. Department of Energy har udgav i september 2022 et udkast til en brintstrategi (DOE National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap) til offentlig feedback.
Oman	2022	-	✓		Intet mål for elektrolysekapacitet. Men et mål om at blive den største producent af grøn brint i 2030 på globalt plan samt et mål om en produktion på 1 mio. ton i 2030.

Anm: Hollands mål indeholder også produktion af brint med naturgas og carbon capture (blå brint).
Kilde: CIP Fondens markedsvurdering, U.S. Department of Energy (2022), Ministry of Energy and Minerals (2022), Bloomberg (2023), European Commission (2022b), KEFM (2021), Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (2020), Ministry of Economic Affairs and Climate Policy (2020), Economie (2022), Energimyndigheten (2021), CMS Expert Guides (Italy), Gouvernement (2020), International Trade Administration (2022), Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water (2019), Mark R. Warner (2022).

4 Energimyndigheten (2021).
5 The Oxford Institute for Energy studies (2020).
6 Norwegian Government (2023) samt Gasco og Equinor.

grønne brintmarked under udvikling, hvor der gennem Renewable Hydrogen Framework arbejdes på at udfolde lovgivningen. EU Kommissionen har med sin *Hydrogen and Decarbonised Gas Markets Package* fra 15. december 2021 fremlagt udkast til de overordnede rammer for brintmarkedet, der aktuelt forhandles. Senest har EU Kommissionen på baggrund af direktiver for vedvarende energi i februar 2023 også sendt to delegerede retsakter til EU Parlamentets godkendelse, som knæsetter en række principper og fælles minimumsstandards for det kommende marked.

Regulatorisk tages der med *Hydrogen and Decarbonised Gas Markets Package* udgangspunkt i gasreguleringen og en revision af Gasdirektivet på en række områder, mens der samtidig også skal ske koordination til el-reguleringen.

EU-REGULERING AF KOMMENDE BRINTMARKED BASERET PÅ PRINCIPPER OG GRADVIS INDFASTNING

Principperne for den kommende brintregulering er baseret på en gradvis indfasning, hvor reglerne som udgangspunkt er ret fleksible og gradvist bliver mere og mere stringente over tid (2030/2035) i en dynamisk regulering. Udgangspunktet er, at brintmarkedet er nyt og under opbygning og derfor har behov for en vis regulatorisk frihed, om end der skal være visse fælles minimumsregler i indfasningsperioden, der kan suppleres af national lovgivning.

Samtidig angives retningen for regulering på sigt, når markedet er mere modent. På den måde ønsker EU at give mest mulig fleksibilitet i starten, hvor markedet er under etablering, og samtidig give en vis form for investorsikkerhed i forhold til, hvor markedet bevæger sig hen, jf. tabel 2.2.

Et vigtigt princip for det kommende brintmarked er, at den grønne brint skal baseres på *additional* vedvarende energi, dvs. at kapaciteten af vedvarende energi skal udbygges i nogenlunde samme takt som brintproduktionen, så brintens behov for strøm ikke driver priserne op på den direkte elektrificering. Princippet træder i kraft fra 1. januar 2028 for at tillade en periode med opbygning af elektrolysekapacitet, hvorefter det frem mod 1. januar 2030 vil blive håndhævet, så brintproducenterne kan afstemme deres merforbrug af vedvarende energi på månedlig basis.



Renewable hydrogen is a crucial component of our strategy for a cost-effective clean energy transition and to get rid of Russian fossil fuels in some industrial processes. Clear rules and a reliable certification system are key for this emerging market to develop and establish itself in Europe. These delegated acts provide much-needed legal certainty to investors and will further boost the EU's industrial leadership in this green sector."

*Kadri Simson, EU's energikommissær
13. februar 2023*

Herefter skal det matche på time-basis⁷.

Samme trinvis tilgang i takt med den forventede markedsudvikling anvendes i forhold til 3. parts adgang til privatejet brintinfrastruktur (naturligt monopol), som frem mod 2030 kan ske på forhandlede vilkår, mens der herefter vil være reguleret adgang, dvs. priser (tariffer) for brug af infrastrukturen skal godkendes og kontrolleres, ligesom adgangsvilkårene i øvrigt skal overholde visse spilleregler og kan påklages.

Tarifferne (brugerbetaling for adgang til og

transport i infrastrukturen) skal være omkostningsægte, og der skal være mulighed for tarifrabatter for grøn brint eller low-carbon brint (op til 75 pct. på tilslutnings- og kapacitetsbaserede tariffer samt i forbindelse med lagring⁸).

Der er fokus på, at adgangsbarrierer for transport af brint så vidt muligt skal fjernes, og der lægges derfor også op til, at det ikke må koste noget (cross-border tarif) at lade brint passere landegrænser. Det betyder, at

eventuelle udgifter til at håndtere trykforskel-le, midlertidige lagringsbehov mv. i forbindelse med skift fra et lands brintnet til et andet lands brintnet skal afholdes af brintproducenten/aftagerne.

EU har også meldt ud, at der fremover skal være *adskilt ejerskab* mellem ejere af gasinfrastruktur og brintinfrastruktur, ejermæssig adskillelse af produktions- og distributionsnet og gennem værdikæden ("unbundling"), så den samme aktør ikke kan stå for flere led.

Tabel 2.2: Principper i EU regulering af kommende grønne brintmarked

Additionalitet	Regulering beregnet for et modent marked kan ikke anvendes på et marked under opstart, der har behov for en "evolutive and adaptive regulatory approach". Der lægges op til foreløbige og relativt løse rammer frem mod 2030, hvorefter mere konkret regulering erstatter rammerne.
Fælles minimumsregler på tværs af lande	De enkelte lande kan i starten lave egen og mere specifik regulering, som dog skal overholde visse minimumsstandards.
Additionelitet	Grøn brint skal pr. definition være baseret på additional vedvarende energi, således PtX-produktionen ikke medfører stigende priser for den direkte elektrificering.
Ikke-diskriminerende 3. parts adgang	Frem mod 2030 anbefales forhandlet 3. parts adgang (som afklares mellem de kommercielle parter), hvorefter der etableres konkrete regler for reguleret 3. parts adgang.
Omkostningsægte og markeds-kompatible nettariffer med rabatmuligheder	Tarifferne skal over tid dække de relaterede omkostninger, men med muligheder for at grøn brint (eller low-carbon brint) kan få op til 75 pct. rabat på tilslutnings- og kapacitetsbaserede tariffer samt lagring i konkurrence med eksempelvis grå brint.
Ingen cross-border tariffer	Det skal ikke være forbundet med omkostninger at flytte brint over grænser. Eventuelle omkostninger til ændring af tryk mv. ved passage over grænser skal derfor implicit dækkes af producenterne og/eller aftagerne.
Adskilt ejerskab af hhv. gas- og brintinfrastruktur	Unbundling af mulige ejere/netværksoperatører, sådan at ejere af naturgasinfrastruktur separeres fra kommende ejere af brintinfrastruktur og for at undgå ejerskab på tværs af værdikæden
Oprindelsesgarantier og certificering	Grøn brint skal kunne adskilles fra andre former for brint (low-carbon brinttyper) gennem oprindelsesgarantier og frivillig certificeringsordning i forhold til videre brug som grønt brændstof.
Udviklingen af network codes	En slags "færdselsregler" fra brinttrafikken med udvikling af tekniske krav til forbindelser, system-operation, kapacitetsallokering, balancering og trængselshåndtering.

⁷ Delegeret akt til EU's direktiv for vedvarende energi (RED) fra januar 2023.

⁸ Reed Smith (2022).



Dette kan være en udfordring, hvor de to energiformer, naturgas og brint, netop skal sektorkobles, og hvor gamle naturgasrør skal retrofittes. Det har skabt en vis udfordring bl.a.⁹ i Holland, hvor den nuværende gas-TSO Gasunie, som tidligere beskrevet, har fået opgaven med at udbygge brintinfrastrukturen, som involverer en meget markant genanvendelse af naturgasnettet. Den nederlandske minister for klima og energi, Rob Jetten, har tilkendegivet, at Gasunie's datterselskab Hy-Network Services fremover skal administrere udviklingen af en brintinfrastruktur¹⁰. Dermed minimeres muligheden for krydssubsidiering mellem netværkene også.

Brintmarkedet får med grøn brint (og andre former for low-carbon brint) også behov for en oprindelsesgaranti (Guarantee of Origin, GO), hvis grøn brint skal kunne handles. EU Kommissionen har derfor initieret en frivillig certificeringsordning, hvor CertifHy™ laver harmoniserede oprindescertifikater, der bl.a. indpasser brint som brændstof fremstillet af vedvarende energi, der ikke er baseret på biomasse (renewable fuels of non-biological origin, RFNBO) og dermed muliggør grøn brint i transportsektoren.

EU Kommissionen vil i forhold til det kommende brintmarked også udvikle network codes eller tekniske krav, der understøtter harmonisering/standardisering og integration på tværs af det europæiske brintmarked, og som understøtter effektiviteten i udveksling af energi. Network koderne vedrører tekniske krav til forbindelser, markedsforhold (kapacitetsallokering, balancering og trængsels-håndtering), systemoperation og cybersikkerhed. De kendes bl.a. fra el-reguleringen, hvor de udvikles af ENTSO-E på baggrund af input

fra ACER (Agency for Cooperation of Energy Regulators). Network koderne er bindende regulering.

I både EU-lovgivning og danske lovforslag lægges der op til, at brint reguleres med udgangspunkt i den nuværende gasregulering¹¹ og i øvrigt koordineres med el-reguleringen. Gasreguleringen skal dog igennem en revision, og incitamenterne skal tilpasses det kommende brintmarked, så reguleringen kan ikke kopieres en-til-en.

PRINCIPPER FRA GASREGULERINGEN ER UD GANGSPUNKT FOR KOMMENDE BRINTREGULERING

Reguleringen af gastransmission tager højde for, at der er tale om et modent marked, bl.a. med indbyggede incitament til at bruge infrastrukturens samlede kapacitet bedst muligt og undgå "trængselsperioder" gennem kapacitetsbaserede tariffer, jf. tabel 2.3. Det kan også være relevant for et kommende brintmarked.

Den europæiske gasregulering benytter forskellige andre incitament i transporten af gas, som giver rabat, eksempelvis hvis brugerne af nettet indgår aftale om afbrydelighed, dvs. at gasmyndigheden køber retten til helt eller delvist at afbryde gasforsyningen, hvis et bestemt kriseniveau indtræder i gassystemet. Myndighederne kan dermed reducere efterspørgslen i kritiske forsyningssituationer og opretholde gasforsyningen til øvrige, nødvendige forbrugere længere.

EL-REGULERING PÅVIRKER OGSÅ DET KOMMENDE BRINTMARKED

Flere lande er ved at forberede reguleringen af el-markedet til kommende brint- og PtX-produktion, som kræver store mængder vedva-

⁹ En systemansvarlig TSO er en transmissionssystemoperatør, der har fået til opgave at transportere energi (typisk gas eller el) på nationalt eller regionalt plan ved hjælp af fast infrastruktur. En TSO kan både være statsejet eller et privat selskab. I Danmark er TSO'en på el og gas det statsejede selskab Energinet. Som infrastrukturselskab planlægger, finansierer og eksekverer Energinet således udbygning af energiinfrastrukturen på disse områder med en statsgaranti i ryggen. Energinets strategiske, langsigtede udviklingsplaner (LUP) på el-området godkendes i Folketinget, mens udbygning af gastransmissionsnettet godkendes af klima-, energi- og forsyningsministeren.

¹⁰ Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2022).

¹¹ Reed Smith

Tabel 2.3: Tarifstruktur for transmission af gas i Danmark og nabolande

TSO	Volumetrisk	Kapacitets-baseret	Rabat til/fra lagre	Afbrydelighedsrabat
Danmark	✗	✗	✓ (100/100%)	✓ (5-10%)
Holland	✗	✓	✓ (60/60%)	✗
Tyskland	✗	✓	✓ (75/75%)	✓
Belgien	✓ (3%)	✓ (97%)	✓ (100/50%)	✓ (20%)
Sverige	✓ (20%)	✓ (80%)	✗	✗

Kilde: Copenhagen Economics (2022a)

Incentimentsbaserede tariffer, der tager højder for trækket i forhold til den samlede kapacitet, er også relevante for en kommende brintinfrastruktur – både i perioder, hvor røret endnu ikke bruges så meget, og der er behov for at incentive mere brug, og når markedet er mere udbygget, og hvor transport forudsætter øget tryksætning.

rende energi. Eftersom langt hovedparten af driftsomkostningerne ved fremstilling af grøn brint stammer fra prisen på grøn strøm, er såvel el-prisen som tilhørende tariffer, afgifter mv. også af stor betydning for rentabiliteten af brintproduktionen.

Tyskland har indført en fritagelse for storkunder som PtX-producenter i forhold til tariffbetaling ved brug af det kollektive elnet de første 20 år som en subsidiering til opstart

af et nyt marked (tabel 2.3). Andre lande anvender også forskellige former for rabat til storkunder.

Tariferingen i Danmark sammenlignet med de omkringliggende lande bliver vigtigere i takt med opstarten af et PtX-marked, og forskelle i el- og brinttariffer kan blive et konkurrenceelement i fremtidens europæiske brintmarked¹². På nuværende tidspunkt har de fleste nord- og vesteuropæiske lande lavere tariffer for potentielle brint- og Powe-to-X producenter end Danmark, jf. tabel 2.4.

På tværs af nye reguleringstendenser for gas- og el-markederne i EU peger Copenhagen Economics på nogle overordnede tendenser:

- Mere langsigtede og transparente investeringer, bl.a. baseret på langsigtede udviklingsplaner
- Mere omkostningsægte tariffer
- Blandet ejerskab gennem værdikæden markedsviden.

FLERE REGULERINGER SPILLER IND PÅ BRINTMARKEDETS UDVIKLING

Der er således en række forskellige reguleringer, der skal opbygges og tilpasses for at understøtte det kommende marked for grøn brint, ligesom der er forskellige støtteordninger. Eksempelvis sætter EU's CO₂-kvotesystem (ETS) en pris på CO₂-udledninger, hvor loftet for udledning i kvotesektoren løbende sænkes.

Tabel 2.4: Danmark har de højeste el-tariffer til PTX/storkunder

Land	Eltarif til PTX/storkunder
Danmark	15 EUR/MWh
Tyskland	0 EUR/MWh Efter 20 år: ≈ 16 EUR/MWh
Holland	4 EUR/MWh
Sverige	3 EUR/MWh
Finland	≈ 5 EUR/MWh

Kilde: Copenhagen Economics (2022a)

Skibsfarten vil fremover blive indlemmet i systemet. Samtidig øges iblandingskravene til brændstoffer, hvor bæredygtige brændstoffer, der ikke er baseret på biomasser¹³, herunder grøn brint, skal udgøre 2,6 pct. af transportsektorens forbrug i 2030, ligesom der lægges op til sektorkrav, hvor bl.a. industrien skal halvere sin brug af grå brint og erstatte den med grøn brint.

2.3 Andre initiativer til fremme af brint

EU har afsat betydelige midler til at fremme forskning, udvikling og implementering af

grøn brintteknologi og til at understøtte investeringer i elektrolysekapacitet og infrastruktur. Dertil kommer nationale tiltag.

En vigtig del af denne indsats er eksempelvis Horizon Europe-programmet, der er EU's største forsknings- og innovationsprogram. Horizon Europe finansierer projekter og initiativer, der fokuserer på udvikling af anvendelse af grønne teknologier, herunder Power-to-X teknologier og grøn brint. Herigennem støtte EU forskningsinstitutioner, virksomheder og organisationer i af udvikle og teste brintteknologier samt opskalere produktionen. Fx har et brintsamarbejde mellem Slovenien, Kroatien og Italien, North Adriatic Hydrogen Valley, modtaget 25 mio. euro i støtte fra Horizon Europe. Midlerne går til pilotprojekter for produktionen af grøn brint i de tre lande. Formålet er at skabe en fælles værdikæde¹⁴. Udover forskning og udvikling har EU og medlemsstaterne etableret partnerskaber

Figur 2.1: EU rammer for udviklingen af grøn brint



Kilde: Windeurope (2022)

¹² Tariffer er de takster der betales for forbrug af elnettet, hvor der afregnes mellem Energinet og el-leverandøren.

¹³ Renewable Fuels of Non-Biological Origin (RFNBOs).

¹⁴ HSE (2023)

for at fremme grøn brint. Fx European Clean Hydrogen Alliance, der blev lanceret i 2020. Alliancen samler virksomheder, forskningsinstitutioner og regeringer med det formål at fremskynde udviklingen, fremme efterspørgslen og opskalere brugen af grøn brint. Gennem dette samarbejde tilskynder EU til investeringer i grøn brintinfrastruktur og understøtter udviklingen af et europæisk marked for brint. Fokusset i samarbejdet er at sikre prioritering og adgang til finansiering¹⁵.

STØTTE TIL STRATEGISK VIGTIGE PROJEKTER FOR EU

Støtte til investeringer og finansiering sker også igennem Important Projects of Common European Interest (IPCEIs) programmet for brint. Det første IPCEI-program, HY2Tech, blev godkendt i juni 2022 og gav støtte til 41 projekter, der har udviklingen af teknologier til brint værdikæden for øje. I september 2022 blev det andet program, HY2Use, godkendt af kommissionen, hvor formålet er at støtte opbygningen af brintrelateret infrastruktur og udviklingen af teknologier til integration af brint i den industrielle sektor. De to IPCEI-programmer tilvejebringer 10,6 mia. euro i finansieringsbidrag, som ventes at udløse 15,8 mia. euro i tilhørende privat finansiering, jf. EU Kommissionen (2023). IPCEI-projekterne fritages for EU's normale statsstøtteregler og processer.

Inden for rammerne af EU's støtteprogrammer er der også muligheder for støtte til infrastrukturprojekter relateret til brint gennem Projects of Common Interest (PCI). IPCEI er et bredere initiativ, der dækker forskellige sektorer og teknologier, gennem forskellige programmer, mens PCI har et mere specifikt fokus på energiinfrastruktur. IPCEI-støtte kræver deltagelse af mindst to medlemssta-

ter, og der skal være en tilstrækkelig repræsentation af EU's territorium. PCI-projekter kan indebære deltagelse fra flere stater, men det er ikke en forudsætning for at opnå støtte.

Den fælles erklæring mellem Danmark og Tyskland om en landbaseret brintforbindelse fra marts 2023, tilkendegiver, at begge lande vil ansøge om finansiering med henblik på fx at opnå støtte gennem PCI-støtteordningen¹⁶.

Ellers er det kun i begrænset omfang, at Danmark (og danske virksomheder) har søgt om denne type EU-midler til fremme af brintproduktion og infrastruktur. I 2022 blev det danske projekt, Green Fuels for Denmark, tildelt 600 mio. kr. som en del af Danmarks deltagelse i IPCEI-programmet Hy2Tech ifølge Ørsted (2022). Det var eneste danske projekt. Det danske træk på IPCEI-midlerne er generelt relativt lavt sammenlignet med flere andre europæiske lande. I udmøntningen af Hy2Tech indgik der fx en række franske projekter¹⁷. I udmøntningen af IPCEI Hy2Use indgik der igen kun et dansk projekt (Everfuels), mens der til sammenligning især var spanske projekter¹⁸. Den lave søgning af støttemidler fra dansk side er bemærkelsesværdig i lyset af de store potentialer, Danmark har for at kombinere vedvarende energi med brintproduktion relativt til andre lande.

EUROPEAN HYDROGEN BANK UNDERSTØTTER PRIVATE BRINTINVESTERINGER, BL.A. GENNEM FASTPRISAFTALER

EU har med arbejdsprogrammet for 2023 lanceret European Hydrogen Bank, der skal hjælpe med at mobilisere private investeringer ved at reducere risiko, skabe gennemsigtighed og tilbyde finansiering på konkurrencedygtige

vilkår. Formålet er at være med til at lukke omkostningsgab mellem produktion af grøn brint og fossilt baseret brint i den tidlige fase¹⁹. I praksis foreslås en fastprisafregning pr. kg brint for maksimalt 10 år, som udbydes via auktioner (auctions-as-a-service). Den første pilotauktion udbydes i efteråret 2023. Banken vil også bidrage til at opbygge ekspertise og viden om brintprojekter og deres økonomiske levedygtighed. Initiativet er under udvikling, og banken skal være operationel ved udgangen af 2023. Hydrogenbanken støttes bl.a. af 800 mio. euro fra EU's Innovation Fund.

Der har som led i EU's modsvar til den amerikanske subsidiering af brintproduktion (IRA) også været drøftet en Suverænitetsskatsfond i EU-regi, som fx kan indskyde penge direkte i

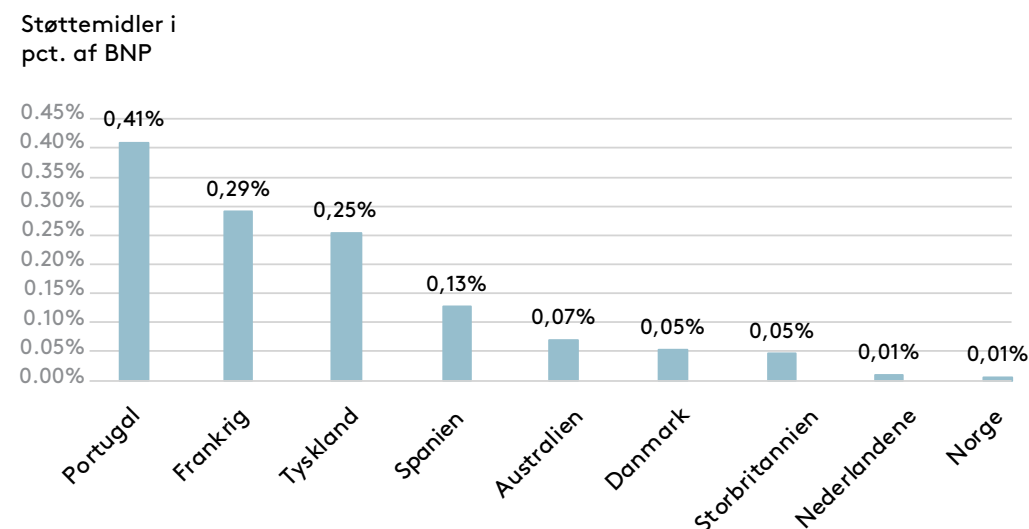
virksomheder, der udvikler brintproduktion, og komme hurtigere ud end ved etablering af puljer mv. Margrethe Vestager fremhæver, at investeringsfondstanken fx kunne etableres via EIB, den europæiske investeringsbank²⁰.

NATIONALE MIDLER TIL ELEKTROLYSEMÅL

Udover EU-midler har flere lande afsat midler til en national understøttelse og udvikling af værdikæden for brint og andre grønne brændsler. Flere lande, både i og udenfor EU, har afsat væsentligt flere midler end Danmark til at nå omtrent samme kapacitetsmål. I EU har særligt Tyskland, Spanien og Frankrig afsat store beløb til at opbygge Power-to-X produktionen og -infrastruktur (figur 2.2).

I Frankrig planlægges der bl.a. at give 7 mia. EUR. (52 mia. kr.) i offentlig støtte frem til

Figur 2.2: Nationale rammer for udviklingen af grøn brint



Anm: Holland og Storbritanniens mål indeholder også blå brint. De afsatte midler i Tyskland indebærer også midler til infrastruktur.

Kilde: Kraka Advisory (2023) og egne beregninger på baggrund af Danmarks Statistik

¹⁵ European Commission

¹⁶ Klima-, Energi-, og Forsyningsministeriet (2023b)

¹⁷ EU Kommissionen (2022c)

¹⁸ EU Kommissionen (2022d)

¹⁹ EU Kommissionen (2023b)

²⁰ Børsen, d. 12. maj 2023.

2030 til R&D, støtte til startups og industrialisering samt markedsopstart, jf. deres nationale brintstrategi²¹. Samlet har Frankrig afsat 54 mia. kr. Frankrig har et mål for elektrolysekapacitet på 6,5 GW, mens Danmark har på 4-6 GW. Til sammenligning har Danmark afsat 1,25 mia. kr. som følge af Regeringens strategi for Power-to-X.

Kraka Advisory har udarbejdet en oversigt over udvalgte landes afsatte midler til fremme af elektrolyse. Umiddelbart er det Tyskland, der har afsat mest.

Hvis man tager højde for landenes størrelse, er det imidlertid Portugal, som har afsat relativt flest midler til elektrolyse. Portugal har afsat 6,7 mia. kr. til fremme af elektrolysekapacitet ud fra et mål om en elektrolysekapacitet på mellem 2 til 2,5 GW i 2030²². Danmark har til sammenligning indtil videre afsat 1¼ mia. kr. til at fremme udbygning af 4-6 GW elektrolysekapacitet.

Boks 2.1: Flere lande indgår samarbejdsaftaler med udlandet

Eksempler på samarbejdsaftaler

Der er indgået en lang række samarbejdsaftaler mellem lande der hhv. ønsker at sikre sig forsyning eller afsætte overskydende ressourcer

Land	Med	Type	Bemærkning
EU	Egypten	Brint	EU-kommissionen har underskrevet en MoU og derigennem givet lovning på 300 mio. EUR til investeringer i opbygningen af landets brintproduktion
Danmark	Belgien	El	Forbindelse dansk energi i Nordsøen til Belgien
Danmark	Holland	-	Offshore forbindelse mellem Danmark og Holland
Tyskland	Marokko	Brint	Tyskland investerer 300 mio. EUR (2,2 mia. kr.) for at kunne gøre krav på brintimport i fremtiden.
Holland	Portugal	Brint	Memorandum of Understanding (MoU) underskrevet om udvikling af strategisk værdikæde.
Belgien	Chile	Brint	MoU underskrevet om udvikling af importværdikæde af grøn brint.
Tyskland	Frankrig, Spanien, Portugal	Brint	MoU underskrevet om udvikling af fælles brintinfrastruktur
Tyskland, Holland	Emiraterne	Brint	Udviklingen af brintforbindelse for blå brint mellem EU og Mellemøsten
Tyskland	Australien	Brint	MoU underskrevet om udviklingen af værdikæde mellem tyske E.ON og australsk leverandør af grøn brint. Målsætning om 5 mio. ton brint om året i 2030 svarende til 1/3 af hvad TY tidligere importerede fra Rusland.

Kilde: European Commission (2022) Wind Europe (2021), Port of Antwerp Bruges (2021) CIP Fondens markedsvurdering (2023), KEFM (2023)

21 Gouvernement (2020)
22 CSIRO
23 Det officielt vedtagne mål er 5 GW, men en kommende revision af brintstrategien angiver en opjustering til 10 GW i 2030

er udtryk for at ønske om at imødekomme klimamålene, men også et behov for at sikre import fra udlandet grundet begrænset mængde VE-energi til Power-to-X.

Udenfor EU har særligt den amerikanske Inflation Reduction Act (IRA) vakt opsigt. IRA indeholder betydelige økonomiske fordele for producenter af grøn brint, der ventes at kunne halvere prisen på produktionen af grøn brint på kort sigt. Støtteregimerne til producenter af grøn brint, der indgår i IRA, er så markante, at IRA potentielt kan gøre amerikansk brint konkurrencedygtigt overfor dansk brint, jf. CIP Fondens markedsvurdering (2023).

PARTNERSKABER OG SAMARBEJDSAFTALER BÅDE INDEN FOR OG UD AF EU

Tyskland har afsat 2 mia. EUR (15 mia. kr.) som del af den tyske brintstrategi til etableringen af internationale partnerskaber med henblik på at sikre forsyning af hhv. blå og grøn brint. Tyskland har allerede indgået en række partnerskaber med lande som Marokko, Emiraterne og Australien. Danmark har også indgået samarbejde med Tyskland om samarbejde om at analysere fælles- og hydride offshore energiprojekter i 2020 og et brintrør på tværs af den dansk-tyske grænse i 2023.

Holland og Belgien ha også søgt mod udlandet med henblik på at sikre forsyning og import af både el og brint. Samarbejdsaftalerne er et udtryk for et ønske om at sikre forsyningen til aftagere af den grønne brint, således de første skridt af omstillingen i fx industrien kan foretages med større sikkerhed.

I lyset af Danmarks store potentiale for produktion af vedvarende energi (og på den baggrund også brint og Power-to-X produkter), som langt overstiger Danmarks eget





behov, er det relativt få samarbejdsaftaler, der er indgået for Danmark med andre lande. Det kan hænge sammen med, at staterne er mere opsøgende, når det gælder forsyning af egne behov, end når det gælder afsætning af egne ressourcer til andre.

Når det gælder Danmarks muligheder for at forsyne nabolande med vedvarende energi og brint, er det imidlertid ikke kun et spørgsmål om eksportgevinster, men også om at afhjælpe klimaudledninger i Danmarks nærområde og understøtte Europas energiafhængighed. Dertil kommer, at samarbejdsaftalerne udgør opfølgning på de politiske målsætninger og erklæringer, eksempelvis fra Esbjerg-erklæringen, Marienborg-erklæringen og den seneste fra Oostende.

2.4. Nuværende og kommende brintinfrastruktur

Der findes i dag en vis rørført brintinfrastruktur, omkring 5.000²⁴ km, bl.a. i USA, Tyskland, Belgien og Holland, som fragter fossil baseret brint (grå brint) – ofte fra produktion eller havneinfrastruktur til direkte industriformål, og hvor de fungerer som lukkede distributionsnetværk i privat ejerskab.

Belgien har den mest udbyggede struktur i Europa med en eksisterende brintinfrastruktur på 613 km centreret omkring større industriområder, fx Antwerpen og Gent. Herefter følger Tyskland med omkring 400 km dedikeret brintinfrastruktur.

Den eksisterende brintinfrastruktur i Nord-europa har, jf. Copenhagen Economics, karakter af private linjer, der således ikke er underlagt tariffer og ikke er incitamentsmæssigt reguleret, men er aktuelt under forhandling ift. at indgå i det kollektive forsyningsnet.

GENBRUG AF EKSISTERENDE NATURGASNET TIL UDBYGNINGEN

Ud over at bruge eksisterende brintnetværk til grøn brint er det også muligt at retrofite naturgasnettet til at transportere brint. Ifølge EPRS (2021) viser en række studier, at genbrug af eksisterende gasinfrastruktur er mere omkostningseffektivt end at foretage en udbygning af el-nettet og satse på mere direkte elektrificering for at understøtte den grønne omstilling.

Dette er særligt relevant i lande som Tyskland, Holland og Belgien, hvis naturgasnet i mange tilfælde består af dobbeltrør, så man kan sende naturgas i begge retninger over en distance. I takt med, at den fossile naturgas udfases, falder transportbehovet, hvorfor det ene af rørene kan konverteres til brint. Muligheden for genbrug af gasrør er en af grund-

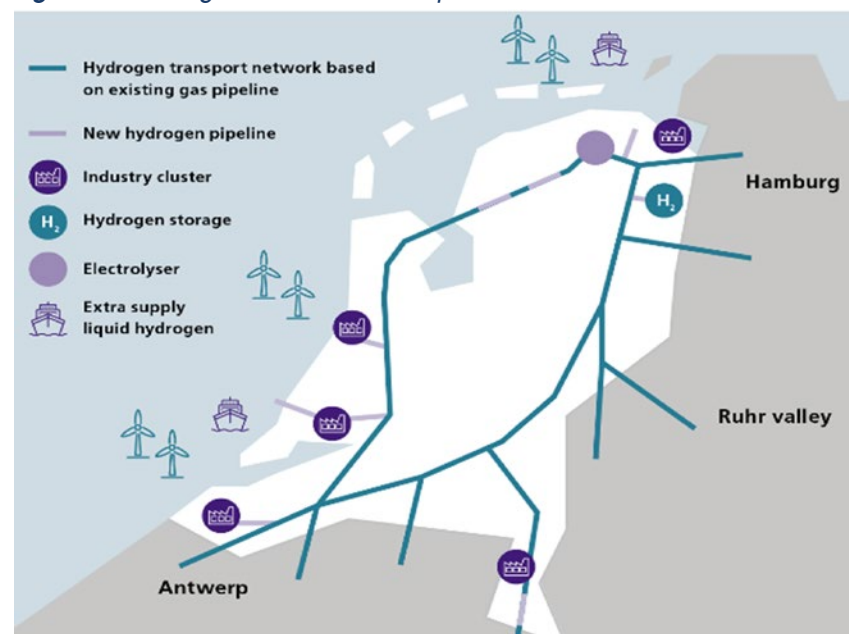
ne til, at brint vurderes som særlig relevant og omkostningseffektiv i den grønne omstilling af tung industri.

I Holland har det statsejede gasinfrastrukturselskab Gasunie fået til opgave at bygge et brintnet ved at omdanne 85 pct. af det eksisterende naturgasnet til brintrør, som skal stå klar i 2027²⁵.

Holland er blandt de fremmeste i udviklingen af kommende brintinfrastruktur, og Gasunie har tegnet de overordnede linjer til en brintinfrastruktur, der forbinder nabolande, forbrugere og producenter, hvor første del udrulles i 2025/2026, hvilket også er vist i figur 2.3.

Her lægges op til et ringformet netværk (backbone), der skal binde fem forskellige industrikluster med brintproduktion og forbrug med havne og lagerfaciliteter. I Europa

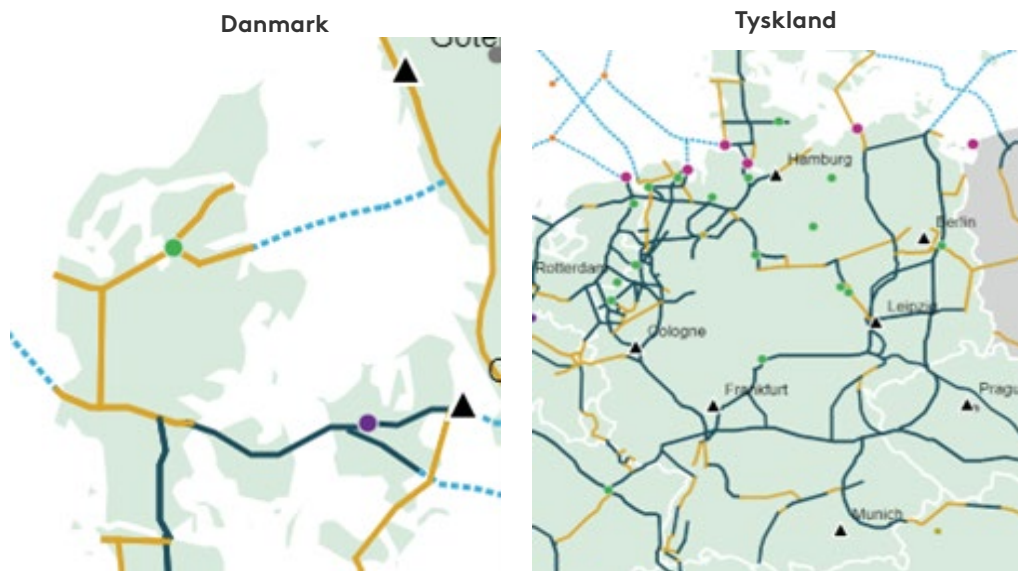
Figur 2.3: Planlagt brintinfrastruktur på land i Holland



Kilde: Gasunie (2022)

²⁴ Det skal ses i sammenhæng med, at den samlede gasinfrastruktur i verden er omkring 3 mio. km (ERPS, 2021).

²⁵ FuelCellsWorks (2022) samt Gasunie (2022).

Figur 2.4. Genbrug og nybyg i Danmark og Tyskland


Anm: Gul angiver nye rør, mørkeblå angiver genanvendte rør og blå angiver offshore linjer
Kilde: European Hydrogen Backbone

forventes mellem 60 til 80 pct. af brintinfrastrukturen af bestå af opgraderede gasrør, jf. Brinckmann (2023).

ISÆR DE NORDISKE LANDE HAR BEHOV FOR NYBYGGET BRINTINFRASTRUKTUR

For lande som Danmark, Sverige og Finland består naturgasnettet for en stor dels vedkommende af enkeltrør, hvorfor mulighederne for at genbruge gasrørene reelt ikke er til stede, så længe der transporteres naturgas og biogas²⁶. Her vil man i langt højere grad være nødt til at nybygge brintrørsinfrastruktur.

PLAN FOR DEN FØRSTE UDLANDSFORBINDELSE FRA DANMARK TIL TYSKLAND

For Danmark er der endnu ikke en national plan for udbygning af brintinfrastruktur, hverken til lands eller offshore. Til en begyndelse er der indgået aftale med Tyskland om at etablere en brintrørsforbindelse fra Sønder-

jylland til Tyskland (det "nedre T" i figur 2.4). Netop på denne strækning findes også en af de få dobbeltrørsdistancer for naturgasrør i Danmark, fra Egtved og til grænsen. Dog kun med "30 rør. CIP Fondens forslag indebærer større rør på denne centrale strækning pga. det store transportbehov på sigt. På den tyske side af grænsen og til Hamborg kan omkring halvdelen af distancen umiddelbart bestå af genanvendte naturgasrør, mens resten er nyetablerede brintrør (Gasunie og Energinet, 2021). Det er vigtigt at koordinere kapacitetsmulighederne på begge sider af grænsen, så der ikke opstår flaskehalse.

Der er gennemført et feasibility studie af forbindelsen, og der arbejdes nu videre med konkret planlægning. Den dansk-tyske erklæring lægger op til, at forbindelsen skal stå færdig i 2028, hvilket dog vil stille store krav til tilsvarende opbygning af regulering, indgåelse

af kapacitetstilsagn fra kommende brugere mv. Ibrugtagning bliver først relevant, når der er etableret fuld forbindelse fra brintproducenter i Sønderjylland og helt til aftagerne i Tyskland (Hamborg i første omgang).

Der er samtidig et arbejde i gang med feasibility studier af en offshore forbindelse fra den kommende energigø Bornholm og til Tyskland.

STORE PLANER OM SAMMENHÆNGENDE EUROPÆISK BRINTINFRASTRUKTUR

Der er ikke aktuelt en sammenhængende europæisk brintinfrastruktur, men det er en afgørende forudsætning for at få et marked op at stå for grøn brint og for at muliggøre den grønne omstilling af især tung industri og transport.

Behovet for infrastruktur har affødt flere

tiltag, hvor lande både planlægger national infrastruktur, men også indgår samarbejder med andre lande, bl.a. gennem The European Hydrogen Backbone (EHB), der består af en gruppe af 32 energi infrastruktur operatører (TSO'er), der ønsker at accelerere udviklingen af brintmarkedet i Europa ved at definere brintinfrastrukturen. Energinet er en del af initiativet på vegne af Danmark.

European Hydrogen Backbone (EHB) har udviklet en vision for en grænseoverskridende brintinfrastruktur for alle deltagende lande baseret på nationale strategier, planlægningsprocesser kendt af TSO'erne, annoncerede projekter og TSO'ernes vurdering af mulighederne for genanvendelse af rør (se figur 2.4).

Den foreslåede infrastruktur forventes at være 53.000 km inden 2040, og den estimerede

Figur 2.4. Genbrug og nybyg i Danmark og Tyskland


Anm: Gul angiver nye rør, mørkeblå angiver genanvendte rør og blå angiver offshore linjer
Kilde: European Hydrogen Backbone

²⁶ Biogas er under udbygning i Danmark

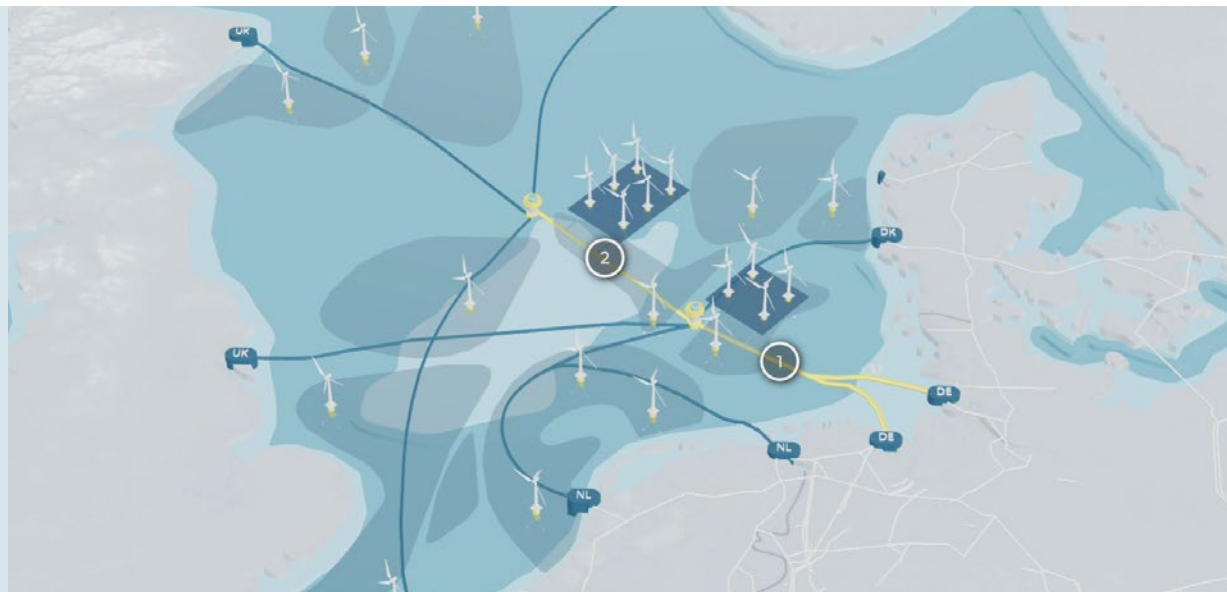
Boks 2.2: International brintinfrastruktur i Nordsøen

AquaDuctus

AquaDuctus er et 400 km havbaseret brintrør, der forbinder i første omgang Tyskland og videre Belgien og Holland med potentiel produktion af vedvarende energi og brint ude i Nordsøen. Forbindelsen går fra Tyskland ud til relevante havvindparker og mulig brintproduktion via Helgoland og Dogger Banke, hvor der også er mulighed for tilkobling fra andre lande, fx Danmark.

