



PTX-BAROMETRE

STATUS FOR PTX-GAMECHANGERE ANNO 2021

ENERGINET

**DANSK
ENERGI**

INDHOLDSBETEGNELSE

Introduktion – formål	3
Status for PtX-efterspørgsel i Danmark	4
Opsummering & anbefalinger	5
Barometre for PtX-gamechangere	10
Litteraturliste	24
Ordliste	25



OM POWER-TO-X OG GRØN BRINT

Power-to-X beskriver, hvordan vi kan omdanne vedvarende energi til brint og andre klimarigtige brændstoffer. Det sker ved hjælp af elektrolyse - en teknologi, hvor vand spaltes til brint og ilt ved hjælp af grøn strøm.

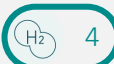
BAROMETRE FOR PTX-GAMECHANGERE SKAL HJÆLPE MED AT INDSNÆVRE UDFALDSRUMMET FOR PTX I DANMARK I 2030

I maj 2020 udgav Dansk Energi og Energinet analysen "Gamechangere for PtX og PtX-infrastruktur". Analysen identificerede 12 gamechangere (se Figur 1), som kan give et markant spring indenfor teknologi til PtX eller udviklingen i den omverden, som dansk PtX skal udfolde sig i. Gamechanger-analysen var et diskussionsoplæg om mulige udfaldsrum for PtX og PtX-infrastruktur i Danmark. Formålet var hertil at sikre en grundig og løbende diskussion af hvordan den danske energiinfrastruktur udvikles rettidigt, og omkostningseffektivt.

De enkelte gamechangere kan være fremmende eller prohibitive for udviklingen af PtX generelt. Hertil kan en gamechanger påvirke hvilke forskellige PtX-udviklingsspor, som vil blive styrket eller svækket. Hvilke gamechangere der i sidste ende bliver til virkelighed og hvornår, får stor betydning for hvordan energiinfrastrukturen i fremtiden bør udvikles.

Barometre, der viser hvilke PtX-gamechangere som er mest sandsynlige i et 2030-perspektiv

Med denne publikation følger vi op på de enkelte gamechangere og undersøger hvor sandsynligt det er, at de bliver realiseret inden 2030. Det vurderes på baggrund af bl.a. pris- og mængdefremskrivninger, udmelding af konkrete projekter og visioner samt politiske beslutninger og ambitioner. Der er lavet mini-analyser som opsummerer de væsentligste nye udviklinger for hver gamechanger og vurderer barometerstanden. Disse minianalyser er opsamlet i kapitlet "Barometre for PtX-gamechangere", og under opsummering-kapitlet findes desuden anbefalinger til tiltag for udvalgte gamechangere.

KONKURRENCE OG EFTERSPØRGSEL	BRINT	METAN	KULSTOF
 1 PtX-import	 4 Brintpris	 7 Gas-to-liquid	 10 Punktkilder
 2 Klimamål	 5 Offshore brint	 8 Metanforbrug	 11 Direct-Air-Capture
 3 Brintnetværk	 6 Brændselsceller	 9 Biometan	 12 CO ₂ -lagring

Figur 1: De 12 PtX-gamechangere. Uddybende forklaring af den enkelte gamechanger fremgår af det enkelte PtX-barometer

Opsummering af analysen Gamechangere for PtX og PtX-infrastruktur

I den oprindelige gamechanger analyse konkluderede vi, at Danmark har betydelige VE-ressourcer, som kan understøtte en stor dansk PtX-produktion. Konkurrencen fra udlandet kan dog vise sig at få stor betydning for PtX i Danmark. Det kan være import af brint via rør over landegrænser, hvis der opstår et regionalt eller kontinentalt brintnetværk. Fremtiden for PtX i Danmark påvirkes også kraftigt af de nationale og europæiske klimambitioner som kan føre til både efterspørgsel og markeder for PtX-produkterne, samt brintnetværk som kan få stor betydning for mulighederne i Danmark.

I analysens infrastrukturkapitel beskrev vi de grundlæggende modeller for integration af PtX-anlæg med udgangspunkt i tilslutningen til elnettet. Vi konkluderede, at placeringen af elektrolyseanlæg ift. elnettets kapacitet har stor betydning for en omkostningseffektiv PtX-udvikling. F.eks. hvis de store havvindsressourcer for alvor skal udnyttes, er det mest hensigtsmæssigt at konvertere strømmen til brint tæt på hvor den føres i land. Vi anbefalede at udbygningen blev sammentænkt med øvrig energiinfrastruktur, særligt ved at begrænse elnetudbygning der hvor VE-produktion er netdimensionerende.

Det konkluderes ligeledes, at det er meget sandsynligt, at der skal bruges brintinfrastruktur for effektiv distribution, fleksibilitet fra underjordiske brintlagre samt eksport til udlandet. Foruden besparelser forbundet med at transportere brint fremfor strøm, leverer brintlagrene stor værdi til PtX-producenterne, som kan bygge mindre anlæg med flere fuldlaststimer.

STORE DANSKE PTX-PROJEKTER I STØBESKEEN

Danske ambitionerne for 2030 overstiger 4 GW elektrolysekapacitet og mange PtX-brændsler er i spil

Det sidste år er der meldt flere store danske PtX-projekter ud, hvor ambitionerne for 2030 samlet set overstiger 4,5 GW i elektrolysekapacitet. Fælles er dog at de indtil nu kun er på tegnebrættet eller besluttet i form af en første fase, hvor kapacitet er markant lavere end 2030-visionerne rækker til.

Ift. brændsler har PtX-projekterne meldt ambitioner ud om produktion af e-brint, e-ammoniak, e-metanol og e-kerosen i større skala, mens e-metan og e-diesel ikke direkte er nævnt, men heller ikke kan afvises. Der er altså mange PtX-brændsler i spil til de forskellige PtX-anvendelser, og indenfor flere sektorer såsom skibsfart er kampen om at blive fremtidens grønne brændsel stadig åben.

Mange danske PtX-anvendelser udvikles og 2030-ambitioner kan indfri 1/3 af det maksimale potentiale

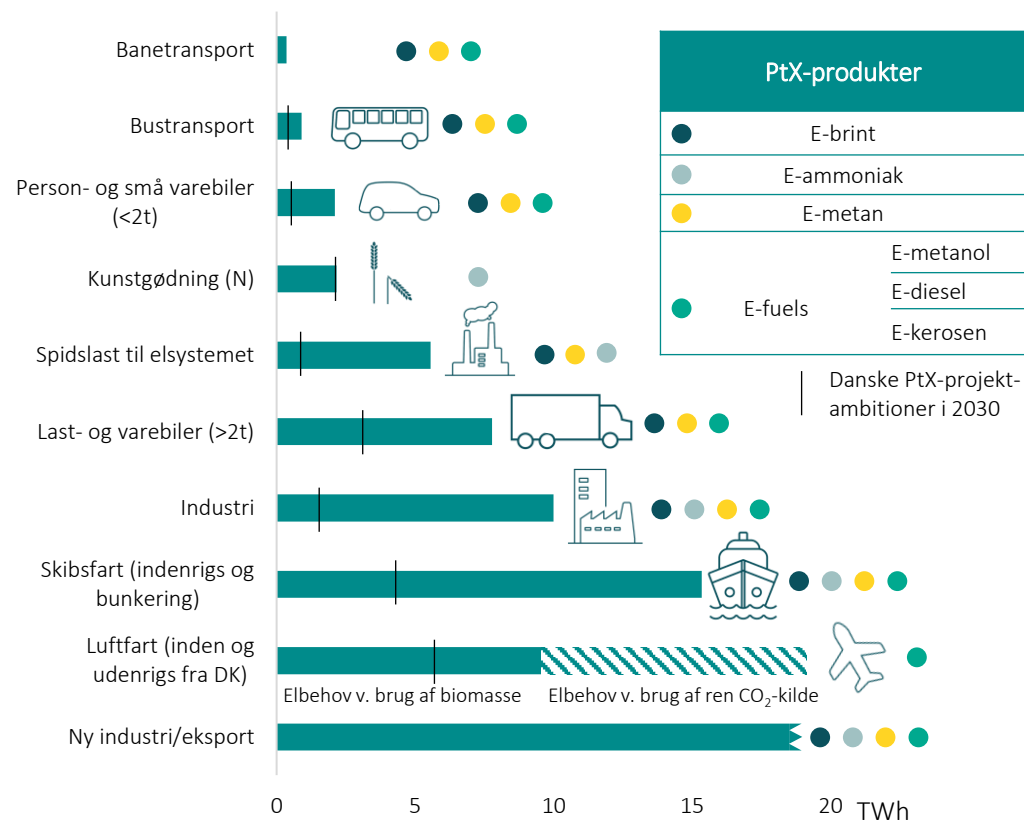
Det samlede PtX-forbrug til erstatning af det relevante danske fossile forbrug i industri og transport er estimeret til op mod 60 TWh elforbrug, se figur 2 opdelt på PtX-anvendelser [1]. De nuværende 2030-ambitioner på ca. 4,5 GW elektrolyse vil potentielt forbruge ca. 20 TWh elforbrug, og hermed have indfriet omtrent en tredjedel af det maksimale nationale PtX-potentiale.

PtX-projekterne dækker en række forskellige anvendelser, hvor 2030-ambitionernes bidrag til hver anvendelse skønsmæssigt er markeret på figur 2 og kort beskrevet herunder:

- Persontransport – hos Green Lab Skive udvikles bl.a. metanol til benzin-erstatning hos Circle-K [2].
- Kunstgødning og skibsfart – e-ammoniak planlægges produceret i Esbjerg, hvor bl.a. Mærsk og DFDS samt en række landbrugsvirksomheder har meldt interesse som aftagere [3].
- Lastbiler, busser og industri – brint og muligvis e-fuels planlægges produceret i Fredericia, hvor bl.a. Shell-raffineriet aftager brinten sammen med potentielt kommende brintlastbiler [4].
- Luftfart, skibe, lastbiler og busser – i København planlægges produktion af e-kerosen til lufthavnen samt metanol og brint til skibs- og vejtransport, hvor bl.a. Mærsk, DFDS, DSV og Movia er aftagere [5].
- Spidslast til elsystemet – et kombineret brintlager og brintdrevet Compressed Air Energy Storage (CAES) anlæg planlægges i Himmerland, hvilket både kan levere spidslast-elproduktion og brint [6].