I januar 2023 ansøgte de to TSO'ere, GASCADE (Tyskland) og Fluxys (Belgien), om midler ved EU-kommissionen som et projekt af fælles interesse under IPCEI. Infrastrukturprojektet AquaDuctus er en del af et større program for vedvarende energi, AquaVentus, som både indeholder større havvindparker og muligvis også en energigø.

Kilder: CIP Fondens markedsvurdering (2023)



Boks 2.3: International brintinfrastruktur i Østersøregionen



BALTIC HYDROGEN COLLECTOR I ØSTERSØEN OG NORDIC HYDROGEN CORRIDOR LANGS KYSTEN

I slutningen af 2022 igangsatte finske og svenske TSO'ere, Gasgrid Finland og Nordion Energi, i samarbejde med industrivirksomhederne OX2 og Copenhagen Infrastructure Partner, et feasibility study af en fælles Østersøforbindelse i form af Baltic Sea Hydrogen Collector.

Brintrøret der undersøges, udgør en storskala, grænseoverskridende opsamlings- og transportinfrastruktur for grøn brint.

Målet med projektet er at understøtte et kommende brintmarked ved at forbinde udbuds- og efterspørgselscentre i Den Botniske Bugt og Østersøregionen med det centrale Europa.

Brintrøret til havs skal forbinde Finland, Sverige og Tyskland. Røret kan potentielt forbindes til påtænkte energier ved Bornholm og Gotland, Sverige.

Der planlægges samtidig en landbaseret forbindelse fra Finland og videre gennem de baltiske lande og Polen til Tyskland, Nordic Hydrogen Corridor, hvor der i øjeblikket pågår pre-feasibility studier. Den grænseoverskridende forbindelse kræver koordination mellem flere lande.

Kilder: European Hydrogen Backbone (2022), OX2 (2022), Gasgrid (2023) og CIP Fondens markedsvurdering (2023).

rede totale investering løber op i 80-143 mia. euro (600-1.100 mia. kr.) for infrastrukturen både on- og offshore, jf. European Hydrogen Backbone (2022).

ANDRE LANDE HAR OGSÅ PLANER OM FÆLLES BRINTINFRASTRUKTUR OFF-SHORE

En stor del af den vedvarende energi, der skal forsyne især Nordeuropa, ventes at komme fra havvind fra Nordsøen og til dels også Østersøen, jf. hhv. Marienborg-erklæringen og Østersø-erklæringen.

Noget af energien påtænkes ilandført i form af grøn strøm, men det er også muligt at producere brint ude på havet på energier, platforme med elektrolyse og fra havvindmøller med integreret brintproduktion. Her vil brintrør være nødvendig infrastruktur.

Tyskland og Holland arbejder med planer om en fælles havbaseret brintinfrastruktur, AquaDuctus, som rækker ud i Nordsøen fra to brintforbrugsområder med etableret brintinfrastruktur og ud mod havområder, der er velegnede til at producere store mængder vedvarende energi som led i en større udbygning, AquaVentus. Den foreslåede brintinfrastruktur er også mulig at forbinde med produktion og aftag i Norge, Storbritannien, og Belgien, ligesom Danmark potentielt kan indgå heri, jf. boks 2.1.

I Østersøen er der også et potentiale for produktion af vedvarende energi, hvor flere lande arbejder sammen om en fælles forbindelse mellem produktion og aftag af brint (primært i Tyskland) til havs gennem Baltic Hydrogen Collector og til lands langs kysten i Østersølandene gennem Nordic Hydrogen Corridor (se boks 2.2).

Brintinfrastruktur på tværs af lande muliggør stordriftsfordele og adgang til flere marke-

der, hvilket understøtter markedsudviklingen, men kræver også grænseoverskridende koordination og et tæt samarbejde mellem myndighederne. For brintproducerende og -eksporterende lande er det afgørende tidligt at indtænke de grænseoverskridende forbindelser i planlægningen af den nationale brintinfrastruktur, da det er forudsætningen for at kunne realisere produktionspotential. Og for at indtænke aftagermarkederne i finansieringen af infrastrukturen.

Danmark bør orientere sig i andre landes planer for brintinfrastruktur, og hvor relevant *koordinere med og deltage i fælles brintinfrastruktur* på tværs af grænserne, for at etablere markedsadgang, opnå fleksibilitet og adgang til storskalaetablering, der kan nedbringe omkostningerne pr. transporteret mængde brint.



Boks 2.3: Andre eksempler på brintinfrastrukturprojekter

Norsk-tysk brintforbindelse (til blå brint)

I januar 2023 tilkendegav de tyske og norske statsledere planer om et samarbejde, og Gascade og Equinor har igangsat et feasibility study af et norsk-tysk brintrør gennem Nordsøen, der bl.a. skal passere dansk søterritorium. Brintforbindelsen er tiltænkt transport af blå brint (fossilt baseret brint, som er modregnet af CCS).

Brintrør fra Portugal gennem Spanien og Frankrig og videre til Tyskland (H2Med).

Som led i en større europæisk Green Energy Corridor har Spanien, Portugal og Frankrig i starten af 2022 lanceret brintforbindelsen H2Med. Den første del af projektet, der forbinder Portugal, Spanien og Frankrig, blev i december 2022 indsendt som et Project of Common Interest (PCI) til EU med henblik på EU støtte. Tyskland tilsluttede sig projektet i januar 2023. Brintforbindelsen skal kunne transportere op mod 2 mio. ton brint eller ca. 1/5 af den brint, EU forventer bliver produceret i Europa i 2030. En del af forbindelsen indebærer en offshore forbindelse mellem Barcelona og Marseille, som der ultimo 2022 blev indgået en Memory of Understanding (MoU) om. Ifølge Reuters vil offshore forbindelsen koste omkring 2-3 mia. euro og skal stå færdig i 2030.

Eksempler på aftaler om offshore interconnectorer (el), der ses i sammenhæng med brintproduktion

Danmark og Belgien har allerede indgået aftaler, som sigter mod realisering af "TritonLink", et el-kabel der skal forbinde den kommende danske energi i Nordsøen til enten en belgisk energi (el) eller det belgiske fastland i 2033. Danmark og Belgien har desuden indgået en aftale om at undersøge muligheden for at bygge endnu en udlandsforbindelse efter 2033.

Danmark og Tyskland har med Oostende-erklæringen fra april 2023 sat samarbejdet om Energi Nordsøen i gang ved at underskrive en aftale om at undersøge muligheden for at forbinde energien i Nordsøen (el) til en tysk hub for havvind på omkring 10 GW.

Kilder: European Hydrogen Backbone (2022), OX2 (2022), La Moncloa (2022) og CIP Fondens markedsvurdering (2023)

DEL 1

HVAD SKAL DER VÆRE TIL STEDE FOR AT ETABLERE EN BRINTINFRASTRUKTUR?



En klar regulering til et marked under opbygning

Kapitel 3

3.1. Hvilken regulering er nødvendig for brintinfrastrukturen?

En rørført brintinfrastruktur og kommende energiløser, der også producerer brint, vil i sin natur udgøre naturlige monopoler med tilhørende behov for regulering. Det kan eksempelvis være at sikre adgang for flere brugere (3. parts adgang) gennem omkostningsbase-rede priser.

Når infrastrukturen benyttes af flere på samme tid, har den karakter af et kollektivt eller offentligt gode og kan i så fald have behov for central planlægning for at overkomme det kollektive handlingsproblem, som ellers kan opstå, når flere forskellige aktører skal gå sammen om at organisere et fælles gode.

Infrastrukturen i form af brintrør er kendetegnet ved en lang planlægnings- og implementeringshorisont og indebærer store omkostninger og fysiske anlæg, der oftest er irreversible.

Som fysisk produkt minder brint mere om naturgas end om el, og det kommende brintmarked vil have visse lighedspunkter med naturgasmarkedets opstart. Markedet for grøn brint vil være præget af et begrænset antal opstartsvirksomheder i en periode, ligesom aftagerne vil være relativt få og store kommercielle virksomheder. Aftagerne skal enten benytte brinten direkte i deres industri-

elle processer (energiintensive, højtemperatur processer), som drivmiddel til transport¹, eller som input til videreforarbejdning til PtX-produkter.

Brint kan især i starten forventes prissat gennem længerevarende aftageraftaler (PPA'er), som også kendes fra gasmarkedet, hvilket giver afsætningssikkerhed for en periode og kan være med til at stabilisere opstarten. Til gengæld begrænser det også senere markedsadgang. Brintmarkedet vil med dets relativt få markedsaktører og høje entry costs således ikke være et fuldkomment konkurrencemarked i stil med el-markedet.

Det grønne brintmarked har imidlertid en stor kobling til el-markedet, da brinten produceres med vedvarende energi, typisk strøm fra vind eller sol, og hvor produktionen kan spille en balancerende rolle i forhold til el-nettet ved især at producere, når der er meget af den fluktuerende, vedvarende energi, og begrænse behovet for udbygning og forstærkning af el-nettet.

Når brint kommer til at spille en rolle i sektor-koblingen af energimarkedet ved at forbinde el-produktion med lagringsmuligheder og videreforarbejdning, kan det betyde, at der også skal være et større blik for det regulatoriske samspil mellem energimarkedene. Fx vil de nye muligheder for direkte linjer i den danske el-regulering også være relevante for en kommende brintregulering, ligesom stor-kunde-rabat i aftag af el vil få betydning for

mulighederne for brintproducenter, der ikke i alle tilfælde eller hele tiden dækker deres brintproduktion med egen grøn strøm.

KOMMENDE REGULERING AF BRINTMARKEDET SPILLER IND FLERE STEDER

De kommende regulatoriske rammer for brintproduktion og -transport vil derfor skulle forholde sig til flere forskellige områder: Både på EU-niveau og i danske overvejelser lægges der, som beskrevet i kapitel 2, op til, at brint fremadrettet overordnet reguleres i de nuværende gasreguleringer. Men som vist i figur 3.1 vil der også skulle tages højde for grøn brint i andre typer af regulering.

3.2. Marked under etablering vs. et modent marked

Brintmarkedet ventes præget af relativt få producenter og få, kommercielle aftagere, og i markedets opstart vil der være endnu færre producenter og aftagere, idet mange af de kommende markedsaktører endnu ikke eksisterer.

På samme vis er prisudviklingen for grøn brint usikker. Selv om der er en række drivere, som over tid vil indsnævre prisen i forhold til det fossile alternativ, der bliver relativt dyrere over tid, er det usikkert, hvornår priserne for de forskellige typer af brint rammer hinanden. Nogle virksomheder vil af hensyn til deres grønne profil være villige til at betale en grøn præmie for deres input/brændstoffer, og i takt med, at de politiske mål om dekarbo-

nisering materialiseres i konkrete krav, vil efterspørgslen efter grøn brint til den grønne omstilling, bl.a. hos Danmarks nærmeste naboer², blive så markant i fraværet af klare alternativer, at betalingsvilligheden også øges.



¹ Forbrugere kan principielt også blive direkte brugere af brint som drivmiddel, såfremt der etableres brintbaserede optankningsmuligheder.

² Se bl.a. CIP Fondens markedsvurdering (2023).

USIKKERHED FORSTÆRKES AF INKONSISTENTE TIDSLINJER OG GENSIDIGT AFHÆNGIGE BESLUTNINGER

Det grønne brintmarked vil i starten være præget af ekstraordinær usikkerhed, som forstærkes af, at mange af de nødvendige beslutninger for etablering af markedet og den tilhørende infrastruktur sker gennem uafhængige processer, der ikke har sammenfaldende tidslinjer, men alligevel stor gensidig afhængighed.

Når der skal etableres infrastruktur til et nyt, spirende marked, især når det drejer sig om store, kapitaltunge investeringer og irreversible konstruktioner, oplever man den klassiske "hønen eller ægget" udfordring med, hvad der betinger hvad, eller hvad der skal komme først: Er det udbuddet af infrastruktur (mar-

kedsadgang), eller er det efterspørgslen efter brint, som skal transporteres i infrastrukturten?

I et energiperspektiv ses det ved, at de store planer for udbygning af vedvarende energi til at understøtte den grønne omstilling ikke vil blive realiseret uden en tilhørende energiinfrastruktur. Ingen vil investere i udbygningen, hvis det er ikke klart, hvordan man kan komme af med den grønne energi og til hvilke markeder. Tilhørende infrastruktur er en nødvendig, om end ikke tilstrækkelig betingelse for at komme i mål med den grønne omstilling.

Udfordringen afslører en indbygget tidsinkonsistens i opbygningen af et nyt brintmarked. Der vil skulle etableres en fysisk brintinfrastruktur, som forbinder producenter med

aftagere og dermed forbinder markederne. Størrelsen, dimensioneringen og placeringen heraf skal afspejle den kommende efterspørgsel, men efterspørgslen kan reelt først manifestere sig, når en infrastruktur muliggør leverancer, og når der produceres brint. Og der produceres først brint, når der er etableret vedvarende energi hertil, og der er opnået vished om relevant markedsadgang. Det kræver mange beslutninger i forskellige spor, hvis tidslinjer ikke er afpassede med hinanden.

HVILKE AKTØRER HÅNTERER BEDST DE FORSKELLIGE TYPER AF RISICI VED INFRASTRUKTUR?

Den bedste udbygning af et marked sker ved at lade de aktører, der har størst viden om et konkret område og bedst mulighed for at mitigere de konkrete risici, gøre det. Altså placere risikoen der, hvor det giver mening. Fx har de kommercielle aktører størst viden og bedste indsigt i de teknologiske risici, udvikling og muligheder og er derfor alt andet lige de bedste til at tage stilling til, hvilken form for teknologi der skal anvendes, eksempelvis ved et udbud.

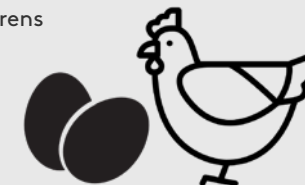
Det er også de kommercielle aktører, der har størst indsigt i de markeds-mæssige risici, bl.a. gennem deres markedsindsigt, afsætningsaftaler og blik for forskellige forretningsmodeller, ligesom det er de private parter, som på mikroplanet bærer risikoen for, om den økonomiske aktivitet giver overskud eller ej.

På makroplanet er det imidlertid kun stater, EU og det politiske niveau, der kan bære risikoen for den samlede markedsudvikling, dvs. om det grønne brintmarked udvikler sig og ikke kollapser, primært gennem politiske mål og krav og gennem rammevilkår.

Når det gælder behovet for at flytte risiko over tid og mellem aktører, fra den første usikre periode i markedet med få aktører, til

INFRASTRUKTUREN TIL ET GRYENDE MARKED

Hvad kommer først: Etableringen af en infrastruktur, der baner vejen til markedet, eller etableringen af et marked, hvis efterspørgsel sætter rammerne for infrastrukturens størrelse og placering?



et mere modent marked med flere aktører, er det også staten, som gennem regulering (tarifstruktur mv.) og garantistillelse, har mulighed for at påvirke den balance. Pensionskasser og andre finansielle investorer har mulighed for at flytte risiko over tid i konkrete projekter, men ikke for det samlede marked. Ud over teknologisk risiko, som i brintens tilfælde er knyttet til elektrolyse og mulighederne for at bruge det i storskala produktion og få rampet den samlede kapacitet op på kort tid, er der også risiko forbundet med grøn strøm som input. For brint er de løbende

Boks 3.1 Behov for regulering af kommende brintmarked

RAMMER FOR VEDVARENDE ENERGI

- Udpegning af relevante arealer (havplan, statslig screening af arealer til energiparker, lokalplaner mv.)
- Processer for tildeling af arealer (udbud, "åben dør", o.l.)
- Vilkår for tilslutning af el-nettet

RAMMER FOR ETABLERING AF ENERGIØR/BRINTØR

- Specialtilfælde af rammerne for vedvarende energi
- Skal forholde sig til arealanvendelsen til andre formål end vedvarende energi

PRODUKTION AF BRINT OG POWER-TO-X (produktionsanlæg)

- Koordination med VE-produktion og aftag fra det kollektive el-net
- Mulighed for direkte linjer
- Adgangs- og brugervilkår til det kollektive el-net (storkunderabat, afbrydelighed mv.)

BRINTINFRASTRUKTUR

- Tariffer
- 3. parts adgang

GENERELT

- Afklaring af ansvarlig myndighed for brintmarkedet/infrastruktur samt mandat
- Sagsbehandlingstiden og koordination af processer ift. endeligt tidspunkt for beslutning
- Afklaring af hvad der er kritisk infrastruktur, og hvad det indebærer

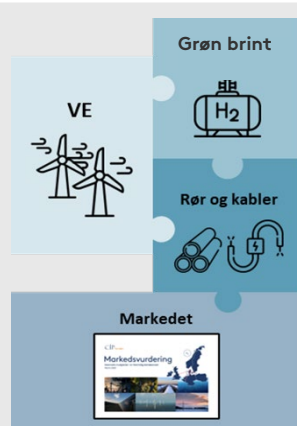
DILEMMA:

TIDSINKONSISTENS I BEHOV FOR BESLUTNINGER

Der skal træffes beslutning om etablering af infrastruktur og kapacitet, før der er viden om, hvilke kilder til vedvarende energi der kan understøtte brintproduktionen, før brintmarkedets efterspørgsel er kendt, og før producenterne kender deres transportbehov.

Boks 3.1 Produktion af brint og Power-to-X produkter - integreret værdikæde, hvor usikkerhed i ét led smitter af på den samlede businesscase

Produktion af brint forudsætter adgang til store mængder af grøn strøm fra vedvarende energikilder og vand. Og afsætning af brint forudsætter rørforbindelser til aftagermarkederne. Produktionen af brint er derfor kritisk afhængig af adgang til VE og til infrastruktur. Usikkerhed, fx i form af uklar proces og timing for udbud af VE, forplanter sig derfor direkte i business casen for at producere brint. Og på samme måde vil usikkerhed om, hvorvidt der kommer brintinfrastruktur – hvis der ikke er tale om private linjer – hvornår den kommer, og hvad den kan tilbyde af kapacitet og lagringsmuligheder, også forplante sig til, hvo vidt det er rentabelt at producere brint.



Da brint primært rørføres, vil udbuddet af rørbaseret infrastruktur være den begrænsende faktor og de facto sætte rammerne for den mulige efterspørgsel efter brint. Dertil kommer den generelle usikkerhed om det kommende marked for grøn brint, som er i sin spæde start, herunder prisudvikling, overgangsmuligheder fra grå mod grøn brint og aftagervilkår.

En havvindmøllepark, som leverer strøm til et kendt og modent el-marked med veletablerede forbindelser og aftagere, er derfor en helt anden case økonomisk og risikomæssigt end selvsamme havvindmøllepark, der primært skal levere strøm til produktion af brint og PtX-produkter, hvor aftagere, infrastruktur mv. endnu er ukendte. Når overskydende VE ikke skal anvendes direkte som el-forbrug hos slutbrugeren, men som input til brint og PtX-produktion, ændres risikoprofilen for etablering af den vedvarende energi.

driftsomkostninger ofte mere afgørende end etableringsomkostningerne, og her er prisen på grøn strøm afgørende, da den udgør så stor en del af driftsudgifterne. Brintproduktion kræver adgang til store mængder vedvarende energi og til rimelige priser.

Her styrer staten, hvor meget areal der udbydes til produktion af vedvarende energi, under hvilke vilkår, godkendelsesprocesser og timing, samt den mulige transportpris gennem godkendelse af tariffene. EU har i sin nye, grønne industripolitik som modsvar til den amerikanske skattemæssige subsidiering af bl.a. brintmarkedet og elektrolyseudvikling, tænkt i krav om kortere sagsbehandlingstider, hvilket kan reducere noget af risikoen og ska-

be større samtidighed i beslutningerne.

Er der tale om kollektiv infrastruktur, hører planlægningsrisikoen og koordinationsansvaret til hos den centrale myndighed. Ved at lade de kommercielle parter deltage i planlægning og medfinansiering af infrastrukturen, opnås de bedste incitamenter til at udnytte markedsrettet viden om relevante produktions- og aftagersteder, herunder også i udlandet, og optimere geografisk placering og dimensionering af infrastrukturen. De mange typer af usikkerhed og risici ved planlægning og udbygning af infrastruktur tilsiger en vis fleksibilitet og trinvis tilgang til udbygningen.

Usikkerheden, som både vedrører teknologi, markedsudvikling og regulatoriske muligheder, tilsiger *relativt fleksible og ukomplicerede rammer fra start* for et kommende brintmarked.



Dette er også EU's tilgang, jf. kapitel 2.

MULIGE MÅDER AT HÅNDTERE OG AFHJÆLPE RISICI

I Danmark er det på el-markedet blevet muligt at udbygge infrastruktur i forhold til forventet efterspørgsel og ikke "konstateret" efterspørgsel, så kapaciteten kan håndtere den kommende direkte elektrificering, og hvor Energinet har fået mandat til at projekttere og bygge på forkant gennem langsigtede udviklingsplaner (LUP), som løbende revideres og godkendes af Folketinget.

Brintinfrastrukturen må i sagens natur bygges efter *forventet efterspørgsel*, da markedet endnu er i sin spæde start, men hvor brintinfrastrukturen er den nødvendige markedsadgang. For det kollektive brintnet kan det fx ske gennem langsigtede udviklingsplaner, som det kendes fra el-nettet.



Når der bygges infrastruktur på forkant, tages der risiko i forhold til den kommende markedsudvikling og dermed den kommende brug af infrastrukturen. En del af risikoen kan afløstes gennem bindende tilsagn fra nuværende markedsaktører om kommende brug ved at udnytte deres markedsviden. Dette kendes fx fra gasmarkedet gennem en "Open Season" procedure, hvor markedsak-

tører op til planlægningen af ny infrastruktur har mulighed for at byde ind på brug af kommende kapacitet og forpligte sig til et vist kapacitetsbehov i en periode mod at få en vis rabat. Jf. Copenhagen Economics (2023) har processen bl.a. været anvendt i forbindelse med planlægningen af Baltic Pipe og ved udbygning af brintrør i Belgien og LNG terminaler i Tyskland, Holland og Belgien.

For at udnytte markedsaktørernes viden mest muligt om det kommende brintmarked, timing og mængder foreslås det at udbyde kapacitet i den kommende brintinfrastruktur gennem en vis periode, "*open season*", med indmelding af foreløbige forpligtelser.



En tidlig proces med kapacitetsindmeldinger før endelig stillingtagen til brintinfrastrukturens placering og dimensionering kan imidlertid kun tage højde for de producenter, som allerede findes eller er under etablering, hvilket vil være relativt få i opstarten af et nyt marked. Er der tale om kollektiv infrastruktur, kan staten tage hensyn til kommende brugere, som måske ikke engang findes endnu, og understøtte kommende konkurrence ved at overdimensionere fra start i forhold til den kapacitet, som de initiale markedsaktører har mulighed for at binde sig til. Denne form for risikotagning på kommende aktørers vegne er det kun staten, der kan tage.

Staten har mulighed for at påtage sig risikoen ved at *dimensionere infrastruktur ikke bare til nuværende producenter, men også til kommende brugere*, som ikke eksisterer i dag





Hvis staten påtager sig den initiale risiko ved at udbygge kollektiv brintinfrastruktur, har staten også mulighed for at hente sine udlæg hjem igen gennem kommende tariffbetaling (se også afsnit 3.5). Udlægget kan samtidig forrentes ved at indbygge et rimeligt afkastkrav i tarifferingen.

Når staten påtager sig fremtidig risiko, påtager staten sig imidlertid også risikoen for, at markedet ikke udvikler sig ud over den første, begrænsede start eller kollapse på et tidspunkt. Og dermed, at der ikke kommer tilstrækkelige tariffbetalinger fremadrettet fra den transporterede mængde til at dække brintinfrastrukturens omkostninger ("stranded assets"). Eftersom langt hovedparten af dansk produceret grøn brint skal gå til vores nærmeste naboer, kan en del af denne risiko søges dæmpet gennem bilaterale aftaler, fx ift. udlandsforbindelser, ligesom Tyskland, Holland og Belgien alle har deklareret et importbehov, der langt overstiger de danske produktionsmuligheder, gennem deres brintstrategier (CIP Fonden, marts 2023).

VÆRDI AF RETTIDIGE RAMMER OG REGULERING

I takt med markedsmodningen, større kendskab til markedet og fremkomsten af flere aktører, vokser behovet for mere konkret regulering. Selv om noget af reguleringen kan udvikles og forfines undervejs i takt med, at man opnår mere viden, er der for markedsudviklerne også behov for at kende de overordnede og langsigtede rammer så tidligt som muligt. Jo mere man kan afgrænse det kommende udfaldsrum af mulige omkostninger (og indtægter), jo tydeligere står den enkelte business case.

Det taler for en tilgang med relativt fleksible rammer i starten og brug af fælles mini-

mumsstandarder, men med plads til lokal variation, hvilket også svarer til EU's tilgang til den kommende regulering.

Reguleringen af brintmarkedet kan i starten baseres på *principper* og udmelding af *langsigtede rammer*, så retning og finansieringsmodel er kendt, mens mere konkret detailregulering udvikles over tid inden for disse rammer.



Staten kan generelt medvirke til at afklare noget af tidsinkonsistensen gennem tidlig kortlægning af mulige områder for udbygning af vedvarende energi og klargøring af regler, processer og tidsplaner for udbud og tildeling og gennem planlægning reducere noget af risikoen i markedets udvikling.

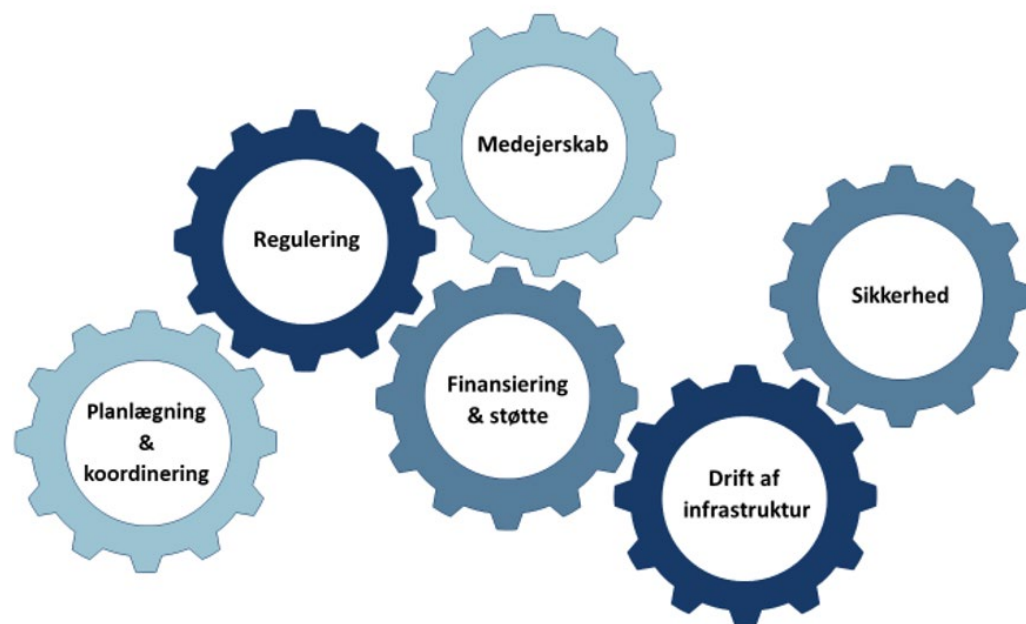
Rettidig regulering og kendskab til rammer er med til at nedbringe omkostningerne ved udbygning af mere vedvarende energi, etablering af ny brintproduktion og tilpasse behovet for infrastruktur³. Staten er således direkte med til at påvirke omkostningerne ved den grønne omstilling, hvor omvendt en sen og uklar regulering vil spille direkte over på omkostningerne ved etablering og produktion af brint, idet usikkerhed omkring niveauer og timing indregnes som en risikomargin hos markedsaktørerne.

Uklare rammer og ventetid i processer, herunder godkendelsesprocesser, eller udskydelser af tidsfrister, øger risikoen hos de private parter og medgår direkte som meromkostninger ved projektet.

Klar og rettidig planlægning og regulering (og tilsvarende for godkendelsesprocesser mv.) er også et konkurrenceparameter for udvik-

³ Fx har Copenhagen Economics (2022b) vurderet, at en tidlig udbygning af landbaseret vind og sol til den direkte elektrificering kan sikre besparelser på mere end 5 mia. kr. frem mod 2030 alene.

Figur 3.2. Statens potentielle roller i et kommende brintmarked og muligheder for at reducere eller flytte risiko



lerne og kan være med til at muliggøre en first mover fordel for Danmark i forhold til det kommende, nordeuropæiske brintmarked.

3.3 Statens rolle i værdikæden?

Staten har typisk en stor rolle i forhold til infrastruktur, især hvis det er af vigtighed for den nationale forsyning og med kollektive elementer. Staten kan potentielt indtage en række forskellige roller, der har forskellige formål i forhold til infrastrukturen, og som på forskellig vis kan være med til at løfte risiko fra markedsaktørerne eller flytte risiko over tid. Det betyder ikke, at staten nødvendigvis skal indtage samtlige roller, idet flere af

dem også kan varetages af private aktører. Staten er eksempelvis oplagt til at håndtere planlægning og koordination af den kollektive infrastruktur, men behøver ikke nødvendigvis at stå for finansieringen eller driften af infrastrukturen.

Når det er relevant for staten at blande sig i et kommende brintmarked, skyldes det bl.a., at de danske politikere med et bredt flertal har sat mål for udbygning af vedvarende energi med kapacitetsmængder så store, at de langt overstiger det danske energibehov. Både for strøm og brint. Den overskydende vedvarende energi vil derfor skulle eksporteres i form af el eller som Power-to-X produkter, herunder grøn brint. Det er således politisk bestemt, at der skal være eksport af energi

baseret på danske VE-ressourcer, og her er det kommende brintmarked oplagt, jf. CIP Fondens Markedsvurdering (marts 2023). Jf. Energinet vil den samlede VE-produktion baseret på fx Nordsøens ressourcer ikke kunne aftages direkte af et ellers forstærket el-net i Danmark og blandt vores nabolande, hvorfor produktion af brint er en forudsætning for at kunne indfri de politiske forventninger til kapacitetsopbygningen af vedvarende energi.

Staten kan potentielt påtage sig mange forskellige roller i opbygningen af den kommende brintinfrastruktur til det grønne brintmarked. Det er imidlertid en balance, idet jo større statslig involvering, jo mere markedsdynamik mistes der, og jo større er risikoen for en form for handlingslammelse i den centrale koordination.

3.4 Brintinfrastruktur til lands og til vands tjener forskellige formål

Der forventes en række forskellige landbaserede brint- og PtX-produktioner i Danmark, bl.a. tilkendegivet via markedsdialogen med Evida og Energinet (KPMG 2022) og af Brintbranchens oversigt. De vil være af forskellig størrelse, have forskellige formål og være geografisk fordelt ud over landet, bl.a. efter hvilke kilder af vedvarende energi de forventer at trække på, hvad enten det er landbaseret vind eller sol eller kystnær vind.

Et landbaseret brintnetværk, der forbinder dem, der har behov for det, vil have kollektiv karakter og understøtte såvel en national forsyning som eksportformål, når der etableres landbaserede udlandsforbindelser. Den landbaserede brintproduktion vil desuden have en balancerende rolle i forhold til el-nettet ved især at bruge grøn strøm, når der er rigeligt



Boks 3.2 Mulige roller for staten i forhold til infrastruktur

Planlægning og koordination: Central planlægning og koordination af kollektiv infrastruktur varetages bedst af staten, herunder stillingtagen til placering og dimensionering. I forhold til etablering af udlandsforbindelser kan staten også varetage dialog med de udenlandske parter, eksempelvis hvor forbindelsen er af mere kollektiv karakter.

Regulering af rammer: Det er statens opgave at stå for etablering af regulering og håndhævelse af rammer for adgang til og brug af infrastruktur (tilslutning, 3. parts adgang mv.), ligesom den statslige myndighed kan fastsætte relevante priser for brugen heraf (tariffer).

Finansiering og støtte: Staten kan medfinansiere infrastruktur, eksempelvis ved at tage mere risiko i opstarten af markedet, hvor der ikke vil være tilstrækkeligt mange producenter endnu til at dække omkostningerne. Dermed flyttes noget af den initiale risiko for markedsudviklingen fra udviklere til staten, og over tid fra nogle af de første markedsdeltagere, hvor risikoen er stor, til nogle af de senere markedsdeltagere, hvor der er kommet mere klarhed over teknologi, markedsudvikling mv. Såfremt statens "udlæg" ikke indhentes senere, vil der være tale om statslig subsidiering. Staten kan også uddele direkte subsidier gennem støttepuljer o.l., som dog vil udgøre offentligt forbrug. Staten har med sin relativt billige finansiering og lange tidshorizont mulighed for at flytte risiko over tid, som er relevant for udviklingen af et helt nyt marked, der understøtter nationale behov og samtidig leverer på politiske målsætninger (om VE-kapacitet). Det finansielle marked og eksempelvis pensionskasser vil også kunne tage langsigtet risiko og flytte risiko over tid, men ikke på vegne af et helt marked og fremtidige brugere.

Medejerskab: Staten kan indgå i brintproduktion og -transport som medejer sammen med kommercielle parter for at tage en del af den initiale risiko, muliggøre større udbygning og etablere medfinansiering. Se særskilt afsnit senere om fordele og ulemper ved statsligt medejerskab.

Drift af infrastruktur: Kan være en rolle for staten, men kan også med relevant regulering varetages af ekstern operatør. Indebærer drift og vedligehold samt varetagelse af løbende kapacitetsallokering og tryksætning. Trængsels- og knaphedshåndtering skal koordineres mellem forskellige mulige rørforbindelser, hvis der er flere veje, og skal forholde sig til indenlandsk forbrug.

Sikkerhed: I takt med sprængningen af Nordstream II og russisk kortlægning af havvindparker, kabler, rør mv. i den havbaserede infrastruktur rejser sig et spørgsmål om, hvorvidt infrastrukturen er tilstrækkeligt overvåget fra dansk side og sikret forsvarsmæssigt. Dette er både en opgave for de kommercielle aktører, der drifter anlæg mv., men i høj grad også for staten – især hvor infrastrukturen er af mere kritisk karakter for samfundet. Temaet forventes bl.a. at indgå som led i de kommende forsvarsforhandlinger om udmøntning af det forhøjede forsvarsbudget.



af den og dermed medvirke til at mindske behovet for udbygning og forstærkning af el-nettet.

Staten har typisk en rolle i planlægning og etablering af kollektiv infrastruktur og i at understøtte forsyningssikkerhed af forskellige energiformer, jf. afsnit 3.3. Det gælder også i etablering af interconnectorer eller udlandsforbindelser til andre lande, hvor den danske stat typisk har stået for etablering gennem Energinet (TSO på el og gas (transmission)).

Brintproduktion til havs, fx på kommende energiøer, kan ske i større skala baseret på store havvindmølleparker fjerntliggende fra kysten. Den form for brintproduktion vil primært have et direkte eksportformål for øget givet den relativt begrænsede efterspørgsel efter brint i Danmark. Den relevante brintinfrastruktur vil i det tilfælde i langt højere grad være direkte linjer fra produktionsstedet til aftagerne (fx via en fælles forbindelse/havneinfrastruktur, der fordeler videre til aftagerne).

Reguleringsmæssigt kan man på brintsiden seke til den danske el-regulering, som for nylig har tilladt brugen af *direkte linjer* under bestemte forudsætninger.



Der vil alt andet lige være færre aktører til brintproduktion til havs, hvis skalaforhold og kapitalkrav er langt større end landbaseret brintproduktion.

Da der på den måde må forventes en række forskelle på brintproduktionen, dens formål og behov, hvad enten den finder sted på land eller til havs, skal der også tages højde for det i den kommende regulering af brintmarkedet og infrastrukturen.

Når private aktører etablerer direkte linjer – også når de reelt udgør udlandsforbindelser til havs – dimensioneres de til den konkrete aktørs forventede behov. Den kommercielle aktørs business case tager af gode grunde ikke højde for eventuelt behov for andre til at

Der er forskellige reguleringsmæssige behov for brintinfrastruktur af kollektiv karakter og for private, kommercielle linjer, og dermed forventeligt også mellem brintproduktionen alt efter, om den foregår på land eller til havs.

koble sig på infrastrukturen fremadrettet. Selv om behovet initialt mest har karakter af en direkte linje fra et produktionssted, fx en energiø/brintø, og frem til aftagerstedet, og derfor etableres i privat regi og med privat finansiering, kan der på sigt opstå behov fra nye aktører baseret på nye arealer til vedvarende energi, for at tilslutte sig den oprindelige forbindelse.

Det kan overvejes, om staten skal have en *option på at etablere overdimensionering* af større rørforbindelser til havs mod aftagerdestinationer for at tage højde for potentiel adgang fra kommende konkurrenter og stigende brug over tid



Mindre brintproducenter til havs, eksempelvis fra platforme eller fra brintproduktion på den enkelte vindmølle, vil sandsynligvis ikke have økonomi til at etablere deres egne brintrørsforbindelser over længere distancer og kunne have fordel af at koble sig på andres ilandgående forbindelser. Sådan kendes det også fra olie- og gasmarkedet, hvor flere mindre operatører kan koble sig på centrale forbindelser mod betaling (3. parts adgang). Selv hvis en privat aktør søgte at samarbejde med øvrige konkurrenter i området om at etablere en fælles infrastruktur, ville det i opstarten af markedet ikke være muligt at tage højde for kommende aktører.

Det er kun staten, der kan tage rollen med at tage højde for kommende markedsudvidelser og understøtte fremtidig konkurrence. Og staten har indsigt i, hvorfra den kommende konkurrence kan opstå, eftersom den planlægger og udbyder havarealer til produktion af vedvarende energi og dermed indirekte også til brintproduktion til havs.

3.5. Tariffer er brugerbetaling for infrastrukturen

Tariffer er en form for brugerbetaling, der skal dække omkostningerne ved at bruge kollektiv infrastruktur, inkl. etablering, løbende drift og et eventuelt afkast, når der er flere brugere. Tariffer kan sættes i forhold til tilslutning, transport (nettarif) og i forhold til systemydelse, og herunder lagringsmuligheder relateret til infrastrukturen.

Etablering af brintinfrastruktur er kapitaltungt og med en stor investering up front. Hvis omkostningerne skulle dækkes af de første, relativt få brugere, ville det blive prohibitivt dyrt at bruge brintinfrastrukturen pr. transporteret mængde brint. Der er samtidig tale om anlægsinvesteringer med relativ lang teknisk levetid.

Prisen for brug af infrastrukturen bør sættes efter det *langsigtede omkostningsniveau* og afspejle den forventede levetid.



Med denne tilgang flyttes der i praksis nogle af omkostningerne ved brugen af infrastrukturen fra den første, initiale periode, hvor der ikke transporteres så store mængder, og hvor markedet stadig er i sin vorden, til et senere tidspunkt, hvor der transporteres større mængder, og hvor markedet er mere modent og mindre risikofyldt, som illustreret i figur



3.3.a. Figuren viser, hvordan omkostningerne ved brug af brintinfrastrukturen umiddelbart er faldende for de transporterede mængder, jo mere der transporteres, men stigende igen i takt med behovet for tryksætning, indtil den fulde kapacitet er nået.

En brintinfrastruktur med relativt få og større brugere vil alt andet lige være følsom over for enkeltbrugeres adfærd og beslutninger om indføddning og aftag, end det kendes fra anden energiinfrastruktur, som fx gasnettet, jf. Copenhagen Economics (2022a). Der vil også være relativt færre at fordele omkostningerne ud på. For ejeren af infrastrukturen er det derfor en fordel at søge at få etableret så megen forpligtelse i brugen som muligt fra brugerne, fx gennem "open season", hvor man op til etableringsfasen har en markedsdialog med henblik på at opnå tilsagn om kapacitetsanvendelse. Tilsagnene har ikke en lovligt bindende karakter, men kan fraviges under aftalte forudsætninger. Tilsagnene er en måde at sikre sig en vis brug af infrastrukturen i den første fase, hvor usikkerheden er størst.

For at understøtte så meget kapacitetstilsagn som muligt up-front skal der være en form for økonomisk incitament til det. Ellers kan den enkelte markedsaktør potentielt freeride og afvente etableringen og større viden om markedets udvikling.

Sættes tariffen med et lavere niveau i startfasen ("rabat" til de første brugere), kan det understøtte en større initial tegning for brug af infrastrukturen. Tarifstrukturen i figur 3.3.b indebærer - med sin trappeform over tid, hvor det bliver gradvist dyrere at tilgå infrastrukturen i takt med, at mængderne stiger - økonomiske incitamenter, som modsvarer den markeds-mæssige risiko, som er særlig høj i starten, hvor markedet er under etablering,

og efterhånden aftager i takt med, at flere brugere og flere aftagere slutter sig til. En initial rabat til transport af grøn brint er også i overensstemmelse med de foreslåede principper fra EU, jf. kapitel 2.

3.6. Ejerskabsformer i forhold til brintinfrastruktur

Når infrastrukturen er af kollektiv karakter, er der flere mulige ejerskabsmodeller.

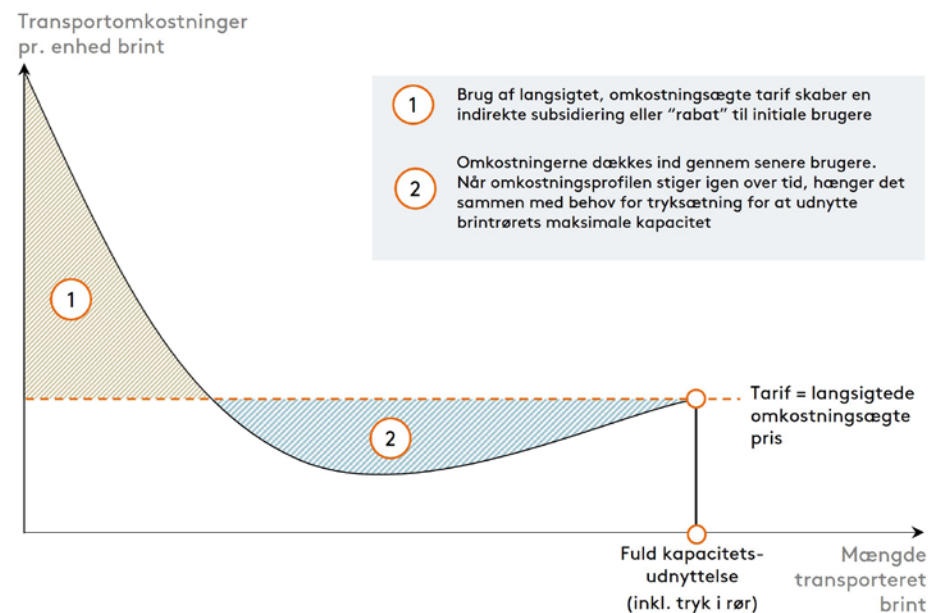
I Danmark er der forskellige traditioner for ejerskab af infrastruktur. Statslige selskaber står for planlægning, udbygning og drift af el-nettet og naturgasnettet, mens olie- og gasinfrastrukturen til havs startede ud i privat ejerskab og på nogle stræk fortsat er det. Siden 2005⁴ har staten haft 20 pct. medejerskab i produktionen af olie og gas via Nordsøfonden. Når staten er medejer, er det typisk baseret på samfundshensyn, som fx at medvirke til forsyningssikkerhed, og senest for CCS (lagring af CO₂ i Nordsøen) af hensyn til at nå de politisk fastsatte klimamål for Danmark.

Det er for nylig blevet tilladt at have direkte linjer i el-forsyningen, som er point-to-point forbindelser mellem produktionsanlæg og forbrugsanlæg finansieret og ejet af kommercielle aktører. Dette er bl.a. indført for at kunne understøtte fremtidig produktion af brint og Power-to-X produkter.

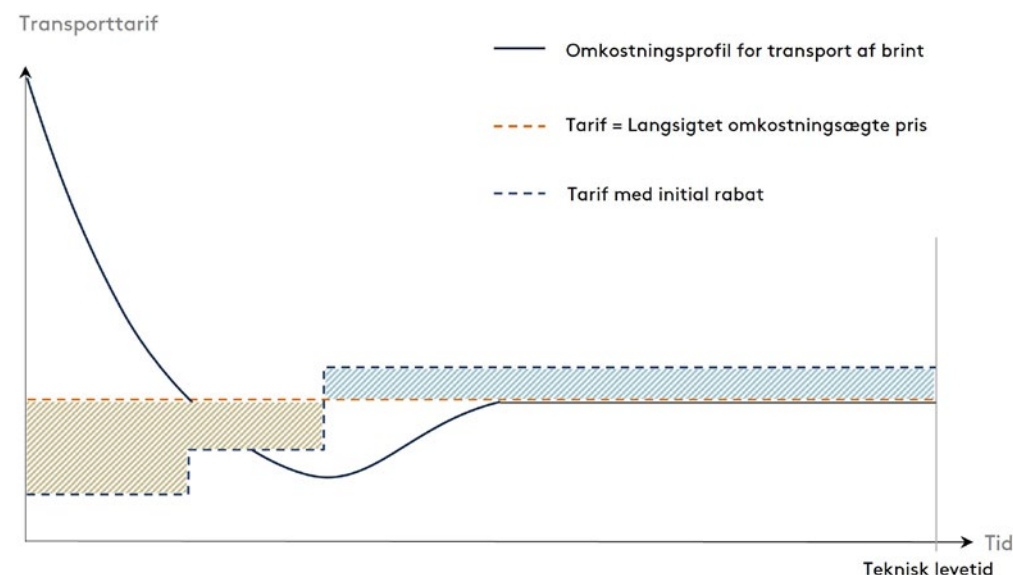
Erfaringerne peger derfor på forskellige og i flere tilfælde blandede ejerskabsformer. Den valgte ejerskabsform har også været knyttet til, om infrastrukturen blev vurderet som værende af kritisk karakter, jf. boks 3.3.

Kollektiv brintinfrastruktur har behov for statslig involvering i planlægning, dimensio-

Figur 3.3.a Illustration af langsigtet, omkostningsægte tarif



Figur 3.3.b Trinvis tarif med initial rabat



⁴ 2012, når det gælder eneretsbevillingen til DUC.

nering og initial garantistillelse på vegne af kommende markedsdeltagere, jf. tidligere. Dansk produktion af brint taler kun i mindre grad ind i et nationalt forsyningssikkerhedsbehov, mens brintproduktion i højere grad spiller en rolle i at balancere el-nettet og udnytte de store mængder vedvarende energi uden en markant udbygning af el-nettet. Brinten har derfor en samfundsrolle i Danmark. Politisk er der i maj 2023 indgået en principaftale, hvor de statslige selskaber Energinet og Evida skal planlægge og udbygge brintinfrastrukturen i Danmark. Som en undtagelse kan der gives mulighed for private, direkte linjer, hvis de ikke er en del af et sammenhængende brintsystem, og hvis Energinet eller Evida ikke ser en værdi i at eje og drive den pågældende strækning⁵.

CIP Fondens forslag til udbygning af infrastrukture vil kræve væsentlige investeringer med potentiale til at blive Danmarkshistoriens største anlægsprojekt samlet set. Da brinten i langt overvejende grad skal eksporteres og i høj grad er en kommerciel case, når det gælder produktion, kan det tale for en kombineret ejerskabs- og finansieringsstruktur for infrastrukturen.

Det bør overvejes at anvende blandede ejerskabsforhold for den kommende brintinfrastruktur for at involvere mere privat kapital i udbygningen.



Tabel 3.1 Ejerskabsforhold for infrastruktur og produktion af energi eller services til infrastrukturen

Type	Infrastruktur	Produktion	Bemærkninger
El	Staten (Energinet)	Private aktører	Tidligere blev produktionen af vedvarende energi støttet (garanterede priser), men senest er havvindpark Thor blevet etableret uden statslig støtte.
Olie/gas (til havs)	Blandet*	Blandet	Det statslige selskab Nordsøfonden ejer 20 pct. af koncessionerne i Nordsøen og deltager lige fra investeringsfasen til udbytte, der tilgår staten.
Biogas	Staten (Energinet for transmission og Evida for distribution)	Private aktører	Modtager støtte op til garantipris i en vis periode.
Mobil-telenettet	Private aktører	Private aktører (teletrafik)	Telenettet var oprindeligt ejet af staten, men er overgået til privat ejerskab.
Bredbåndsnet	Private aktører	Private aktører (teletrafik)	Markedsbaseret udrulning, der på visse stræk var understøttet af en bredbåndspulje.
NY: CCS/CCUS med transport af CO _{2e} fra fangst til lagring eller anvendelse	Blandet	Blandet	Nordsøfonden deltager i alle licenser til at lagre CO _{2e} i undergrunden og har mandat til at deltage i hele værdikæden omkring CCS med 20 pct. Dansk støtte til CCS (16 mia. kr.)
NY: Brint	Staten (Energinet og Evida)**	Private aktører	Dansk støtte på 1½ mia. kr. til at fremme brintproduktion.

Anm.: * De første olierør til havs blev etableret af private parter, hvor staten efterfølgende fik en ejerandel gennem DUC via Nordsøfonden. Ørsted ejer og driver stadig tre opstrømsrørledninger for olie og gas i dag. ** Med politisk aftale af 23. maj 2023 skal hhv. Energinet og Evida som udgangspunkt eje og drive brintrørsinfrastrukturen i Danmark og til udlandet.

Boks 3.3 Kritisk infrastruktur - et begreb under udvikling

Begrebet kritisk infrastruktur er ikke veldefineret, men kan forstås som "faciliteter, systemer, processer, netværk, teknologier, aktiver og serviceydelser, som er nødvendige for at opretholde eller genoprette samfundsvigtige funktioner".

Begrebets rækkevidde har ændret sig over tid og i bølger i takt med eksempelvis privatiseringstendenser, men har også haft tendens til ændringer i takt med geopolitiske bevægelser og ændringer i trusselsbilledet, eksempelvis fra sundhedskriser som Covid-19, hvor værnemidler blev kritisk infrastruktur, og med udviklingen af ny teknologi, hvor cybersikkerhed nu spiller en anden rolle end tidligere.

Staten har typisk forholdt sig til kritisk infrastruktur ved at forbinde det med statsligt ejerskab, medejerskab med bestemmende indflydelse eller dansk kommercielt ejerskab, jf. Copenhagen Economics, som det fx kendes fra Københavns Lufthavne eller telenettet (TDC). Andre eksempler på kritisk infrastruktur kan være gasnettet, betalingsinfrastruktur i den finansielle sektor, overvågning af skibstrafik o.l.

I 2021 blev investorscreeningsloven indført med det formål, at udenlandske investorer skal søge tilladelse (hos Erhvervsstyrelsen) til at gennemføre udenlandske direkte investeringer (FDI) inden for særligt følsomme sektorer (forsvar, dual-use, it-sikkerhed, kritisk infrastruktur og kritisk teknologi).

EU har besluttet, at der fremover skal udpeges operatører af kritisk infrastruktur. Jf. EU Kommissionen forstås kritisk infrastruktur som ethvert system, som er afgørende for at kunne udføre vigtige økonomiske og sociale funktioner: Sundhed, fødevarer, sikkerhed, transport, energi, informationssystemer, finansielle tjenester osv.

Når det gælder meget store energileverandører, eksempelvis kommende energigig, tales der i nogle tilfælde om "superkritisk infrastruktur" (fx Berlingske) i stil med systemisk vigtige institutioner, som det også kendes fra den finansielle sektor. Udfald fra energigig vil pga. skala påvirke og destabilisere den samlede el-forsyning i landet med risiko for black-outs pga. manglende balancering mellem produktion og forbrug af el. Eksempelvis vil den kommende energig i Nordsøen med en produktion på 3-4 GW el i 2033 kunne dække ca. ½ af Danmarks el-forbrug, jf. Energistyrelsen.

Ved den form for infrastruktur kan det være relevant med ekstraordinær overvågning samt etablering af flere forsyningslinjer, såvel el-kabler som brintrør, for at være bedre forsynet i tilfælde af udfald. Denne form for overdimensionering med redundante linjer i forhold til det umiddelbare transportbehov udgør en øget fleksibilitet og sikring i forhold til nedbrud et sted på forsyningsforbindelserne, som skal vejes op imod ekstraomkostningerne.

Udbygningen af en brintinfrastruktur og tilhørende brintproduktion og vedvarende energi kan få karakter af kritisk infrastruktur, men det er ikke ensbetydende med, at det skal være i statsligt ejerskab. Til gengæld bør der være klare regler for, hvordan man skal sikre og overvåge installationerne.



Boks 3.4 Kollektiv brintinfrastruktur - offentlig-privat ejerskab (OPP) i stil med "Sund og Bælt" suppleret af privat kapital?

For at kombinere behovet for statslig involvering og mulighed for at afdække markeder og flytte risiko over tid med private aktørers finansiering og markedsviden, kan der etableres et offentligt-privat partnerskab omkring en kommende kollektiv brintinfrastruktur. Her kombineres planlægning af kollektive dele med en statsgaranti for den initiale investering suppleret af privat kapital.

Statsgarantimodellen fungerer ved, at den danske stat garanterer for lånene til etablering af brintinfrastruktur via infrastrukturselskab. Hvis brintinfrastrukturen går mellem flere lande, kan begge stater garantere solidarisk for lånene, som tilfældet er for Øresundsbroen. Staten stiller garanti for lånene mod en garantiprovision, hvilket takket være den danske stats høje kreditværdighed giver mulighed for gunstige lånevilkår. Privat kapital fra finansielle investorer med lang horisont, eksempelvis pensionsselskaber, får mulighed for at supplere finansieringen. De private investorer må ikke samtidig deltage i værdikæden, fx som brintproducenter, jf. det foreslåede EU-princip om unbundling. Vurderes brintinfrastrukturen som kritisk infrastruktur, kan staten have bestemmende indflydelse i selskabet.

Der opkræves brugerbetaling (tariffer), som – efter afholdelse af udgifter til drift og vedligeholdelse samt afkast til ejerne – går til at betale renter og afdrag på lånene.

Modellen med statsgarantier kendes bl.a. fra Sund & Bælt Holding, der er moderselskab for eksempelvis A/S Femern, A/S Storebælt og A/S Øresund, hvor de enkelte infrastrukturprojekter er udskilt i særlige selskaber. På samme vis kan etableres et holdingselskab med under-selskaber for de forskellige etaper af brintinfrastrukturen.

Når det er relevant at kombinere offentlig og privat kapital, skal det ses i lyset af, at brintproduktionen primært har et kommercielt eksportsigte, og at investorernes afkast i en sådan model kan sikres gennem fastsættelse af tariffen, som betales af de virksomheder, der bruger brintinfrastrukturen.

3.7. Mulige principper for regulering af kommende brintinfrastruktur

Det kommende, grønne brintmarked er i sin helt tidlige start og har behov for en udvikling af tilhørende regulering, der tager højde for det gennem større fleksibilitet i starten, hvor usikkerheden er størst. Der er samtidig behov for staten i forhold til at afløfte risiko i startfasen mod senere tilbagebetaling, suppleret af privat kapital.

Der skal relativt snart tages stilling til kommende brintinfrastruktur, hvilket kræver udpegning af et ansvarligt planlægningsorgan (TSO) i forhold til de kollektive dele og i forhold til koordination med andre lande. Med så betydelige omkostninger ved etablering af brintinfrastruktur og så stort et eksportfokus skal store dele så vidt muligt koordineres med andre lande, så der opnås stordriftsfordele og fælles finansiering.

Der er grundlæggende forskelle mellem produktion af brint på land, som sker i samspil med balancering af el-nettet og med forsyning af såvel nationale behov og produktion af PtX-produkter som eksport, og så brintproduktion til havs på energiø lignende konstruktioner, som direkte kan servicere eksportmarkederne og køre storskalaproduktion, der udnytter nærheden til store kilder af vedvarende energi. Reguleringen, ejerskabsforhold og eventuelle samfundsbidrag skal kunne tage højde for disse forskelle, herunder også i risikoprofil.



Tabel 3.4 Overblik over relevante principper og rammer for kommende brintmarked

Udgangspunkt	Implikationer
<i>Eftersom at ...</i>	<i>Kan der være behov for ...</i>
- Markedet for grøn brint er i sin spæde opstart - Energieksport er politisk bestemt gennem målsætninger for kapacitet af vedvarende energi, der langt overstiger Danmarks behov - Eksporten må i en vis grad tage form af brint, da energioverskuddet overstiger el-nettenes kapacitet - Risiko for markedskollaps under ét kan ikke dækkes af markedsaktører - Staten udbyder arealer til vedvarende energi til havs og beslutter processen omkring dem - Risiko for markedskollaps under ét kan ikke dækkes af markedsaktører - Markant front-loaded risikoprofil ved finansiering af infrastrukturen, og opstart af markedet forudsætter omfordeling af risiko over tid mellem aktører	Statslig deltagelse i brintinfrastrukturen gennem myndighedsdeltagelse og infrastrukturselskab: - Rettidig regulering af kommende brintmarked og tilhørende transport - Planlægning og dimensionering til fremtiden - Statsgaranti for fremtidig brug af kollektiv infrastruktur (ud over nuværende aktører), der kan suppleres af privat kapital - Overvågning og beskyttelse
Risici et sted i værdikæden smitter af på andre deles levedygtighed	Langsigtet omkostningsdækning af infrastrukturen gennem omkostningsægte tariffer over tid, der afspejler aktivets tekniske levetid, og tillader afkast til ejerne Klare regler for udbud for vedvarende energi og tilhørende frister og godkendelsesprocesser
- Der er tidsinkonsistens mellem forskellige markedsbeslutninger, som påvirkes af statsligt tilrettelagte processer - Der er behov for at afløfte risiko, hvor det er muligt gennem rettidig regulering og tydelige processer - Der er behov for tidlig tilkendegivelse af markedsbehov	Regulering i flere tempi - Fleksibilitet og minimumsregler og -standarder i starten - Langsigtede rammer for senere, mere konkret regulering skal udmeldes tidligt - Rabat på tariffer ved tidlig forpligtelse til transportbehov i infrastrukturen gennem open season indmelding
Hovedparten af den danske brintproduktion skal gå til eksport	International koordination af udlandsforbindelser, hvor især havbaseret brintproduktion så vidt muligt kobles på andre landes infrastruktur for at opnå storskala og nedbringe omkostningerne for markedsadgang - Aftagermarkedet skal bære en del af risikoen/finansieringen af brintinfrastrukturen gennem fælles, internationale forbindelser
Flere markedsaktører har tilkendegivet planer om landbaseret brintproduktion, der både kan forsyne dansk behov og eksport, mens havbaseret brintproduktion vil være forbeholdt færre aktører og med direkte eksport for øje	- Mulighed for direkte linjer Forskellige reguleringsbehov for kollektiv infrastruktur og direkte linjer

En langsigtet udbygningsplan for en dansk brintinfrastruktur

Kapitel 4

Langsigtede planer for vedvarende energi og udbygning af infrastruktur har stor betydning for, hvordan markedet for grøn brint modnes og udvikles. Klarhed om fremtidige planer skaber sikkerhed for developere, investorer og andre markedsaktører og mindsker behovet for finansiering til gavn for hele samfundet.

4.1. Planer for udbygningen af vedvarende energi

Forudsætningen for opbygning af et brintmarked er, at der sker en massiv udbygning af den vedvarende energi.

Danmark har aktuelt 2,3 GW havvind installeret. Ambitionen er, at Nordsøens fulde potentiale skal udbygges frem mod 2050. Dertil kommer udbygningen i Østersøen og Kattegat, konstruktionen af energiøer, Power-to-X-anlæg og brintrør. Alene frem mod 2030 skal der etableres vedvarende energi svarende til 9 GW, en energiø samt en række open-door projekter.

Det er en udfordring, at udbygningen af vindenergi har været sat på standby en periode, og at udbygningen af vindmøller og solceller ikke er i nærheden af at kunne opfylde Danmarks 2030-mål. En analyse fra Energistyrelsen viser, at der ikke vil blive sat en eneste vindmølle op på land i 2023 og 2024, og udbygningen af havvind går stadig langsomt.

Derfor er det vigtigt, at regeringens ambitioner, som de blev præsenteret på et grønt topmøde på Marienborg tidligere i år, bliver

realiseret. Stor havvindkapacitet er afgørende for rentabiliteten i storskalaproduktion af brint. Fordobling af havarealer, der er reserveret til havvindmøller, som regeringen lægger op til, trækker i den rigtige retning. Især hvis arealerne ligger tæt ved de udenlandske aftagere, som fx Dogger banke. Det samme gælder muligheder for overplanting, som øger kapaciteten med 2/3 for et givet areal¹. Det er en cost-effektiv måde at udvide havvindkapaciteten, og det sker allerede i Tyskland. Sammen med et udvidet dedikeret havareal øger det VE-potentialet væsentligt og dermed rentabiliteten i en fremtidig brintinfrastruktur.

4.2 Danske brintprojekter efterspørger langsigtede planer

I den seneste markedsdialog blandt danske brintprojekter er det mest efterspurgt initiativ at få en afklaring af, hvor en fremtidig brintinfrastruktur bliver placeret. Mere end 85 pct. af de danske brintprojekter angiver, at manglende viden om en kommende brintinfrastruktur er en væsentlig udfordring for realiseringen af projekterne og dermed den forventede brintproduktion².

Mange danske projekter forventer at skulle træffe endelig investeringsbeslutning i 2023 eller 2024, og her spiller planerne om en kommende brintinfrastruktur en central rolle. For infrastrukturen er den nødvendige gateway og kanal, der kan sikre afsætning til det tyske marked, som efterspørger brinten.

En relativt præcis placering af en kommende brintinfrastruktur har, også på længere sigt, stor betydning for både operationelle og kommercielle elementer af projekterne. En plan for den kommende brintinfrastruktur vil således sammen med klarhed om de fremtidige rammevilkår skabe mere sikkerhed om projekternes investeringer.

Når der er usikkerhed om de fremtidige udbygningsplaner for en brintinfrastruktur og

om fremtidige rammevilkår, skaber det øget risiko, som enten øger udgifterne til finansiering eller udsætter ellers rentable investeringer i brintproduktion. Staten har derfor en vigtig rolle med at understøtte opbygningen af et marked for grøn brint med tidlige udmeldinger samt klare og kendte rammer for de langsigtede investeringer.



¹ Regeringen (2023b)

² KPMG 2022

4.3 Samarbejde med udenlandske brintmyndigheder er afgørende

Som nævnt tidligere er der et stort behov for at importere grøn brint hos vores nærmeste nabolande, og Danmark har potentialer til at blive storeeksportør af grøn brint baseret på, at vi tidligt bliver selvforsynende med grøn strøm og brint samt har et stort vindpotentialer især i Nordsøen.

Forudsætningen for at realisere eksportpotentialer er, at der etableres en brintrørsinfrastruktur med forbindelser til udlandet, der kan håndtere de forventede store mængder, og at de danske brintmyndigheder hurtigt får etableret samarbejder med brintmyndighederne i de lande – primært Tyskland, Holland og Belgien – som vi forventer at skulle eksportere til. Det er infrastrukturen med dens udlandsforbindelser, der definerer eksportpotentialer, da den er gateway til markedet. Da dansk produceret brint potentielt kan komme til at udgøre en stor del af det samlede brintmarked i de tre lande, vil der også være betydelige implikationer for den brintinfrastruktur, som skal bygges uden for dansk farvand.

Derfor er det vigtigt, at en dansk brintinfrastruktur fra begyndelsen samtænkes med planerne i landene omkring os, og at vi har en fælles opfattelse af dimensioneringen af infrastrukturen, så den kan rumme en betydelig udbygning af produktionskapaciteten, som forventes frem mod 2050.

Der er allerede bilaterale dialoger med den tyske brintmyndighed, Gasunie, om udvalgte brintledninger. Men der er behov for yderligere dialog mellem den ansvarlige myndighed for det danske brinttransmissionsnet, Ener-

ginet og relevante udenlandske myndigheder og aktører om, hvad potentialerne er, og hvad der er den mest effektive måde at få brinten frem til kunderne på. En sådan proces skal i høj grad også inddrage private aktører, som skal deltage i Open Season og komme med ideer til, hvordan et fælles markedsdesign kunne se ud, og hvordan grænsedragningen mellem de private og offentlige rørledninger samt tredjepartsledninger skal se ud.

The European Hydrogen Backbone er, som nævnt tidligere, en sammenslutning af energiiinfrastrukturoperatører, der ønsker at accelerere udviklingen af brintmarkedet i Europa ved at definere brintinfrastrukturen. Danmark er en del af dette samarbejde, og det vil også være et naturligt sted at orientere sig, hvis dansk brintinfrastruktur skal tænkes sammen med planerne i de omkringliggende lande.

4.4. First mover fordele ved tidlige og klare meldinger om infrastruktur

Produktionssiden i en kommende brintøkonomi kommer formentlig til at omfatte et antal netværk bestående af en række forskellige aktører, der centrerer sig om geografiske lokationer, hvor fx vedvarende energi, elektrolyse og fjernvarmeproduktion samtænkes og samplaceres. Udviklingen af disse netværk vil i høj grad blive dikteret af rammebetingelser og infrastruktur, som både påvirker udviklingsmuligheder og investeringsvillighed. De lande, der først sætter sunde, klare og langsigtede rammer for fremtidens brintproduktion, giver et forspring til deres virksomheder.

En tidlig og klar offentliggørelse af infrastrukturplaner og prioriteringer skaber fundamentet for, at en dansk brintøkonomi kan udvikle sig på kommercielle vilkår uden at påtage sig

større risici end nødvendigt. Risikoen for investorer bliver væsentligt mindre, hvis planer om fremtidig infrastruktur er kendte. Det vil reducere omkostningerne til finansiering af VE-projekter og dermed gøre den grønne omstilling billigere³. Mangel på beslutningskraft og klare planer skaber usikkerhed for brintproducenter, mens det modsatte skaber en fordel og mulighed for at indgå i fremtidens brintmarked.

Hvis Danmark skal bidrage til Europas grønne omstilling, er en brintinfrastruktur nødvendig. Og jo tidligere planerne og rammerne ligger klar offentligt, jo større vil fordelene for Danmark være. Hvis Danmark ikke er på forkant, risikerer vi at blive overhalet af vores nabolande. Og det er der god grund til. For udover markedets størrelse, så vil udviklingen af ekspertise og know-how have en stor værdi, hvis man er først. For Danmark kan en investering i brintinfrastruktur skabe en samfundsøkonomisk gevinst, der er dobbelt så høj som investeringen⁴. Men det kræver, at vi er først.

En rettidig udbygning af dansk infrastruktur vil nemlig give mulighed for, at danske brintproducenter kan etablere sig tidligt, og det vil skabe et økosystem med forskellige aktører i værdikæden – ligesom Danmark historisk har været gode til med vinindustrien. Langsigtede planer og klare rammevilkår vil give danske virksomheder erfaringer og læring, som kan bruges globalt og til at udbygge Danmarks styrkeposition og mulighed for at udvikle grønne løsninger i resten af verden.



³ Copenhagen Economics for CIP Fonden 2022

⁴ <https://energiwatch.dk/Energinyt/Cleantech/article14430396.ece>

DEL 2

HVORDAN SKAL UDBYGNINGEN SKE?



Designkriterier

Kapitel 5

5.1 Markedsmæssige forudsætninger

Infrastrukturplanen tager udgangspunkt i fremtidens efterspørgsel efter grøn brint, som sammen med produktionsmuligheder og VE-potentiale i store træk determinerer infrastrukturens start- og slutpunkter. Se kapitel 2 for markeds- og eksportpotentialer. Hertil kommer en række mere specifikke markedsforhold, der har været styrende for udbygningen.



Boks 5.1: Brintmarkedet bliver stort, men følsomt over for transportomkostninger og statsstøtte

Markedsmæssige forhold

Brintmarkedet er regionalt i sin karakter, fordi brint overvejende transporteres i rør af transport- og omkostningshensyn.

Danmark bliver tidligt selvforsynende med grøn energi med elektricitet i 2027 og med grøn brint inden 2030 (Energistyrelsen 2023). Derfor er det lagt til grund, at en brintinfrastruktur skal understøtte eksport af brint i stor skala.

Prisen på grøn brint afhænger af prisen på VE og elektrolysekapacitet samt transportomkostninger. Danmark har omkostningsfordele på 5-10 pct. i Nordsøen sammenlignet med andre Nordsø-lande (Brinckmann 2023). Det er derfor forudsat, at Danmark udnytter det fulde VE-potentiale i Nordsøen.

Potentialet for produktion på de danske arealer muliggør en brintproduktion på over 200 TWh årligt (CIP Fonden 2023). Derfor er brintinfrastrukturen dimensioneret til at kunne transportere minimum 200 TWh årligt.

Markedet for brint er umodent og vil være påvirket af statsstøtteordninger som fx IRA. Det forudsættes, at EU finder et modsvar til den amerikanske subsidiering af brint og PtX drevet af bl.a. EU's mål om egenproduktion (CIP Fonden 2023).

Tyskland, Holland og Belgien bliver storimportører af grøn brint og er oplagte eksportmarkeder for Danmark. De tre lande vil have en samlet efterspørgsel på ≈ 215 TWh i 2030 og ≈ 500 TWh i 2050 (CIP Fonden 2023). Brintinfrastrukturen er derfor designet til at kunne forbinde til disse markeder.

Synergier mellem el- og brintproduktion kan være store, og producenter kan have interesse i at skifte mellem produktion af el og brint afhængigt af efterspørgslen og energipriserne. Brintinfrastrukturen er derfor placeret nær relevant el-infrastruktur, og der er fra de brintproducerende energigør etableret både brint- og elkabler.

5.2 Politiske aftaler og bilaterale myndighedsaftaler

Brintinfrastrukturen er designet til at kunne håndtere de mængder, der kommer ud af de politiske ambitioner i Esbjerg- og Marienborg-erklæringerne. Derudover er der i regeringens Power-to-X-strategi en målsætning om 4-6 GW elektrolyse i 2030. Hertil kommer en række bilaterale aftaler, som fx den nyligt indgåede hensigtserklæring mellem Danmark og Tyskland om et forbindende brintrør. Se boks 5.2.

Boks 5.2: CIP Fondens udbygningsplan understøtter politiske aftaler og erklæringer

Politiske aftaler og erklæringer

Vedvarende energi:

- Esbjerg-erklæringen (2022) og Marienborg-erklæringen (2022)
- Klimaaftale om grøn strøm og varme (2022)
- Grøn handling: Indfrielse af klimamålene og accelereret udbygning af vedvarende energi (2023)
- Oostende-erklæringen: Mål om 120 GW havvind i 2030 og 300 GW i 2050 (2023)

Elektrificering:

- Elektrificeringsstrategi: En effektiv og fremtidssikret elinfrastruktur til understøttelse af den grønne omstilling og elektrificeringen (2021)

PtX:

- Power-to-X-strategi: Udvikling og fremme af brint og grønne brændstoffer, herunder målet om 4-6 GW elektrolyse i 2030 (2022)
- Ostende-erklæringen: Mål om 30 GW elektrolyse i Nordsøen 2030

Energiøer:

- Klimaaftale for energi og industri mv., om bl.a. etableringen af energiøer i Danmark (2020)
- Tillægsaftale om Energiø Bornholm (2022)

Bilaterale aftaler:

- Aftaler mellem Danmark og henholdsvis Tyskland, Holland og Belgien vedr. Danmarks energiø i Nordsøen og Energiø Bornholm om levering af strøm.
- Bilateral aftale mellem den danske og tyske regering om at muliggøre en land-baseret brintledning fra Danmark til Tyskland



5.3 Tekniske forhold

En række tekniske forhold har desuden betydning for placeringen og dimensioneringen af brintinfrastrukturen. Det handler bl.a. om, hvordan brint mest hensigtsmæssigt transporteres, mulighederne for lagring af brint, og mulighederne for at genbruge eksisterende gasrør. De tekniske forudsætninger er oplistet nedenfor.

Boks 5.3: Brint transporteres billigst i rør

TEKNISKE FORUDSÆTNINGER

Transport: Det er væsentligt dyrere at transportere el i kabler sammenlignet med at transportere brint i rør – op til 10 gange dyrere ved lange afstande. Det skyldes, at kravene til elkablerne stiger med afstanden, og at prisen på disse såkaldte HVDC-elkabler er meget høje. Dertil kommer et betydeligt energitab og behovet for transformation (Brinckmann 2023). Den foreslåede brintinfrastruktur tilskynder derfor til brintproduktion nær VE-ressourcen.

Balancering: Balancering af elnettet kan ske med brintproduktion på tidspunkter, hvor der produceres meget vedvarende energi (Brinckmann 2023). Især den landbaserede del af brintinfrastrukturen er placeret med henblik på balancering.

Lagring: Brint kan lagres hensigtsmæssigt og omkostningseffektivt i dedikerede brintrør (Brinckmann 2023), DNV (2023). Rørene bør derfor i sig selv ses som en lagringsmulighed, især i opstarten hvor der er mindre produktion. Senere, når produktionen stiger, kan røret tryksættes for at øge lagringskapaciteten.

Lager i kaverne: Kaverne i Lille Torup kan bruges som brintlager (350 GWh) og til balancering (COWI 2023).

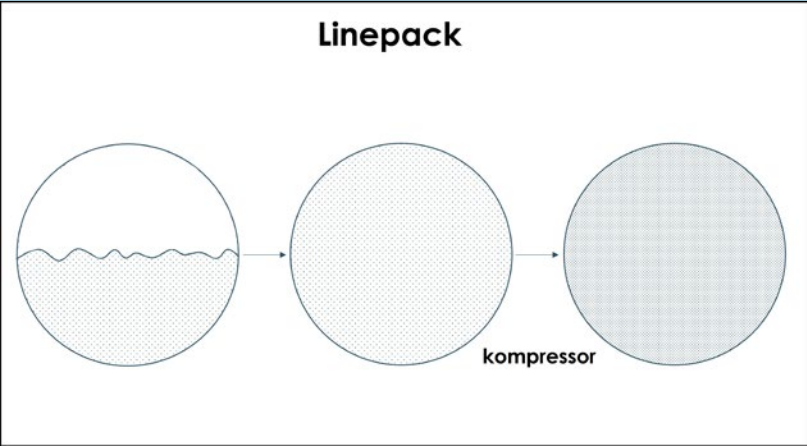
Genbrug af gasrør: Gasrør kan retrofrittes og derefter bruges til transport af brint – men kun i begrænset omfang til lagring. I Danmark skal langt de fleste gasrør bruges flere år frem til transport af biogas (Brinckmann 2023). Det er derfor lagt til grund, at en fremtidig brintinfrastruktur består af nyetablerede brintrør, som også kan lagre brint effektivt.

Cracking af PtX til brint forventes ikke at påvirke et nordisk brintmarkedet (IEA (2019) og Copenhagen Economics (2022b)).

Boks 5.4: Infrastrukturen kan også fungere som lager i rørene

KAPACITET OG LINEPACK

Brintrør kan fungere som fleksibel lagring for brintproducenter. En brintinfrastrukturens kapacitet er grundlæggende bestemt af rørets størrelse, tryk og længde. Kapacitetsudnyttelsen i et opstartsmarked forventes at være lav, og i takt med at markedet modnes, og kapacitetsudnyttelsen stiger, er det muligt v.h.a. kompressorer at tryksætte systemet, så brintrørens lagringskapacitet stiger.



Mulighederne for linepack er betinget af både rørstørrelse og tryk.

LAGRINGSMULIGHED PR. 100 KM

Tryk \ Størrelse	36"	48"
35/20 bar	3,8-5,8 GWh	5,8-10,6 GWh
78/30 bar	10,1-11,5 GWh	17,8-20,9 GWh

Kilde: Brinckmann (2023)

5.4 Arealbegrænsninger og andre hensyn

I Danmark er der arealbegrænsninger og naturbeskyttelseshensyn, der skal tages højde for, når en brintinfrastruktur skal etableres.

En lang række forhold er bestemt i lovgivningen, mens andre vil skulle iagttages, da de forøger etableringstiden og omkostningerne forbundet med etableringen. De arealbegrænsninger og hensyn, som er iagttaget i den foreslåede brintinfrastruktur er opsummeret i boks 5.5.

De markeds-mæssige, politiske og tekniske forhold samt de lokale og regionale arealbegrænsninger, er alle blevet iagttaget i udarbejdelsen af udbygningsplanen for en kommende brintinfrastruktur.

En samlet afvejning af alle forhold har bestemt CIP Fondens prioriteter og designprincipper, herunder *hvordan, hvornår og i hvilken*

grad brintinfrastrukturen skal udbygges. Det overordnede designprincip er omkostningsminimering, dvs. den samfunds-mæssigt billigste løsning.

5.5 Fordeling af energipotentialer, elektrolysekapacitet og brintproduktion

Den langsigtede udbygningsplan tager udgangspunkt i Danmarks vedvarende energipotentialer og det forventede fremtidige nationale forbrug af både el og brint.

Den energi, som ikke skal bruges til direkte elektrificering, kan udnyttes til brintproduktion, og den brint, Danmark ikke selv kommer til at anvende, forudsættes eksporteret til udlandet jf. CIP Fondens markeds-vurdering (2023). En opgørelse over de danske potentialer for produktion af vedvarende energi samt nationale behov fremgår af boks 5.7.

Boks 5.6: Generelt højere trusselsniveau for energiinfrastruktur

SIKKERHEDSMÆSSIGE OVERVEJELSER

Truslen mod infrastruktur på havet og havbunden er steget markant de seneste år, og med sprængningerne af Nordstream-gasrørene i 2022 blev sårbarheden for havbaseret infrastruktur tydelig.

En brintinfrastruktur vurderes ikke at øge den forsynings-mæssige sårbarhed, da infrastrukturen over tid erstatter en fossil infrastruktur med sammenlignelige egenskaber, placeringer og sårbarheder.

Den øgede sikkerhedstrussel bør dog adresseres i fremtidens brintinfrastruktur gennem fx en forstærkning af selve infrastrukturen med stenbeskyttelse, øget overvågning eller patruljering.

Det betyder givetvis øgede omkostninger. Fx vil beskyttelse af brintrør på havet med sten betyde, at prisen pr. km. næsten fordobles.

Kilder: PET, DR & COWI.

Boks 5.5: Udbygningen skal tage hensyn til en række arealbegrænsninger

AREALBEGRÆNSNINGER OG ANDRE HENSYN

- Naturbeskyttelsesområder, fx Natura 2000-områder og §3-områder
- Tætbebyggede områder
- Kulturel arv, fx fortidsminder
- Eksisterende og planlagt energiinfrastruktur
- Trafikal infrastruktur
- Olie- og gasaktiviteter
- Erhvervstunge zoner, fx fiskerizoner
- Militærområder

Boks 5.7: Vedvarende ressourcer, potentialer og forbrug på lang sigt

Brint	Offshore	Onshore + kystnær		I alt
Geografisk placering	Nordsøen	Landbaseret	Bornholm	
Vedvarende energi til brintproduktion	52,5 GW ¹	22 GW	6,9 GW	81,4 GW
Elektrolysekapacitet	35 GW	15 GW	4 GW	54 GW
Årlig brintproduktion	140 TWh	60 TWh	16 TWh	216 TWh
DK Forbrug 2050		19 TWh		19 TWh
Til eksport	140 TWh	41 TWh	16 TWh	197 TWh

¹ Potentialet i Nordsøen er af Energistyrelsen opgjørt til op til 52 GW i de nuværende, screenede områder. Potentialet vurderes dog at være større, når nye områder screenes, og når muligheden for overplanting indføres. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Vindenergi/offshore_wind_potential_in_the_north_sea.pdf

En faseopdelt udrulningsplan

Kapitel 6

CIP Fonden har på baggrund af de tekniske og markedsmæssige antagelser, designkriterier, den internationale efterspørgsel og det danske potentiale for vedvarende energi udarbejdet forslag til en konkret og sammenhængende brintinfrastruktur, der tilskynder maksimal udnyttelse af dansk vedvarende energi, og som forbinder Danmark til udlandet og dermed relevante eksportmarkeder gennem forbindelser til internationale projekter. CIP Fondens forslag til en komplet brintinfrastruktur fremgår af figur 6.1.

Brintinfrastrukturen forløser i sin fulde udbygning det samlede vedvarende energi-potentiale og en eksport for omkring 100 mia. kr. årligt. Infrastrukturen er bygget op om tre centrale grene, der til sammen sikrer en stabil produktion og forsyning.