Nye industrier eller eksport af PtX er ikke meldt ud

Den potentielt største anvendelse af danskproduceret PtX er ifølge figur 2 til eksport eller nye industrier i Danmark. Der er indtil nu ikke kendskab til konkrete planer om disse muligheder. Der kan meget vel ses eksport af brint til industricentre i nabolande eller nye danske fremstillingsvirksomheder med produktion af e-fuels.



Figur 2: Potentielt elforbrug til PtX-produktion til erstatning af relevant, eksisterende fossilt forbrug i Danmark (i alt ca. 60 TWh) samt til eksport eller ny industri [1]. Potentialeopgørelserne er beregninger på baggrund af en række antagelser og hermed forbundet med usikkerhed. Den lodrette sorte streg viser danske PtX-projektambitioner i 2030 (samlet ca. 20 TWh) skønsmæssigt fordelt på disse anvendelser.

OPSUMMERING OG ANBEFALINGER



SYV PTX-GAMECHANGERE MED VÆSENTLIG KONSEKVENNS OG SANDSYNLIGHED

Vurdering af PtX-gamechangernes sandsynlighed

På figur 3 er der på X-aksen vist en opsummering af analysens vurdering af gamechangernes sandsynlighed for at indtræffe inden 2030, altså barometerstanden. En uddybning findes i de 12 minianalyser i "Barometre for PtX-gamechangere".

Y-aksen viser, hvor stor en konsekvens vi vurderer, at den enkelte gamechanger har for PtX-udviklingen i Danmark, når/hvis gamechangeren bliver til virkelighed. Dette er forklaret yderligere i afsnittet nedenunder.

De udvalgte gamechangere er dem der vurderes at kunne få betydelig konsekvens for PtX-udviklingen, og som samtidig virker sandsynlige i et 2030 perspektiv (vist i det gule stiplede felt).

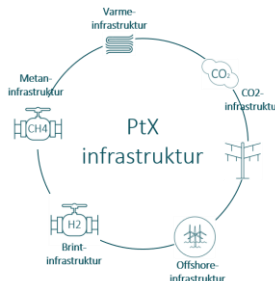
På de følgende tre sider opsummeres de syv gamechangere, som er udvalgt i denne barometeranalyse. Til hver af de syv udvalgte gamechanger har vi angivet en tilhørende anbefaling til indsats. Gamechangerne uden for den gule cirkel er ikke vurderet yderligere ift. indsats.

Vurdering af gamechangernes konsekvens for PtX-udvikling i Danmark

Konsekvensvurderingen er ikke en selvstændig del af denne analyse. Vurderingen et best guess på baggrund af konklusionerne i den oprindelige rapport "Gamechangere for PtX og PtX-infrastruktur i Danmark", hvor det vurderes hvilke gamechangere der har særlig indflydelse på PtX-udviklingen og behovet for ny el-, brint-, metan-, CO₂-, offshore og varmeinfrastruktur i Danmark. Gamechangerne er kategoriseret som enten Middel eller Høj konsekvens på baggrund af mulig indflydelse på tværs af infrastrukturbehov samt udviklingstendenser der ses allerede i dag.

Eksempler på Høj konsekvens: Direct-air-capture af CO₂ (#11) samt Offshore brint (#5) kan fjerne en række geografiske restriktioner i infrastrukturbehov hvilket kan få markant betydning for hvor PtX-anlæg opføres. Brintpris (#4), PtX-import (#1), og Brintnetværk (#3) kan få stor betydning for mængden af PtX der skal transporteres.

Eksempler på Mellem konsekvens: Sænket Metanforbrug (#8) samt øget Biometan (#9) kan påvirke brugen af naturgasnettet, men der forudses fortsat en væsentlig transit i Danmark i transmissionssystemet på kort og mellemlang sigt, hvilket gør det usikkert om der kan frigives metaninfrastruktur til transport af brint og/eller CO₂. Brændselsceller (#6) kan få indflydelse på hvilket PtX-brændsel der vinder, men ift. infrastruktur forudses til f.eks. tung vejtransport et relativt lavt antal fyldestationer på landsplan samt at brinten bliver produceres centralt.



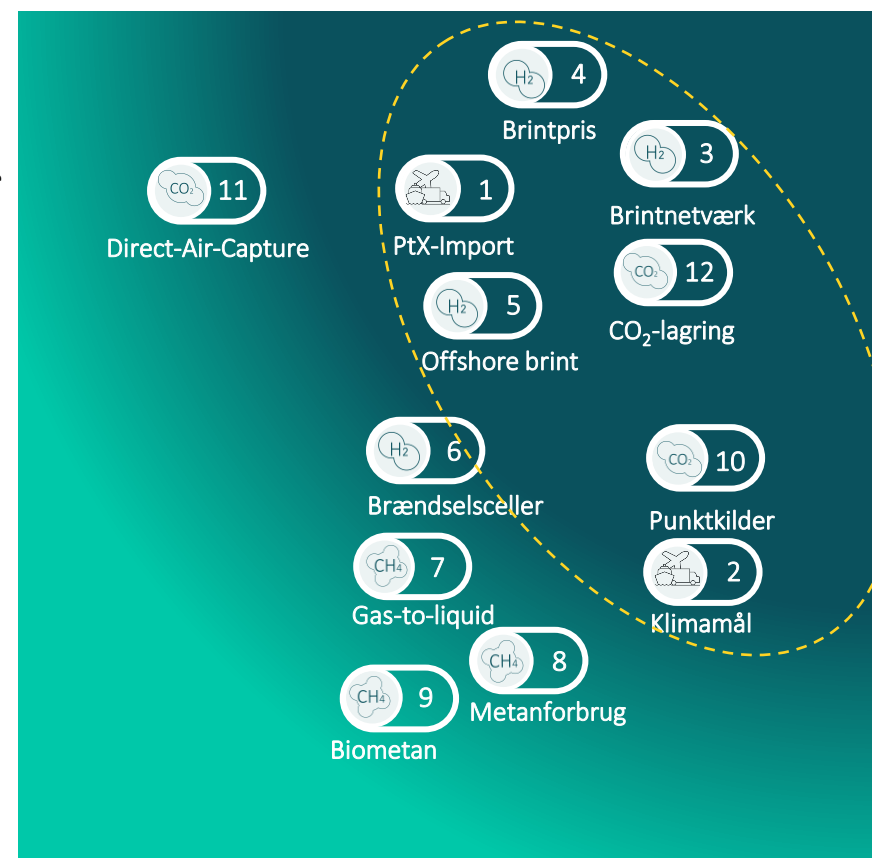
Vurderet sandsynlighed for PtX-gamechanger



Konsekvens for PtX-udviklingen i Danmark

Høj

Middel



Figur 3. Vurdering af gamechangeres konsekvens og sandsynlighed

NY INFRASTRUKTUR TIL BRINT OG CO₂ KAN ÆNDRE DANSK PTX-VEJ



Brintnetværk

Konturerne til et europæisk netværksbaseret brintmarked begynder at tegne sig

Opsummering: Tyskland og Holland har ambitiøse målsætninger frem mod 2030. Det indebærer bl.a. elektrolysekapacitet i GW-skala samt udbygning af dedikerede brintnetværk. Planerne omfatter konvertering af naturgasnet i kombination med nye brintrør. Det tegner konturerne af et sammenhængende brintnetværk med direkte forbindelser mellem Holland og Tyskland. En beslutning om at etablere et brintransmissionsnetværk i det danske nærområde kan hermed være lige om hjørnet. Et sammenhængende brintnet og evt. brintlagre vil givetvis påvirke hvor brintproduktionen opstår og ender frem mod 2030, og det kan dermed have stor konsekvens for PtX udvikling i Danmark – uanset om der sker dansk sammenkobling med et brintnetværk i udlandet eller ej.

Anbefaling til dansk PtX-indsats: Styrk samarbejdet på tværs af grænser så regler ift. handel med brint bliver klarlagt. Indled desuden forberedelser ift. et dansk brintnetværk til udlandet således, at muligheden kan indfris så snart der er tilstrækkelig markedsvolumen og konkurrencedygtig dansk brinteksport til at understøtte en brintforbindelse.



CO₂-lagring

Politisk satsning på CO₂-lagring skal sammentænkes med PtX

Opsummering: Der er i Norge og Danmark betydeligt potentiale for lagring af CO₂ i undergrunden. Projekter som f.eks. Northern Light og Project Greensand kan hver især udvikles til lagring af op mod 5. mio. tons CO₂ pr. år inden 2030. Hermed er der betydelige mængder CO₂ – både fra fossile og biogene punktkilder – der kan ende i undergrunden, hvilket alt andet lige vil reducere muligheden for udvikling af PtX i retning af kulstofholdige produkter som f.eks. e-metanol og e-kerosen.

Anbefaling til dansk PtX-indsats: En dansk strategi for CCS bør tage højde for det fremtidige CCU-behov i f.eks. 2030 og 2040, og udnytte synergierne særligt ift. infrastruktur og produktion af brændsler til transportsektoren. Sammentænkning af CCS og CCU vil sikre, at der er tilstrækkeligt biogent CO₂ til rådighed til produktion af kulstofbaserede PtX-brændsler.