NORDSØEN

I Nordsøen har Danmark det største vind-potentiale og de bedste muligheder for at producere grøn brint omkostningseffektivt. Omkostningsfordelene ved brintproduktion er størst på offshore energigør, da 1) det

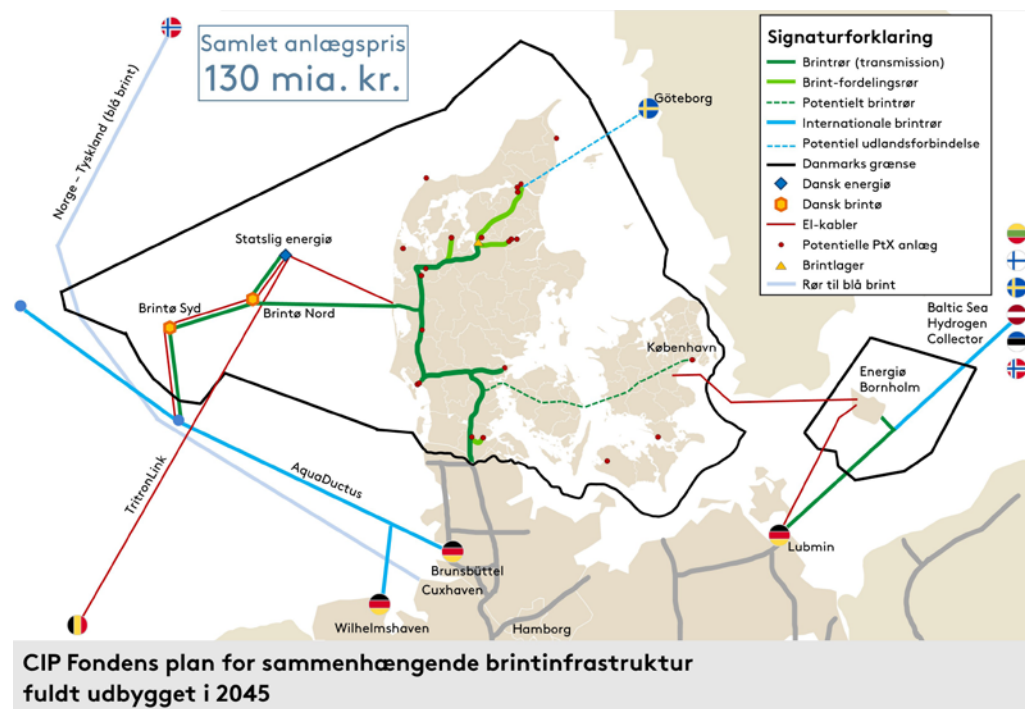
elektriske energitab mindskes, når brintproduktion rykkes tættere på vindmøllerne, 2) en højere udnyttelse af elektrolysekapaciteten gennem et højere antal fuldlasttimer og 3) lavere transportomkostninger, da energien transporteres billigere som brint fremfor elektricitet. Derfor anbefaler CIP Fonden, at der i Nordsøen bygges to dedikerede brintøer med en elektrolysekapacitet på 15 GW hver, ligesom der etableres 5 GW elektrolyse på den politisk besluttede energigør. Her er der en risiko for, at energigøren dimensioneres for lille i forhold til at sikre en rentabel brintproduktion. Det skal ses i lyset af, at den statslige energigør er tiltænkt den placering i Nordsøen med de bedste vind- og bundforhold.

Med forbindelser til indland og udland, får alle øerne mulighed for at transportere brint til Tyskland og Danmark samt elektricitet til Danmark, Tyskland og Belgien. Elkablerne afspejler således et behov for at balancere energisystemet (forbindelsen til Danmark), mens forbindelsen til Belgien er en del af den politiske aftale om den statslige energigør. De tre øer forventes til sammen at producere 65% af Danmarks samlede brintproduktion. Se figur 6.2.

DEN JYSKE BACKBONE

På land og tæt ved land har Danmark et vedvarende energi-potentiale, der overstiger det danske behov for elektricitet. Derfor anbefaler CIP Fonden, at der etableres en landbaseret brintinfrastruktur fra den tyske grænse og gennem Jylland, som det fremgår af figur 6.1. Infrastrukturen har til formål at forbinde en række kendte og realistiske brintprojekter

Figur 6.1: Forslag til sammenhængende brintinfrastruktur, fuldt udbygget



med danske og tyske aftagere. Forventningen er, at der i Jylland frem mod 2045 kan etableres en samlet elektrolysekapacitet på 15 GW svarende til 28% af den indenlandske produktion. Når det danske brintforbrug er fratrullet, vil brintmængderne fra Jylland udgøre 20% af det samlede danske brinteksportpotentiale. Den jyske brintinfrastruktur er forbundet til Nordsøen, og infrastrukturen kan således aflaste infrastrukturen omkring øerne i tider med spidslast. Se figur 6.3.

ENERGIØ BORNHOLM

Værdien af en dansk brintinfrastruktur ligger i udlandsforbindelserne, da det er adgangen til markedet. Derfor skal en dansk brintinfrastruktur omkring Bornholm samtænkes med Baltic Sea Hydrogen Collector, som forbinder Tyskland med Nordsverige og Finland. I Østersøen er der et betydeligt vedvarende energi-potentiale bestående hovedsageligt af kystnær havvind. CIP Fonden anbefaler, at der etableres 4 GW elektrolyse på Bornholm med mulighed for transport af brinten gennem Østersøen og til Lubmin i Tyskland. Forventningen er, at produktionen på Bornholm vil udgøre 7% Danmarks samlede produktion, jf. figur 6.2.

UDLANDSFORBINDELSER, DIMENSIONERING OG TIDSMÆSSIG UDBYGNING

Mere end 90% af Danmarks fremtidige brintproduktion skal eksporteres, hvorfor udlandsforbindelser er centrale for en dansk brintinfrastruktur. Samtidigt vil udbuddet og efterspørgslen vokse over tid, og infrastrukturen skal derfor udbygges i en rækkefølge, der er omkostningseffektiv og markedsskabende

Det anbefales, at brintforbindelsen til Lubmin indtænkes som det første step i Baltic Sea hydrogen Collector



på både kort og lang sigt. Figur 6.4 viser CIP Fondens anbefalinger til en udbygningsrækkefølge, der understøtter markedsudvikling og eksport, og giver Danmark mulighed for høste first mover-fordele. Der lægges op til en udbygningsplan i tre etaper med en detaljeret redegørelse for infrastrukturens forbindelser og dimensionering i relation til fremtidens brinttransport, hvor de væsentligste elementer er illustreret i figur 6.4.

LANGTIDSSIGTE I UDBYGNINGEN

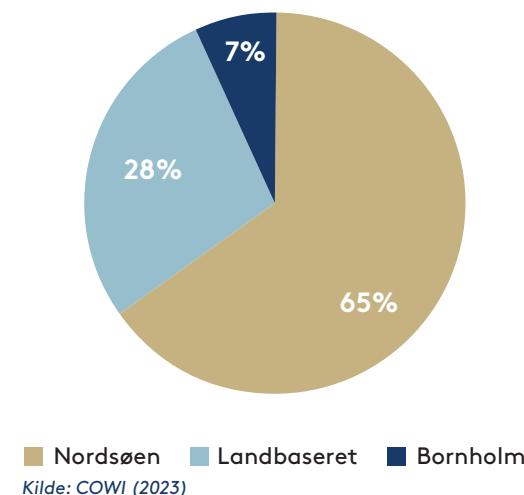
Udbygningsplanen er inddelt i tre faser. Den første starter i 2024, og den sidste slutter i 2045. Faserne afspejler både markedsudviklingen og politiske målsætninger. I 2050 skal de fleste lande nå deres klimamål, ligesom flere erklæringer, som f.eks. Esbjerg-erklæringen og Oostende-erklæringen, har målsætninger for 2050. I den mellemliggende periode vil efterspørgslen efter brint og andre grønne brændsler stige, da de energitunge sektorer skal omstilles. Samtidigt vil den teknologiske udvikling – f.eks. indenfor elektrolyse – accelerere. Det skaber nogle muligheder: Både i opstarten, hvor markedet er umodent og i slutningen af perioden, hvor grøn brint vil være en dominerende energibærer.

INFRASTRUKTUREN SKAL DIMENSIONERES TIL DE LANGSIGTEDE BEHOV

Selvom grøn brint på sigt kommer til at være en grundlæggende energibærer i vores samfund, så er brint og Power-to-X-industrien stadig i sin vorden. Teknologien er umoden, og både udbuddet og efterspørgslen er lav. Grundlæggende er formålet i første fase at give de levedygtige brint-projekter adgang til en brintinfrastruktur, der forbinder med dem med relevante aftagere. På den måde kan der skabes et marked, der kan udvikle sig. På mellem- og lang sigt vil markedet givetvis se anderledes ud. Industrien og markedet vil udvikle sig, og der vil komme skala i produktion og

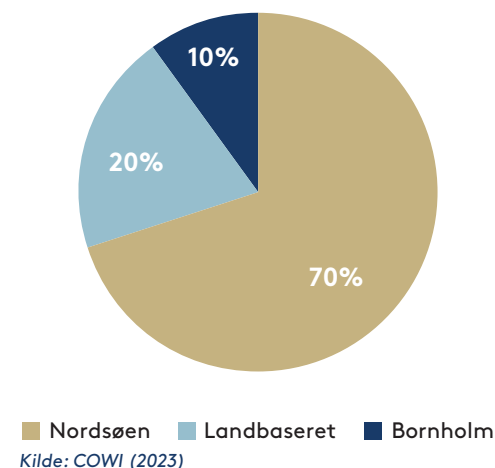
Figur 6.2: Brintproduktion fordelt på produktionsområde

Forventet brintproduktion pba. infrastruktur i alt ≈ 216 TWh



Figur 6.3: Brinteksport fordelt på produktionsområde

Forventet andel af brinteksport ≈ 197 TWh ≈ 100 mia. kr.



efterspørgsel, hvis markedet får de rammevilkår, der skal til. Det betyder, at behovet for infrastruktur ændrer sig, når grøn brint bliver en dominerende energibærer i samfundet. Det skal der tages højde for allerede ved etableringen den initiale infrastruktur. Det anbefales således, at infrastrukturen overdimensioneres fra starten til at kunne håndtere de mængder, der forventes på lang sigt. Det er omkostningseffektivt, da det er billigere at bygge et stort brintrør end to mindre.

STRATEGI FOR ÅBENHED

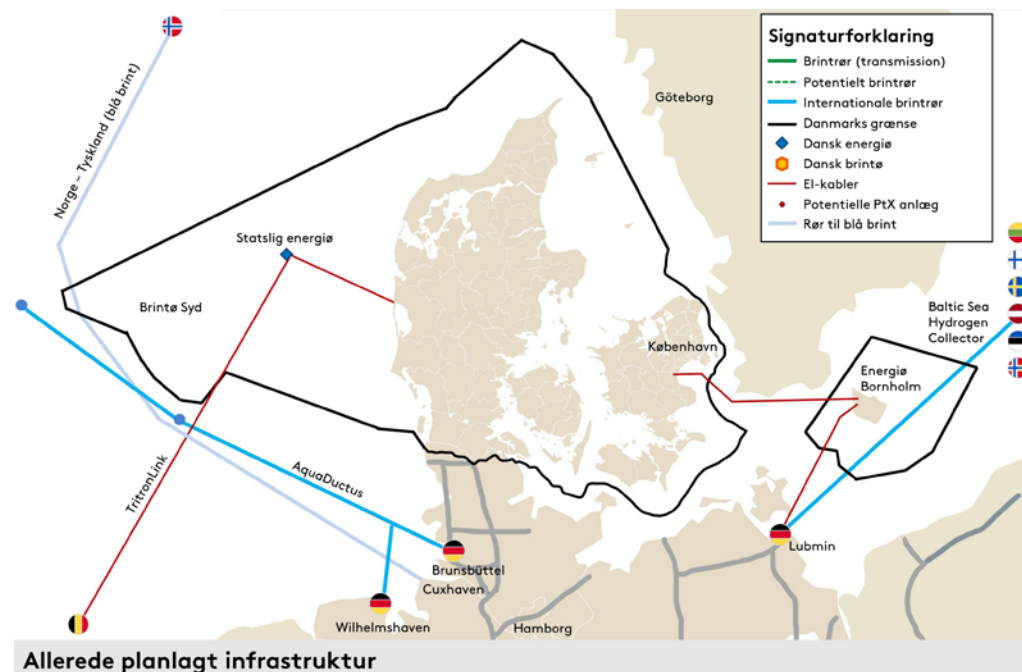
Ved at fastlægge en langvarig udbygningsplan, som offentliggøres, skaber det gennemsigtighed for producenter, developere og investorer, der kan planlægge efter en fastlagt, fremtidig infrastruktur. Det er lettere at træffe investeringsbeslutning, hvis man kender rørføringerne, kapacitet og vilkår for tilslutning og transport. Samtidigt kan danske energiforbrugere træffe beslutning om skiftet fra fossile brændsler til grøn brint, hvilket kan øge den indenlandske efterspørgsel på kort sigt. Men også i en international sam-

menhæng kan der være strategiske fordele: Andre lande skal tænke Danmark ind som leverandør af grøn brint, og udenlandske infrastrukturudviklere kan indtænke dansk brintinfrastruktur i deres planlægning. At lægge langsigtede offentligt tilgængelige planer frem giver en fordel til de danske aktører, ligesom dansk brintinfrastruktur kan få en rolle som et strategisk knudepunkt i den internationale planlægning.

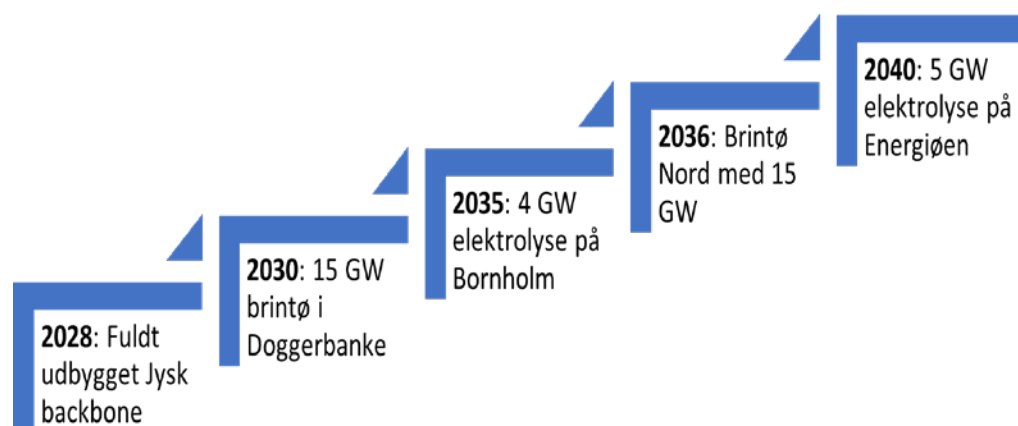
UDLANDSFORBINDELSER ER AFGØRENDE FOR AT REALISERE MARKESPOTENTIALET

Landene omkring Danmark har fremskredne planer om etablering brintrørsforbindelser. Da udlandsforbindelser er afgørende for at Danmark kan realisere sit markespotentiale, er de udenlandske planer medtaget som helt centrale for den udbygningsplan, som CIP Fonden anbefaler. Tilkobling på udenlandske projekter kan både være en omkostningseffektiv løsning og en gateway til markedet. De udenlandske planer om brintinfrastruktur, der er medtaget i udviklingsplanen, beskrives på næste side i boks 6.1.

Figur 6.5: Allerede planlagt infrastruktur



Figur 6.4: Infrastrukturens udbygningsrækkefølge





Boks 6.1: Udenlandske planer for brintinfrastruktur, der indgår i CIP Fondens forslag

2027 Bornholm-Lubmin

Den tyske gastransportør Gascade planlægger sammen med Copenhagen Infrastructure Partners og med involvering fra Energinet et brintrør fra Bornholm til Lubmin i Tyskland. Projektet er startet på baggrund af et feasibility-studie og udviklerne har sendt en PCI-ansøgning til Europa-kommissionen. Forbindelsen mellem Bornholm og Lubmin vil få en længde på 140 km., og formålet er at transportere grøn brint produceret på Bornholm af det omkringliggende havvind til kysten nær Lubmin, hvor brinten kan transporteres længere mod syd. Røret skal efter planen stå klart i 2027, med mulighed for at øge kapaciteten til 10 GW i 2030'erne. Forbindelsen mellem Bornholm og Lubmin placerer sig geografisk i forlængelse af projektet "Flow-making hydrogen happen", som er en 1100 km. langt brintrør i Tyskland. "Flow" planlægges at have etableret første etape i 2025.

2028 Danmark-Tyskland

I april 2023 underskrev klima- energi- og forsyningsminister Lars Løkke Rasmussen og Tysklands økonomi- og klimaminister, vicekansler Robert Habeck, en hensigtserklæring om transport af brint mellem Tyskland og Danmark. Hensigtserklæringen omfatter, at der inden 2028 skal etableres et storskala, landbaseret transmissionsrør mellem Vestdanmark og Nordtyskland. Den præcise placering af infrastrukturen og dens omfang er endnu ikke besluttet, men ambitionen er at styrke integrationen af det danske og tyske energisystem med mål om en markedsdrevet udrulning af grøn brintinfrastruktur.

2030 Energiøen i Nordsøen

I 2020 besluttede et bredt flertal i Folketinget, at der skal etableres en energiø i Nordsøen. Energiøen forventes at stå klar i 2030, og i 2033 forventes den at have tilsluttet en VE-kapacitet på 3-4 GW. Energiøen skal efter planen både have direkte elforbindelser til Danmark og Belgien.

2030 Energiø Bornholm

Sideløbende med beslutningen om Energiøen i Nordsøen, blev det ligeledes besluttet at etablere Bornholm som en energiø. Energiø Bornholm forventes at stå klar i 2030 med en kapacitet på 3 GW kystnær havvind placeret ca. 15 km. syd-sydvest for øen. Strømmen skal omformes på Bornholm, hvorefter den skal transporteres via elkabler til Sjælland og Tyskland.

2030 Baltic Sea Hydrogen Collector

I 2030 planlægger Gasgrid Finland, Nordion Energi, OX2, og Copenhagen Infrastructure Partners, at projektet Baltic Sea Hydrogen Collector (BHC) skal stå færdig. BHC er et havbaseret brintrørsnet, som gennem Østersøen skal forbinde regioner i Finland og Sverige med Tyskland. Brintrørsledningen planlægges at ligge parallelt med ledningen mellem Bornholm og Lubmin, hvor brintrørsledningen fra BHC også forventes at ilandføres.

2030 AquaDuctus

I Nordsøen planlægger Gascade og Fluxys en 400 km. lang brintrørsledning, som skal føres i land to steder i det nordlige Tyskland, hvorefter brint fra Nordsøen kan transporteres videre i Tyskland eller til f.eks. Holland eller Belgien. Forbindelsen går ud til relevante havvindområder i Nordsøen via Helgoland og ud til Doggerbanke, hvor det også vil være mulighed for tilkobling af forbindelser fra andre lande som fx Storbritannien og Danmark. Planen er, at forbindelsen skal begynde at levere grøn brint til fastlandet i 2030.

2030 Norge-Tyskland

Tyske RWE og norske Equinor indgik i starten af 2023 en aftale om et undersøisk brintrør gennem dansk søterritorium, som i første omgang skal forsyne Tyskland med blå brint direkte fra Norge i 2030. Det er hensigten, at forbindelsen på sigt skal levere grøn brint til Tyskland.

Kilder: Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet (2023a, 2023b), RWE (2023), Energinet (2023) og CIP Fondens Markedsvurdering (2023)

6.1. Første fase: 2024-2028: Landbaseret brintinfrastruktur med en jysk backbone

STORE FORVENTNINGER TIL DANSK BRINTPRODUKTION

Mellem 2027 og 2028 forventes en stor stigning i den danske landbaserede brintproduktion, der vil nærme sig 28 TWh årligt, hvis producenterne får adgang til en infrastruktur¹. Der er pt kun planer om en begrænset grænseoverskridende brintinfrastruktur fra Vestdanmark til Nordtyskland, som ikke vil være tilstrækkelig til at forbinde danske producenter med de tyske forbrugere. Hvis Danmark i denne periode skal udnytte sit potentiale og bidrage til udviklingen af industrien, skal den landbaserede infrastruktur, allerede i 2028, være langt mere omfattende.

Det anbefales at etablere en fuldt udbygget jysk infrastruktur til 2028, så der er leverancer til aftagere i Danmark og Tyskland fra start.



FRA TYSKLAND TIL NORDJYLLAND - EN JYSK BACKBONE I 2028

En dansk brintinfrastruktur bør på kort sigt, frem mod 2028, være landbaseret, da det er her, der i denne periode vil være mulighed for at producere tilstrækkelige mængder grøn brint. Brintinfrastrukturen skal kunne håndtere flere formål. Den skal kunne opsamle brint hos forskellige brintproducenter i Danmark og forbinde dem til forbrugerne. De danske forbrugere vil i høj grad være producenter af e-fuels og ammoniak, men på sigt vil også større industrivirksomheder, der i dag har et stort forbrug af kul eller gas, kunne omstille sig ved hjælp af grøn brint fra en dansk brintinfrastruktur. De største forbrugere ligger dog

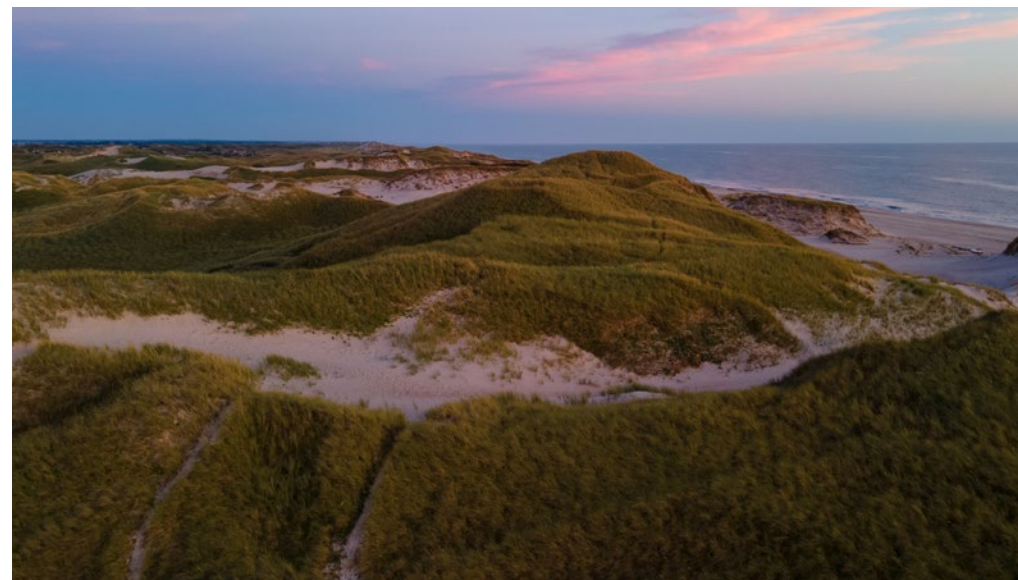
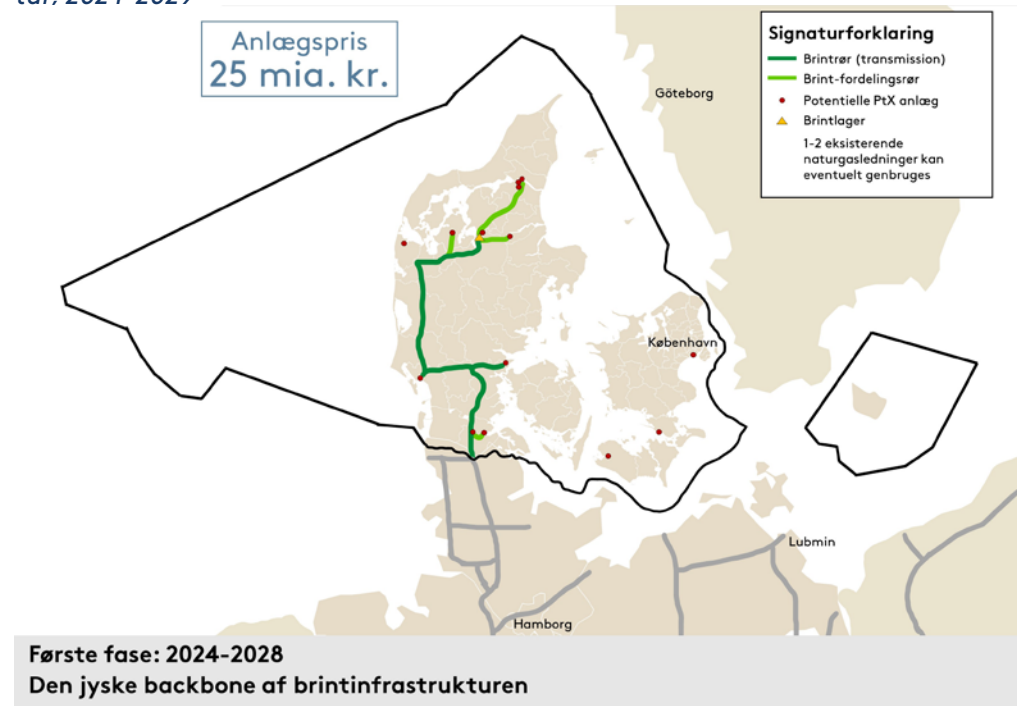
syd for grænsen, hvorfor en udlandsforbindelse til Tyskland er helt central. Over halvdelen af den brint, der vil blive produceret i denne periode, skal eksporteres til landene syd for grænsen.

CIP Fonden foreslår på denne baggrund, at en dansk brintinfrastruktur allerede i 2028 forbinder Tyskland med Nordjylland. Den foreslåede rørledning går fra Nordtyskland til Vejen i Danmark. Fra Vejen går rørledningen på tværs og forbinder mod øst Fredericia med Esbjerg mod Vest. Derfra går rørledningen til Holstebro, hvorefter røret løber ind i landet med mulighed for forbindelse til Saltkavernen i Ll. Thorup, der kan fungere som et storskala lagerfacilitet til grøn brint. Fra strækningen ind i landet fra Holstebro og lageret i Ll. Torup foreslås det at etablere mindre stikledninger til Nordjylland med det formål at forbinde nordjyske brintproducenter med det tyske marked.

DIMENSIONERING OG LAGERKAPACITET

Den foreslåede infrastruktur består af ny-etablerede brintrør, hvor hovedåren er 48" 18 GW-transmissionsledninger. Infrastrukturen forbinder via mindre fordelingsledninger en stor del af fremtidens landbaserede brintproducenter med det tyske marked, ligesom kommende, danske brintforbrugere kan tilkobles med mindre stikledninger efter behov. Transmissionsledningen giver mulighed for at transportere 157 TWh årligt, og den giver mulighed for lagre omkring 57,1 GWh brint yderligere ved en tryksætning 80 bar². Lageret i Ll. Thorup kan bidrage med en lagerkapacitet på yderligere 350 GWh. På den vis er infrastrukturen fra start af gearet til at håndtere de 28 TWh årligt som danske producenter forventes at kunne producere. Af de 28 TWh forventes Danmark at skulle eksportere 16 TWh i 2030. I spidsplastperioder kan transmissionsrørene håndtere 15 GW, hvoraf en spidsplast i 2030

Figur 6.6: Illustration af første fase af udbygningen af dansk brintinfrastruktur, 2024-2029



¹ KPMG for Energinet og Evida (2022)

² Baseret på COWI (2023b)

³ På baggrund af CIP Fonden 2023: I 2030 forventes en landbaseret kapacitet på 7 GW at resultere i en produktion på 28 TWh.

Dimensionering og lagerkapacitet

Transmissionsrør: 48"/18 GW ≈ 157 TWh årligt.

Lager i rør: 57,1 GWh ved 80 bar

Lager i Lille Torup kaverne: 350 GWh

Fordelingsrør: 4"-8", 10-18" & 20" – 30"

forventes maksimalt at være 7 GW³.

Røret vil også i 2050, hvor en brintproduktion fra 15 GW elektrolyse vil kunne producere 60 TWh, være dimensioneret til at håndtere de forventede mængder. Røret er således overdimensioneret helt frem mod 2050 med den hensigt, at røret ligeledes kan udnyttes til transport af brint produceres i Nordsøen. I opstarten, hvor røret er overdimensioneret i forhold til den forventede produktion, vil infrastrukturen i sig selv kunne fungere som lagerkapacitet, hvorfor Lageret i Lille Torup ikke er nødvendigt for markedsaktørerne.

Den landbaserede brintinfrastruktur vil forventeligt kunne muliggøre en udvikling af den danske brintindustri, som vil sikre en energiekseksport på omkring 8 mia. kr. årligt i 2030, og en mulig eksport på 18 mia. kr. årligt i 2050 med en eksport på 41 TWh årligt⁴.

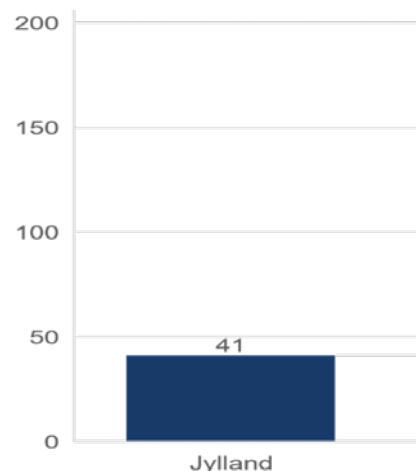
ALTERNATIVE MULIGHEDER I PERIODEN 2024-2028

Nær den sydjyske rute ligger en dobbelt rørført gasledning, hvoraf det ene rør kan indtages og retrofittes til brug som brintinfrastruktur. Det ville sænke anlægsomkostningerne på denne fase⁵. Når en sådan løsning alligevel ikke er valgt, er det på grund af, at den kapacitet, et retrofittet gasrør ville kunne

levere, ikke er tilstrækkelig til at håndtere den fremtidige eksport, som både vil komme fra Jylland og Nordsøen. Derudover bidrager nyetablerede rør med en øget lagerkapacitet til gavn for de sydjyske producenter. Hertil kommer at bebyggelse og miljøzoner omkring de nuværende gastracéer er blevet flere, hvilket besværliggør retrofitting.

På den midtjyske fase vil det også være muligt at etablere rørføringen langs de nuværende gastracéer i midten af Jylland. En sådan rute ville gå fra vejen til Ll. Torup uden at komme ud til vestkysten. Da der på denne rute ikke er mulighed for at genbruge gasrør, vil der stadig være behov for at nyanlægge dedikerede brintrør. Investeringsbehovet ville dog være anderledes: transmissionsrøret vil være kortere, mens behovet for stikledninger ville være større, hvis samme mængder brint skulle opsamles langs den jyske vestkyst. Når en sådan linjeføring ikke er valgt, er det for at sikre infrastrukturens nærhed til kommende producenter, VE-potentialer og de transfor-

Figur 6.7: Forventet brinteksport på baggrund af brintinfrastruktur 2028 (TWh)



matorstationer og elknudepunkter, der er placeret langs den jyske vestkyst. En placering af brintrør i de eksisterende gastracéer vil desuden være problematisk grundet omfanget af bebyggelse og miljøzoner⁶.

6.2. Anden fase: 2029-2035: Udbygning off-shore og til udlandet

FLERE INFRASTRUKTURPROJEKTER PÅ VEJ, MEN BEGRÆNSET PLANLAGT PRODUKTION

I årene efter 2030 er der flere store brintinfrastruktur-projekter, der efter planen skal stå færdige. Brintinfrastrukturprojekterne er et resultat af den store efterspørgsel fra Tyskland, Holland og Belgien.

Tyskland, Holland og Belgiens samlede brintbehov forventes omtrent fordoblet i 2030 sammenlignet med 2020. Samtidigt vil Danmark, allerede i 2030 have dækket eget indenlandsk brintforbrug med den brint, som bliver produceret og distribueret gennem den jyske backbone. Tyskland, Holland, og Belgien har imidlertid ikke mulighed for at producere al den grønne brint, de skal bruge. De har behov for at importere brinten fra bl.a. Danmark, der grundet gode vindforhold og lav havdybde kan producere den billigste brint blandt alle Nordsølandene.

Det anbefales at etablere en brintø på Doggerbanke i Nordsøen omkring 2030



⁴ Egne beregninger på baggrund af CIP Fonden 2023 og COWI 2023a og 2023b. Danmark forventes i 2050 et national brintforbrug på omkring 19 TWh brint og en jysk produktion på 60 TWh.

⁵ Brinckmann 2023

⁶ COWI 2023b

DANSK STORSKALA PRODUKTION – EN BRINTØ PÅ DOGGERBANKE

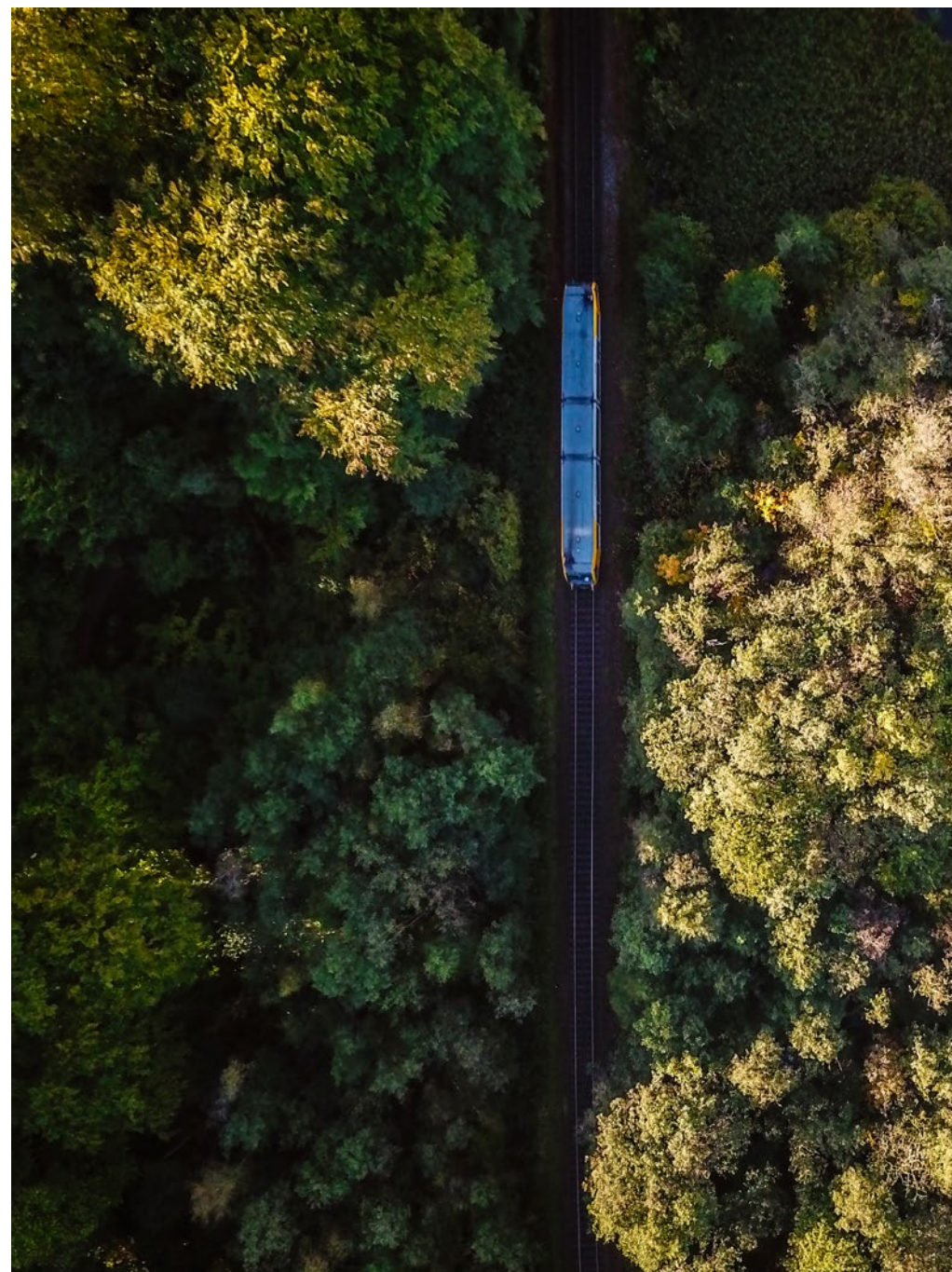
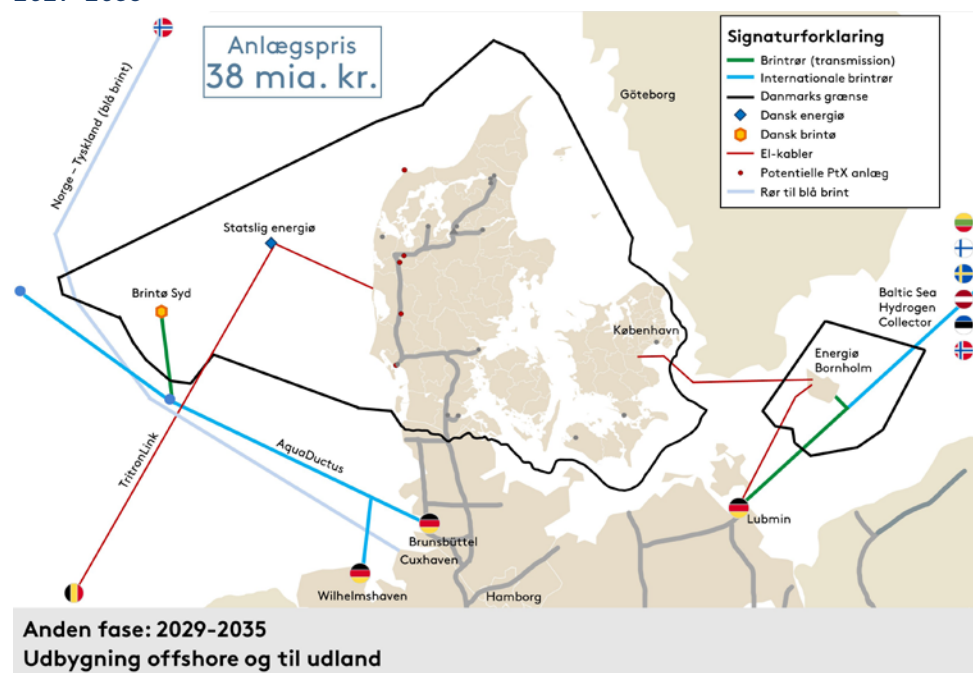
CIP Fonden anbefaler på den baggrund, at Danmark allerede i denne periode begynder at udnytte Nordsøens ressourcer til storskala-produktion af grøn brint, og at der placeres en dedikeret brintø i Doggerbanke, "Brintø Syd". Øen bør placeres tidsmæssigt, så den er klar til drift med op til 15 GW elektrolysekapacitet i 2030, tre år før den statslige energioverførsel står klar med 3-4 GW kapacitet. Brintøen i Doggerbanke bør overvejende have et eksportsigt, og den kan derfor opføres, ejes og drives kommercielt. Netop af denne årsag, er placeringen af ø'en i Doggerbanke central: Der er gode vindområder, lave havdybder og så ligger det tæt på nordlige Tyskland, som efterspørger brinten.

CENTRALE UDLANDSFORBINDELSER

Brintøen i Doggerbanke skal forbindes med tysk fastland, hvor dens fulde kapacitet vil kunne afsættes til den tunge, tyske industri eller videreføres til markederne i Holland eller Belgien. CIP Fonden anbefaler, at brintøen tilkøbes AquaDuctus, som forventes at levere grøn brint til markedet i 2030.

Brintrøret bør overdimensioneres til 48" 18 GW, så fremtidige brintproducenter kan tilkøbe sig forbindelsen til AquaDuctus. Samtidigt har AquaDuctus to udgange i det nordlige Tyskland, ligesom dens nærhed til ø'en i Doggerbanke mindsker behovet for nyanlæg af brintrørstransmission. Her er det centralt, at danske infrastrukturselskaber tidligt tager initiativ til dialog med de tyske infrastrukturselskaber, så dimensionering og kapacitet i de to brintforbindelser er samtænkt.

Figur 6.8: Illustration af anden fase af udbygningen af dansk brintinfrastruktur, 2029-2035



ALTERNATIVE MULIGHEDER FOR AT FORBINDE BRINTØ TIL TYSKLAND

Hvis AquaDuctus ikke realiseres, kan brintøen i stedet forbindes til Norge-Tyskland-forbindelsen eller direkte til det tyske fastland. Forbindes brintøen til det tyske fastland bliver anlægsinvesteringen på røret væsentligt højere - 11,2 mia. kr - men til gengæld kan den strategisk blive et tilslutningspunkt for andre VE-aktiviteter i Nordsøen, hvis den dimensioneres dertil. Det er også en mulighed, at den sydlige brintø forbindes til den Norsk-Tyske brintledning, som transporterer grå brint. Det vil kræve en rørføring udenom et fredet område i den tyske del af Doggerbanke. Når det ikke er CIP Fondens anbefaling bunder det i, at den Norsk-tyske forbindelse i højere grad er et resultat af en samarbejdsaftale mellem de to lande, mens ambitionen med AquaDuctus er at indsamle brint fra dem, der kan levere i området. Vurderingen er derfor, at der i højere grad er potentiale for, at danske aktører kan øge dimensioneringen af AquaDuctus, hvis der ligger en konkret produktionsplan fra dansk side.