Figur 4: Vision for et udbygget
brintnetværk i Europa

Kilde: European Hydrogen Backbone [19]



BRINTPRODUKTIONSPRIS KAN FÅ STOR BETYDNING FOR DANMARKS PTX-ROLLE

4 Brintpris

Dansk brintproduktionsomkostning forventes at blive konkurrencedygtig

Opsummering: Danmark har gode muligheder for at producere brint i store mængder til konkurrencedygtige priser til både nationalt brug og til eksport af el eller PtX-brændsler. Nye fremskrivninger viser, at Danmark kan opnå produktionspriser omkring \$2/kg i 2030, hvilket vil forbedre PtX's konkurrencedygtighed med fossile brændsler og desuden gøre dansk eksport til nabolande realistisk.

Anbefaling til dansk PtX-indsats: Rammerne for PtX-produktionen bør gøre det muligt at producere brint og øvrige PtX-brændsler så konkurrencedygtigt som muligt. Det betyder at VE-produktion og infrastruktur er tilgængelig, samt at synergier til f.eks. fjernvarme eller varmekilder udnyttes i det omfang det sænker de samlede omkostninger. Energiinfrastrukturen til el, gas og varme kan blive en flaskehals for PtX – både ift. mængde og pris. Der bør derfor i rette tid tages beslutninger for PtX-infrastrukturen i Danmark.

1 PtX-import

De første handelsaftaler til Europa er på plads og globale PtX-markeder kan opstå

Opsummering: Ifølge EU's brintstrategi skal der opstilles 40 GW elektrolyse i EU's nabolande mhp. import til EU. Tyskland definerer sig selv som fremtidig storimportør af grøn brint og brintbaserede brændsler. Den tyske regering har således indgået præliminære import-aftaler med flere lande i Afrika, herunder Marokko. Importen kan ske både med brintrør mellem lande, regioner eller kontinenter, men også globale markeder for flydende PtX-produkter som f.eks. grøn ammoniak og flydende brint kan vinde frem. Bl.a. Norge, Australien og Saudi Arabien har meget store grønne ammoniak-anlæg under udvikling på mellem 0,5-4 GW elektrolyse.

Anbefaling til dansk PtX-indsats: Danmarks position og konkurrencedygtighed indenfor rørført brint, flydende brint, grøn ammoniak og karbonfuels i et globalt marked bør analyseres løbende. Desuden skal de kompetencer og infrastruktur, som kræves for at benytte de nye mulige globale PtX-brændsler opbygges i rette tid. Danmark bør få gang i anvendelsen af mulige globale PtX-brændsler såsom e-ammoniak til skibsfart, landbrug eller industrien for at sikre den nødvendige efterspørgsel til at kunne demonstrere teknologierne og understøtte nye erhvervsmuligheder.

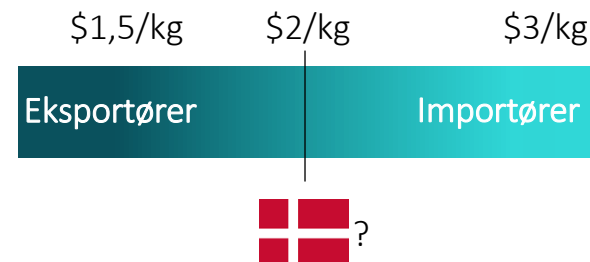
5 Offshore brint

Demonstrationer er undervejs og energiøer er besluttede. Men storskala offshore PtX er uafklaret

Opsummering: Offshore brint er indtil videre kun besluttet som demonstrationsanlæg og ikke i storskala, f.eks. som del af en energiø. I januar 2021 blev det besluttet at energiøen i Nordsøen skal kunne udbygges til 3 GW havvind med mulighed for udbygning til 10 GW. Der er ikke vedtaget offshore produktion af brint eller PtX på energiøen endnu, og pris og teknologiske muligheder for offshore produktion er fortsat uvisse. Offshore produktion kan potentielt være med til at sænke brintproduktionsprisen pga. reducerede infrastrukturomkostninger ved ilandføring og på land. Nye koncepter som brintproduktion direkte i havvindmøller kan også påvirke både behovet for infrastruktur (brint eller el) samt være med til at sænke brintproduktionsomkostningen yderligere.

Anbefaling til dansk PtX-indsats: Offshore PtX er på længere sigt en oplagt mulighed på en energiø med enorme vindressourcer tilknyttet. Der er behov for at tage planlægning af offshore brintproduktion med i energiø-designet, så tidligt som muligt, for at indfri synergier med tilhørende infrastruktur, lagre og VE-anlæg. Dette kræver klarhed over offshore teknologiers pris og teknologisk modenhed som evt. kan iværksættes i samarbejde med andre øvrige lande i Nord- og Østersøregionen.

Figur 5 Brintproduktionspris i 2030 og forventet betydning for om lande globalt set bliver nettoeksportører eller –importører af grøn brint [7]



KLIMAMÅL KAN SÆTTE LANGSIGTET RETNING FOR PTX I DANMARK OG BLANDT ANDET AFKLARE BEHOVET FOR CO₂-FANGST FRA PUNKTKILDER

2 Klimamål

Stor politisk PtX-bevågenhed, men dansk klimamål er endnu for ukonkret ift. PtX
Der er med EU's minimum 55 mål samt det danske 70 mål lagt grundlaget for, at PtX kan spille en betydelig rolle i indfrielsen af 2030 og 2050-målsætningerne.. Der er et stort politisk fokus på brint, hvilket bl.a. ses i Europa Kommissionens brintstrategi (juli 2020), hvor der er forventninger til elektrolysekapacitet i 2030 på 40 GW svarende til ti millioner ton grøn brint samt 40 GW elektrolyse som skal opstilles i EU's nabolande med henblik på import. Flere europæiske lande har i 2020 lanceret nationale brintstrategier, og de udmeldte ambitioner nærmer sig 30 GW elektrolyse. Fælles for klimamålene for PtX er dog, at de ikke er forpligtende nok endnu til at starte en stor efterspørgsel på PtX brændsler. Kunders klimamål er også i begyndende grad med til at fremme efterspørgslen på grønne transporttydelser herunder PtX brændsler. Et eksempel er indenfor skibsfart, hvor øget salg af grøn brændstof vinder frem for at indfri kundernes krav om dekarbonisering i hele deres værdikæde

Anbefaling til dansk PtX indsats:

PtX-strategien bør indeholde en plan for PtX i indfrielsen af 2030- og 2050-målsætninger. PtX-strategien kan ligeledes bidrage til at skabe de nødvendige rammer for at understøtte en industrialisering frem mod 2030 som både skal fremme de nationale anvendelser af PtX mhp. indfrielse af 2030-målsætningen samt sikre samarbejdsaftaler og rammer for eksportmuligheder af PtX til nabolande. For at understøtte udviklingen med kundedrevne grønne transporttydelser er etablering af grønne certifikater til PtX-brændsler et vigtigt dansk indsatsområde på EU-niveau.

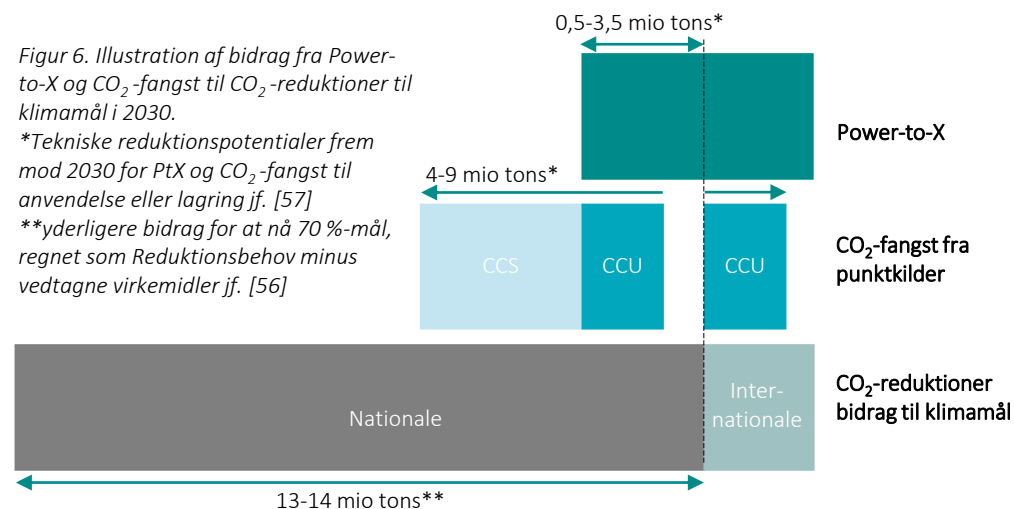
10 Punktkilder

Opskalering af CO₂-fangst ved store punktkilder i Danmark er på tegnebrættet

Opsummering: Der er gang i store pilotanlæg i Danmark til CO₂-fangst, både ved biogasanlæg og affaldsforbrænding. Desuden har flere af de største CO₂-punktkilder i Danmark planer om CO₂-fangst. I København er flere aktører gået sammen med ambition om at kunne fange 3 mio. tons CO₂ i 2030. Aker, Microsoft og Ørsted er gået sammen om at udvikle CO₂-fangst fra biomassefyrede anlæg. Hertil kommer muligheder hos øvrige større punktkilder indenfor industri og energiproduktion i øvrige dele af Danmark.

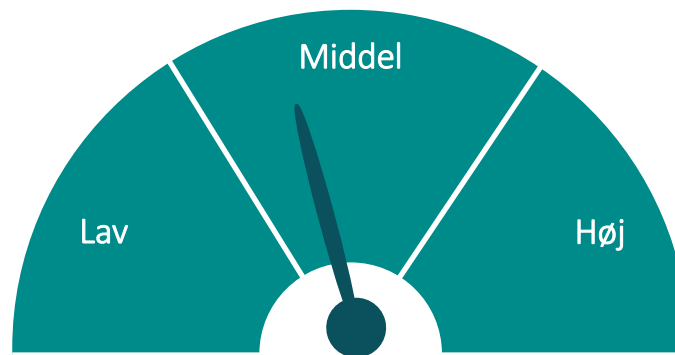
Anbefaling til dansk PtX-indsats:

Omkostning til CO₂-fangst kan blive sænket hvis projekter til fangst og anvendelse samt evt. infrastruktur bliver sammentænkt og udviklet i storskala. Dette kræver at behovet for CO₂-fangst til både CCS og CCU bliver klarlagt, samt rammerne for fangst, anvendelse og lagring bliver fastlagt.