EKSPORT OG OMSTILLING AF TYSK INDUSTRI

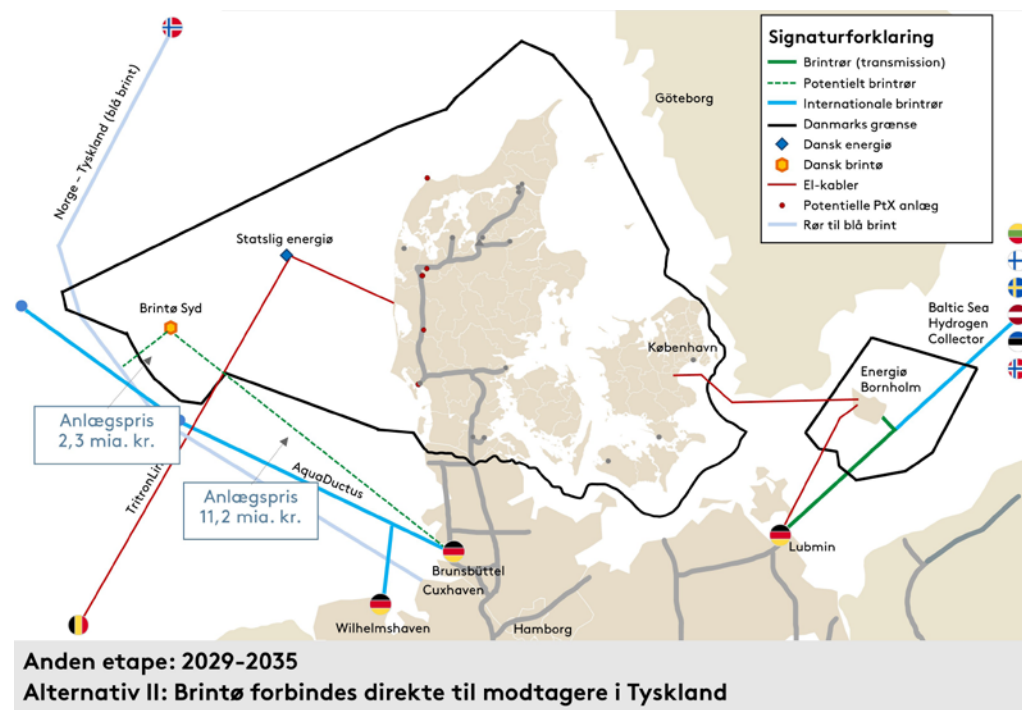
Med den sydlige brintø og en brintforbindelse til Tyskland, vil Danmark kunne eksportere betydelige mængder grøn brint til omstilling af både den tyske, hollandske og belgiske industri. Med en realisering af 15 GW elektrolyse på den sydlige brintø, vil Danmark kunne eksportere yderligere 60 TWh årligt.

Ser man på Østersøen, er der med afsæt i den kystnære vindenergi også basis for at producere brint på Bornholm. Brinten kan transporteres via rørforbindelsen mellem Bornholm og Lubmin, som bør dimensioneres til 36" svarende til 10 GW. Røret er overdimensioneret i forhold til den forventede produktion på Bornholm, men giver derved mulighed for, at brint transporteret via Baltic Sea Hydrogen Collector-forbindelsen i Østersøen kan tilkobles.

Det anbefales, at der etableres brintproduktion på Bornholm svarende til 4 GW elektrolyse i 2035



Figur 6.9: Illustration af alternative forbindelser fra Brintø Syd til Tyskland i anden fase af udbygningen



Dimensionering

Sydlig brintø: 15 GW elektrolyse, 22,5 GW vind. VE-tilslutning kan ske fra danske eller udenlandske arealer omkring Doggerbanke.

Transmissionsrør: Brintø Syd – AquaDuctus, 84 km: 48" /18 GW ≈ 157 TWh årligt.

Dimensionering

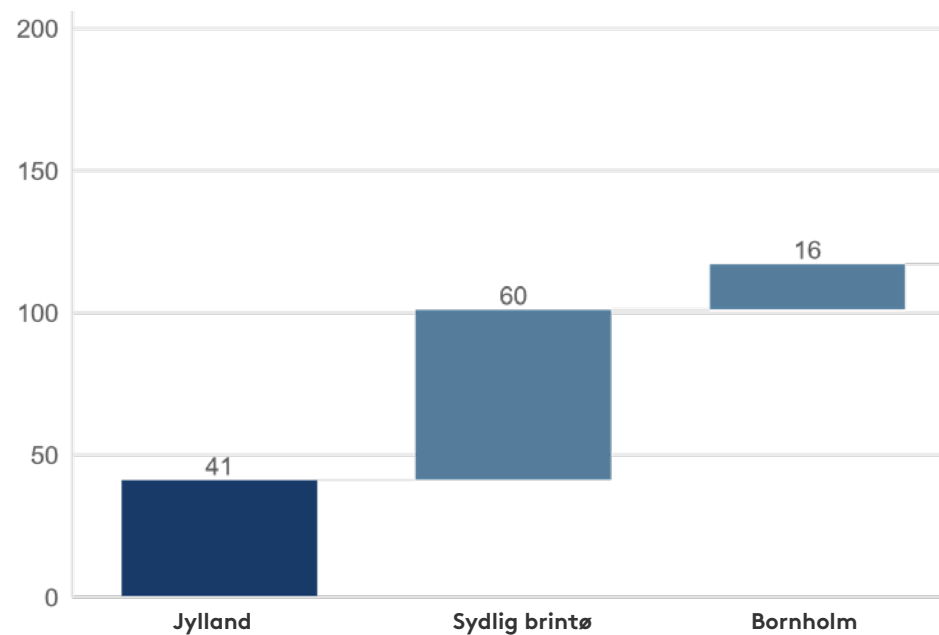
Bornholm: 4 GW elektrolyse, 6 GW vind

Transmissionsrør: Bornholm-Lubmin, 162 km: 36" /10 GW ≈ 87 TWh årligt.

Kilde: COWI 2023b



Figur 6.10: Forventet brinteksport på baggrund af brintinfrastruktur i 2035 (TWh)



Kilde: COWI (2023)

6.3 Tredje fase: 2036-2045: Skala, flere forbindelser og balancering

I den tredje og sidste fase af CIP Fondens udbygningsplan er det centrale etablering af en nordlig brintø i Nordsøen for at skalere brintproduktionen yderligere samt etablering af flere forbindelser med henblik på synergi-effekter og bedre balancering af såvel brint som el-produktion.

I tredje fase er der ikke yderligere planer om etablering af infrastruktur. Til gengæld vil mere af den allerede beskrevne infrastruktur dimensioneres til at kunne håndtere større mængder brint. Det gælder både forbindelsen mellem Norge og Tyskland, som i 2038 forventes at dimensioneres til 10 GW⁷, mens

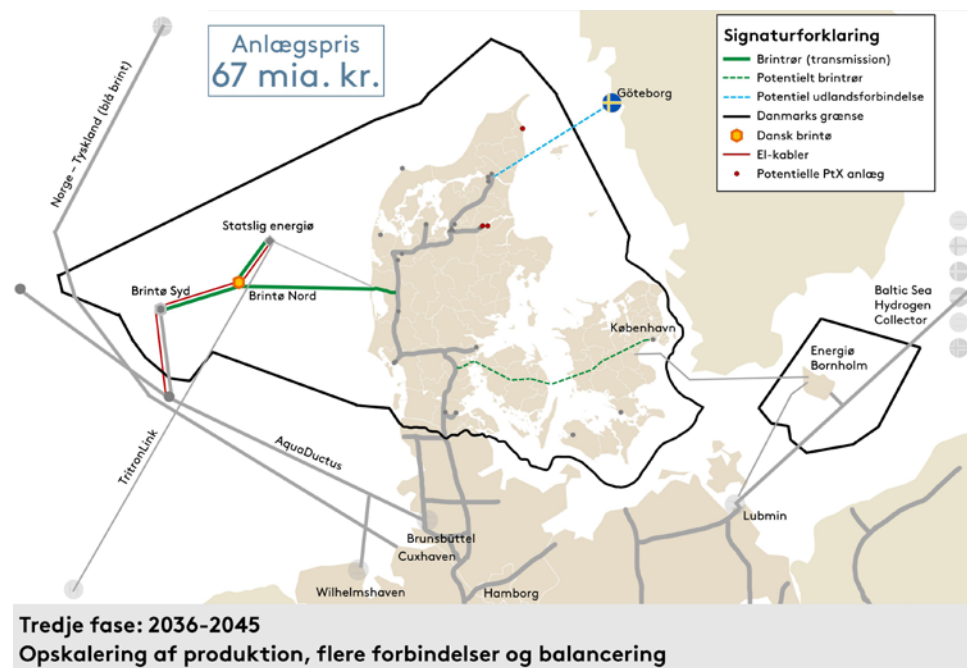
den statslige energiø i 2040 forventes at opnå en kapacitet på 10 GW.

Generelt forventes vindudbygningen i Nordsøen i denne periode at være substantiel, eftersom landenes klimamål og målsætningerne i internationale erklæringer rykker tættere på. F.eks. er målsætningen i Oostende-erklæringen, at der inden 2050 skal være minimum 300 GW installeret vind-kapacitet alene i Nordsøen, mens alle lande skal være klimaneutrale. Den massive udbygning sætter større krav til både brintproduktion og balancering.

Det anbefales, at brintproduktionen suppleres med en nordlig brintø i Nordsøen i 2036



Figur 6.11: Illustration af tredje fase af udbygningen af dansk brintinfrastruktur, 2036-2045



⁷ RWE (2023)



DEN NORDLIGE BRINTØ

CIP Fonden foreslår, at der placeres endnu en brintø, "Brintø Nord", i Nordsøen mellem den statslige energiø og brintøen i Doggerbanke. Den nordlige brintø bør ligesom den sydlige brintø være en dedikeret brintø med 15 GW elektrolysekapacitet, der skal producere grøn brint med eksport for øje. Grunden til dette er, at der er i dag er planlagt vindudbygning, som det selv med en massiv udbygning af de nordeuropæiske elnet, ikke vil være muligt at ilandføre. Og samtidigt er det i højere grad den grønne brint, landene har brug for til at omstille tung industri og transport. Og når udbygningen af vindenergi i Nordsøen bliver så massiv, bliver der øget behov for at udnytte de synergier, der er mellem brint- og elproduktion.

DEN NORDLIGE BRINTØ SOM BALANCERINGSCENTRUM

CIP Fonden anbefaler, at den nordlige brintø tilkobles den sydlige brintø i Doggerbanke med et brintrør, så brint produceret på øen

Dimensionering

Den nordlige brintø: 15 GW elektrolyse, 22,5 GW vind

Brinttransmissionsrør: **Brintø Nord – Brintø Syd**, 78 km: 36"/10 GW ≈ 157 TWh årligt.

Brinttransmissionsrør: **Brintø Nord – Jysk backbone**, 128 km: 36"/10GW ≈ 87 TWh årligt

Brintø Nord – Energiø, 53 km: 36"/10 GW ≈ 87 TWh årligt

Kilde: COWI 2023b

kan eksporteres ad denne vej til AquaDuctus og videre til Tyskland, Holland og Belgien. Samtidigt skal den nordlige brintø tilkobles både den sydlige brintø og den statslige energiø med elkabler. På denne måde kan de tre øer udveksle elektricitet øerne i mellem, når det er fordelagtigt. Det giver mulighed for, at alle tre øer kan sende elektricitet til Danmark og Belgien, hvis der skulle være behov, ligesom den statslige energiø kan udnytte overskydende strøm til brintproduktion på de to brintøer.

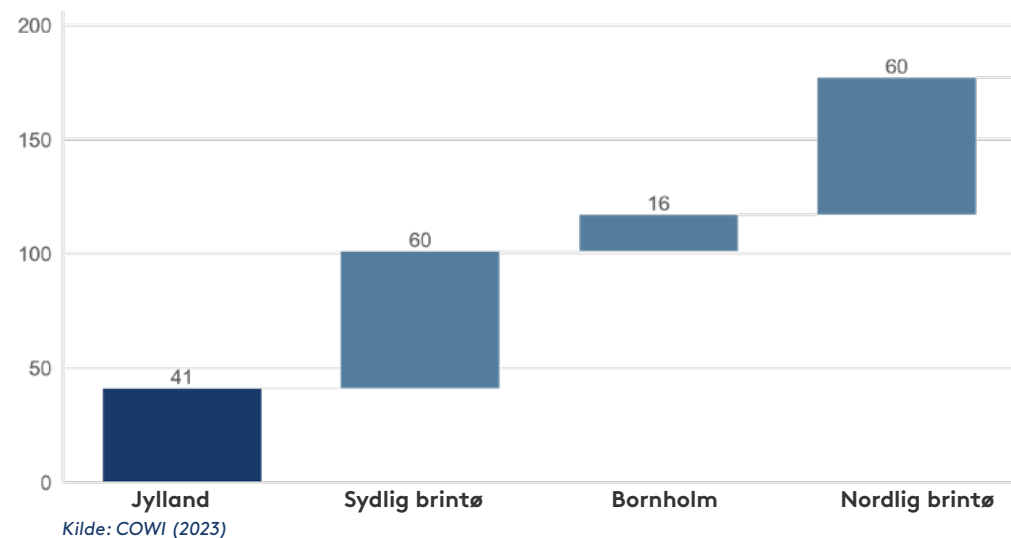
Etableringen af den nordlige brintø med en elektrolysekapacitet på 15 GW muliggør en eksport af yderligere 60 TWh årligt.

ET INTEGRERET SYSTEM

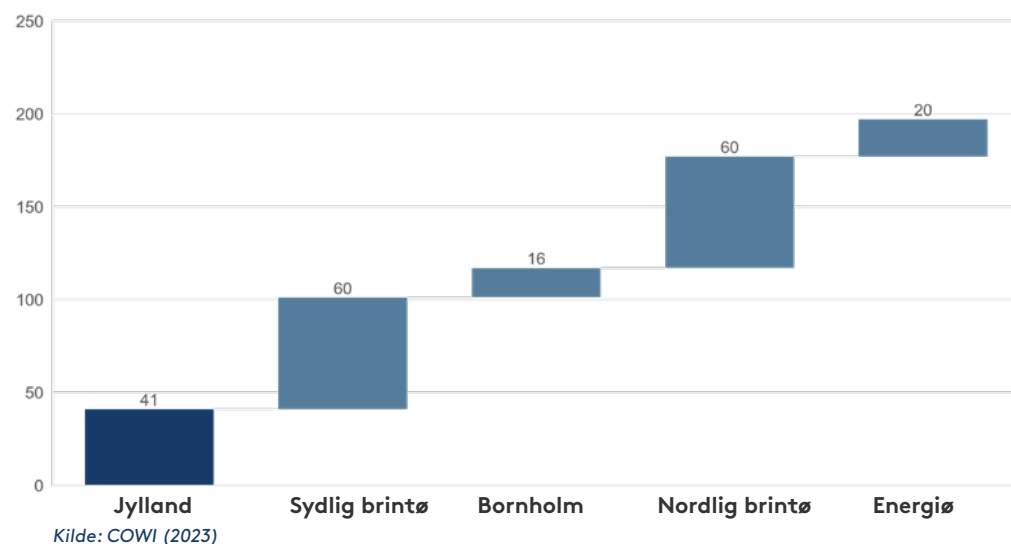
Tidsmæssigt kan den nordlige brintø med fordel etableres med elektrolyse i 2036, så den står klar til overtage eksisterende elektricitet fra den statslige energiø. Den statslige energiø's kapacitet ventes at blive forhøjet med 6-7 GW i perioden 2033-2040, men hvorvidt al energien kan afsættes som strøm afhænger af hvor mange udlandsforbindelser der bliver etableret. Med en elforbindelse til den nordlige brintø kan overskudsstrøm fra den statslige energiø udnyttes fra start og også i begyndende små mængder, som ellers ikke ville give anledning til dedikeret elektrolyse på øen. Det kan styrke business-casen på den statslige energiø, hvor overskudsenergien i en periode ellers ville gå tabt.

I 2040, når den statslige energiø opnår fuld kapacitet på 10 GW el, forventes den landlige og kystnære energi i Danmark også at være udbygget i en grad, der kan dække det danske energiforbrug. CIP Fonden anbefaler, at der etableres 5 GW elektrolyse på energiøen og at elektricitet produceret tættere på land i højere grad indgår i den klassiske elforsyning.

Figur 6.12: Forventet brinteksport på baggrund af brintinfrastruktur i 2036, TWh



Figur 6.13: Forventet brinteksport på baggrund af brintinfrastruktur i 2040, TWh



Energiøen bør få en brintrørsforbindelse til den nordlige brintø for kunne afsætte brinten til Tyskland via Aqua Ductus. Røret fra den sydlige brintø til AquaDuctus er dimensioneret til håndtere den årlige produktion på 140 TWh. Dog kan der være udfordringer i spidslasttider, hvorfor et brintrør fra den nordlige brintø til den Jyske backbone anbefales, således at der skabes mulighed for at udnytte den ledige kapacitet på land, ligesom infrastrukturen bliver mere robust mod rørskader og sikkerhedsstrusler.

5 GW elektrolysekapacitet på den planlagte, statslige energiø i Nordsøen muliggør en eksport på 20 TWh årligt. Samlet set understøtter udbygningsplanen en eksportproduktion på knap 200 TWh årligt til en værdi af 100 mia. kr. årligt.

Med en fuldt udbygget brintinfrastruktur, som den er præsenteret ovenfor, åbnes der op for en årlig transport af 216 TWh brint, hvoraf 90% til en værdi af 100 mia. kr. kan eksporteres til udlandet. Da udlandet, og dermed udlandsforbindelserne, spiller en så central rolle for udbygningsplanen skal der fra dansk side arbejdes for realiseringen af disse.

AquaDuctus og Bornholm-Lubmin forbindelsen er begge internationale forbindelser, som CIP Fonden anbefaler at tilslutte en dansk brintinfrastruktur. Selvom der er flere muligheder og alternativer til disse forbindelser, vurderes disse to mest attraktive i forhold til placering og planlægning. Derfor er det centralt, at der arbejdes for, at planerne bliver realiseret og at rørene bliver dimensioneret til også at kunne håndtere de mængder, der skal eksporteres fra Danmark.

De to forbindelsers præcise dimensionering afhænger af både dansk produktion og den produktion, der kommer fra andre lande. Som

minimum bør AquaDuctus dimensioneres til 48"/18GW og Bornholm-Lubmin til 36"/10 GW.

SJÆLLAND OG SVERIGE

Der er flere ubekendte, når det kommer til transporten af fremtidens brintmængder tværs over Danmark og Sverige. Der kan givetvis opstå et behov for at kunne transportere brintmængder tværs over Danmark, f.eks. hvis der opstår en betydelig produktion af grønne PtX-brændsler på Sjælland, hvor produktionskapaciteten ikke i sig selv har adgang til de fornødne mængder vedvarende energi, som kan produceres i Jylland og i Nordsøen.

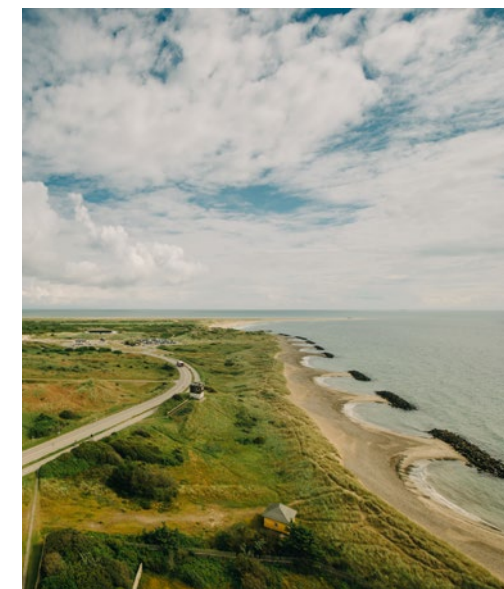
Samtidigt kan der fra svensk side også opstå et regionalt behov for import af grøn brint. Når sådan et behov kan opstå fra svensk side, trods landet ikke overordnet forventer at blive importører af grøn brint, hænger det sammen med den svenske energiinfrastruktur, der kun i begrænset omfang er forbundet regionalt. Det kan f.eks. skabe et behov for begænset import fra Danmark til Göteborg, ligesom et brintrør i Danmark fra svensk side i høj grad kan fungere som en attraktiv balanceringsmulighed.

En forbindelse fra Nordjylland til Göteborg vil hovedsageligt være i svensk interesse, hvorfor planlægningen og finansieringen af denne bør ske på svensk foranledning.

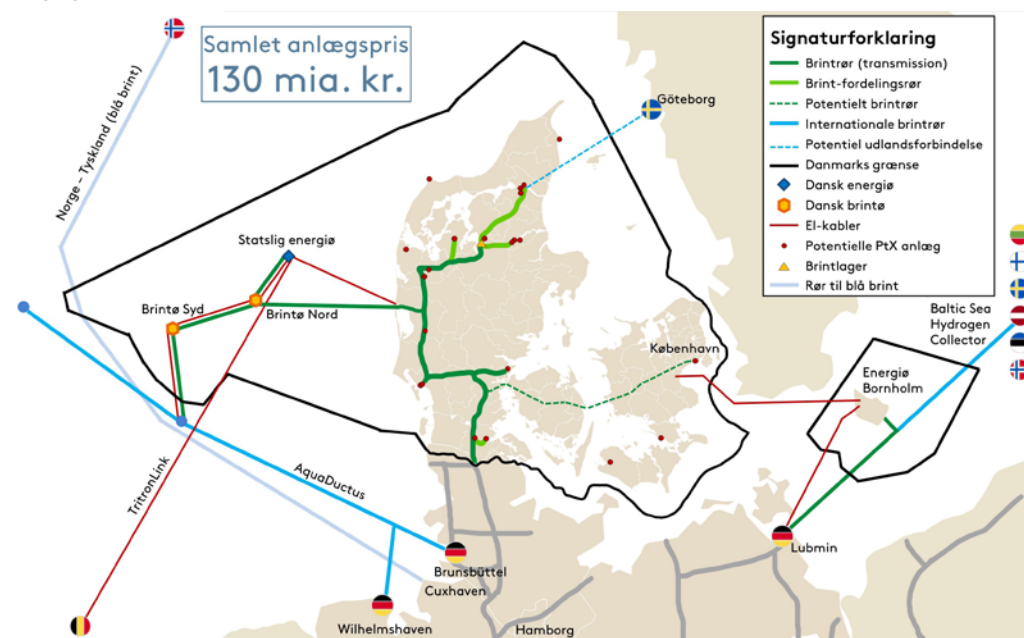
ET INTEGRERET NETVÆRK

Med CIP Fondens udrulningsplan får Danmark et fuldt integreret brintnetværk, der muliggør brintproduktion i storskala og eksport til attraktive aftagermarkeder. Ved at starte med at udbygge den jyske backbone, så bidrages der til at understøtte udviklingen af den brintproducerende industri i Danmark. Brintproducenterne får adgang til markedet i Tyskland, og fremtidige danske industrielle forbrugere kan koble sig på netværket.

Det anbefales, at der etableres brintproduktion på den planlagte, statslige energiø i Nordsøen i 2040



Figur 6.14: Illustration af den samlede udbygning af dansk brintinfrastruktur, 2045



CIP Fondens plan for sammenhængende brintinfrastruktur fuldt udbygget i 2045

INFRASTRUKTURENS DIMENSIONERING

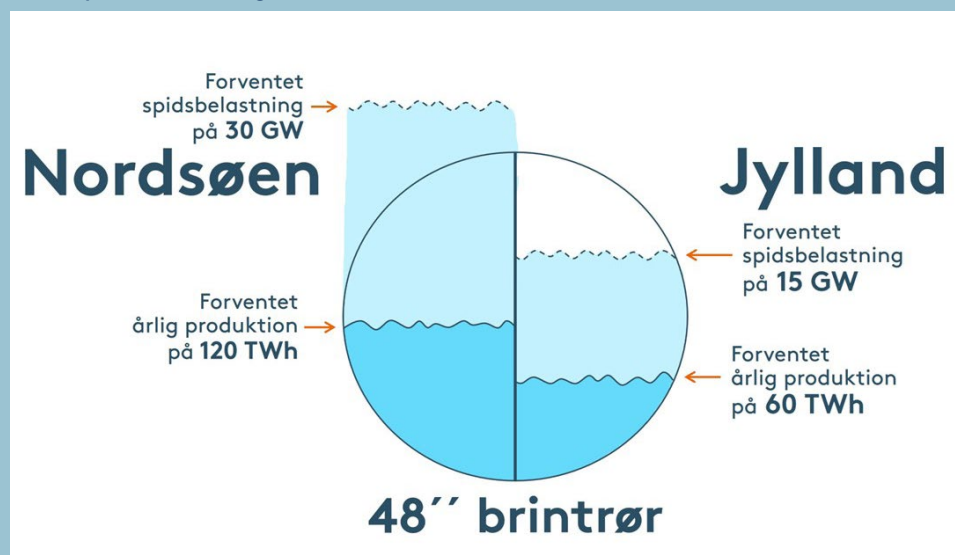
Forslaget til en sammenhængende brintinfrastruktur er dimensioneret til at håndtere de mængder grøn brint, som Danmark kan producere ved en udnyttelse af potentialerne for vedvarende energi og indfri de politiske ambitioner.

Infrastrukturen vil i begyndelsen være overdimensioneret, og ved fuld udbygning vil den være designet til at både at kunne håndtere den årlige forventede produktion og den spidslast-produktion, der kan opstå på tidspunkter, hvor el-forbruget er lavt og produktionen er høj.

Forbindelserne omkring Bornholm og Jylland kan både håndtere den gennemsnitlige årsproduktion og den mulige spidsbelastning. Udlandsforbindelsen mellem den sydlige brintø og AquaDuctus er dimensioneret til at håndtere den forventede årlige produktion, men røret kan ikke selvstændigt håndtere de største spidslastperioder.

I spidsbelastningsperioder kan mængderne derimod håndteres ved at 1) overskydende brintproduktion sendes til den nordlige brintø og gennem Jylland, 2) produktionen af el øges, mens brintproduktionen mindskes 3) trykket i røret kan øges, så kapaciteten i røret bliver højere. Alle tre muligheder er til stede pga. infrastrukturens interne forbindelser, og de skaber en værdifuld balancering, der hver især kan være hensigtsmæssig afhængigt af den øjeblikkelige efterspørgsel og produktion.

Figur 6.15: Infrastrukturen kan håndtere forventet årsproduktion og perioder med spidsbelastning

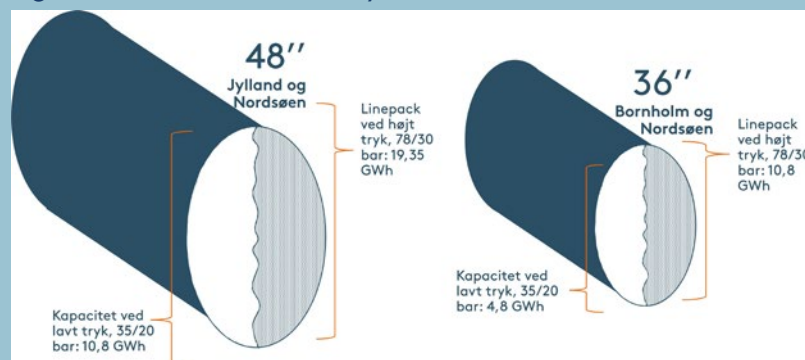




BRINTRØRENE LAGRINGSKAPACITET

Brintinfrastrukturen foreslås hovedsageligt etableret med 48"-rør. Det fordobler lagringskapaciteten sammenlignet med 36"-rør. Lagringskapaciteten kan øges gennem en forøgelse af trykket i røret. Det skaber nogle forskellige lagringsmuligheder.

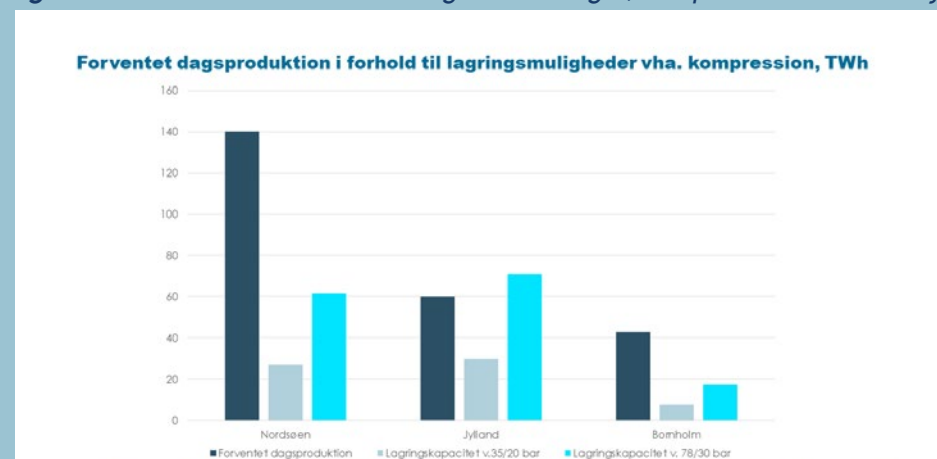
Figur 6.16: Brintørerne kan tryksættes til at håndtere større mængder brint, når behovet opstår



Kilde: Egne beregninger på basis af Brinckmann 2023. Et gennemsnit af scenarier fra Energinet og Teknologisk Institut ligger til grund

I den foreslåede jyske backbone kan infrastrukturen ved lavt tryk lagre 30 TWh, mens den ved højt tryk vil kunne lagre 70 TWh. Det svarer til en lagerkapacitet til hhv. en halv dags forventet produktion og mere end en hel dags forventet produktion. Denne lagerkapacitet kan udnyttes både fra brintproduktionen i Nordsøen og Jylland, vha. forbindelsen mellem den nordlige brintø og den jyske backbone. I Nordsøen vil infrastrukturen ved fuld udbygning kunne lagre omkring 20 pct. af en forventet dagsproduktion ved lavt tryk, som kan øges til mere end 40 pct. af en dagsproduktion ved højt tryk. Lignende gælder for infrastrukturen, der forbinder Bornholm og Lubmin.

Figur 6.17: Infrastrukturen kan fungere som lager, når produktionen er høj, og forbruget er lavt



Kilde: Egne beregninger på basis af Brinckmann 2023. Et gennemsnit af scenarier fra Energinet og Teknologisk Institut ligger til grund

DEL 3

HVAD KOSTER BRINTINFRASTRUKTUREN? OG HVAD ER RISICI OG MULIGE GEVINSTER?



Samlet investeringsbehov

Kapitel 7

Udbygningsplanen, der i kapitel 6 blev præ-senteret gennem tre etaper fra 2024–2045, er planlagt ud fra den forventede efterspørgsel fra syd, Danmarks potentiale og de danske og internationale infrastrukturplaner, der allerede nu er kendte. Det samlede investeringsbehov for en brintinfrastruktur fordeler sig på forskellige infrastrukturelementer: 1) Nogle er allerede besluttede i Danmark, eksempelvis statslige energiløser i Nordsøen og på Bornholm, 2) forventede udlandsforbindelser, som Danmark kan tilslutte sig og 3) anbefalinger fra CIP Fonden til yderligere udbygning af brintinfrastruktur. Anbefalingerne til brintinfrastruktur afstedkommer betydelige investeringsomkostninger.

De største investeringsbehov centrerer sig om etablering af brintløser, som vurderes nødvendige for at kunne forløse de politiske ambitioner om vedvarende energi, storskala produktion af grøn brint og efterfølgende eksport. I de følgende afsnit vil investeringsbehovet p.b.a. CIP Fondens anbefalinger (3) til etablering af brintinfrastruktur blive opgjort, ligesom investeringsbehovet for udvalgte alternative løsninger vil blive opgjort. Opgørelsen indeholder investeringer i brintløser, etablering af energiløser og brintløser, tilhørende el-kabler og det afledte behov for elforstærkninger, som infrastrukturen medfører. Det bemærkes, at brintinfrastrukturen alene viser forbindelser, der har karakter af transmissi-

onsløser og ikke medtager eventuelle private linjer til producenter eller aftagere af brint. Opgørelsen indeholder ikke investeringsbehov til udbygning af den nødvendige vedvarende energi og tilknyttet elektrolyse, da disse investeringer knytter sig til produktionssiden. Omkostninger forbundet med allerede besluttede infrastrukturplaner (1) er desuden ikke medtaget.

7.1. Investeringsbehov i første fase 2024-2028 – den landbaserede brintinfrastruktur

CIP Fondens udbygningsplan kræver i første fase anlægsinvesteringer for omkring 25 mia. kr. og indebærer udbygning af landbaseret brintløserinfrastruktur i Jylland. Rygraden ("backbone") i den landbaserede brintinfrastruktur går fra grænsen og op mod Egtved og dernæst via den jyske vestkyst op mod de mulige lagerfaciliteter i den tidligere gaskaverne i Lille Torup. For at kunne rumme de forventede mængder ved en fuld udbygning af brintproduktionen på basis af mulighederne for vedvarende energi, vil denne del af infrastrukturen kræve "48 brintløser. De øvrige dele af den landbaserede brintinfrastruktur ("fordelingsledninger") har mindre og varierende størrelser alt efter de forventede mængder.

Omkostningerne fordeler sig således, at 60% er direkte afledt af løseretableringen, mens de resterende 40% fordeler sig på omkostninger til forstærkninger af elnettet og kompressi-

Priskatalog

Brintinfrastrukturen består af en række hovedelementer, som nedenfor er oplyst i standardlængder og faste priser. Kataloget er baseret på Brinckmann (2023) og European Hydrogen Backbone (2022). Katalogets priser er inkl. etableringsomkostninger.

Element	CAPEX, mia. kr.	
24", brintløser, 100 km.	1,3	Onshore
36", brintløser, 100 km.	1,9	
48", brintløser, 100 km.	2,3	
Kompressor, 10 GW	5,5	
24", brintløser, 100 km.	1,9	Offshore
36", brintløser, 100 km.	2,8	
48", brintløser, 100 km.	3,4	

Kilde: COWI (2023b)



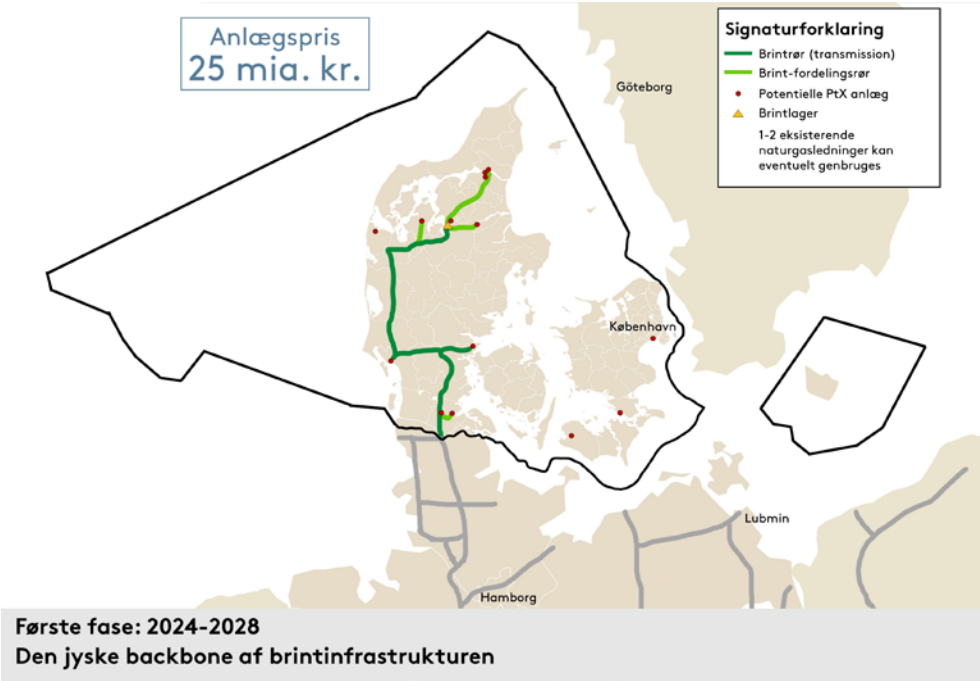


on til tryksætning af rørene. Tidsmæssigt vil nødvendigheden for kompression først opstå senere, når kapaciteten i infrastrukturen bliver udnyttet i højere grad. Selvom investeringselementet, som skal sikre tryksætning, tidsmæssigt tilhører denne periode, er det muligt at skubbe dette investeringselement, og dermed investeringsbehovet på 5,5 mia. kr., til behovet opstår i en senere periode.

MULIGE EKSTRA INVESTERINGER I DEN FØRSTE ETAPE AF UDBYGNINGEN

Den landbaserede brintinfrastruktur, som foreslås dimensioneret til fremtidigt behov, kan i sig selv fungere som lagerkapacitet for danske producenter, da der i de første år vil være mere plads i røret, end der er behov for. Når røret opnår en høj kapacitetsudnyttelse, kan kompressionen øge kapaciteten yderligere. Derudover er det også muligt at etablere et lager i saltkavernerne i Ll. Torup. Fra et markedsmæssigt perspektiv vurderes dette ikke nødvendigt, dog kan andre, f.eks. sikkerhedspolitiske interesser, være styrende for en sådan beslutning. At udnytte lageret i Ll. Torup kræver en forberedelse af lageret, som vil kræve en yderligere investering på 5 mia. kr.

Figur 7.1: Første fase udbygning af brintinfrastruktur, 2024-2028



Kilde: COWI (2023b)

Tabel 7.1: Anlægsinvesteringer og driftsomkostninger knyttet til brintinfrastrukturens første fase, 2024-2028

Investeringselement 2024 – 2028 (Fase I)	CAPEX, mio. kr. for perioden	OPEX, mio. kr. pr. år fuld udbygget
Transmissionsrør 48"/18 GW Sydjylland, "nedre T" 186 Km.	4.300	95
Transmissionsrør 48"/18 GW Vestjylland-Ll. Torup, 180 km.	4.100	92
Fordelingsrørledninger 4"-8"	1.400	42
Fordelingsledninger 10"-18"	2.500	75
Fordelingsledninger 20"-30"	2.800	84
Injiceret kompression	5.500	165
Elforsyning, forstærkning	4.000	40
I alt:	24.600	593

Kilde: COWI (2023b)

Tabel 7.2: Mulige merinvesteringer knyttet til brintinfrastrukturens første fase 2024-2028

Mulige ekstrainvesteringer i første etape 2024-2028	CAPEX, mio. kr. for perioden	OPEX, mio. kr. pr. år
Gaslager LI. Torup Forberedelse af top side, 3 kaverner	5.000	200

Kilde: COWI (2023b)

7.2. Investeringsbehov i anden fase 2029-2035 – etablering af energigør og en brintør

I anden fase af CIP Fondens udbygningsplan fordeler investeringsbehovet sig mellem aktiviteterne i Nordsøen og Bornholm og beløber sig til omkring 40 mia. kr. i anlægsinvesteringer. Etablering af den første brintør, Brintør Syd i Doggerbanke, er den største anlægsinvestering på 18,7 mia. kr. Anlægsinvesteringerne i fase II fordeler sig med omkring 3/4 i Nordsøen og 1/4 omkring Bornholm.

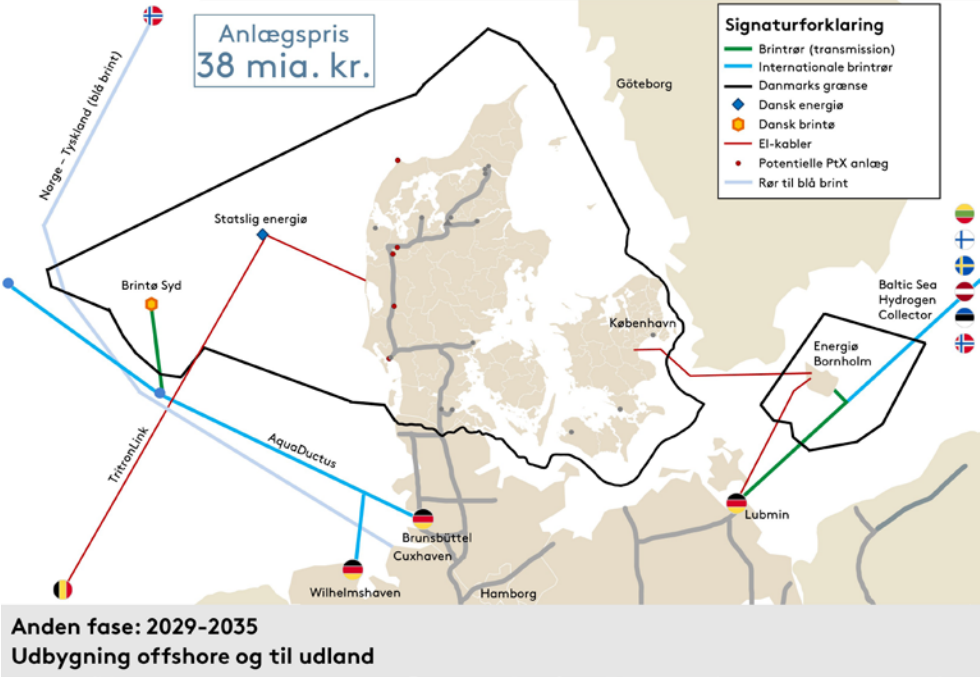
Mens infrastrukturudbygningen i Nordsøen er et forslag fra CIP Fonden, så er infrastrukturudbygningen omkring Bornholm allerede foreslået fra anden side. Det er CIP Fondens anbefaling, at brintinfrastrukturen fra Bornholm til Lubmin realiseres og udnyttes til eksport af grøn brint, hvorfor denne er medtaget i investeringsoversigten og i det samlede omkostningsbehov.