BAROMETRE FOR PTX-GAMECHANGERE

Hvad er status for de 12 PtX-gamechangere?





KONKURRENCE OG EFTERSPØRGSEL

GAMECHANGER #1 – IMPORT AF BRINT TIL EUROPA

#1 PRISPRES FRA UDLANDET BETYDER ØGET IMPORT AF BRINT OG BRINTBASEDE BRÆNDSLER

Brintbaserede brændsler fra udlandet importeres til Europa og udkonkurrerer dansk produktion fra bl.a. Nordsøen. Danmark bliver nettoimportør af brintbaserede brændsler.

Produktion af brint fra naturgas med CCS ("Blå brint") samt brintbaserede brændsler fra lande udenfor EU med billig vedvarende strøm presser dansk PtX-udvikling. Lave elpriser og lave transportomkostninger muliggør import fra blandt andet Nordafrika og Mellemøsten.

EU Brintstrategi - 40+40 GW elektrolyse

Denne gamechanger har rykket sig meget i 2020, særligt i kraft af Europa Kommissionen brintstrategi fra juli 2020. Strategiens målsætning er, at 40 GW elektrolysekapacitet skal installeres i EU frem mod 2030. Hertil skal der opstilles yderligere 40 GW elektrolyse i EU's nabolande mhp. import til EU. Frem mod 2030 skal grøn brint primært anvendes til at erstatte traditionelt fossilt brintforbrug. Importbehovet vil derfor stige markant efter 2030, hvor grøn brint forventeligt får et bredt europæisk gennembrud på tværs af sektorer [8].

Nationale brintstrategier skitserer brintimport

Flere lande har i 2020 lanceret nationale brintstrategier og flere er på vej i 2021. Brinteksport vurderes f.eks. at blive central i en kommende Marokkans brintstrategi [9]. Forventninger til strategien er, at Marokko vil søge at positionere sig som storeksportør af grøn brint med en ambition om at kunne levere 2-4 % af den globale PtX efterspørgsel i 2030 (320-726 TWh). Marokkos geografiske placering tæt på Europa giver mulighed for at transportere brinten både med skib og rørforbunden infrastruktur.

Hvis den grønne brint fra Marokko skal sendes til Centraleuropa med rørforbunden infrastruktur, vil det kræve at både Spanien og Frankrig udbygger brintinfrastruktur. Det kan blive muligt at gamechanger #3. Spanien har i 2020 meldt sig på banen med en ambitiøs brintstrategi, som skal udnytte landets gode sol og vindressourcer, med fremtidig eksport af grøn brint til resten af Europa via en brintbackbone. Ambitionen i det spanske HyDeal projekt er 95GW sol og 67GW elektrolysekapacitet inden 2030 til at levere 3,6 millioner ton grønt brint til en pris under 1,8 \$/kg [10].

Tyskland definerer sig selv som fremtidig storimportør af både grøn og blå brint samt brintbaserede brændsler. Den tyske regering har således indgået præliminære import-aftaler med flere lande i Afrika, herunder Marokko. Af den tyske brintstrategi (juni 2020) fremgår det, at det tyske brintbehov i 2030 bliver på over 100 TWh, hvoraf kun en mindre del af den grønne brint kan produceres i Tyskland [11].

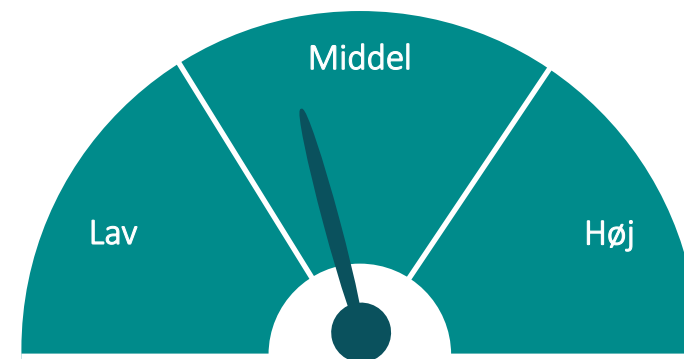
Globalt marked for grøn ammoniak og flydende brint

Udenfor Europa tegner der sig nu de første konturer af et globalt marked for flydende brint (LH₂) og grøn ammoniak. Australien er førende med flere PtX-projekter i GW skala. I Piabara regionen bygges en kombineret landvindmøllepark på 16 GW og solcellepark på 10 GW, som skal levere strøm til et elektrolyseanlæg på 14 GW. Anlægget skal årligt producere 1,75 mio. ton grøn brint som eksporteres til flere asiatiske lande (LH₂ og ammoniak). Japansk, Sydkoreansk og australsk industri er gået sammen i oprettelsen af et globalt LH₂-konsortium om storskala brintproduktion samt etablering af flydende brintforsyningskæder. Amerikanske Air Products & Chemicals annoncerede henover sommeren 2020 planer om at opføre et grønt brintanlæg i Saudi-Arabien drevet af 4 GW vind- og solenergi. Det færdige anlæg vil dagligt producere 650 tons grøn brint. Brinten skal omdannes til ammoniak og sendes til slutmarkeder globalt. Produktionen af ammoniak forventes at starte i 2025, omend anlægget udbygges over en længere årrække [12].

Vurdering af barometer for gamechanger #1

Vores vurdering er, at brint- og PtX-import til Europa rykkede tættere på i 2020. Politiske udmeldinger på både EU- og nationalt niveau sætter rammen for et mere strategisk brintsamarbejde med lande i EU's nærområde. Samarbejdet er endnu på regeringsniveau, og infrastruktur til import af brint er endnu på konceptstadiet. Før gamechangerens sandsynlighed kan rykkes over 50 % vil der skulle indgås kommercielle kontrakter for produktion, aftag og importinfrastruktur.

Der eksisterer i forvejen et globalt marked for ammoniak med etableret infrastruktur. Ammoniakken er billig at transportere og er derfor meget konkurrencedygtig, når den bliver produceret på de bedste sol- og vindlokationer i verden f.eks. i Australien.



Nuværende udvikling af import af brint til EU er kendetegnet ved:

- Lav** : Import indgår i nationale brintstrategier
- Middel** : Samarbejde på regeringsniveau
- Høj** : Kommercielle kontrakter indgået



KONKURRENCE OG EFTERSPØRGSEL

GAMECHANGER #2 – KLIMAMÅL

#2 KLIMAMÅLSÆTNING ØGER EFTERSPØRGSEL PÅ ALTERNATIVER TIL FOSSILE BRÆNDSLER

Klimamålsætning, regulering og forbrugernes ønske om at bidrage aktivt til klimamålet skaber markant efterspørgsel af alternativer til fossile brændsler særligt i transportsektoren.

Brint og brintbaserede brændsler efterspørges i stor stil og betalingsvillighed øges. PtX er i konkurrence med øvrige dekarboniseringsveje (herunder CCS) om at levere til den stigende efterspørgsel. Samlet set vil øgede klimaambitioner drive efterspørgsel på PtX i vejret.

Klimaaftale for energi og industri

Denne gamechanger har rykket sig meget i 2020 - både i Danmark og i EU. I sommeren 2020 indgik forligspartierne en klimaaftale for Energi og Industri, hvor PtX fremhæves. Indtil videre er det dog kun aftalen mellem Danmark og Holland om statistisk overførsel af VE-andele, som tilvejebringer finansiering af tilskudsordningen til PtX-projekter (750 mio. kr.) Der vil i den forbindelse etableres et partnerskab med eksterne aktører om tilskudsordningen gennem statsligt udbud til PtX-anlæg.

Partierne er enige om, at der skal udarbejdes en samlet strategi for CO₂-fangst, lagring og anvendelse (CCUS) og PtX i Danmark. [13] Strategien forventes færdig i slutningen af 2021.

På sigt skal de iht. aftalen vedtagne energier kunne tilkobles teknologier, der kan lagre eller omdanne denne grønne strøm til for eksempel grønne brændstoffer via PtX.

Af klimaaftalen er der ligeledes besluttet to energier med en samlet havvindskapacitet på 5 GW med mulighed for opskalering til minimum 10 GW i Nordsøen. [14]

Den Europæiske strategi for brint

Europa Kommissionen foreslog i september 2020 at hæve målet for reduktion af drivhusgasemissioner i 2030 til mindst 55 % sammenlignet med 1990-niveauet. Kommissionen har nu startet processen med en grundig revidering af relevant lovgivning for at nå den øgede ambition.

En grundsten i Europa Kommissionens Green Deal plan er den europæiske brintstrategi, som blev lanceret i juli 2020. Strategien sætter en 2030-køreplan for at fremme udvikling af grønne brintteknologier. I første fase vil der være fokus på at dekarbonisere den nuværende brintproduktion, lette udbredelsen af brintforbruget til nye anvendelsesformål og fastlægge lovrammerne for et likvidt og velfungerende brintmarked. Der skal skabes incitament for både udbud og efterspørgsel på førende markeder. Denne køreplan er den politiske ramme, inden for hvilken 'European Clean Hydrogen Alliance' vil opstille en dagsorden for investeringer og en pipeline af konkrete projekter. Senest i 2030 vil EU sigte mod at fuldføre et åbent og konkurrencedygtigt EU-brintmarked med uhindret handel på tværs af landegrænser og en effektiv fordeling af brintforsyningen mellem sektorerne. [8]

Virksomheders klimamål kan øge betalingsvillighed i værdikæden

Krav om dekarbonisering af hele værdikæden (såkaldte scope 2 og 3 emissioner) kan føre til øget betalingsvillighed for transportydelser, hvilket kan fremme bl.a. PtX [15]. Indenfor skibsfart viser en rundspørge at kundernes ønsker er største driver for dekarbonisering af skibsfart [16].