ANDRE MULIGHEDER FOR INVESTERINGER I FASE 2 (2029-2035)

I anden etape beskrives flere alternative forbindelser og dimensioneringsmuligheder. F.eks. kan Brintør Syd forbindes direkte til det tyske fastland i Brunsbüttel, hvis AquaDuctus ikke realiseres. Det vil øge omkostningerne

med tæt på 400% fra knap 3 mia. kr. til mere end 11 mia. kr. Det kan altså øge omkostningerne markant, hvis forbindelsen til land er nødvendig, hvorfor realiseringen af internationale projekter, som f.eks. AquaDuctus kan være centrale for infrastrukturens økonomi. I udbygningsplanen er anbefalingen, at røret mellem AquaDuctus og Brintør Syd bliver dimensioneret til 48". Et alternativt kunne være en mindre dimensionering til 36". Det vil næsten halvere rørets kapacitet, og besparelsen vil være på omkring 20%. Med de mængder, der forventes at skulle blive transporteret gennem dette rør, er en dimensionering til 48" nødvendig, som også kun kræver en relativ lav merinvestering sammenlignet med kapacitetsforøgelsen.

Figur 7.2: Anden udbygningsfase af brintinfrastruktur, 2029-2035



Kilde: COWI (2023b)

Tabel 7.3: Anlægsinvesteringer og driftsomkostninger knyttet til brintinfrastrukturens anden fase, 2029-2035

Investeringselement 2029-2035 (Fase II)	CAPEX, mio. kr.	OPEX, mio. kr.
Brintør Syd (15 GW)	18.700	374
Transmissionsrør 48"/18 GW Offshore, Brintør Syd – AquaDuctus (84 km.)	2.900	64,3
Offshore kompressorstation Brintør Syd - AquaDuctus	5.500	165
I alt Nordøsen	27.100	603,3
Transmissionsrør 36"/10 GW Offshore, Bornholm – Lubmin (162 km.)	4.600	103
Offshore kompressorstation	5.500	165
I alt Bornholm	10.100	268
I alt for anden fase	37.200	871,3

Kilde: COWI (2023b)

Tabel 7.4: Mulige alternativer knyttet til brintinfrastrukturens anden fase, 2029-2035

Alternative investeringslementer 2029 - 2035	CAPEX, mio. kr. (hele perioden)	OPEX, mio. kr. (årlig v/fuld indfasning)
Transmissionsrør 48"/18 GW Brintø Syd – Brunsbüttel, Tyskland (325 km).	11.200	249
Transmissionsrør 36"/10 GW Brintø Syd – Brunsbüttel, Tyskland (325 km).	9.300	206,7
Transmissionsrør 36"/10 GW Offshore, Brintø Syd – AquaDuctus (84 km.)	2.400	53,4

Kilde: COWI (2023b)

7.3. Investeringsbehov i tredje fase 2036-2045 – etablering af næste brintø og forbindelser

I tredje fase af CIP Fondens udbygningsplan fra 2036-2045 er der anlægsinvesteringer for omkring 67 mia. kr. Her udbygges med endnu en brintø, og der etableres kompressorstationer for at kunne øge kapaciteten i brintinfrastrukturen gennem øget tryksætning.

Her fordeler investeringsbehovet sig mellem aktiviteterne offshore i Nordsøen og onshore. Etableringen af Brintø Nord er den største anlægsinvestering på 26,7 mia. kr., og omkostningerne fordeler sig forholdsmæssigt med 90% i offshore og 10% onshore. En stor del af investeringsbehovet går til sammenlutning af infrastrukturen, som giver flere transportmuligheder for både brintøerne og den landbaserede produktion. Sammenslutningen indbefatter elforbindelser mellem de tre øer, som giver mulighed for transport af el til Danmark, Tyskland og Belgien, ligesom brintforbindelsen mellem Brintø Nord giver mulighed for at balancere brintinfrastrukturen ved spidslastperioder i hhv. Nordsøen

og på land. Synergieffekterne ved tilslutning kan være værdifulde, da de giver mulighed for at skifte mellem produktion af brint og el efter efterspørgsel og vindforhold, ligesom øerne får mulighed for at eksportere til flere markeder på elsiden, hvis dette skulle være fordelagtigt.

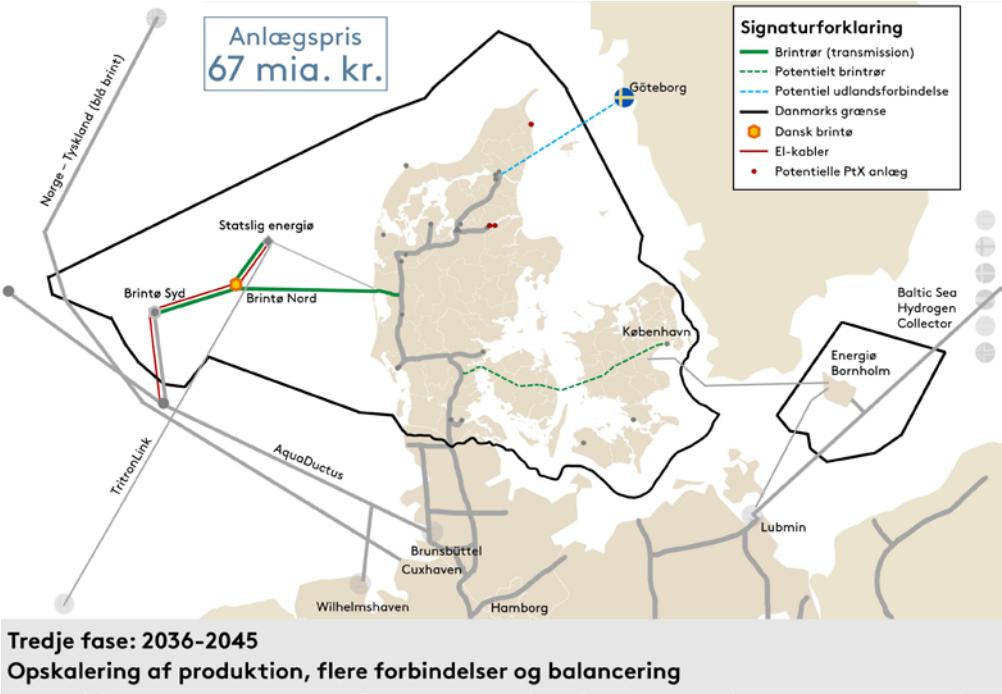
De interne elforbindelser er ikke nødvendige for infrastrukturen og en realisering af brintpotentialet. Men de kan være rentable investeringer, da energien, der bliver produceret, kan få en højere udnyttelsesgrad.

Tabel 7.5: Omkostninger knyttet til brintinfrastrukturens tredje fase, 2036-2045

investeringslement 2036 – 2045 (FASE III)	CAPEX, mio. kr. (hele perioden)	OPEX, mio. kr. (årlig ved fuld indfasning)	
Brintø Nord (15 GW)	26.700	530	Offshore
Elforbindelse Brintø Nord - Brintø Syd	5.000	50	
Elforbindelse Brintø Nord - Energiø	4.600	50	
Elforbindelse Brintø Syd – AquaDuctus	5.200	50	
Transmissionsrør 48"/18 GW Brintø Nord – Danmark (128 km).	4.400	98,4	
Offshore kompressorstation Brintø Nord - Danmark	5.500	165	
Transmissionsrør 36"/10 GW Brintø Syd – Brintø Nord (78 km.)	2.200	49,6	
Offshore kompressorstation Brintø Syd – Brintø Nord	5.500	165	
Transmissionsrør 36"/10 GW Brintø Nord – Energiø (53 km.)	1.500	33,7	
Transmissionsrør 48"/18 GW (33 km.) Vestkyst – backbone	800	16	Onshore
Kompressorstation 10 GW, Vestkyst	5.500	165	
I alt	66.900	1.372,7	

Kilde: COWI (2023b)

Figur 7.3: Tredje fase udbygning af brintinfrastruktur, 2036-2045



Kilde: COWI (2023b)

ANDRE MULIGHEDER FOR INVESTERINGER I FASE III (2036-2045)

Dedikeret brintproduktion på den politisk besluttede energiø kan ligeledes give anledning til en brintinfrastruktur direkte til land. Dimensioneres røret til 36" vurderes anlægskostningerne at være på 3,1 mia. kr. En sådan forbindelse anbefales som udgangspunkt ikke i CIP Fondens udbygningsplan, da Brintø Nord tidsmæssigt udbygges inden, der forventes at være ledig VE-kapacitet på energiøen til at retfærdiggøre dedikeret elektrolyse på øen.

Med et elkabel mellem Brintø Nord og energiøen vil energiøen fra start kunne udnytte overskudsstrøm, indtil mængderne gør det rentabelt at etablere elektrolyse på energiøen.

Til den tid har Brintø Nord allerede en overdimensioneret brintforbindelse til land, som Energiøen jf. udbygningsplanen kan tilkoble sig. Grundet kortere afstand har denne tilkobling kun halvt så høje omkostninger sammenlignet med en forbindelse direkte til land.

Muligheden for at etablere en tværgående brintforbindelse over Danmark, vil kræve en anlægsinvestering på 6,3 mia. kr., hvis denne forbindelse er pt. usikker, men da eventuelle mængder, der ville være behov for at transportere, er relativ lav, vil en tilsvarende dimensionering kunne være tilstrækkelig.

Tabel 7.6: Mulige alternativer knyttet til brintinfrastrukturens tredje fase, 2036-2045

Alternativer og ekstra investeringselementer 2036 – 2045 (FASE III)	CAPEX, mio. kr.	OPEX, mio. kr.	
Transmissionsrør 36"/10 GW Energiø – Danmark (110 km.)	3.100	70	Alternativ
Transmissionsrør 16" /1,5 GW Midtsjælland	6.300	189	Ekstra investering

Kilde: COWI (2023b)



7.4. Samlet investeringsbehov for brintinfrastruktur 2028-2045

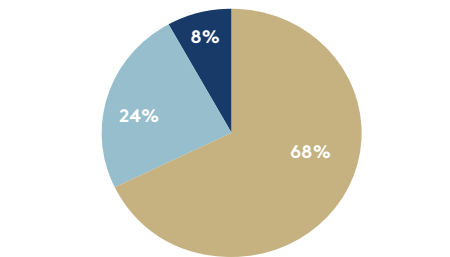
CIP Fonden foreslår udbygning af brintinfrastrukturen for omkring 130 mia. kr. i alt. Heraf vedrører godt 2/3 etablering af infrastruktur i Nordsøen, mens de øvrige dele vedrører transport af brint, der produceres på land baseret på vedvarende energi, der er landbaseret eller kystnær. Det svarer også nogenlunde til, hvordan produktionsmængderne af brint fordeles sig.

Til sammenligning er Femern Bælt-forbindelsens anlægsbudget på 52,6 mia. kr. (2015-priser) mens Storebæltsbroen i alt kostede 21,4 mia. kr. (1988-priser).

Sammenligner man anlægsinvesteringerne til brintinfrastrukturen med andre typer af energiinfrastruktur, er etaperne for brintinfrastruktur ikke væsentligt forskellige fra eksempelvis udvidelser af el-nettet.

Figur 7.4: Fordeling af samlede anlægsinvesteringer til brintinfrastruktur i perioden 2028-2045

Andel af investeringsbehov ≈ 130 mia. kr.



Nordsøen Landbaseret + Kystnær Bornholm
Kilde: COWI (2023b)

Fra 2022 til 2027 forventer Energinet at investere 25 mia. kr. i det dansk eltransmissionsnet. Dertil kommer investeringer i el-distributionsnettet, der frem mod 2030 vil koste mellem 41 og 62 mia. kr. fra elnetselskaberne. Energinets forventede investeringer er altså tidsmæssigt og størrelsmæssigt i omegnen af dem, som CIP Fonden foreslår i første etape af udbygningsplanen.

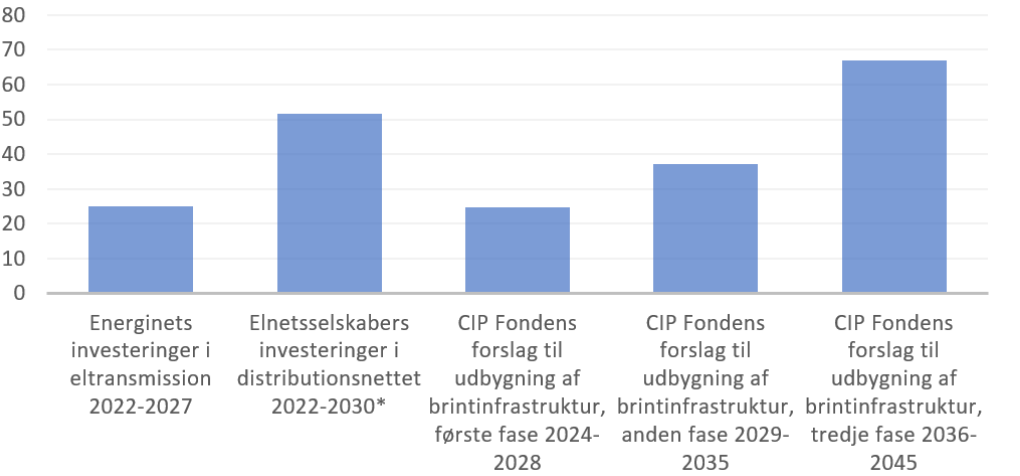
CIP Fondens forslag til brintinfrastruktur vil være Danmarkshistoriens største anlægsinvestering. Investeringen skal foretages over en 15-20-årig-periode, hvor energisystemet skal omstilles for at indfri klimamålsætningerne. Investeringen skal ses i lyset af det markante eksportpotentiale på 100 mia. kr. årligt, som kan bidrage til at finansiere fremtidens velfærdssamfund. Derudover vil brint som balanceringselement og aflastning af elnettet mindske behovet for over tid at udbygge el-nettet i takt med den stigende elektrificering.

Tabel 7.7: Samlede anlægsinvesteringer til brintinfrastruktur gennem perioden 2028-2045 og årlige driftsomkostninger ved fuld indfasning

Samlet investeringsbehov		
Fase	CAPEX, mio. kr. (samlet periode)	OPEX, mio. kr. pr. år
Første fase 2024-2028	24.600	593
Anden fase 2029-2035	37.200	871
Tredje fase 2036-2045	66.900	1.373
I alt:	128.700	2.837

Kilde: COWI (2023b)

Figur 7.5: Sammenligning af energiinfrastrukturinvesteringer, mia.kr.



Kilder: Energinet (2022) og COWI(2023b)

Risikoen ved at handle og etablere brintinfrastruktur

Kapitel 8

8.1. Mange slags risici knyttet til etablering af infrastruktur

Store infrastrukturprojekter er i sagens natur forbundet med en række risici. Den helt åbenlyse risiko er selvfølgelig tidsdimensionen, hvor der til en grøn brintinfrastruktur skal tages stilling til det forventede, fremtidige markedsbetrag og dermed dimensioneringen af infrastrukturen lang tid før, at markedet udfolder sig. Der er tale om en meget stor anlægsinvestering, hvor udgifterne især falder i startfasen og med relativt stor sikkerhed, mens gevinsterne indfinder sig over en længere tidsperiode og med større usikkerhed. Den form for risikotransferering over tid kan staten medvirke til at understøtte, bl.a. for at realisere de tilhørende klimaeffekter, jf. kapitel 9.

Efterspørgslen efter grøn brint kan fremmes gennem en række politiske beslutninger og krav om dekarbonisering (se også kapitel 1), som på forskellig vis er med til at bringe prisen på de fossile alternativer i vejret og gøre grøn brint relativt mere konkurrencedygtig. Et risikoelement er her, hvordan opfølgningen på og implementeringen af de politiske målsætninger i praksis skrider frem. Og om der i tide udvikles regulering for det kommende brintmarked.

Prisen på grøn brint afhænger især af prisen på den vedvarende energi, der er grundlaget for produktionen samt prisen på elektrolyseteknologien bag. Dertil kommer transportprisen gennem relevant brintinfrastruktur.

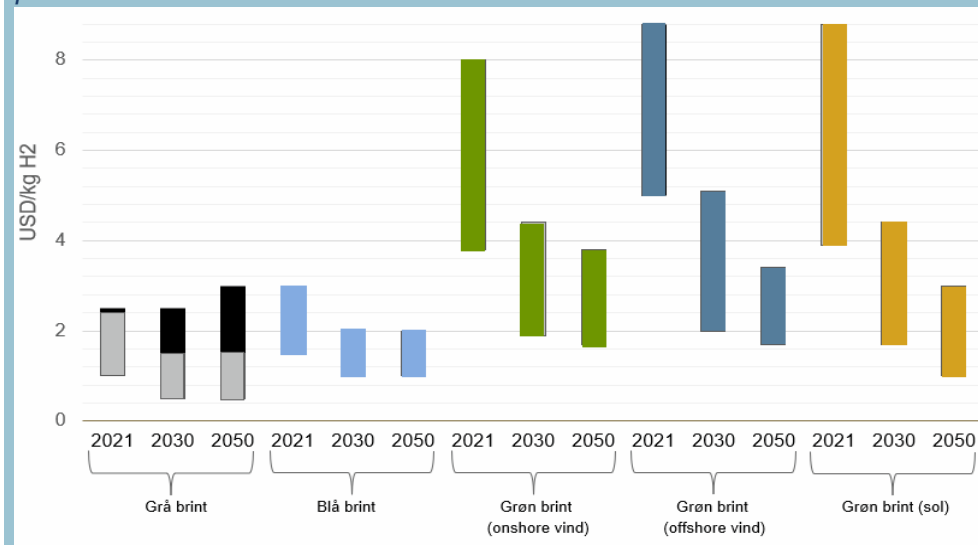
Boks 8.1: Prisen på grøn brint og den forventede udvikling

Grøn brint koster ifølge COWI omkring 3-6 USD pr. kg, mens fossilt baseret brint kun koster omkring 1,8 USD pr. kg. Er den fossile brint blevet klimaneutraliseret gennem CCS og tager form af blå brint, er prisen omkring 2,3 USD pr. kg, priserne varierer geografisk, fordi brint (uanset farve) bedst transporteres gennem rør og derfor typisk ses i forhold til et afgrænset, regionalt marked.

Der er mange prognoser for, hvordan priserne kan udvikle sig, og hvornår grøn brint bliver konkurrencedygtig prismæssigt med grå brint. Axelfuture forventer først, at det sker på et tidspunkt efter 2030, mens International Renewable Energy Agency (IRENA) forventer, at grøn brint bliver internationalt konkurrencedygtig op mod 2030 til en pris omkring 2 USD pr. kg. Dette er også konklusionen hos IEA, der ser muligheder for, at grøn brint baseret på solenergi kan falde til omkring 1½ USD pr. kg i 2030, mens grøn brint baseret på offshore vind potentielt kan nå ned omkring 1¼ USD pr. kg og dermed være i et omkostningsspænd, hvor der i nogle tilfælde kan konkurreres med grå og blå brint. Grøn brint produceret på dansk territorium er i den nedre del af omkostningsskønnet.

Kilder: COWI, Axelfuture (2023), IRENA (2021) og IEA (2022)

Figur 8.1: Forventet prisudvikling for brint fordelt på energityper, som brinten produceres af



Kilde: IEA (2022)

Men der er også andre risikoelementer knyttet til at etablere en brintinfrastruktur. Der vil være stor international konkurrence om de samme ressourcer, hvad enten det handler om kapital, arbejdskraft eller råstoffer, til ikke blot brintmarkedet, men til mange andre elementer i den grønne omstilling, fx etableringen af tilstrækkelige mængder vedvarende energi.

Etableringen af infrastrukturen indebærer også risici knyttet til planlægning og til efterfølgende drift og sikkerhed. Dertil kommer forhold under anlægsfasen i forhold til mulige miljøpåvirkninger og lokal accept. Se figur 8.2 for et overblik over mulige risikoelementer knyttet til etablering af brintinfrastruktur, som uddybes gennem kapitlet og diskuteres i forhold til mitigerende tiltag og muligheder for at gøre infrastrukturbeslutningen mere robust.



Figur 8.2: Risikoelementer ved udvikling af brintinfrastruktur – intens konkurrence om de samme ressourcer og afhængighed af politiske drivere



Kilde: Egen illustration

8.2. Teknologiudviklingen skal understøtte markant opskalering

Det kommende brintmarked er afhængigt af, at der sker en fortsat teknologisk udvikling af den bagvedliggende elektrolysekapacitet og elektrolysekvalitet, som kan være med til at nedbringe omkostningerne ved brug af teknologien og gøre den relevant til stordrift. Prisen på elektrolyse er faldet 60 pct. siden 2010, og IEA (2022) forventer, at prisen kan falde med yderligere 70 pct. frem mod 2030.

EUROPA ER BLANDT DE FØRENDE PRODUCENTER AF ELEKTROLYSEKAPACITET

Udviklingen drives frem med en vis geografisk spredning især af Europa, USA og Kina, hvor

13 af de 20 største udviklere aktuelt er i Europa, heraf to i Danmark, jf. figur 8.3.

Selv om udvikling af teknologien bag elektrolyse over tid vil bringe omkostningerne ned, udgøres hovedparten af produktionsomkostningerne af prisen på grøn strøm, jf. IRENA (2021).

Det er samtidig vigtigt, at teknologien bag elektrolyse udvikles til at kunne bruge vand, der ikke kræver så høj renhedsgrad som i dag, hvor det typisk kun er drikkevandsreserver, der lever op til elektrolysekravene. Ellers vil verdens behov for grøn brint også medføre pres på drikkevandsressourcerne.

BEHOV FOR OPSKALERING AF ELEKTROLYSEPRODUKTIONEN

Den største udvikling på teknologisiden er

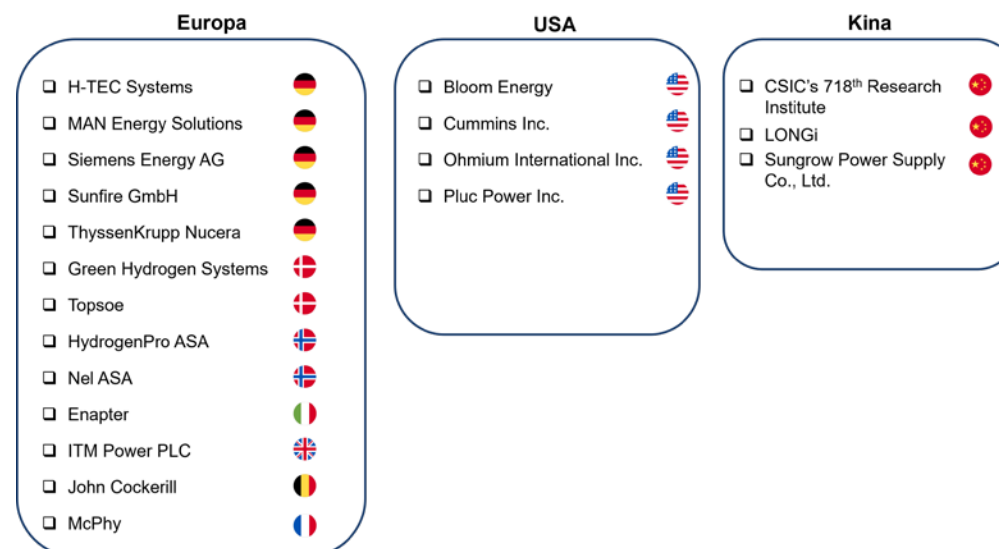
nok at opskalere produktionen og installation af elektrolyse (up-ramping) til den meget markante efterspørgsel, som samtidig ventes inden for et relativt snævert tidsvindue. Derfor handler det også om produktionsoptimering og logistik. Se bl.a. kapitel 2 for krav til installation af elektrolysekapacitet for at indfri de politiske målsætninger.

Når der skal udbygges nye energiformer med tilhørende energinfrastruktur, som vil indebære markante investeringer, anlæg af irreversibel karakter og præge markedet mange år fremover, skal der inden tages højde for omkostninger og risikoprofil ved mulige alternativer.

Klimarådet (2023) peger på, at batterilagring, brændselsceller eller andre former for lagring (fx termisk), hvor der også sker stor teknolo-

gisk udvikling, kan udgøre alternativer, når det gælder balancering (lagring af el i perioder med maksimal produktion af vedvarende energi, som så kan tilpasses til efterspørgslen for strøm til den direkte elektrificering). Og flere af disse løsninger skal sandsynligvis også i brug sideløbende. Men brint (og afledte Power-to-X-produkter) har ikke så mange alternativer¹, når der gælder energi til energintensive industriprocesser og til tung transport, der også er omfattet af dekarboniseringsmål. Derfor vil fremtiden bringe et større miks af energityper og -teknologier, hvor brint vil spille en stor rolle.

Figur 8.3: De 20 største producenter af elektrolysekapacitet ses i Europa, Kina og USA



Kilde: Blackridge Research and Consulting (2023): Global Top 20 Hydrogen Electrolyzer Manufacturers, 31. marts 2023

¹ Blandt grønne teknologier nævnes også udbygningen af mindre anlæg drevet af atomkraft samt udvikling af fusionsenergi, men udviklings- og etableringstiden, før dette kan ske i kommerciel skala, kan ikke forventes i tide til at drive den grønne omstilling.

8.3. Politiske mål skal følges op af implementering og klare, smidige processer

Som beskrevet tidligere er der store politiske ambitioner for dekarbonisering af samfundet med tilhørende målsætninger, sektorkrav, CO₂-afgift, iblandingskrav osv. både nationalt og på EU-niveau. Her er der forskellige grader af konkretisering og implementeringsplaner og et klart behov for, at målsætningerne følges troværdigt op og føres ud i livet.

I takt med, at konsekvenserne og omkostningerne ved den grønne omstilling indfinder sig, bl.a. i form af højere priser på energi, kan der opstå kritik og politisk pres for at slække på målene, ændre implementeringen mv. Kritiken sås bl.a. i Frankrig i 2018 med modstand fra "de gule veste" mod stigende brændstofpriser (højere skatter på fossile brændsler) og de fordelingsmæssige virkninger heraf.

Der er derfor en politisk risiko i forhold til at gennemføre ambitionerne og anviser de nødvendige tiltag for at realisere målene. Omvendt er der bundet så meget politisk kapital op på målsætningerne og konsekvenserne – menneskeligt, geografisk og økonomisk – af klimakrisen, og stigende temperaturer er så markante, at der skal handles. Det er en løbende opgave at forklare og vise sammenhængen mellem klimatiltagene og konsekvenserne af, hvis de ikke gennemføres.

UDVIKLES REGULERINGEN IKKE I TIDE, SÆTTER DET SIG I ØGET RISIKO OG ØGEDE OMKOSTNINGER

En så hurtig udbygning og omstilling, som de politiske målsætninger og erklæringer forudsætter, kræver også en tilsvarende hurtig

udvikling af regulering og rammevilkår, så markedsaktørerne får en forståelse af, under hvilke forudsætninger de skal agere. Som beskrevet i kapitel 5, er det et konkurrencevilkår landene imellem, og fravær af rettidig udvikling af reguleringen og rammevilkår vil modsat fordyre omstillingen gennem øgede risici i udbygningen eller forårsage, at udbygningen slet ikke gennemføres.

Et element under den rettidige udvikling af reguleringen er klarhed over de tilhørende procedurer og tidsplaner, så markedsaktørerne kan se, hvilke krav de mødes med, og planlægge efter, hvad de kan forvente af sagsbehandlingstider og godkendelsesprocesser. Ellers fordyres udbygningsplanerne yderligere. Med EU's Green Deal Industrial Plan fra februar 2023 har man på europæisk plan bl.a. ønsket en forudsigelig og forenklet regulatorisk tilgang til de nødvendige investeringer i den grønne omstilling, som fx skal indeholde fast-track tilladelser, tidsfrister for sagsbehandling, simplere godkendelsesprocesser (med one-stop shop procedurer for vigtige teknologier som vind- og solenergi) og understøtte den gradvise reguleringsudvikling, som beskrevet i kapitel 2.

Det indebærer, at nogle processer skal køre sideløbende og overlappende frem for successivt for at afkorte den samlede sagsbehandlingstid med risiko for, at en godkendelsesproces har været forgæves, hvis et projekt stoppes af en anden godkendelsesproces. I Danmark blev der i marts 2023 etableret en ny energikrisestab, NEKST, der skal håndtere den praktiske og tværgående koordination mellem myndigheder i forhold til energipolitiske udfordringer, som fx udfasning af gas, udrulning af fjernvarme og gøre det lettere at opføre vedvarende energi-anlæg.

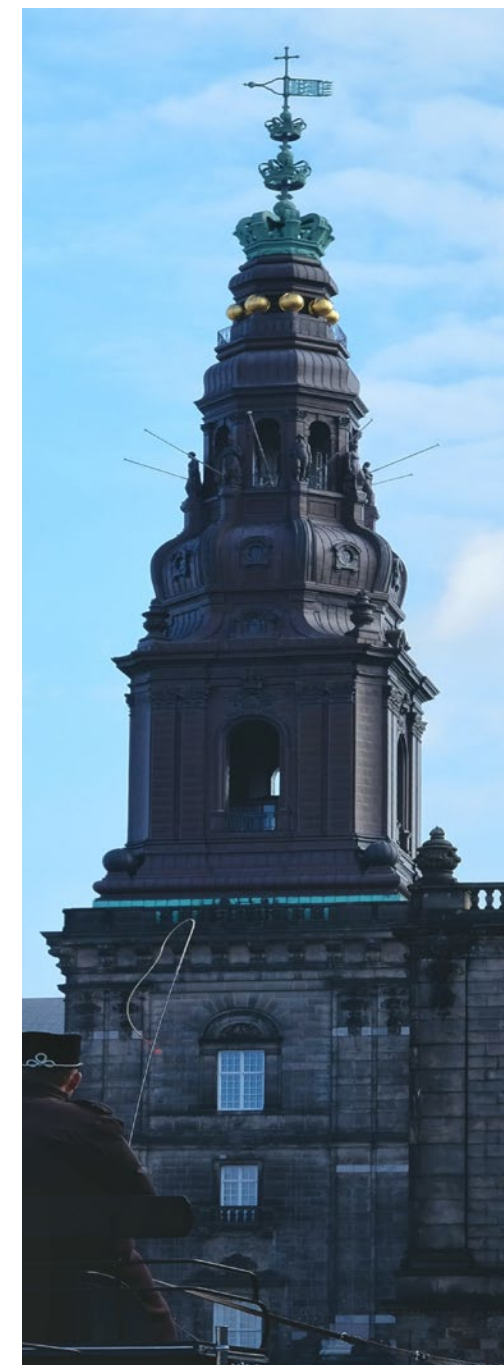
POLITISKE MÅL FOR UDBYGNING AF VEDVARENDE ENERGI NØDVENDIGGØR EKSPORT, MEN ER STATEN KLAR TIL AT TAGE RISIKO HER?

Endelig er der spørgsmålet om mulig risikotagning fra statens side og medfinansiering af brintinfrastrukturen. Brintinfrastrukturen adskiller sig fra anden energiforsyning, vi har i Danmark, ved i mindre grad at skulle servicere nationale behov og forsyningsikkerhed og i langt højere grad servicere energi- og sikkerhedsbehov hos vores nærmeste naboer gennem eksport. Med politiske målsætninger for produktion af vedvarende energi, der langt overstiger det nationale behov, og i en grad, hvor det nationale el-net og el-nettet hos vores nærmeste naboer ikke uden større opgraderinger vil kunne modtage den vedvarende energi, er der behov for at producere brint.

Udbygningen og dimensioneringen af brintinfrastrukturen handler derfor om, i hvor høj grad man kan kombinere kommercielle forretningsmodeller og et gryende marked med politiske ønsker om udbygning af vedvarende energi og behovet for afløftning af risiko i startfasen, som beskrevet i kapitel 5.

8.4. Stærk international konkurrence om de samme inputfaktorer

Når der skal opbygges brintinfrastruktur og tilhørende vedvarende energi og brint/Powerto-X produktion, er der brug for en række ressourcer, som der er stærk konkurrence om – ikke bare i Danmark og i forhold til vores nærmeste naboer, men også internationalt inden for EU og globalt.



STORT FINANSIERINGSBEHOV OG GRØN KAPITAL TIL RÅDIGHED – NU SKAL ENDERNE MØDES

Investeringsbehovet i forhold til den grønne omstilling er så markant, at adgangen til kapital og forskellige finansieringsmodeller kan være en begrænsende faktor. Finanssektorens Klimapartnerskab (2020) har vurderet, at 70 pct. målsætningen i Danmark i 2030 alene forudsætter investeringer for 600 mia. kr., hvoraf en stor del skal gå til udbygning af vedvarende energi. CIP Fondens forslag til etablering af en sammenhængende brintinfrastruktur indebærer anlægsinvesteringer på omkring 130 mia. kr i over de næste to årtier.

De danske pensionskasser gav allerede i 2019 tilsagn om, at de ville investere 350 mia. kr. (55 mia. USD) i vedvarende energi, og efterfølgende har pensionskasser i Norden og UK tilsammen ved COP 26 lovet at investere 835 mia. kr. (130 mia. USD) i grøn omstilling. Grønne investeringer fylder også i andre dele af den finansielle sektor, herunder kapitalfonde og risikovillig privat kapital målrettet tidlige vækstfaser, som efterspurgte kommercielle projekter.

I Danmark understøttes grøn omstilling fra staten bl.a. gennem Danmarks Eksport- og

Investeringsfond (EIFO), som ud over at tilbyde eksportkreditfinansiering også tilbyder risikovillig grøn kapital. Og med Grønt Marienborgmøde d. 19. april 2023 blev det foreslået, at realkreditinstitutterne fremover også skal kunne medfinansiere havvindmølleparker længere væk fra kysten med et anslået finansieringsbehov egnet til realkreditbelåning på over 200 mia. kr. ifølge Erhvervsministeriet.

Som det fremgik af kapitel 2, har EU også et stærkt fokus på risikovillig kapital og på at få midlerne hurtigere ud til relevante investeringer som supplement til mulighederne for forsknings- og udviklingsstøtte. Bl.a. gennem European Hydrogen Bank. EU-Kommissionen har desuden foreslået European Sovereignty Fund (Suværenitetsfonden) at investere i R&D og konkrete industrielle projekter, hvor det overvejes, hvordan man bedst får midlerne kanaliseret ud.

KONKURRENCE OM ARBEJDSKRAFT TIL DEN GRØNNE OMSTILLING

Behovet for arbejdskraft til at understøtte den grønne omstilling har længe været en udfordring. Det er ikke noget nyt, som kommer af behovet for udbygning af brintinfrastruktur og brint/PtX-produktion. Etablering af vedvarende energi i form af solcelleparker, vindmøller osv. kræver også arbejdskraft med forskellige kompetencer.

De helt specialiserede kompetencer med viden om elektrolyse osv. vil især indledningsvist være meget knappe ressourcer, i takt med, at teknologien og skaleringen er under opbygning, mens der på andre områder er behov for eksempelvis faglært arbejdskraft, der også er relevant for andre sektorer. Fx er der på nogle stræk ikke så store forskelle på den arbejdskraft, der fx etablerer olieplatforme og dem, der etablerer havvindmølleparker.

Efterspørgslen efter den nødvendige arbejdskraft er både lokal i forhold til konkrete anlæg, men i høj grad også international, idet der er planer om at etablere brintinfrastruktur på nogenlunde samme tid på tværs af en række forskellige lande. HBS Economics (2022) har set på danske forhold og jobopslag med krav om grønne kompetencer og peger især på behovet for flere faglærte (fx inden for jern og metal, bygge og anlæg, teknik, samt jordbrug og fiskeri), men også for personer med videregående tekniske uddannelser og i nogle tilfælde også samfundsvidenskabelige. Se også Erhvervsministeriet (2023) for en beskrivelse af arbejdskraften knyttet til grøn omstilling.

Stor international konkurrence om den samme arbejdskraft inden for en kort årrække gør det sværere at uddanne, om- og opkvalificere arbejdskraften i tilstrækkeligt omfang, hvilket alt andet lige kan føre til stigende lønninger

og øgede omkostninger ved udbygningen.

Jo tydeligere planlægning og tidsprofil, der kan etableres og kommunikeres for de forskellige faser og udbygningsetaper af en brintinfrastruktur, jo større mulighed er der for at tilrettelægge opkvalificering og for arbejdskraften at flytte sig hen til den nye efterspørgsel og med de rette kvalifikationer. Værdien af tidlig planlægning og kommunikation smitter også af på de øvrige ressourcer, der skal i spil til at etablere infrastrukturen.

VINDMØLLER OG SOLCELLER KRÆVER SJÆLDNE METALLER, SOM KUN FINDES FÅ STEDER OG GENNEM KOMPLICEREDE FORSYNINGSKÆDER

Den grønne omstilling, og herunder også den kommende produktion af brint, infrastruktur og udbygning af vedvarende energi, forudsætter også tilstrækkelig adgang til råstoffer

Den grønne kapital synes til stede, så udfordringen er at få den kanaliseret ud til projekter gennem finansieringsmodeller, der er relevante for private aktører. Finansieringen skal passe ind i projekternes risiko- og tilbagebetalingsprofil. Her kan der være behov for at fremme kendskabet til finansieringsmekanismerne og gennem dialog med fagpersoner at få "oversat" vilkårene til at matche de grønne projekter.



og sjældne metaller. Ikke bare glasfiber, beton og stål, som måske umiddelbart rammer nethinden, når man tænker på vindmøller, men også forskellige sjældne jordarter, når der skal udbygges forskellige former for vedvarende energi². Udfordringen forstærkes af, at tilstedeværelsen af de sjældne og kritiske råstoffer er koncentreret hos nogle få lande. Verdens lagre af sjældne jordarter, der kan udvindes, er i 2022 vurderet til 130 mio. ton, hvor Kina, Rusland, Vietnam og Brasilien tilsammen står for 80 pct., jf. Økolariet.

EU har på den baggrund udformet en forordning om kritiske råstoffer (marts 2023)³, som styrker genanvendelsen af råstofferne og skal understøtte mere europæisk kapacitet og reducere afhængigheden af import fra få, enkeltstående lande. Nylige og store fund i Nord-Sverige af sjældne jordmetaller understøtter den grønne omstilling i Europa og stør-

re autonomi på sigt, men jf. Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer (MiMa)⁴ under GEUS er udfordringen i den nærmeste årrække, at de teknologier og virksomheder, der skal forarbejde råstofferne, fra de kommer op af jorden, og til de er anvendelige som inputprodukter, er domineret af Kina. Så der er behov for at gøre forsyningskæderne mere robuste.

KONKURRENCEN OM STÅL TIL DEN GRØNNE OMSTILLING ØGER PRESSET FOR BESLUTNINGER

Blot det at få stål nok til produktion af brintrør kan være en udfordring. Især hvis stålet også skal være grønt, hvilket fx forudsætter grøn brint. Der er relativt få producenter af brintrør, og som det fremgik af kapitel 2, er der mange forskellige projekter blot i Europa nogenlunde samtidigt alene frem til 2030, som forudsætter nye eller retrofittere

de rør. Den store trængsel i efterspørgslen øger kravene til at bestille i god tid og med garanteret finansiering, hvilket igen kun øger udfordringerne med manglende koordinering af tidslinjen mellem forskellige typer af beslutninger (tidsinkonsistens) som beskrevet i kapitel 5. Skal dele af en dansk brintinfrastruktur eksempelvis kunne stå færdig i 2028, vil det kræve bestilling af stålrør inden for en overskuelig tidshorisont. Træffes beslutningerne om en infrastruktur først på et senere tidspunkt, vil den mulige ibrugtagning bl.a. blive dikteret af, hvornår der kan leveres brintrør.

SUPPORTERENDE HAVNEINFRASTRUKTUR KAN OGSÅ BLIVE KAPACITETSUDFORDRET

Hvad enten der skal udbygges vedvarende energi, brintinfrastruktur eller brintproduktion, er relevante og ledige havnefaciliteter ofte en knap ressource som led på vejen til at ind- og udskibe de nødvendige elementer og komponenter. Når det gælder aktiviteter i Nordsøen eller Østersøen, er danske havne i konkurrence med udenlandske havne, men også indbyrdes om at have de nødvendige faciliteter, plads, dybde mv. Ledige kvm på havnearealer er også efterspurgt til etablering af eksempelvis brint- og Power-to-X-produktion. Her kan en mere koordineret tilgang om at kunne tilbyde de nødvendige faciliteter være en vej frem.