Vurdering af barometre for gamechanger #2

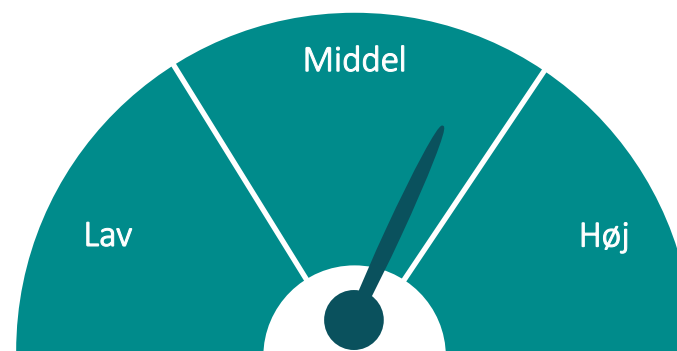
Det vurderes, at EU's målsætning for 55 % reduktion af drivhusgasemission i 2030 samt brintstrategien har givet øget politisk momentum bag brintudviklingen i EU. I Danmark arbejdes der på en PtX-strategi, som kommer til at give en mere klar retning for industrien, og muligvis med afsætning af midler til at opbygge PtX-værdikæder.



AFTALETEKST | 22.06.20

Klimaaftale for energi og industri mv. 2020

Klima-, Energi og Forsyningsministeriet



Klimamål driver PtX-udvikling via:

- Lav** : Høje CO₂-reduktionskrav
- Middel** : + PtX-strategier og begyndende betalingsvilje hos slutforbrugere
- Høj** : + forpligtigende PtX-initiativer og øget betalingsvilje hos slutforbrugere der skaber et PtX-marked



KONKURRENCE OG EFTERSPØRGSEL

GAMECHANGER #3 – BRINTNETVÆRK I EUROPA

#3 UDLANDET UDBYGGER SAMMENHÆNGENDE BRINT-INFRASTRUKTUR NÆR DANMARK

Stor efterspørgsel på grøn brint til bl.a. eksisterende industrielle formål presser på udvikling af sammenhængende brintinfrastruktur i bl.a. Holland og Tyskland. Udviklingen beskrevet i gamechanger #1 kan øge sandsynligheden for opførelse af brintnetværk i udlandet.

Det betyder for PtX, at der skabes mulighed for dansk handel med brint over grænserne såfremt en dansk brintinfrastruktur bygges.

Denne gamechanger har bevæget sig meget de sidste 12-18 måneder. Holland og Tyskland er til dato de EU lande som er længst i etableringen af brintnetværk. I deres respektive nationale netudviklingsplaner indgår nationale brintnetværk, som skal forbinde Nordvesteuropa i 2030. Det første hollandske pilotprojekt med konvertering af en 12 km naturgasledning til brint blev operationel i 2018 [17] og det planlægges at have det første industriklyngenetværk færdigt i 2025. Der skal træffes endelig investeringsbeslutning for flere hollandske og tyske brintklynger i 2021. Projekterne er baseret på konvertering af en naturgasrørledninger til transport af brint. I Tyskland og Holland er man desuden ved at udvikle rammeregulering til brintinfrastruktur og et netværksbaseret brintmarked [18].

Gas TSO'er udgiver koncept for brint "backbone"

I april 2021 udgav et konsortium, bestående af 23 europæiske gas TSO'er, en opdateret vision for et tværeuropæisk brintnetværk. I 2030 skitserer studiet potentielt 6.800 km brintnet med mulig opskalering til 40.000 km net i 2040. De nye brintnet består hovedsageligt af konverterede naturgasrørledninger.

For Danmark er der inkluderet 150 km ledningsnetværk i 2030, som forbinder forventet brintproduktion på den danske vestkyst med et brintlager. I studiet estimeres mere end 75 % besparelse ved at konvertere eksisterende naturgasrørledninger til brint relativt til omkostningen ved at bygge helt nye brintledninger. Konsortiet skitserer, at det europæiske brintnetværk kan udvikle sig fra regionale netværk for industriklynger til et fuldt europæisk netværk, som forbinder 21 lande inden 2040 [19].

Brintnetværk inkluderet i EU's projekter af fælles interesse

I december 2020 kom Europa kommissionen med udkast til revision af Lovgivning for Transeuropæisk Netværk – Energi (TEN-E). I Kommissionens udkast kategoriseres brintinfrastruktur blandt projekter som i fremtiden kan komme på EU's liste over projekter af fælles interesse (PCI-listen). Projekter på PCI-listen vil blive prioriteret i tilladelsesprocessen og har mulighed for at få finansiel støtte fra EU. Revisionen forventes ratificeret i 2021. Den næste og 6. PCI-liste bliver udarbejdet i 2022 [20].

En dansk brintledning

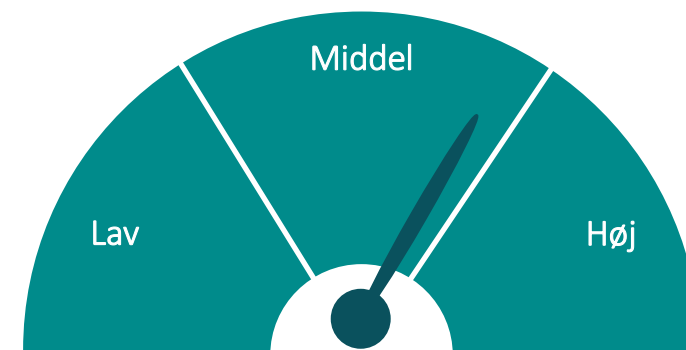
Energinet foretager nu de indledende tekniske undersøgelser ift. en mulig konvertering af eksisterende gasrørledninger til transport af brint. Behovet for transport og lagring af brint er betinget af at brintproduktion overstiger det lokale brintforbrug eller at produktion og forbrug ikke er synkront. Brintinfrastruktur skal her holdes op mod samfundsøkonomien i andre infrastrukturløsninger. Flere danske projekter indenfor lokale brintklynger kan komme over de næste 5-10 år og skabe behov for brintinfrastruktur til både transport og lagring og potentielt eksport til Tyskland.

Vurdering af barometer for gamechanger #3

Vores vurdering er, at et brintnetværk syd for den danske grænse er blevet væsentligt mere sandsynlig i 2020. Holland og Tyskland rykker hurtigt og vil om få år have sammenhængende regionale brintnet, hvilket på den mellemlange bane giver Danmark nogle muligheder for at koble sig op og eksportere grøn brint i store mængder.



Figur 7: Muligt sammenhængende nordvesteuropæisk brintnet i 2040, European Hydrogen Backbone [19]



Udviklingsniveauer for brintnet:

- Lav** : Brintnet på konceptstadiet
- Middel** : Brintnet indgår i politiske visioner
- Høj** : Investeringsbeslutning for regionale brintnet er foretaget



BRINTTEKNOLOGI- OG PRISER

GAMECHANGER #4 – BRINTPRODUKTIONSOMKOSTNING

#4 TEKNOLOGISK UDVIKLING OG BILLIG GRØN STRØM BRINGER BRINT FRA DANMARK NED I PRIS

Brintproduktion bringes hurtigere ned i pris end antaget. Elektrolyseteknologier som alkalisk og PEM industrialiseres og bringes markant ned i pris. Nye teknologier som f.eks. SOEC kan på længere sigt sænke brintprisen yderligere.

Store mængder strøm fra vind og sol bringer elprisen ned. Nye generationer af havvindmøller kan bygges i meget store parker og til lave LCOE-omkostninger. Det betyder for PtX, at der i Danmark vil være mange timer med lave elpriser samt billig elektrolysekapacitet som samlet set gør brintproduktionen mere konkurrencedygtig.

Brintproduktionsomkostningen i Danmark vil have stor indflydelse på konkurrencedygtigheden af PtX-brændsler og påvirke PtX-efferspørgslen både nationalt og ift. eksport. En dansk brintproduktionsomkostning på omkring \$2/kg i 2030 vurderes at svare til lav brintproduktionsomkostning, der både gør Danmark relevant ift. eksport til nabolande og gør PtX konkurrencedygtigt ift. fossile brændsler [7]. Der peges på brintproduktionspriser på ca. \$1,5/kg for forventede eksportområder som Chile, Mellemøsten og Australien mens importlande som f.eks. Tyskland, Japan og Sydkorea vil ligge på \$2,5/kg. En alliance bestående af syv globale virksomheder vil arbejde på at drive prisen på brint ned til \$2/kg allerede i 2026 [23]. Siemens og NEL har ambitioner om \$1,5/kg i 2025 på store anlæg under best-case VE-betingelser [21] og [22].

Omkostning i Danmark kan falde 30-50 % frem mod 2030

Brintproduktionsomkostninger afgøres primært af prisen på strøm inkl. tariffer samt investeringsomkostning og virkningsgrad for elektrolyseanlæg.

Indtægter fra f.eks. overskudsvarme eller øvrig procesintegration kan sænke omkostningen. Figur 8 viser fremskrivning af disse elementer til at beregne brintproduktionsomkostningen i Danmark. Der ses et fald på 30 %-50 % fra 2020 mod 2030, hvilket flytter brintproduktionsprisen tæt på \$2/kg.

Elektrolyseanlæg vil falde yderligere i pris og stige i virkningsgrad

Prisen for alkalisk elektrolyse er ca. \$600-1200/kW i 2020, og forventningen frem mod 2030 er fald til ca. \$200-600/KW [7] [58]. Der er alene i Europa udmeldte elektrolyseprojekter på over 30 GW, hvilket kræver investeringer på ca. 100-150 mia. kr. En efterspørgsel på elektrolysekapacitet i denne størrelsesorden vil drive en kraftig industrialisering af produktionen af elektrolyse hvilket i sig selv forventeligt vil føre til en reduktion af omkostningerne. Virkningsgraden forventes også at stige for både PEM og alkalisk elektrolyse til over 70 % (LHV). Haldor Topsøe har annonceret SOEC-elektrolyse fra 2023 med forventet højere virkningsgrad [25], men hvor den samlede brintproduktionsomkostning dog fortsat er uvis.