RISIKO FOR FLASKEHALSE FREMMES AF POLITISKE MÅLSÆTNINGER FOR BESTEMTE ÅRSTAL

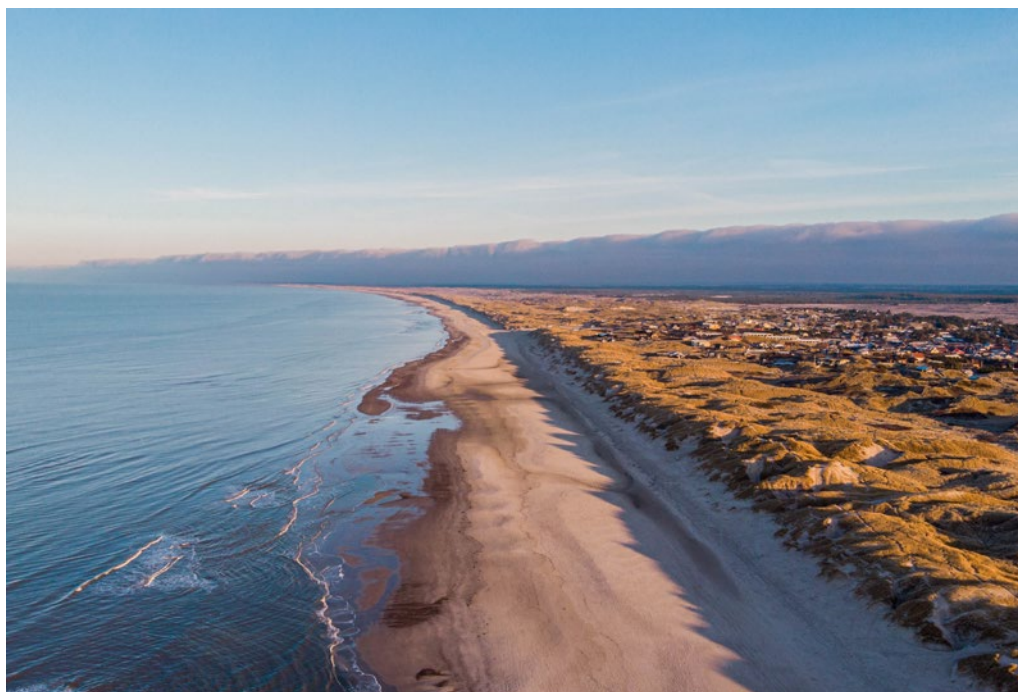
Det forhold, at stort set alle har klimamålsætninger, der skal realiseres nogenlunde samtidig flere steder rundt omkring i verden, gør timingen af udbygningen vanskelig. Blot inden for EU er der mange projekter, som eksempelvis har færdiggørelse på stort set samme tid omkring 2030, hvilket også øger risikoen for flaskehalse i etableringen. Når der er bundet meget politisk kapital op på

bestemte mål i bestemte år, bliver tid en af de knappe ressourcer, som presser markedsudviklingen. Og som giver ekstra værdi til rettidig planlægning af infrastrukturen, der skal understøtte udbygningen af den vedvarende energi.

STATSSTØTTE KAN FLYTTE UDVIKLING OG PRODUKTION

Kombinationen af en begrænset tidsperiode til at forestå udbygningen samt et begrænset antal markedsdeltagere på verdensplan gør, at der kommer et særligt fokus på, hvem der har de mest klare udbygningsplaner med understøttende rammevilkår. USA har fx valgt at subsidiere produktion af brint og PtX-produkter som led i Inflation Reduction Act, hvor statsstøtten i nogle tilfælde kan gøre brinten konkurrencedygtig i Europa trods dyr transport og samtidig være med til at flytte markedsinteressen til USA i en årrække, mens der udvikles ny teknologi. Se bl.a. CIP Fondens Markedsvurdering (2023). EU har som modsvaret gennem sin Green Deal Industrial Policy bl.a. arbejdet med kortere sagsbehandlingstider og styrket adgang til grøn finansiering.

Effektive processer, tydelige tidsplaner, koordineret planlægning af infrastrukturen og andre former for de-risking er konkurrenceparametre, hvor staterne – ud over direkte subsidier – også har mulighed for at påvirke markedsinteressen.



² Se fx MiMa (2021) om sjældne jordartsmetaller og forsyningskæder. Til fremstilling af en stor vindmølle bruges omkring 1 tons sjældne jordarter, jf. Økolariet.

³ Se bl.a. EU Kommissionens Factsheet on European Critical Raw Materials Act (europa.eu)

⁴ DR interview med Per Kalvig, centerleder på Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer d. 12. januar 2023.

8.5. Planlægning og konstruktion af infrastrukturen byder også på risici i sig selv

Brintinfrastruktur udgør en anlægsinvestering af et betydeligt og irreversibelt omfang, når rørene først er gravet ned eller lagt ud på havbunden. Så kan infrastrukturen ikke flyttes eller transportere mere, end det er dimensioneret til⁵. Det stiller ekstra store krav til planlægningen og til, at man har fundet de mest optimale geografiske placeringer, hvor der er taget højde for andre arealanvendelser og valgt de mest oplagte og omkostningseffektive transportdistancer mellem produktion og aftagersteder.

DIMENSIONERING TIL FREMTIDENS BEHOV ER I SAGENS NATUR USIKKERT

For at få optimeret mest muligt i forhold til efterspørgselssiden og markedsaktørernes behov, samt minimere risikoen for planlægningsfejl, bør aktørerne inddrages i planlægningen af den kollektive del af infrastrukturen og i øvrigt have økonomisk medansvar for de valgte parametre.

Når der samtidig skal tages højde for dimensionering til fremtiden og det potentielle fremtidige transportbehov, kan staten inddrage sin viden om planlagte arealer til vedvarende energi fremover og det fremadrettede behov for direkte elektrificering i Danmark og til udlandet via eksisterende og planlagte interconnectere. Så kan man i et vist omfang regne baglæns i forhold til, hvor meget vedvarende energi der i så fald vil være i overskud til produktion af brint, hvor denne energi befinder sig, og tage forbehold for, hvor meget heraf der skal direkte videreføres til Power-to-X produkter.

Den geografiske placering af brintinfrastrukturen skal matche nuværende og kommende producenter og aftageres placering. Når aktørerne vælger lokation for brint- og evt. PtX-produktion, skeles der til, hvor der er adgang til store mængder vedvarende energi (eller kan blive det), adgang til transport og lagring af brint (brintinfrastrukturen), plads til faciliteter om el-nettet er tilstrækkeligt robust, adgang til vand, og om der er nærhed til fjernvarmenettet eller andre mulige aftagere af den overskudsvarme, der opstår i forbindelse med elektrolyseprocessen.

Er der tale om private linjer, bærer de kommercielle parter selv risikoen ved eventuel fejlplacering eller -dimensionering i forhold til behovet, nu og fremover.

ENERGIPOLITIK ER BLEVET TIL SIKKERHEDSPOLITIK – OGSÅ NÅR DET GÆLDER OVERVÅGNING AF INFRASTRUKTUR

Opmærksomheden på overvågning og sikkerhed af energiinfrastruktur, herunder især kritisk infrastruktur, er vokset i lyset af sabotagen på Nordstream I og II. Dette gælder uanset, om energiinfrastrukturen fragter elektricitet, naturgas og biogas eller brint. Og behovet må forventes at være af mere permanent karakter. I Danmark har øget overvågning og sikring af energiinfrastrukturen været rejst som tema for de forhandlinger om forsvarsforliget med forhøjede rammer for forsvaret, der forventes påbegyndt i maj 2023, ligesom sikkerhedskrav til markedsaktørerne må forventes at være en del af kommende udbud for såvel udbygning af vedvarende energi som brintinfrastruktur og etablering af energilø-konstruktioner.

En måde at gøre udbygningen af infrastrukturen mere robust på i forhold til kommende behov, er at *udbygge i etaper*, og på en måde, hvor hver etape ikke er direkte afhængige af kommende etaper, men kan fungere ud fra, hvad der foreligger på det tidspunkt. Hver etape skal så vidt muligt have karakter af no-regret beslutning. Dette er også udgangspunktet for CIP Fondens forslag til brintinfrastruktur.



⁵ Dimensioneringen kan til en vis grad styrkes gennem øget tryksætning af røret, hvilket dog vil medføre løbende omkostninger til kompressorstationer

8.6. Andre forhold, der påvirker udbygningen af brintmarkedet og infrastrukturen

ANLÆGSPROJEKTER KAN PÅVIRKE NÆRMILJØET UNDER ANLÆGSFASEN OG NOGLE GANGE OGSÅ VARIGT

Når der etableres store anlæg, hvad enten det drejer sig om infrastruktur, anlæg til vedvarende energi eller produktionsanlæg til brint og Power-to-X, vil det kunne have miljø- og bæredygtighedsmæssige implikationer, enten af midlertidig karakter eller mere varigt. Her er regulering på plads til at kræve de nødvendige forundersøgelser⁶.

I Danmark er der gode erfaringer med at anlægge Storebælt-, Øresund- og Femern Bælt forbindelserne på en måde, så negative miljøpåvirkninger undgås gennem omhyggelig planlægning, afværgeforanstaltninger, som fx etablering af nye stenrev og etablering af ny natur eller erstatningsnatur. De store anlægsetableringer strækker sig både over land og vand, og erfaringerne kan videreudvikles til brintrørsinfrastruktur. Det samme gælder erfaringerne fra etablering af Baltic Pipe (naturgasforbindelse fra Polen og tværs over Danmark til Nordsøen), hvor gasledningen bl.a. passerer igennem tre Natura 2000 områder, der er internationalt beskyttede naturområder⁷. Det skete med styret underboring, så projektet ikke berørte den sårbare natur. Og på projektniveau er Verdensnaturfonden og Ørsted gået sammen om at genoprette vitale økosystemer i havet i synergi med udbredelse af havvind via nye rev for østers og hestemuslinger som led i vindmøllernes fundamenter.

Det kan overvejes, om det er muligt at slå nogle af de nødvendige områder for erstatningsnatur sammen, som eventuelt kan kræves i forbindelse med lokale etaper af brintinfrastrukturen, så der kan opnås større og mere sammenhængende naturområder som kompensation for eventuelt erstatningsbehov afledt af de forskellige etaper af brintinfrastrukturen.

DEN LOKALE BEFOLKNINGS OPBAKNING HÆNGER BL.A. SAMMEN MED, HVORDAN GEVINSTERNE FORDELER SIG

Den potentielle påvirkning af nærmiljøet er også af stor betydning for den lokale accept af anlægsprojekterne. Her spiller andre forhold, som fx det visuelle indtryk, samt om der er sammenhæng mellem, hvem der lokalt bærer disse former for eksterne omkostninger ved de grønne anlæg, og hvem der opnår gevinster ved det, også ind på mulighederne

for lokal forståelse for udbygningen. Hvis der er lokal modstand, forsinkes udbygningen, og omkostningerne stiger tilsvarende. Generelt er der forståelse og opbakning til grøn omstilling i befolkningen, og opbakningen kan være blevet styrket i lyset af Ukraine-krisen og behovet for europæisk energiuafhængighed. I Concitos undersøgelser svarer over 2/3, at de i meget høj grad, høj grad eller nogen grad fx er villige til at acceptere store havvindmølleparker nær deres bopæl, og accepten gælder geografisk på tværs af landet. Den relativt høje tilslutning ses på tværs af vedvarende energiformer, jf. figur 8.4.

Trods den generelt høje opbakning er mediebilledet ofte præget af historier om lokal modstand, når projekterne bliver konkrete ("not in my backyard", NIMBY). Ifølge Eurowind Energy er det exceptionelt sjældent, at der opstilles landvind eller solcelleparker uden

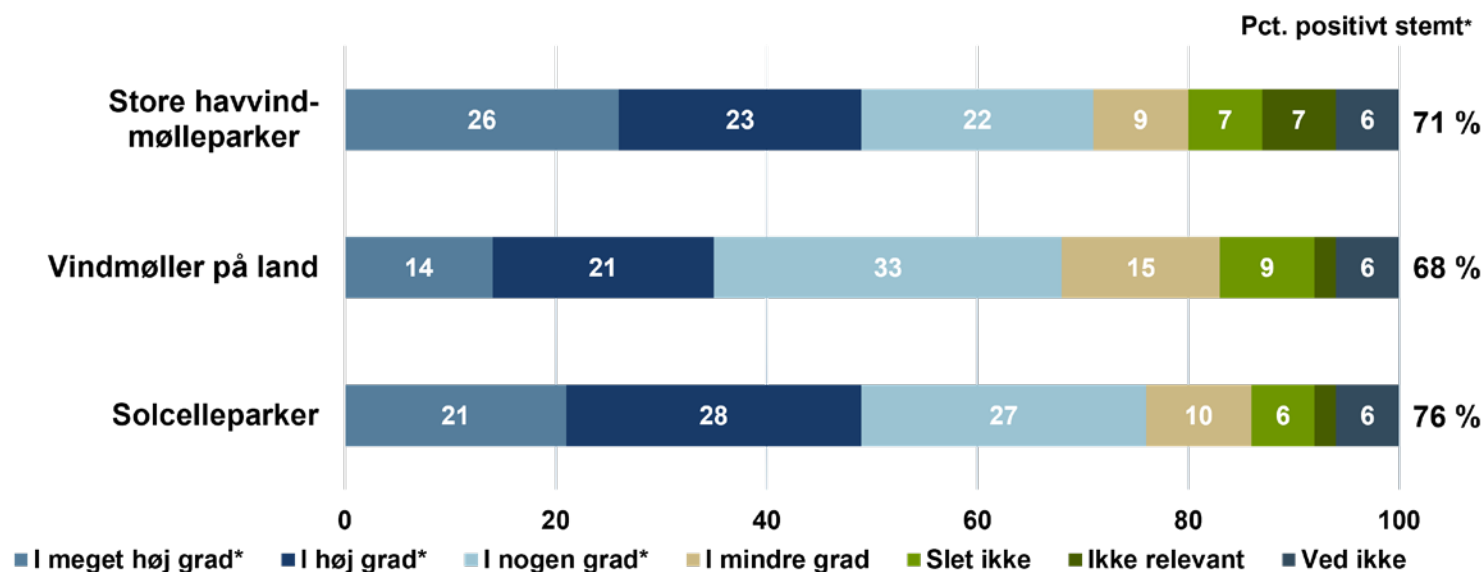
protester fra lokale, men der er eksempler på det⁸. Green Power Denmark fremhæver lokalt medejerskab som en af nøglerne til at fremme opbakningen⁹ og en måde at dele gevinsterne med de direkte påvirkede.

Med grundig planlægning og inddragelse af lokalbefolkningen er det muligt at etablere en brintinfrastruktur i Danmark, hvor oplevede, negative implikationer håndteres i en kombination af muligheden for at opkøbe andele i energianlæg, med etablering af kompenserende naturområder, rekreative stier mv.

BRINT ER BASERET PÅ STORE MÆNGDER VAND AF HØJ KVALITET

Endelig er der det grundlæggende forhold, at brint produceres gennem spaltning af vand. Dvs. at der – ud over strøm fra vedvarende kilder – skal være tilstrækkelige mængder af vand til rådighed for produktion af brint. For

Figur 8.4: Danskernes accept af vedvarende energi (anlæg) i nærheden af bopælen, 2022



⁶ Der skal udarbejdes en strategisk miljøvurdering af den nationale plan for en brintrørsinfrastruktur, som fastlægger rammerne for fremtidige anlægstilladelser for at indarbejde hensyn til bl.a. natur og biodiversitet. På projektniveau udarbejdes en miljøkonsekvensvurdering (VVM-redegørelse), inden bygherren får tilladelse til at påbegynde den konkrete etape af brintinfrastrukturen.

⁷ Der er i alt 250 udpegede Natura 2000 områder i Danmark, som tilsammen udgør 9 pct. af det danske landareal og 26 pct. af det danske havareal.

⁸ Altinget, 18. april 2023 "I Vedum Kær er det lykkedes at opstille 9 vindmøller og 18 fodboldbaner med solceller uden en eneste klage fra de lokale".

⁹ Green Power Denmark, 4. januar 2023: "LIV-modellen giver vedvarende energi et lokalt rygstød".

brintproduktion til lands i Danmark kan det indebære træk på drikkevandsressourcerne fra grundvandet, hvilket kan være en udfordring visse steder lokalt.

Her kan der ses på mulighederne for at genbruge vand mellem forskellige industrielle processer, hvis brintproduktionen sker i nærheden af andre virksomheder ("symbioser"). DIN Forsyning i Esbjerg¹⁰ arbejder på, at renset spildevand kan erstatte grundvand til to vandkrævende Power-to-X-anlæg, hvilket vil være en gevinst både bæredygtighedsmæssigt og økonomisk.

Alternativt kan man bruge afsaltet havvand. Dette er en energikrævende proces, men ventes bl.a. at være tilgangen, hvis der skal produceres brint på energioer til havs og i kystnære områder. Her har Danmark en relativ fordel placeringsmæssigt i forhold til andre lande uden så meget kystlinje. Afsaltningen kan understøttes af overskudsvarme fra elektrolyseprocessen og fra lokal produktion af vedvarende energi.

Nye forskningsresultater tyder på, at det også er muligt at lave elektrolyse direkte på havvand (Nature Energy, 2023), og der er allerede testanlæg, der afprøver det i fx Tyskland. Udvikling af, hvilke krav der stilles til det vand, der skal indgå i elektrolysen, vil være et af de områder, hvor teknologien bag skal udvikle sig. Også når det gælder anlæggets tekniske levetid.



¹⁰ Energy-supply.dk, 3. juni 2022: "Renset spildevand skal gøre PtX endnu mere grøn".

Gevinster ved at udbygge en brintinfrastruktur

Kapitel 9

9.1. Ingen grøn omstilling i stor skala uden brint og PtX-produkter

Grøn brint og en tilhørende brintinfrastruktur er en nødvendig forudsætning for at komme i mål med den grønne omstilling.

Det er ikke en naturlov, at det er Danmark, der går forrest i den grønne omstilling og sætter gang i brintindustrien. Vi har dog gode forudsætninger for det. Lige fra stor erfaring med vindenergi til rigelige og omkostnings-effektive arealer til produktion af vedvarende energi, der er langt større end vores eget forbrug nogensinde bliver. Vi kan konkurrere på grøn brint i Nordeuropa og har som tidligere beskrevet nabolande med import som erklæret strategi i et omfang, der langt overstiger hvad vi kan producere. Samtidig er nogle af de fremmeste producenter af elektrolyse danske virksomheder.

Det giver os mulighed for at tage internationalt ansvar for den grønne omstilling og for Europas energiforsyning og -sikkerhed i en tid, hvor den ellers er udfordret.

Kommer vi i gang som nogle af de første, får vi ikke bare brugt de vedvarende ressourcer godt, men får også skabt et internationalt klimaaftryk, der vil være blandt de størst mulige for Danmark og markant større, end hvad der følger af, hvad vi i dag eksporterer. Så hvis vi mener, at Danmark skal være et grønt foregangsland, er her muligheden. Imens får vi i Danmark skabt viden, inno-

vation og erfaring, der kan bruges til at udbrede teknologien i større dele af verden. Og tilhørende aktivitet og lokal jobskabelse i form af relativt vellønnede og produktive job i områder af Danmark, som er uden for de største byer og ikke nødvendigvis præget af væsentlig økonomisk aktivitet i forvejen.

Se tabel 9.1 for en oversigt over nogle af gevinsterne for samfundet ved at etablere en brintproduktion i Danmark med tilhørende brintinfrastruktur.

9.2. Danmark kan sætte markant internationalt klimaaftryk

Med en mulig brintproduktion som skitseret i denne langsigtede udbygningsplan får Danmark, trods vores begrænsede størrelse, mulighed for at sætte et mærkbart globalt klimaaftryk.

EU har en målsætning om selv at producere 10 mio. ton grøn brint i 2030. Heraf kan Danmark umiddelbart levere ½ mio. ton grøn brint, selv om vi udgør en markant mindre del af EU. Allerede på det tidspunkt vil klimaeffekten af, at grøn brint fra Danmark fortrænger grå brint andre steder, overstige klimaeffekten i Danmark af eksempelvis CO₂-afgiften. Se boks 9.1.

Og på længere sigt, når Danmark får udbygget sin vedvarende energi og brintproduktion op til et niveau, der umiddelbart svarer til

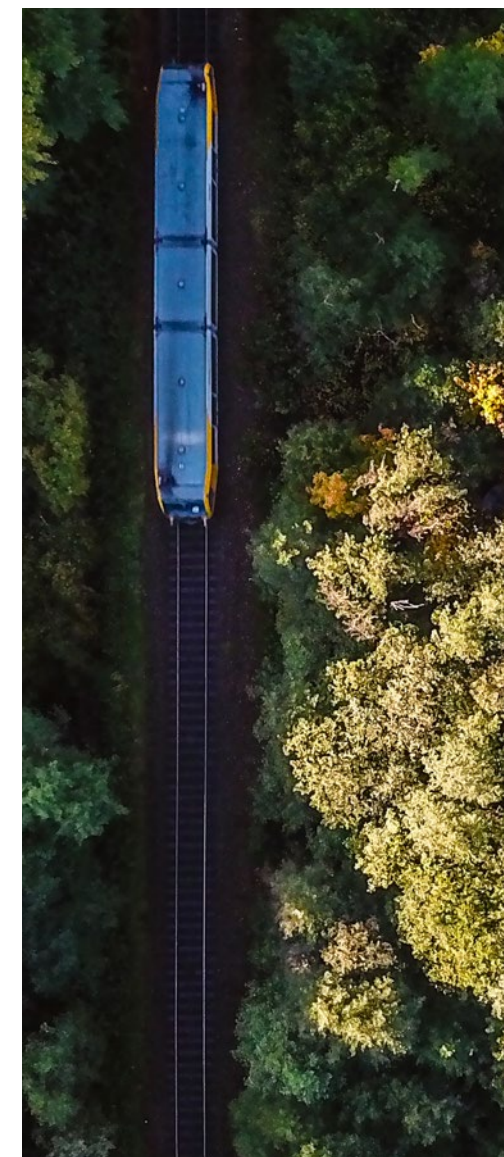
de skønnede potentialer – ja, så vil grøn brint produceret i Danmark have potentiale til at fortrænge min. 70 mio. ton CO₂e, eller hvad der svarer til 1/10 af Tysklands nuværende klimaudledninger. Med grøn brint kan Danmark altså spille en positiv international klimarolle, der langt overstiger, hvad vi ellers kan afstedkomme gennem eksport mv.

KLIMAEFFEKTEN AF AT EKSPORTERE GRØN BRINT ER STØRRE END AF AT EKSPORTERE GRØN ENERGITEKNOLOGI

Klimaeffekten af den danske eksport af energiteknologi skønnes i dag at bidrage til potentielle klimareduktioner i andre lande på 5-8 ton CO₂e. Det er så at sige Danmarks positive klimabidrag til andre lande.

Energistyrelsen forventer, at 1 ton grøn brint giver anledning til en direkte fortrængning af 11 ton CO₂e, når grøn brint erstatter grå brint, jf. Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet (2023). Som CIP Fonden (2023) viste, vil en dansk brintproduktion allerede i 2030 på 19 TWh eller omkring ½ ton grøn brint om året således også give anledning til en klimaeffekt svarende til 5 ton CO₂e eller omtrent det samme som den nuværende eksport af energiteknologi.

Danmark kan altså på relativt kort tid og med en beskeden brintproduktion bidrage til en klimaeffekt på niveau med vores eksport af energiteknologi, der har været mange år under opbygning, og hvor Danmark ser sig som en slags foregangsland.



Tabel 9.1. Gevinster for samfundet ved etablering af brintproduktion og brintinfrastruktur

	Effekter	Uddybning
SAMFUNDSNIVEAU (varige, strukturelle effekter) 	Europæisk energiforsyning og sikkerhedspolitik	Mindsker afhængigheden af russisk gas (fossilt baseret) og understøtter pålidelig leverance af grøn energi.
	Grøn omstilling i stor skala	Understøtter CO ₂ -reduktioner på 1/10 af Tysklands aktuelle udledninger eller mere end 1½ gang Danmarks egen udledning på dansk jord.
	Nødvendigt element i grøn omstilling af energointensive industriprocesser og langtrækkende tung transport	Kan ikke klares gennem elektrificering eller med biobrændsler (pga. begrænsede biomasser), så grøn omstilling kræver brint og PtX-produkter.
	Indtægter baseret på vedvarende kilder	Skatteindtægter som følge af eksport, direkte og afledt økonomisk aktivitet og beskæftigelse.
	Lavere, men mere fluktuerende energipriser til gavn for danske virksomheder og forbrugere	Pga. massiv udbygning af vedvarende energi bliver der flere timer med billigere energi til gavn for virksomheder og forbrugere, der har fleksibilitetsmuligheder i forbruget.
	Infrastruktur som kollektivt gode	Udnyttelse af stordriftsfordele ved koordineret planlægning, når der er flere brugere.
SOCIO-ØKONOMISKE FAKTORER (midlertidige og partielle effekter) 	Indfrier politiske målsætninger (besluttet af et bredt flertal i Folketinget og med regeringsledere fra flere lande omkring os)	Brintproduktion og -infrastruktur er en nødvendig konsekvens af de politiske målsætninger for udbygning af vedvarende energi, som overstiger dansk behov.
	Lokal jobskabelse ¹	Koncentreret omkring etableringsfasen – ofte i områder med mindre økonomisk aktivitet.
	Højproduktive og ofte relativt højt lønnede arbejdspladser	Påvirker indkomster og købekraft lokalt – ofte i områder med mindre økonomisk aktivitet.
	Meraktivitet i følgeindustri	Afledt aktivitet i handel, service og materialekøb hos underleverandører.
ENERGISYSTEMET 	Muliggør væsentlig udbygning af vedvarende energi	Produktion af grøn brint er relevant anvendelse og nødvendig for udfoldelse af de politiske ambitioner for udbygning af vedvarende energi – især i Nordsøen.
	Brintproduktion muliggør balancering af fluktuerende vedvarende energi i forhold til det danske el-net og den direkte elektrificering	Aflaster behovet for renovering, udbygning og forstærkning af el-nettet og muliggør sektorkobling.
	Brint og PtX-produkter som energilager	Muliggør at produktion og efterspørgsel ikke skal matche tidsmæssigt.
	Forsyningssikkerhed	Egen brintproduktion skaber stabil forsyning til danske behov for hard-to-abate industrier og PtX-produkter.
	Overskudsvarme fra elektrolyse kan anvendes i fjernvarmenettet, af nærliggende virksomheder eller offshore til afsaltning af havvand	Nyttiggørelse af overskydende varme afhænger af placering af brintproduktionen.
Kommercielle dynamikker 	Eksportindtægt på op til 100 mia. kr. årligt ved fuld udnyttelse af potentialerne	Svarer til 1/10 af vareeksporten i dag, hvilket vil gøre grøn brint til et af de største eksporterhverv kun overgået af life-science og den samlede fødevarerklunge. Større end den nuværende eksport af grøn energi- og miljøteknologi.
	Ekspertise af værdi	Innovation, viden og erfaringsopbygning til brug for eksport og projekter andre steder i verden.
	Stabil og sikker adgang til energi langs brint-nettet	Sammenhæng mellem brintinfrastrukturens placering og PtX-virksomhederne og andre brintforbrugende virksomheders geografiske lokalisering.
	Skift i erhvervsstrukturen påvirker følgeerhverv	Et stort brintmarked med tilhørende infrastruktur påvirker etableringsrate og lokaliseringsmønstre af producenter og aftagere samt underleverandører. Havnefunktioner skifter karakter fra at understøtte primær industri (fiskeri) og udvinding af ressourcer (olie og gas) til at understøtte etablering af vedvarende energi og energiøer offshore.

¹ Netto medfører etableringen og drift af brintinfrastruktur ikke varige løft i beskæftigelsen, når arbejdsstyrken er uændret, idet personerne alternativt finder beskæftigelse andetsteds i økonomien i fravær af brintproduktion og etablering af en brintinfrastruktur

Boks 9.1. Klimaeffekter af grøn brint vs. fossilt baseret brint

1 kg fossilt baseret brint (grå brint) udleder CO₂e, når det forbruges, mens der ikke er CO₂e-udledninger forbundet med produktion eller brug af grøn brint.

Jf. IEA (2021) er de direkte udledninger af forskellige former for brint forbundet med følgende klimaintensitet:

- Grå brint: 10-14 kg CO₂e/kg brint
- Blå brint (CCS 60 pct.): 5-8 kg CO₂e/kg brint
- Grøn brint: 0 kg CO₂e/kg brint

Energistyrelsen forventer, at 1 ton grøn brint, der erstatter grå brint, medfører en direkte fortrængning svarende til 11 ton CO₂e.

Klimaintensiteten inkluderer ikke klimaudledninger knyttet til fremstilling af produktionsapparatet bag, fremstillingen af brintrør mv., men alene den direkte fortrængning.

Hvis Danmark fx årligt kan fremstille 216 TWh² grøn brint svarende til 6½ mio. ton grøn brint og erstatte tilsvarende mængder grå brint i fx Tyskland, vil det umiddelbart spare klimaet for en årlig udledning på godt **70 mio. ton CO₂e**. Det svarer til knap 1/10 af Tysklands samlede CO₂e-udledning i 2022 på 761 mio. ton CO₂e. Erstatte den grønne brint i stedet olie eller kulforbrug, fx gennem grønne Power-to-X brændsler, bliver klimaeffekten endnu større.

Globalt kan Danmark altså ved at producere grøn brint **fortrænge halvanden gang Danmarks egen udledning** fra dansk grund, som i 2021 var på ca. 44 mio. ton CO₂e, jf. Danmarks Statistik.

Fordeler man den mulige produktion af grøn brint på, hvad der forventes eksporteret, og hvad der forventes brugt i Danmark, forventes en eksport på 198 TWh, der kan levere knap 6 mio. ton grøn brint om året og medføre en fortrængning på 65 mio. ton CO₂e, hvis den erstatter grå brint, eller omkring 8½ pct. af Tysklands samlede udledninger.

På sigt ventes 19 TWh eller godt ½ mio. ton grøn brint forbrugt direkte i Danmark. Hvis det antages, at det erstatter fossilt baserede brændsler med samme klimabelastning som grå brint, vil det **årligt spare Danmark** for en klimaudledning på **6 mio. ton CO₂e**. Til sammenligning ventes Grøn Skattereform med en CO₂-afgift på erhvervslivet (industrien) at bidrage med en årlig klimareduktion på 4,3 mio. ton CO₂e frem mod 2030. Grøn Skattereform består dels af afgifter, dels af tilskud. Et andet tiltag, nemlig CO₂-fangst, peger efter en udbudsrunde foreløbigt på, at Ørsted forventer at opfange 0,4 mio. ton CO₂e årligt fra 2025 i form af CCS ved Asnæs- og Avedøreværkerne, understøttet af CCUS-puljen med 8,2 mia. kr. Så også i en national kontekst og i forhold til Danmarks egne klimamål vil grøn, dansk brint kunne spille en meget væsentlig rolle.

Kilde: IEA (2023), Agora Energiwende, Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet (2023) og egne beregninger



² Det svarer til Danmarks potentielle brintproduktion, jf. CIP Fondens Markedsvurdering, marts 2023, og til de indregnede mængder i forslaget til en kommende brintinfrastruktur

Boks 9.2. Fører grøn brint og eksport til lækage-effekter, som reducerer klima-effekten?

Bl.a. Kraka Advisory (2023) har advokeret for, at produktion af grøn brint i Danmark og efterfølgende eksport kan føre til lækageeffekter, som reducerer klimateffekten. Dels gennem EU's kvotesystem for CO₂e-udledning, dels ved at bruge strøm, der ellers kunne være brugt på den direkte elektrificering, eller som ikke er grøn.

Lækage gennem EU's kvotesystem, hvor lavere efterspørgsel efter fossile brændsler fører til lavere kvotepriser og stigende forbrug?

Argumentet er, at øget produktion af vedvarende energi, grøn brint eller PtX-produkter, som fortrænger fossilt baseret energi, også sænker prisen på CO₂e-kvoterne i EU-ETS systemet, når efterspørgslen efter fossilt baseret energi falder. Falder kvotepriser, stiger efterspørgslen efter fossilt baseret energi imidlertid igen (lækage). Dette vil dog gælde, uanset hvilken grøn energikilde, der fortrænger fossilt baseret energi, og er således ikke knyttet specifikt til brint eller Power-to-X produkter, men er snarere resultatet af, at man politisk har besluttet at fortrænge fossilt baseret energi af klimahensyn. Det gælder også, når man bruger andre tiltag som fx iblandingskrav i brændstoffer, der presser forbruget af fossilt baserede brændsler ned og dermed også kvotepriserne. Lækage kræver, at CO₂e-kvotepriserne falder så meget, at de gør det fossile alternativ inkl. kvotepris billigere end det grønne alternativ.

Den mulige lækageeffekt begrænses imidlertid af, at CO₂e-kvoteprisen er stigende over tid, og at EU-ETS systemet over tid samtidig reducerer mængden af tilgængelige kvoter. Dertil kommer det kommercielle pres knyttet til virksomhedernes klimarapportering, som kan vanskeliggøre et stigende fossilt baseret energiforbrug.

I takt med, at de politiske målsætninger for dekarbonisering nærmer sig, og at sektorkrav håndhæves, vil der være færre og færre muligheder for, at et fossilt baseret energiforbrug igen kan stige. Kan stigende CO₂-kvotepriser ikke klare det alene, vil brug af fossilt baseret energi skulle forbydes, hvis de politiske målsætninger om klimaneutralitet skal indfries.

Lækage, hvis der ikke er nok grøn strøm?

Den anden mulige lækageeffekt opstår, hvis brinten og/eller PtX-produkterne enten baseres på strømkilder, der ikke er grønne, eller baseres på grøn strøm, der ellers kunne have forsynet det direkte elektrificeringsbehov. Også her har EU foreslået relevant regulering, idet grøn brint, for at kunne opnå certificering som dette, skal været baseret på grøn strøm. Der skal desuden være tale om additional vedvarende energi for netop ikke at fortrænge den grønne strøm til direkte elektrificering. Se kapitel 2 for en nærmere gennemgang.

³ Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet (2023)

⁴ Gennem selskabsskat, kulbrintebeskatning og gennem udbyttebetaling i Nordsøfonden, der står for statslig deltagelse i indvindingen af olie og gas med et ejerskab på 20 pct.

⁵ Økonomi for olie og gas | Energistyrelsen (ens.dk)

⁶ "Derfor skal Danmark være et foregangsland i den internationale klimainsats, som kan inspirere og påvirke resten af verden" (Klima, Energi-, og Forsyningsministeriet, 2019)

9.3. Vores største grønne eksportmulighed

Den årlige, danske eksport af energiteknologi nåede i 2022 godt 63 mia. kr. eller 6 pct. af den danske vareeksport, hvoraf 61 pct. knytter sig til vindenergi³. Lægger man eksport af grøn miljøteknologi til, er værdien af Danmarks nuværende grønne eksport af varer (vindmøller, vandteknologi, energieffektivisering mv.) omkring 87 mia. kr. i 2022, jf. Klima- og Forsyningsministeriet (2023), eller ca. 9 pct. af den samlede vareeksport.

EKSPORTINDTÆGTER OP TIL 100 MIA. KR.

Til sammenligning forventes en kommende eksport af grøn brint at nå en værdi omkring 8 mia. kr. i 2030 stigende til omkring 100 mia. kr. årligt fuldt indfaset (faste priser). Det svarer til omkring 1/10 af den danske vareeksport i 2022. Så der er udsigt til en ny, grøn eksport på niveau med, hvad Danmark i dag har, og som også er resultatet af mange års udvikling og opbygning. En eksportmulighed af den størrelsesorden opstår sjældent.

Samlet set vil en udbygning af grøn brintproduktion og tilhørende eksport skabe en vedvarende indtægtskilde til Danmark, som også overstiger, hvad vi tidligere har set af indtægter fra eksempelvis eksport af olie og gas, der toppede i 2012 med en nettoeksportværdi omkring 62 mia. kr. i datidens priser, jf. Danmarks Statistik.

Nettoeksporten af olie og gas er baseret på udvinding af en begrænset naturressource, der med tiden vil ophøre, mens den grønne brint er baseret på en vedvarende kilde.

Statens samlede indtægter fra kulbrinteindvinding i Nordsøen⁴ siden opstart i 1972 og frem til 2020 summer op til i alt ca. 544 mia. kr. for perioden (2020-priser) og toppede i

2008, ifølge Energistyrelsen⁵.

Over tid og i takt med udbygningen af markedet for grøn brint vil der også komme indtægter til staten fra denne energiform, som kan være med til at finansiere velfærdssamfundet, og som en mere varig indtægtskilde.

Det grønne brintmarked vil samtidig kunne stimulere en øget eksport af grøn strøm. Den markante udbygning af vedvarende energi til at servicere brintproduktionen vil muliggøre en vis balancering af det danske el-net og en direkte eksport af grøn strøm i perioder og dermed en afledt energieksport. Synergien mellem produktion af elektricitet og brint tillader en større produktion, end hvis der alene blev udbygget vedvarende energi til el-markedet.

KAN GRØN BRINT INDFRI DE POLITISKE MÅLSÆTNINGER FOR VEDVARENDE ENERGI?

Jf. Klimaloven skal Danmark ikke kun have fokus på nationale målsætninger for CO₂e-reduktioner, men også være et foregangsland for andre⁶. Det udledes, når dansk brintproduktion ikke alene dækker et dansk forsyningsbehov, men også kan forsyne vores nærmeste naboer med noget af den billigste grønne brint, der kan produceres i Nordeuropa.

Danmark er et klimamæssigt foregangsland, når vi:

- Fremmer klimareduktioner i andre lande på den mest omkostningseffektive måde
- Understøtter direkte klimareduktioner svarende til 1/10 af Tysklands nuværende udledninger eller 1½ gang Danmarks nuværende klimaemissioner
- Og samtidig selv går mod net zero i 2045

En udbygning af den vedvarende energi til at understøtte brintproduktion er samtidig nødvendig, hvis vi skal op i et omfang af vedvarende energi som forudsat i de forskellige politiske erklæringer for hhv. Nordsøen og Østersøen. Det overstiger langt, hvad de forskellige landes el-net kan modtage direkte, og hvad der kan bruges til direkte elektrificering, så derfor skal dele af de politisk bestemte udbygninger af den vedvarende energi kunne omformes til en anden energiform, der samtidig kan lagres og afstemmes for forbrugsbehovet. Det kan grøn brint.

9.4. Øvrige gavnlige effekter for samfundet

PÅVIRKER BESKÆFTIGELSE OG AKTIVITETSNIVEAU LOKALT OG UDEN FOR DE STØRSTE BYER

Brintproduktion og etableringen af brintinfrastrukturen vil – som det fremgår af CIP Fondens udbygningsforslag – især foregå i områder af Danmark, der er uden for de største byer og ikke i forvejen er præget af høj økonomisk aktivitet.

Det vil typisk dreje sig om arbejdskraft, der er faglært eller har en videregående uddannelse til etablering og drift af brintinfrastruktur og -produktion og dermed relativt vellønnede og produktive job i den private sektor. Dertil kommer afledt arbejdskraft og økonomisk aktivitet, typisk inden for handel og service i lokalområdet, men også hos underleverandører.

De lokale beskæftigelseseffekter vil typisk være af midlertidig karakter og følge udbygningsfaserne, herunder også i en vis grad geografisk. Der er ikke skønnet over de mulige beskæftigelseseffekter for CIP Fondens samlede udbygningsplan, da det kræver en detaljviden om de enkelte etapers udformning mv.,

hvor hver etape er behæftet med betydelig usikkerhed, og da udbygningsplanen strækker sig over 25 år og delvist overlapper med nogle etaper, der allerede er på tegnebrættet hos de statslige infrastrukturselskaber.

Til sammenligning har COWI (2021) regnet på de mulige beskæftigelseseffekter af etableringen af Femern Bælt, der er Danmarks historiens største infrastrukturprojekt indtil videre, og finder, at anlægsfasen vil indebære omkring 20.000 årsværk i direkte effekter suppleret af 22.000 årsværk i indirekte effekter i perioden 2020-2029. Femern-forbindelsen var oprindeligt skønnet til at koste 55 mia. kr. (2015-priser) i anlægsudgifter. Siden er regningen steget betydeligt, bl.a. pga. behov for udbygning af jernbaneanlæg på den tyske side.

EKSPERTISE AF VÆRDI

For de virksomheder, der medvirker til at opbygge brintinfrastrukturen eller for opbygge brintproduktionen vil der – ud over kommercielle investeringer – også ske en opbygning af viden og ekspertise inden for konstruktion, installation og anvendelse af teknologi, som stammer fra at være blandt de første, og som har værdi for kommende projekter. Hvad enten de foregår i Danmark eller i udlandet.

Den form for learning-effekter giver mulighed for at få en særlig indsigt fra begyndelsen, men koster også i form af investeringer i innovation og tests for at finde de bedste løsninger, som så hentes ind over tid ved at have en konkurrencefordel.