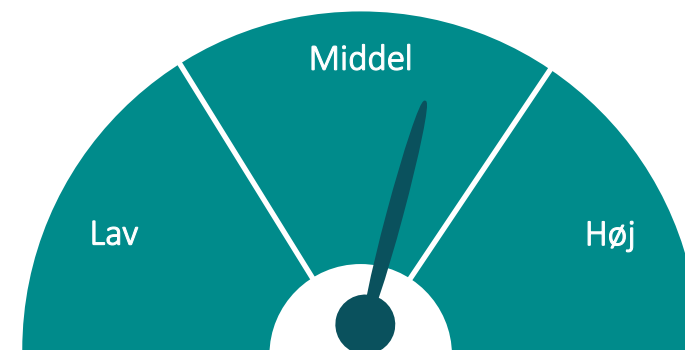
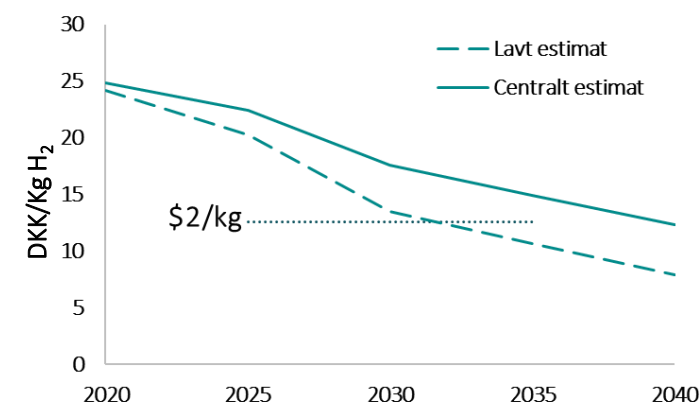
Elmarkedspriser vil blive påvirket af store mængder vind og sol

Omkostninger til vind og sol (LCOE) er reduceret, hvilket gør at ny VE kan opføres tæt på støttefrit både i Danmark og nabolandene. Sammen med øget efterspørgsel på grøn strøm forventes en markant udbygning med fluktuerende elproduktion på elmarkedet. Dette vil forventelig øge fluktuationerne i elpriserne med flere timer med hhv. lave og høje elpriser. Hermed kan det blive rentabelt at overdimensionere elektrolyse for kun at producere brint i 3.000-4.000 timer om året med de laveste elpriser. En stor ubalance grundet kraftig VE-udbygning og langsom stigning i elforbruget kan potentielt skabe gunstige elpriser for de første elektrolyseanlæg.

Vurdering af barometer for gamechanger #4

Barometerstanden vurderer sandsynligheden for at opnå en dansk brintproduktionsomkostning på \$2/kg i 2030. Der er ud fra figur 8 vurderet en middel sandsynlighed for at dette kan nås, fordi det indfries i scenariet med det lave estimat, men ikke med det centrale estimat. Det er en vurdering med betydelig usikkerhed som bl.a. afhænger af fremskrevne elpriser og tariffer samt fald i prisen for elektrolysekapacitet og øget virkningsgrad.

Figur 8: Scenarier for produktionspris for elektrolysebaseret brint i Danmark. Kilde: [24]



Sandsynlighed for dansk brintproduktionsomkostning på \$2/kg i 2030

Lav : Lav sandsynlighed
Middel : Middel sandsynlighed
Høj : Høj sandsynlighed



BRINTTEKNOLOGI- OG PRISER

GAMECHANGER #5 – OFFSHORE BRINT

#5 DER ETABLERES DANSK OFFSHORE ENERGIØ MED TILKNYTTET BRINTPRODUKTION

En energiø på dansk havterritorium giver mulighed for tilknyttet brintproduktion og/eller direkte produktion af flydende brændsler.

Brint- og brændselsproduktion i tilknytning til energiø åbner op for udbygning af havvind i storskala uden eller med begrænset forbindelse til det danske indenlandske elnet, men evt. med behov for ny brintinfrastruktur. Der åbnes op for direkte forbindelser fra dansk offshore til udland med nye eksportmuligheder af brint og brintbaserede brændsler.

Det kan have betydelig konsekvens for den nødvendige PtX-infrastruktur om brint produceres offshore i VE-anlægget, offshore på en energiø eller på land i f.eks. ilandføringszoner eller øvrige steder i det kollektive elnet. Teknologi og projektdesign til offshore brint er dog fortsat under udvikling.

Offshore brint kan blive fremmet af sparet infrastruktur

Offshore brintproduktion kan potentielt set give de laveste produktionsomkostninger. Resultatet afhænger bl.a. af besparelsen på ilandføring, samt mulighederne for at lave brint eller øvrige PtX-produkter offshore. [58] Udvikling af offgrid-løsninger på land, f.eks. drevet af gode VE-ressourcer af vind og/eller sol i områder uden energiinfrastruktur, kan påvirke udviklingen af offgrid løsninger offshore hvor der også er meget vind, men langt til forbrugere og eksisterende infrastruktur. I udbuddet af Hesselø-havvindmøllepark er 'overplantning' en mulighed til at opføre ekstra VE-kapacitet som ikke skal nettilsluttes efter tilslutningspunktet i det kollektive elnet.

Denne type udbud kan skubbe brintproduktion tættere på VE-ressourcen og hermed også fremme offshore produktion.

Demonstration af offshore brint er undervejs

Det er besluttet at gennemføre de første skridt for demonstrationen af offshore brint. Siemens forventer at investere EUR120 mio. over fem år i udvikling af en offshore vindmølle med elektrolyse og hermed integreret brintproduktion [26]. Desuden vil Oyster konsortiet med bl.a. Ørsted, Siemens, ITM Power og Element Energy demonstrere MW-skala offshore produktion samt ilandføring af brint [27].

Energiøer er besluttet, men tilhørende offshore brint er ikke

I Februar 2021 vedtog et bredt flertal i folkettingen at opføre en 3 GW energiø i Nordsøen hurtigst muligt, som skal kunne udvides til 10 GW. Desuden er 2 GW energiø i Østersøen vedtaget [28]. Det er endnu meget usikkert hvornår øen kan stå færdig. På det foreliggende grundlag vurderes vanskeligt at realisere øen før 2033, men det søges optimeret. Energiøen i Nordsøen er pga. placeringen langt fra land et muligt eksempel på hvor offshore PtX-produktion kan vinde frem. Det er ikke besluttet at brint eller øvrig PtX-produktion skal være del af energiøen.

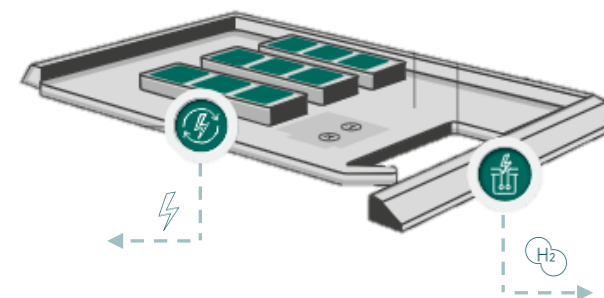
Offshore produktion af f.eks. ammoniak ifm. en energiø kan også blive fremmet af bedre muligheder for distribution eller sågar muligheden for at tanke produktionen direkte på skibe.

Vurdering af barometer for gamechanger #5

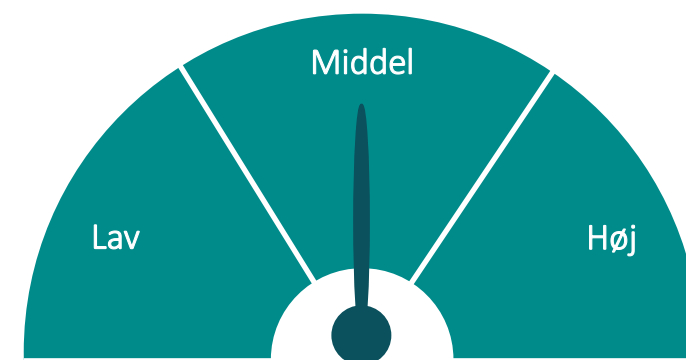
Barometerstanden er vurderet ud fra de industrielle udmeldinger om at demonstrere offshore brint inden 2030.

For at gamechangeren skal komme tættere på at indtræffe skal offshore brint besluttes i større skala f.eks. ifm. en energiø, og det er indtil videre ikke tilfældet. Sandsynligheden for offshore brint afhænger naturligvis af hvor lang etableringsfasen bliver for selve øen.

Figur 9: Skitse af en Energi-ø baseret på sænkekasser. Øen vises med mulighed for produktion af brint Kilde: Energinet [29]



Konceptet giver på lidt længere sigt mulighed for at bruge strøm fra havvinden til at producere brint på selve øen, som kan transporteres i land via brintledninger.



Offshore brint i Danmark i 2030 er:

- Lav** : I analysefase hos myndigheder og industri
- Middel** : Besluttet opført i demonstration skala (ikke nødvendigvis på energiø)
- Høj** : Besluttet opført i storskala f.eks. ifm. energiø



BRINTTEKNOLOGI- OG PRISER

GAMECHANGER #6 – BRÆNDSLSCELLER

#6 GENNEMBRUD FOR BRÆNDSLSCELLE-TEKNOLOGI I DANMARK OG UDLAND

Brændselscelle-teknologien falder drastisk i pris og vinder kraftigt frem i vejtransport til særligt lastbiler og busser samt til skibe og måske endda fly. Storskala eller decentral brintlagring gør at brændselsceller til elproduktion omkostningseffektivt kan balancere elnettet.

Det betyder for PtX, at en ren brintvej bliver styrket. Dette vil medføre et stigende behov for brintinfrastruktur fra produktionssteder til hvor brinten anvendes. Der kan ligeledes være behov for udbygning af tankinfrastruktur til brint og potentielt mindsket ladeinfrastruktur.

Brændselscelle-teknologien har stor betydning for konkurrencedygtigheden af brint og andre PtX-brændsler som metanol til transport. Det er forventeligt indenfor langdistance busfart og lastbiler samt færger at brændselsceller til transport først finder anvendelse [7]. Som backup-elproduktion er brændselsceller allerede i fremdrift flere steder i verden [30].

Et gennembrud afhænger både af brændselscelleteknologiens pris og performance ift. konkurrenter, men også af f.eks. afgiftsfritagelser og emissionskrav. Udbredelsen af brændselsceller i 2030 afhænger af hvornår et gennembrud sker indenfor de forskellige anvendelser. Denne minianalyse ser på aktuell status for brændselsceller til transport.

Producenter kæmper om fremtidens lastbilteknologi

Der er mange teknologiveje i spil indenfor tung vejtransport, væsentligst batterier, køreledninger, biodiesel og naturgas/biogas sammen med PtX-veje såsom brint, metanol og syntetisk diesel.

Scania satser på udvikling af batterilastbiler med 40 ton lastevne og 4,5 times kørsel uden opladning, dette baseret på forbedringer i batteriteknologi [31]. Daimler og Volvo har annonceret et partnerskab om udvikling, produktion og kommercialisering af brændselsceller, hvor det primære fokus er langdistance og heavy-duty lastbiler. De første køretøjer er klar efter 2025 [32].

Lastbiler og infrastruktur til brint på motorveje er på vej

I Schweiz er H₂ Energy og Hyundai ved at få 50 brintlastbiler (36 ton) på vejene sammen med opbygning af brintfyldestationer, til 350 og 700 bar komprimeret brint. Planen for 2025 er udbredelse af 1.600 brintlastbiler [33]. I Schweiz er fritagelse for vejafgift et vigtigt element i forretningsmodellen for brændselscellerne.

Skibsfart kan bane vejen for store brændselscelle-systemer

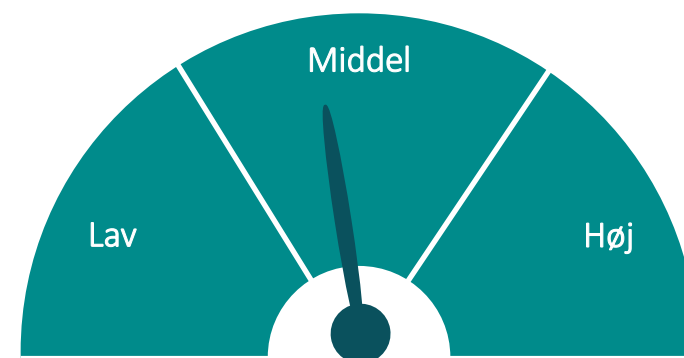
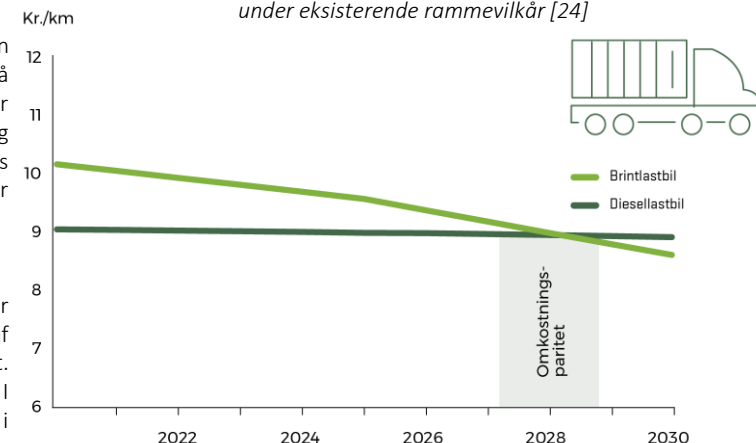
En række norske færger sejler i dag på brint. DFDS har ambitionen om at transformere København-Oslo ruten til brint med et 23 MW brændselscellesystem, hvilket vil skabe verdens største færge på ren brint [34]. Shell peger på flydende brint til brændselsceller som en langsigtet mulighed for dekarbonisering af skibsindustrien [35].

Vurdering af barometer for gamechanger #6

Barometerstanden vurderer hvor stor udbredelsen af brændselsceller til transport aktuelt er. Der er begyndende producenter af brintlastbiler og brintfærger.

På trods af at perspektiverne for brændselsceller til transport er store er det endnu usikkert hvorvidt og hvornår der vil ske et entydigt gennembrud. Hvis gennembruddet kommer snart kan der potentielt ske en betydelig udvikling af brintforbrug til transport med tilhørende behov for brintinfrastruktur på f.eks. motorveje og havne.

Figur 10: Total Cost of Ownership for langdistance, heavy duty lastbiler under eksisterende rammevilkår [24]



Aktuel udbredelse af brændselsceller til transport:

- Lav** : Prototyper og visioner, ingen infrastruktur
- Middel** : De første køretøjer og skibe er i gang og infrastruktur er under langsom opbygning.
- Høj** : Vigtigste fabrikanten satser på brændselsceller og infrastruktur er hastig under opbygning.



METAN SOM ENERGIBÆRER

GAMECHANGER #7 – DECENTRAL GAS-TO-LIQUID

#7 DIREKTE PRODUKTION AF FLYDENDE BRÆNDSLER VINDER FREM

Eksempler på direkte produktion er f.eks. e-SMR ved biogasanlæg (produktion af metanol) eller termisk forgasning, hvor fast biomasse som træ og halm omdannes direkte til f.eks. syntetisk diesel. PtX-anlægget kan placeres ved den biogene kulstofkilde. Udviklingen kan blive understøttet af sol og landvind, som kan opstilles tæt på produktionsanlæggene.

Det betyder for PtX, at metan som energibærer får mindre betydning og hermed reduceres behovet for det eksisterende naturgasnet til transport af biometan.

GtL teknologien kan få betydning for placering af VE- og PtX-anlæg og hermed påvirke behovet for elnet eller evt. brintinfrastruktur samt hvilken rolle gasnettet får. GtL kan have en decentral vej med lokal udnyttelse af biogene ressourcer, hvilket denne gamechanger omhandler. Desuden er det en central vej hvor omdannelsen til flydende brændsler sker på i storskalaanlæg, hvilket er beskrevet under gamechanger #9 (se figur 11).

Demoprojekt af eSMR-teknologien igangsæt

Teknologien kaldet eSMR-MeOH er en løsning til at producere bæredygtig metanol til konkurrencedygtige priser. Et samarbejde mellem bl.a. Haldor Topsøe, Energinet Elsystemansvar og en række danske universiteter skal demonstrere e-SMR-teknologien i industriel relevant størrelse i et 10-40 kg/h metanol-pilotanlæg til at opgradere biogas ved Aarhus Universitets forskningsbaserede biogasanlæg. Demonstrationsprojektet løber i perioden 2019-2023 og har modtaget knap 68 mio. kr. i støtte fra EUDP. Ved projektafslutning ventes teknologien at være moden, så den kommercielt kan implementeres med det samme som en original rute til konkurrencedygtig metanolproduktion [38].

Pyrolyseteknologier skal fortsat modnes

Skyclean-teknologien omdanner via pyrolyse halm og gylle fra landbruget til biokul, gasser og olier. Ca. halvdelen af outputtet er biokul, der kan anvendes til kulstoflagring og som gødning til landbrugsjord, mens olie og gasser kan opgraderes til flybrændstof ved at tilsætte brint. Teknologien er under udvikling, bl.a. med test på DTU Risø. Skyclean-teknologien er udviklet af Henrik Stiesdal, som sammen med bl.a. DTU, Aarhus Universitet, Siemens Gamesa, Seges samt Landbrug & Fødevarer er i gang med at rejse midler til den videre udvikling. I Aftalen om stimuli og grøn genopretning 2020 er der afsat 100 mio. kr. årligt i 2021 og 2022 til en tilskudspulje til pyrolyse mv., som er målrettet omkostningseffektive teknologier med stort reduktionspotentiale inden for landbrugssektoren [36].

Globale tendenser viser

Globalt er der en række mindre Gas-to-Liquid-faciliteter, som konverterer naturgas til flydende brændstof, og der er flere projekter på vej. Dette er især attraktivt for at udnytte naturgas, som ellers ville være "strandet" pga. manglende gasinfrastruktur. Selskabet Sasol har projekter i Usbekistan og Sydafrika, som forventes i drift i hhv. 2021 og 2024. [37].