Danmark har fx været et foregangsland, når det kommer til produktion af vindmøller og udnyttelse af vindressourcerne både onshore og offshore. Og det er kommet de danske virksomheder, der var med i denne proces, til gode i form af en betydelig viden og know-

how, som kan eksporteres gennem løsninger til hele verden.

Når USA giver tilskud til brint- og PtX-produktion med væsentlige, direkte subsidier i en 10-årig periode gennem Inflation Reduction Act, er det en investering i at tiltrække udviklere til at bringe ny teknologi og nye metoder mere eksklusivt ind i amerikansk erhvervsliv i en periode, hvor ressourcerne er begrænsede. Det vil alt andet lige begrænse udviklingsaktiviteten og opbygningen af ekspertise i andre dele af verden i den periode, herunder Europa. EU's modsvare og dansk opfølgning skal ses i lyset heraf.

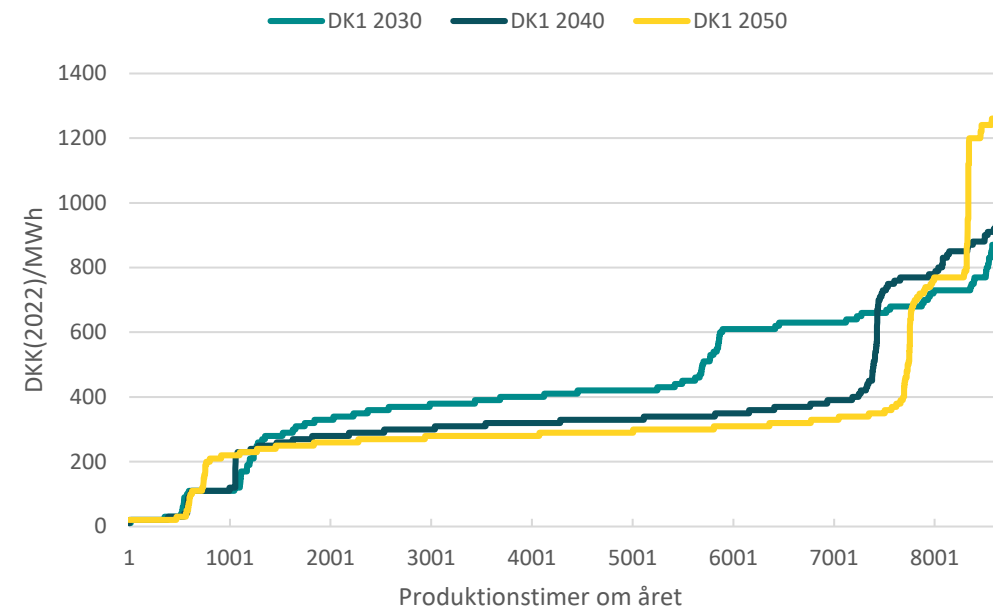
LAVERE PRISER PÅ GRØN STRØM

Når der sker en kraftig udbygning af den ved-

varende energi, som samtidig kan balancere el-systemet, vil el-prisen i flere timer af året være lavere og dermed sænke den gennemsnitlige el-pris for især de forbrugere, der har en vis fleksibilitet i deres aftag.

Figur 9.1 viser, hvad der sker med fordelingen af el-priser pr. time, når der kommer mere vedvarende energi ind i nettet (varighedskurve). Hvor prisen i udgangspunktet i 2020 er relativt stabilt fordelt og ikke med så stor forskel mellem de billigste timer og de dyreste timer (spidslast), vil de fremtidige priskurver med mere vedvarende energi føre til flere timer med enten højere eller lavere priser end i dag og dermed større udsving i el-prisen.

Figur 9.1. Fordelingen af el-priser på timeniveau over tid (varighedskurve)



Kilde: Energistyrelsen (2022)

Figuren viser, at der fremover vil være store perioder af året fremover, hvor prisen kommer under, hvad man har været vant til tidligere (i et udbygget vind-scenarie). For el-aftagere, der har mulighed for fleksibelt forbrug, vil det være en fordel, fordi de så kan henlægge forbruget til især at foregå i disse timer, eksempelvis brint- og Power-to-X producenter, men også øvrige virksomheder og forbrugere. For el-aftagere, der skal bruge en stabil leverance, vil der til gengæld også komme timer til meget højere priser end tidligere (spidslast).

Når el-priserne i gennemsnit falder, er det ikke kun en fordel for de virksomheder, der laver PtX-produkter af den grønne strøm, men for alle virksomheder og alle forbrugere, der bruger strøm med mulighed for en vis fleksibilitet i forbruget. Her falder omkostningerne. Når omstillingen er af strukturel karakter, vil det i gennemsnit medføre en permanent lavere el-pris.

Gennemslaget af lavere el-priser vil på visse stræk minde om, hvad der sker, hvis el-prisen blev reduceret gennem lavere afgifter med øget vækst, aktivitet og mere produktiv beskæftigelse til følge⁷.

Lavere el-priser i gennemsnit vil gavne de laveste indkomstgrupper relativt mest, da el-forbruget her udgør en større andel af de disponible indkomster.

DANMARK SOM GRØNT FOREGANGSLAND

Selv om der selvfølgelig er risici forbundet med at etablere infrastruktur til et nyt og gryende marked, som beskrevet i kapitel 8, er der også en række gevinster for samfundet – både af midlertidig og varig karakter – som Danmark har mulighed for at høste, og som vil medvirke til at indfri de politiske ambitioner for den grønne omstilling, skabe nye indtægter, og gennemgribende påvirke er-

hvervsstrukturen og energipolitikken gennem de næste årtier og igen gøre Danmark til et grønt foregangsland.



⁷ Se bl.a. Højbjerg, Brauer og Schultz (2017).

Gevinster ved udbygning af brintinfrastruktur

- **Understøtter grøn omstilling** af en større region, når Danmark mest omkostningseffektivt kan producere store mængder grøn brint til Nordeuropa til den nødvendige omstilling af industri og transport og fortrænge CO₂e svarende til 1/10 af Tysklands samlede udledninger eller 1½ gang Danmarks aktuelle udledninger.
- **Vedvarende eksportindtægter på op mod 100 mia. kr. årligt** på niveau med eksporten af grøn energi- og miljøteknologi i dag og med tilhørende skatteindtægter til velfærds-samfundet.
- **Større uafhængighed** i energiforsyningen til gavn for europæisk energi- og sikkerhedspolitik.
- **Balancering af elnettet**, når der produceres brint, når det blæser meget, og solen skinner, og aflastning af behovet for at udbygge el-infrastrukturen til at håndtere de store mængder vedvarende energi, som er nødvendige for at sikre forsyning til den direkte elektrificering.
- **Lavere energipriser** til gavn for både danske husholdninger og virksomheders konkurrenceevne.
- **Lokale arbejdspladser**, som er højproduktive og relativt vellønnede. Både under etableringsfase og efterfølgende drift med en geografisk variation oftest uden for de største byer og afsmittende effekter på følgeindustri.
- **Virksomheder** vil placere sig der, hvor der er sikker og stabil energiforsyning. Med en veludbygget brintinfrastruktur er det muligt at tiltrække og fastholde virksomheder med energiintensive processer, der har behov for en sikker og stabil forsyning af grøn brint eller produktion af PtX-produkter.
- **Udvikling af ny industri og ekspertise**, der giver first-mover-fordele, som kan udnyttes til senere projekter andre steder.

kilde: Egne analyser bl.a. baseret på input fra COWI og Copenhagen Economics (2022), "De samfundsøkonomiske gevinster ved rettidige investeringer i dansk energiinfrastruktur", september 2022.



Et roadmap for udbygningsplanen

Kapitel 10

For at kunne realisere den skitserede udbygningsplan er der behov for flere centrale beslutninger inden for en kort tidshorisont. Det handler bl.a. om hensynet til de developere og entreprenører, der skal bygge infrastrukturen. Hvis fx en jysk brint backbone-infrastruktur skal stå færdig i 2028, skal de nødvendige rør og komponenter bestilles inden for det kommende år. Der bør derfor allerede i 2023 træffes grundlæggende beslutninger, der kan rammesætte fremtidens brintinfrastruktur og vilkårene for den kommercielle udvikling.

Helt overordnet er det en afgørende forudsætning, at der bliver truffet beslutning om de statslige udbud af havvind og open-door projekterne, så der er tilstrækkelig vedvaren-

de energi til både elektrificering og brintproduktion.

TILSLUTNINGSAFTALER MED UDLANDET
Sideløbende med de beslutninger, der nationalt skal tages for at muliggøre en dansk brintinfrastruktur og dermed storskala dansk brintproduktion, er det centralt, at danske planlægningsansvarlige myndigheder går i forpligtende dialog med relevante udenlandske aktører. Da dansk brint for en stor dels vedkommende skal eksporteres til udlandet, er det afgørende, at der bliver lavet tilslutningsaftaler, så dansk brintinfrastruktur kan forbindes med udenlandsk brintinfrastruktur, og at den dimensioneres til også at kunne håndtere de mængder, som Danmark kan

producere. Dialogen fra dansk side bør ikke kun være et spørgsmål om tilslutningsmuligheder og vilkår. Tidsmæssigt skal aftaler om udlandsforbindelser indgås forud for de store brintprojekter, da de definerer afsætningsmulighederne og markedsadgangen.

Fx indebærer forslaget til udbygning på visse stræk "48 brintrør for at håndtere de mængder, der bliver behov for i fremtiden. Dette skal koordineres med modtagerne, så der er sammenhæng mellem, hvad der kan produceres og transporteres på dansk territorium, og hvad der kan modtages især i Tyskland. Dernæst skal forbindelserne times, så de er færdige til brug på nogenlunde samme tid på begge sider af grænsen.

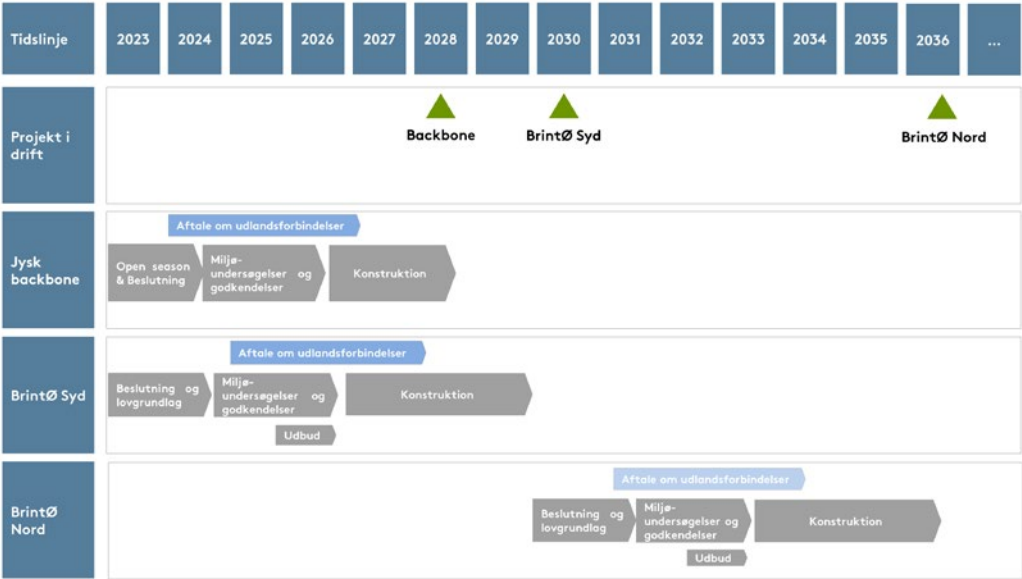
De mest centrale beslutninger, der skal træffes, bliver nedenfor beskrevet i relation til brintinfrastrukturprojekternes forventede etableringsforløb.

10.1. Beslutning om en jysk backbone

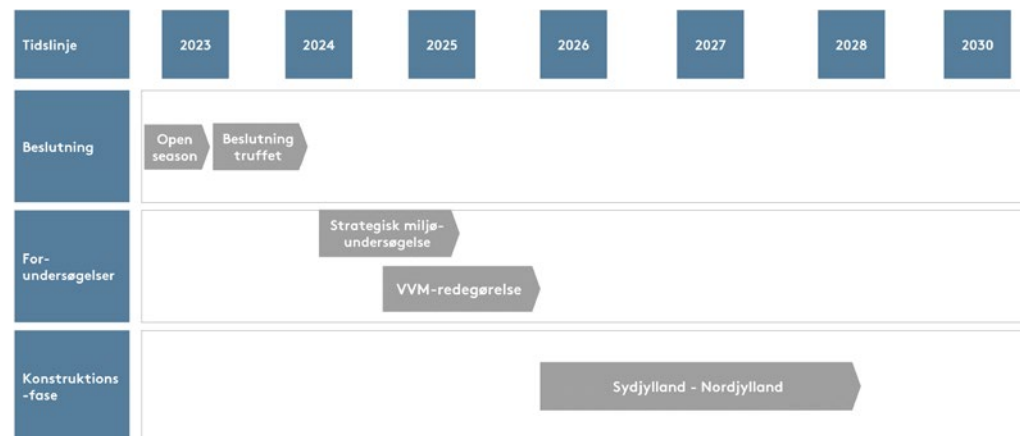
Aftalen mellem Danmark og Tyskland om etablering af en landbaseret brintforbindelse mellem Nordtyskland og Vestdanmark er en hensigtserklæring om et samarbejde om markedsdrevet udrulning af brintinfrastruktur og integration af de to landes energisystemer. Der er således ikke tale om konkrete politiske beslutninger eller beslutninger om anlæg.

Beslutningen om at etablere anlæg ligger i første omgang hos Energinet (og skal god-

Figur 10.1. Nødvendige beslutninger for udvikling af dansk brintinfrastruktur til produktion i stor skala



Figur 10.2. Illustration af tidsplan for etablering af en jysk backbone



kendes i Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet), men spørgsmålet om finansiering udestår.

Derfor kræver realiseringen af en jysk backbone, at der i 2023 træffes politisk beslutning om finansiering af en dansk, landbaseret brintinfrastruktur fra Nordtyskland til Nordjylland. Det er forudsætningen for at skabe sikkerhed for de involverede aktører og for at kunne stå klar i 2028.

Energinet bør gennem en open-season proces afklare spørgsmål om infrastrukturens omfang og dimensionering i dialog med markedsaktører og tyske planlægningsmyndigheder, inden udbygningsplanen politisk godkendes i 2023 forud for miljøundersøgelserne. Selve konstruktionsfasen behøver erfaringsmæssigt ikke at være langvarig, og tidsmæssigt kan Baltic Pipe-konstruktionen fremhæves som et lignende infrastrukturprojekt i omfang. Her tog arbejdet med design og dimensionering omkring et år, jf. COWI, og selve konstruktionsfasen omkring to år. Koordinationen mellem Energinet og Evida er central for at sikre tidsmæssig optimering og

rettidig tilslutning, da der skal være overensstemmelse mellem, hvornår transmissionsdelen er operationel, og hvornår der kan kobles producenter (og aftagere) på.

BESLUTNING OM VILKÅR FOR TILSLUTNING, TRANSPORT OG LAGRING

En fysisk infrastruktur skal som tidligere nævnt ledsages af klare, langsigtede rammevilkår for tilslutning og anvendelse. Der skal derfor i 2023 også træffes beslutning om, under hvilke vilkår producenter og aftagere kan benytte den landbaserede brintinfrastruktur. Konkret skal der træffes beslutning om de grundlæggende principper, så der kan udmeldes langsigtede rammevilkår, som muliggør investeringsbeslutninger i brintproducerende anlæg og vedvarende energi.

10.2. Principbeslutning om udvikling af Nordsøen

Der bør tidligt - gerne allerede i 2023 - træffes en politisk principbeslutning om udnyttelsen af Danmarks arealer i Nordsøen - en revideret havplan. Hvilke arealer kan udnyttes til

vedvarende energi og brintroduktion - og på hvilke vilkår?

Her er det især centralt, at områder i den danske del af Doggerbanke indtænkes, da det er meget attraktivt at producere vedvarende energi, og der er nærhed til Danmarks vigtigste eksportmarkeder. Principbeslutningen bør desuden ledsages af klare rammer for udvikling af brintproduktion i Nordsøen, der mindsker risikoen og øger gennemslugtigheden for investorer og udviklere. Formålet skal være, at tempoet for offshore udbygning kan øges, og at arealerne i Nordsøen benyttes bedst muligt.

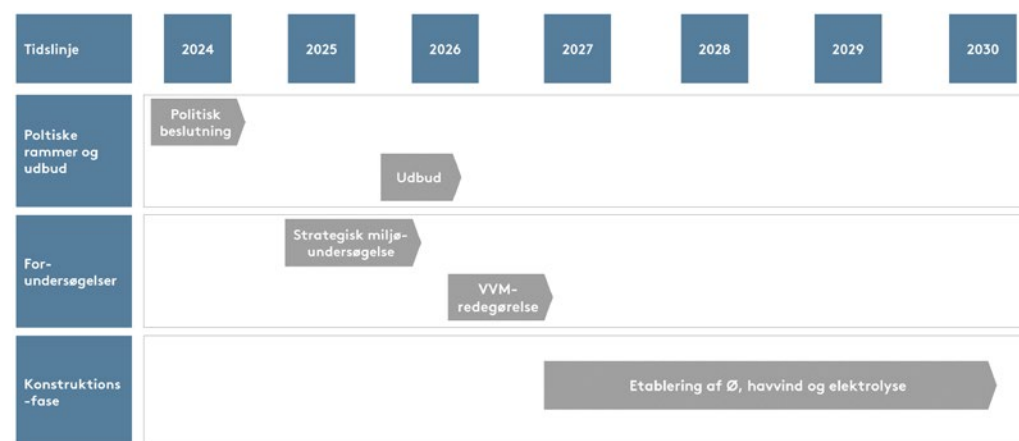
10.3. Beslutning om en sydlig brintø på Doggerbanke

På baggrund af principbeslutninger om udbygning af brintproduktion i Nordsøen, anlægslov m.v. bør en udbudsproces for en syd-

lig brintø igangsættes. Både forundersøgelser og etablering tager tid, hvorfor processen bør igangsættes allerede i 2024. Med et lovgrundlag på plads i 2024 kan danske aktører indgå i forpligtende dialog med udenlandske aktører mhp. tilslutning og dimensionering af udlandsforbindelser.

Efter lovgrundlaget og udlandsforbindelsen er fastsat, kan VVM-redegørelse og udbud igangsættes. Ved sådanne infrastrukturprojekter kan der opstå udfordringer, hvis der kan påvises risiko ved jordbundsforholdene, som det fx er set med den statslige energiø i Nordsøen¹, hvor der sidste år blev fundet en sedimentfyldt dal. Sådanne fund kan både fordyre og forsinke projekter, og da VVM-redegørelsen efter gældende regler først kan igangsættes efter en strategisk miljøvurdering, anbefales det, at nødvendige initiativer tages, så undersøgelserne kan laves i parallelle forløb. Det ville kunne bidrage til en

Figur 10.3. Visualisering af tidsplan for udbygning af sydlig brintø


¹ Ingeniøren (2022)



hurtigere afklaring af havområders potentiale til gavn for både udviklere, investorer og den generelle hastighed i udbygningen af vedvarende energi-projekter. Udbudsprocessen for energiøen indeholder særskilte udbud af selve ø-konstruktionen og havvindmølleparkerne, hvor der på øen ligeledes er et innovations-område, som en udbudsvinder kan udnytte til f.eks. brintproduktion. Da det forudsættes, at den sydlige og nordlige brintø begge etableres som dedikerede brintøer (som primær produktion med mulighed for også at afsætte strøm), anbefales det at konkurrenceudsættelsen for såvel øer som dedikeret vind sker samlet og parallelt. På den måde kan tidsrummet for udbuddene mindskes, mens det samtidig sikres, at arealerne bliver anvendt bedst muligt.

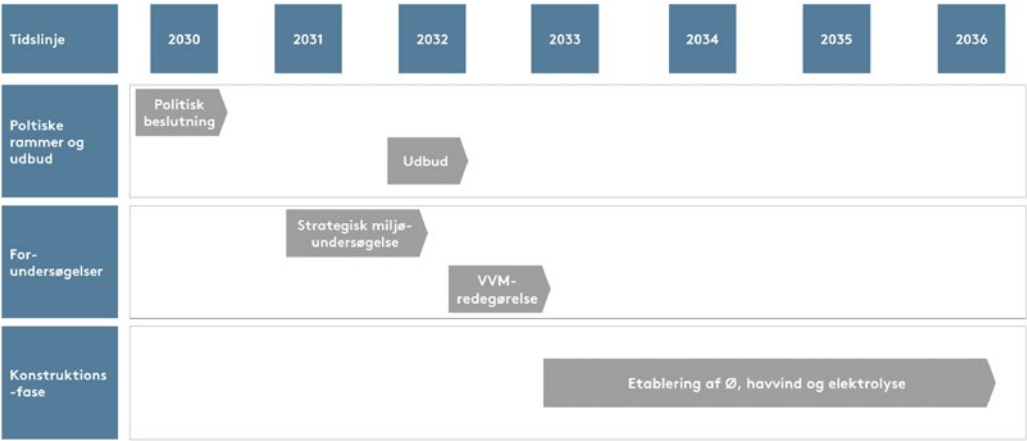
10.4. Beslutning om nordlig brintø

På baggrund af en politisk principbeslutning og belært af erfaringerne fra den statslige energiø og en sydlig brintø, kan en udbuds-

proces for den nordlige brintø igangsættes senest i 2030. Både forundersøgelser og etablering bliver ligesom i tilfældet med BrintØ Syd omfattende, hvorfor processen bør igangsættes senest i 2030. Processen fra lovgrundlag til drift forventes at være den samme som for den sydlige brintø, men må ligeledes kunne forventes optimeret. Ideelt set er den nordlige brintøs forbindelse til udlandet allerede aftalt ved etableringen af den sydlige brintø, jf. kapitel 6.3.

Ved at træffe ovenstående beslutninger skabes rammerne for, at Danmark kan have en sammenhængende brintinfrastruktur i 2045, som kan rumme de mængder, markedet efterspørger, og som baserer sig på de politiske ambitioner for udbygning af den vedvarende energi.

Figur 10.4. Visualisering af tidsplan for udbygning af nordlig brintø



Kilder

Axcelfuture (2023): Kan Danmarks brintambitioner realiseres?, marts 2023, [KAN+DAN-MARKS+BRINTAMBITIONER+REALISERES.pdf \(squarespace.com\)](https://www.squarespace.com/kan-danmarks-brintambitioner-realiseres.pdf)

Blackridge Research and Consulting (2023): Global Electrolyzer Market Report, marts 2023, [Global Top 20 Hydrogen Electrolyzer Manufacturers \[2023\] \(blackridgeresearch.com\)](https://blackridgeresearch.com/global-top-20-hydrogen-electrolyzer-manufacturers-2023/)

Bloomberg (2023): Germany to Ramp Up Electrolyzers Needed for Green Energy Shift, [Ger-many Aims to Build 10 Gigawatts of Electrolysis Capacity by 2030 - Bloomberg](https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-05-23-germany-aims-to-build-10-gigawatts-of-electrolysis-capacity-by-2030)

BMDV (2021): BMDV and BMWi launch 62 large-scale hydrogen projects, maj 2021, [BMVI and BMWi launch 62 large-scale hydrogen projects - NOW GmbH \(now-gmbh.de\)](https://www.now-gmbh.de/en/press-releases/bmdv-and-bmw-launch-62-large-scale-hydrogen-projects)

Brinckmann (2023): H2 Data Catalogue - extended, maj 2023, https://cipfonden.dk/wp-content/uploads/2023/05/2023-05-23-H2-Data-Catalogue_final-for-Client-extended.pdf

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

CIP Fonden (2023) Markedsvurdering: Danmarks muligheder i en fremtidig brintøkonomi, marts 2023, [Markedsvurdering-Danmarks-muligheder-i-en-fremtidig-brintoekonomi-2.pdf \(cipfonden.dk\)](https://cipfonden.dk/Markedsvurdering-Danmarks-muligheder-i-en-fremtidig-brintoekonomi-2.pdf)

Concito (2022): Klimabarometeret 2022, september 2022, [Klimabarometer 2022 .pdf \(concito.dk\)](https://www.concito.dk/klimabarometeret-2022.pdf)

Copenhagen Economics (2023a): [A market design fit for purpose: how to maximise the value of the North Sea's wind resources, cover note product A, maj 2023](https://www.copenhageneconomics.com/publications/a-market-design-fit-for-purpose-how-to-maximise-the-value-of-the-north-sea-s-wind-resources-cover-note-product-a-maj-2023)

Copenhagen Economics (2023b): [A market design fit for purpose: how to maximise the value of the North Sea's wind resources - Deep Dive, product B, maj 2023](https://www.copenhageneconomics.com/publications/a-market-design-fit-for-purpose-how-to-maximise-the-value-of-the-north-sea-s-wind-resources-deep-dive-product-b-maj-2023)

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 (2023a): Baggrundsnotat – Analyse af efterspørgsel efter PtX-produkter, marts 2023, <https://cipfonden.dk/wp-content/uploads/2023/03/Baggrundsnotat-Efterspørgselsanalyse-CIP-Fonden-21-marts.pdf>

COWI (2023b): Brintinfrastruktur i Danmark, baggrundsrapport, maj 2023, <https://cipfonden.dk/wp-content/uploads/2023/05/Udrulning-af-Dansk-Brint-infrastruktur-samlet-09.pdf>

COWI (2021a): Grøn brint er fremtidens brændstof, COWI Insights, [Grøn brint er fremtidens brændstof \(cowi.dk\)](https://cowi.dk/gron-brint-er-fremtidens-brændstof)

COWI (2021b): Beskæftigelseseffekter af Femern Bælt-forbindelsen, analyserapport til Det Regionale Arbejdsmarkedsråd for Sjælland og Det Regionale Arbejdsmarkedsråd for Hovedstaden, maj 2021, [Analyserapport af beskæftigelseseffekter af Femern bælt-forbindelsen \(sund-ogbaelt.dk\)](https://www.sund-ogbaelt.dk/analyserapport-af-beskæftigelseseffekter-af-femern-bælt-forbindelsen)

Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water (2019): Australia's National Hydrogen Strategy (Australiens brintstrategi), februar 2019, [Australia's National Hydrogen Strategy \(dceew.gov.au\)](https://www.dceew.gov.au/australias-national-hydrogen-strategy)

DNV (2023): Specification of a European Offshore Hydrogen Backbone, februar 2023, [DNV Report \(gascade.de\)](https://www.gascade.de/dnv-report)

DR (2023): Interview med Videncenter for Mineralske Råstoffer og Materialer, 12. januar 2023, Svensk energiminister efter fund af sjældne jordarter: 'En nøglerolle for den grønne omstilling i Europa', [Svensk energiminister efter fund af sjældne jordarter: 'En nøglerolle for den grønne omstilling i Europa' | Udland | DR](https://www.dr.dk/nyheder/udland/2023-01-12-svensk-energinister-efter-fund-af-sjaeldne-jordarter-en-noeglerolle-for-den-gronne-omstilling-i-europa)

Economie (2022): Vision and strategy Hydrogen Update, oktober 2022 (Belgiens brintstrategi), [View-strategy-hydrogen.pdf \(fgov.be\)](https://www.fgov.be/en/policies/economy/energy/hydrogen/view-strategy-hydrogen.pdf)

EHB (2022): European Hydrogen Backbone, [The European Hydrogen Backbone \(EHB\) initiative | EHB European Hydrogen Backbone](https://www.ehb.europa.eu/) publication April 2022

Energimyndigheten (2021): Förslag till nationell strategi för fossilfri vätgas, (svensk brintstrategi), <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2021/forslag-till-nationell-strategi-for-fossilfri-vatgas/>

Energinet (2023): Energiø Nordsøen, set d. 3. maj 2023, [Energiø Nordsøen \(energinet.dk\)](https://energinet.dk/energi-o-nordsoen)

Energinet (2018), Systemperspektiv 2035 – perspektiver for effektiv anvendelse af vedvarende energi i det danske energisystem på længere sigt, marts 2018, [PowerPoint-præsentation \(energinet.dk\)](https://energinet.dk/systemperspektiv-2035)

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

Energistyrelsen (2021a): Grøn gasstrategi – Transport af gasformige produkter i ny og eksisterende gasinfrastruktur, Baggrundsnotat, juni 2021, [Transport af gasformige produkter i ny og eksisterende gasinfrastruktur - Baggrundsnotat - Grøn gasstrategi \(ens.dk\)](#)

Energistyrelsen (2021b): Modeller for tildeling af koncessioner ved fremtidige havvindsudbud, marts 2021, [Modeller for tildeling af koncessioner for fremtidige havvindudbud_fmkommentarer_REN \(ens.dk\)](#)

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

EPRS (2021): EU hydrogen policy: hydrogen as an energy carrier for a climate-neutral economy, Briefing fra European Parliamentary Research Service, april 2021, [EU hydrogen policy: Hydrogen as an energy carrier for a climate-neutral economy | Think Tank | European Parliament \(europa.eu\)](#)

Erhvervsministeriet (2023): Udfordringer og forudsætninger for grøn omstilling, maj 2023, [udfordringer-og-forudsætninger-for-groen-omstilling.pdf \(em.dk\)](#)

EU Kommissionen (2023): Commission sets out rules for renewable hydrogen, pressemeddelelse d. 13. februar 2023, [Commission sets out rules for renewable hydrogen \(europa.eu\)](#)

EU Kommissionen (2023b): Commission outlines European Hydrogen Bank to boost renewable hydrogen, Nyhedsmeddelelse og tilhørende faktaark, Generaldirektoratet for Energi, 16. marts 2023, [Commission outlines European Hydrogen Bank to boost renewable hydrogen \(europa.eu\)](#)

EU Kommissionen (2022a): State Aid: Commission approves up to €5.2 billion of public support by thirteen Member States for the second Important Project of Common European Interest in the hydrogen value chain, 21. september 2022, [State Aid \(europa.eu\)](#)

EU Kommissionen (2022b): Implementing the RePowerEU action plan: Investment needs, hydrogen accelerator and achieving the bio-methane targets, kom (2022) 0230 – [Ingen titel \(eu.dk\)](#)

EU Kommissionen (2022c): State Aid: Commission approves up to €5.4 billion of public support by fifteen Member States for an Important Project of Common European Interest in the hydrogen technology value chain, juli 2022, [State Aid \(europa.eu\)](#)

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

Euractiv og Agora Energiwende: [Germany's CO2 emissions stagnate despite renewables expansion – EURACTIV.com](#)

European Hydrogen Backbone (2022): [A European hydrogen infrastructure covering 28 countries, ehb-report-220428-17h00-interactive-1.pdf](#)

Finanssektorens klimapartnerskab (2020): Baggrundsrapport for Finanssektorens klimapartnerskab, 16. marts 2020, [finanssektors-klimapartnerskab-baggrundsrapport.pdf \(fogg.dk\)](#)

FuelCellsWorks (2022): Finnish National TSO for Gas Gasgrid Finland to Develop a National Hydrogen Infrastructure, juni 2022, Finnish National TSO For Gas Gasgrid Finland To Develop A National Hydrogen Infrastructure – Northern Baltic Sea Region Can Supply Almost 40% Of The EU's Domestic Hydrogen In 2030 [\(fuelcellsworks.com\)](#)

Gasgrid (2023): [Amber Grid as a partner of the Nordic-Baltic Hydrogen Corridor project has launched a tender for a pre-feasibility study – Gasgrid Finland part of the project, april 2023, Amber Grid as a partner of the Nordic-Baltic Hydrogen Corridor project has launched a tender for a pre-feasibility study – Gasgrid Finland part of the project – Gasgrid Finland](#)

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

Gasunie og Energinet (2021): Pre-feasibility Study for a Danish-German Hydrogen Network, april 2021, [pre-feasibility-study-for-a-danish-german-hydrogen-network.pdf](#)

Goldman Sachs (2022): Carbonomics – the clean hydrogen revolution, februar 2022, Portrait [\(goldmansachs.com\)](#)

Gouvernement (2020): National strategy for the development of decarbonized and renewable hydrogen in France (Frankrigs brintstrategi), [PressKitProvisionalDraft-National-strategy-for-the-development-of-decarbonised-and-renewable-hydrogen-in-France.pdf \(bdi.fr\)](#)

Green Power Denmark (2020): Anbefalinger til en dansk strategi for Power-to-X, November 2020, [Anbefalinger til en dansk strategi for Power-to-X | Green Power Denmark](#)

HBS Economics (2022): Det fremtidige behov for grøn arbejdskraft i Region Syddanmark, november 2022, [Det fremtidige behov for grøn arbejdskraft i Region Syddanmark](#)

HBS Economics (2017): Økonomiske effekter ved at reducere elafgiften, udarbejdet for Dansk Energi, april 2017, [Økonomiske-effekter-ved-at-reducere-elafgiften.pdf \(hbseconomics.com\)](#)

HSE (2023): North Adriatic Hydrogen Valley project, with HSE as leading partner, receive 25 million in grants, januar 2023, [NORTH ADRIATIC HYDROGEN VALLEY PROJECT, WITH HSE AS LEADING PARTNER, RECEIVES 25 MILLION IN GRANTS | HSE](#)

IEA (2023): Towards hydrogen definitions based on their emissions intensity, April 2023, [Towards hydrogen definitions based on their emissions intensity – Analysis – IEA](#)

IEA (2022): Electrolysers – technology deep dive, Tracking Report, september 2022, [Electrolysers – Analysis – IEA](#)

IEA (2022b): Global Hydrogen Review 2022, september 2022, [Global Hydrogen Review 2022 – Analysis – IEA](#)

Ingeniøren (2022): Smeltevandsdal under havbunden: Nyt fund skaber tvivl om placering af energiø, 3. oktober 2022, [Smeltevandsdal under havbunden: Nyt fund skaber tvivl om placering af energiø | Ingeniøren](#)

International Trade Administration (2022): [Poland Hydrogen Strategy, 27. april 2022, Poland Hydrogen Strategy \(trade.gov\)](#)

IRENA (2021): Making the breakthrough: Green hydrogen policies and technology costs, International Renewable Energy Agency, Making the breakthrough: Green hydrogen policies and technology costs [\(irena.org\)](#)

Klima- Energi & Forsyningsministeriet (2023a): Danmark indgår en række aftaler om tættere energiforbindelser til Europa, [https://kefm.dk/atuel/nyheder/2023/apr/danmark-indgaar-en-raekke-aftaler-om-taettere-energiforbindelser-til-europa](#)

Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet (2023a): Samarbejdsaftale skal bane vej for brintrørledning mellem Danmark og Tyskland, marts 2023, [Samarbejdsaftale skal bane vej for brintrørledning mellem Danmark og Tyskland \(kefm.dk\)](#)

Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, (2023b): Joint declaration of intent between The federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action of the federal Republic of Germany and The Ministry of Climate, Energy and Utilities of Denmark on the cooperation on Green Hydrogen and the realization of a land-based border crossing hydrogen pipeline between western Denmark and Northern Germany, marts 2023, [Joint Declaration Hydrogen DNK-DEU .pdf \(kefm.dk\)](#)

Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet (2023c): Danmarks Globale Klimapåvirkning, maj 2023, [Hovedrapport - Danmarks globale klimapåvirkning - Global afrapportering 2023 \(ens.dk\) \(kap10 om gevinster\)](#)

Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, (2021): Regeringens strategi for Power-to-X, [Microsoft Word - Regeringens strategi for Power-to-X.docx \(kefm.dk\)](#)

Klimarådet (2023): Sikker elforsyning med sol og vind, maj 2023, [Sikker elforsyning med sol og vind | Klimarådet \(klimaraadet.dk\)](#)

KPMG (2023): Screening af PtX-anlæg, 22. marts 2023, [https://cipfonden.dk/wp-content/uploads/2023/05/230324-Screening-af-PtX-anlaeg-Final.pdf](#)

KPMG (2022): Markedsdialog om brintinfrastruktur, oktober 2022, udført for Evida og Energi-

net, [https://evida.dk/media/4a0pt5sg/markedsdialog-om-brintinfrastruktur.pdf](#)

Kraka Advisory (2023): Power-to-X kan blive en fremtidig klimaløsning, men bidrager kun lidt til danske klimamål – samfundsmæssige aspekter af den grønne omstilling, februar 2023, finansieret af Novo Nordisk Fonden, [Power-to-X kan blive en fremtidig klimaløsning men bidrager kun lidt til danske klimamål-komprimeret_0.pdf \(kraka-advisory.com\)](#)

La Moncloa (2022): H2Med application submitted as an EU Project of Common Interest, [La Moncloa. 16/12/2022. H2Med application submitted as an EU Project of Common Interest \[Government/News\]](#)

McKinsey (2023): Re:think - Hydrogen's potential in the net-zero transition, af Markus Wilthamer, [Re:think: Hydrogen's potential in the net-zero transition \(mckinsey.com\)](#)

McKinsey (2022): Global Energy Perspective, april 2022, [Global Energy Perspective 2022 | McKinsey](#)

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2022): Ontwikkeling transportnet voor waterstof (Udvikling af transportnet til brint), (overheid.nl)

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](#)

Ministry of Economic Affairs and Energy (2020): The National Hydrogen Strategy. Juni 2020, (Tysklands brintstrategi), [BMWK - Nationales Reformprogramm 2020](#)

Ministry of Energy and Minerals (2022): Oman announces 2050 Net Zero commitment and unveils ambitious green hydrogen strategy, [Oman announces 2050 Net Zero commitment and unveils ambitious green hydrogen strategy - mem](#)

Nature Energy (2023): Direct seawater electrolysis by adjusting the local reaction environment of a catalyst, vol. 8, s. 264-272, 30. januar 2023, [Direct seawater electrolysis by adjusting the local reaction environment of a catalyst | Request PDF \(researchgate.net\)](#)

Norwegian Government (2023): Joint Statement – Germany – Norway – Hydrogen, januar 2023, [Joint Statement - Germany – Norway – Hydrogen - regjeringen.no](#)

Open Access Government (2023): Green hydrogen produced from seawater with nearly 100% efficiency, 1. februar 2023, [Green hydrogen produced from seawater with nearly 100% efficiency \(openaccessgovernment.org\)](#)

OX2 (2022): OX2 to investigate the possibility to develop offshore hydrogen pipeline in the Baltic Sea, [OX2 to investigate the possibility to develop offshore hydrogen pipeline in the Baltic Sea - OX2](#)

Port of Antwerp Bruges (2021): Port of Antwerp, Port of Zeebrugge and Chile join forces to foster hydrogen production, november 2021, [Port of Antwerp, Port of Zeebrugge and Chile join forces to foster hydrogen production \(portofantwerpbruges.com\)](https://portofantwerpbruges.com)

Reed Smith (2022): Energy Transition – An evolving journey: Hydrogen regulations by jurisdiction and changing transmission systems, 27. juni 2022, [Hydrogen regulations by jurisdiction and changing transmission systems | Energy Transition 2022 | Perspectives | Reed Smith LLP](#)

Regeringen (2023): Mulighed for etablering af brintinfrastruktur: 1. delaftale: Ejerskab og drift fremtidens danske, rørbundne brintinfrastruktur, principaftale af 22. maj 2023, [Aftaletekst - mulighed for etablering af brintinfrastruktur.pdf \(kefm.dk\)](#)

RWE (2023): RWE and Equinor agree on strategic partnership for security of supply and decarbonisation [\(rwe.com\)](https://rwe.com)

The Oxford Institute for Energy Studies (2020): [Blue hydrogen as an enabler of green hydrogen: the case of Germany, Blue-hydrogen-as-an-enabler-of-green-hydrogen-the-case-of-Germany-NG-159.pdf \(oxfordenergy.org\)](#)

U.S. Department of Energy (2022): [DOE National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap, DOE National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap \(energy.gov\)](#)

Videnscenter for Mineralske Råstoffer og Materialer (MiMa) (2021): [Sjældne jordartsmetaller \(REE\), december 2021, MiMa-Rapport_2021_02_Online_V2.pdf \(geus.dk\)](#)

Warner (2022): U.S. Department of Energy Announces History \$7 Billion Funding Opportunity to Jump-Start America's Clean Hydrogen Economy, 26. september 2022, [U.S. Department of Energy Announces History \\$7 Billion Funding Opportunity to Jump-Start America's Clean Hydrogen Economy - Press Releases - Mark R. Warner \(senate.gov\)](#)

Windeurope (2022): Renewable hydrogen – EU regulatory enablers, juli 2022, [20220822-WindEurope-renewable-hydrogen-eu-regulatory-enablers-position-paper.pdf](#)

Wind Europe (2021): Denmark and Belgium to connect energy islands with undersea cable, [Denmark and Belgium to connect energy islands with undersea cable | WindEurope](#)

Økolariet: Viden om sjældne jordarter, [Sjældne jordarter \(økolariet.dk\)](#)

Ørsted (2022): Green Fuels for Denmark receives IPCEI status, [Green Fuels for Denmark receives IPCEI status \(orsted.com\)](#)