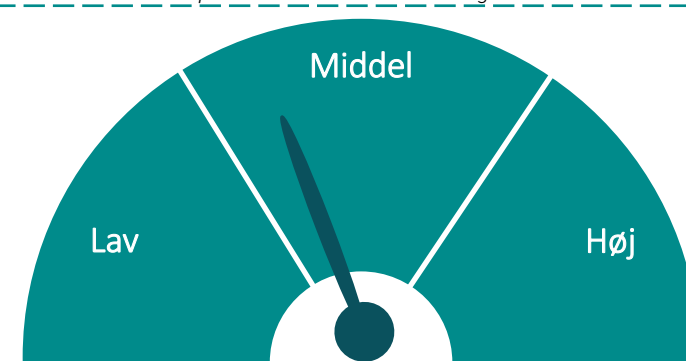
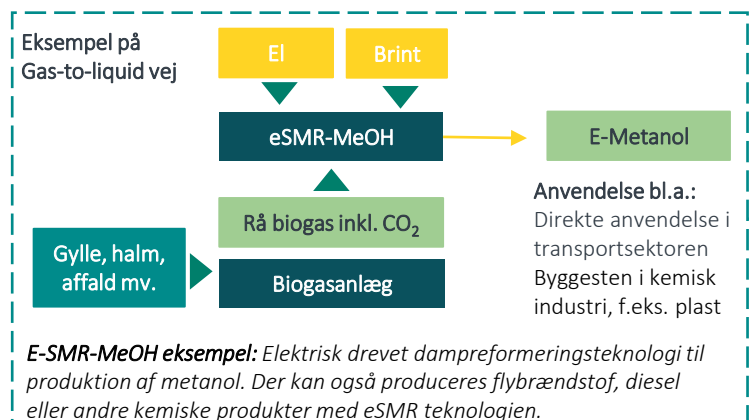
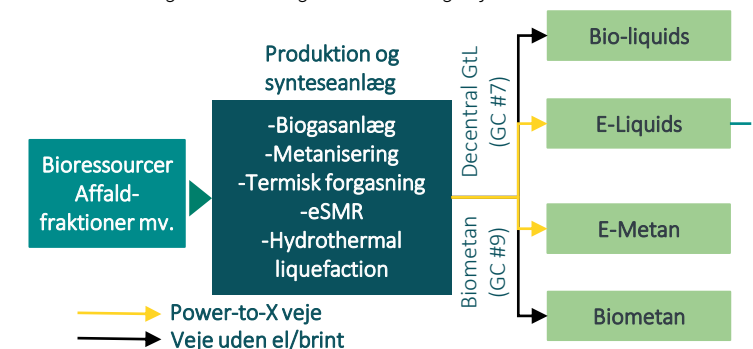
EU's brintstrategis definition af "renewable" er vigtig for GtL

I Europa-Kommissionens brintstrategi fra juli 2020 omfatter definitionen af *renewable hydrogen* (også kaldet *clean hydrogen*) brint produceret ved reformering af biogas samt biokemisk konvertering af biomasse, såfremt kriterier for bæredygtighed er opfyldt. Det er dermed rimeligt at antage, at flydende brændsler produceret med samme input også klassificeres som renewable [8].

Vurdering af barometer for gamechanger #7

Der er flere demonstrationsprojekter i gang, som sigter mod opskalering af produktionen af GtL-brændsler. En klassificering som "renewable" vil have betydning for efterspørgslen af disse brændsler.

Figur 11: Oversigt over teknologiveje



Gas-to-liquid udviklingsstadiet

- Lav** : Teknologi på forskning og udvikling stadiet
- Middel** : Demonstrationsprojekter besluttet
- Høj** : Opskalering/industrialisering



METAN SOM ENERGIBÆRER

GAMECHANGER #8 – METANFORBRUG

#8 MARKANT SÆNKET METANFORBRUG

En øget energieffektiviseringsindsats og konverteringer til varmepumper, hybridvarmepumper og fjernvarme sænker efterspørgslen for naturgas til opvarmning og i dele af industrien. Den reducerede efterspørgsel på naturgas frigør kapacitet i dele af gasnettet og gaslagrene.

Det betyder for PtX, at der åbner muligheder for alternative anvendelser ift. transport og lagring af brint, CO₂ eller rå, ikke opgraderet biogas. Samtidigt 'frigøres' biogas til nye anvendelser f.eks. som input til produktion af e-fuels.

Denne gamechanger har bevæget sig meget de sidste 12-18 måneder. Øget energieffektiviseringsindsats og konverteringer til varmepumper, hybridvarmepumper og fjernvarme sænker efterspørgslen for naturgas til opvarmning og i industrien. Energistyrelsens analyseforudsætningerne fra 2020 angiver et forventet fald i metanforbruget på 40 % frem mod 2030 og over 50 % frem mod 2040.

Politiske aftaler skubber på udfasning af naturgas

I 2020 kom der politiske aftaler med konkrete tiltag til udfasning af naturgas til opvarmning, herunder en række tilskudsordninger til udfasning af gasfyr. Dertil kommer en række økonomiske incitamenter til elektrificering af industrien. Dette er et klart politiske signal om ønsket om at udfase naturgas i det danske energisystem [13].

Stor interesse for udskiftning af gasfyr hos kunderne

En analyse fra gasdistributionsselskabet Evida viser, at 49.000 gaskunder (ca. 13 %) forventer at konvertere fra gasfyr til anden opvarmingskilde de næste to år. Konverteringstempoet ventes desuden at stige markant de kommende år [39].

Konvertering fra kul til gas kan skabe nyt forbrug

Klimapartnerskabet for energiintensiv industri angav, at sektoren kan reducere ca. 1,1 mio. tons CO₂, hvis virksomhederne går over til at bruge biogas i stedet for kul og naturgas.

Nogle industrivirksomheder ventes at omstille fra bl.a. kul og olie til grøn gas i deres processer og flere virksomheder, såsom Rockwool, Nordic Sugar og Aalborg Portland er allerede i gang med skiftet til gas (beskrevet nærmere under GC #9).

Betydning for frigørelse af gasinfrastrukturen

Metanforbruget er ikke alene afgørende for, om der frigøres kapacitet i gasinfrastrukturen, som i stedet kan anvendes til brint. Gasinfrastrukturen anvendes også til transport af opgraderet biogas, der føres fra distributionsnettet til transmissionsnettet, hvilket forventes at stige i fremtiden (se GC #9). Der er desuden store regionale forskelle for metanforbruget. Der skal også tages højde for, at biogasproduktionen primært finder sted i Jylland, hvorfor der selv ved et lavt gasforbrug fortsat er behov for at flytte gassen rundt i landet. Hertil er Danmark fortsat et transitland for naturgas til Polen og Sverige i mange år fremover.

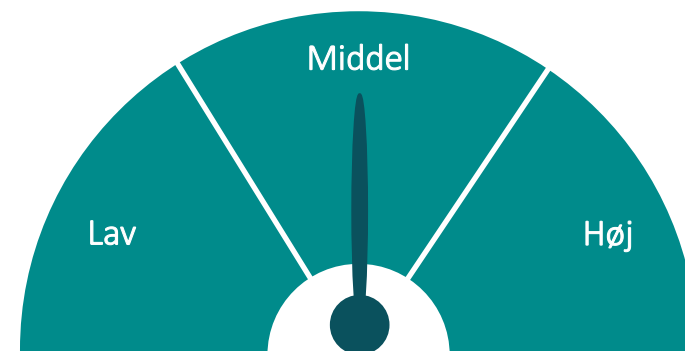
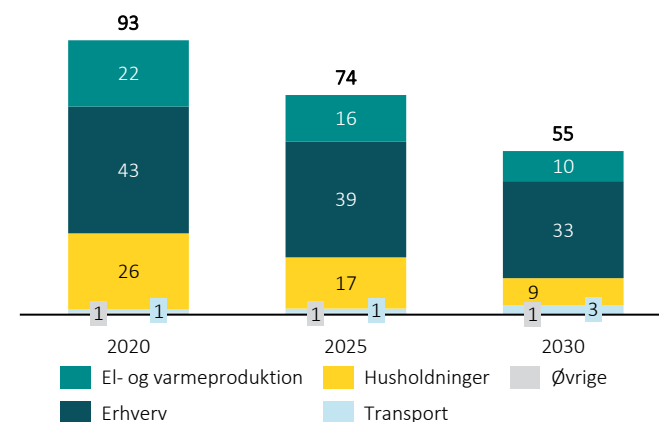
Vurdering af barometer for gamechanger #8

Politiske aftaler angiver tydeligt ønske om reduktion af metanforbruget og der er afsat støttemidler til skift væk fra gas. Markedet skal dog gøre brug af tiltagene før vi begynder for alvor at se en reduktion i forbruget.

Den reducerede efterspørgsel efter metan er medvirkende til, at der kan frigøres kapacitet i dele af gasnettet og gaslagrene. Der skal dog tages højde for forskelle på distributions- og transmissionsnettet. Gastransmissionssystemet er for det meste et enstrengt system, hvilket betyder, at størstedelen af systemet forbliver reserveret til transport af metan i mange år fremover.

Figur 12: Fremskrivning af det danske gasforbrug fordelt på sektorer (PJ).

Kilder: Energistyrelsens analyseforudsætninger til Energinet 2020 [40]



Sandsynlighed for markant reduktion i gasforbruget inden 2030

- Lav** : Ingen tiltag til reduktion
- Middel** : Politiske tiltag til reduktion af forbrug
- Høj** : Markedet gør brug af tiltagene



METAN SOM ENERGIBÆRER

GAMECHANGER #9 – BIOMETAN

#9 BILLIG OG RIGELIG OPGRADERET BIOGAS SENDES PÅ GASNETTET

Storskalafordele ved industrielskala biogasanlæg, udvikling af biogasteknologi, der muliggør forgasning af dybstrøelse, industriaffald, halm mv. reducerer priser på biogas betydeligt og mængderne stiger markant.

Det betyder for PtX, at opgraderet biogas bliver anvendt i industri og transport frem for PtX-produkter som f.eks. brint eller e-fuels. Hermed mindskes behovet for PtX pga. øget biometan-konkurrence. Stigende mængder biogas øger dog potentialet for e-metan via metanisering af CO₂ fra biogassen.

Opgraderet biogas (biometan) udgør i starten af 2021 over 20 % af det danske gasforbrug. Klimapartnerskaberne for industri fremskrev et markant øget efterspørgsel på biometan frem mod 2030. Nogle industrivirksomheder omstiller f.eks. fra kul til gas forventes fremover at efterspørge betydelige mængder biogas:

- Den 1. januar 2021 skiftede Rockwool fra kul til gas med tilkøb af biogascertifikater til at dække forbruget [41].
- I februar 2021 blev det politisk besluttet at etablere et gasrør til Lolland og Falster, så Nordic Sugar kan omstille produktionen fra kul og fuelolie til gas [42].
- I februar 2021 har Aalborg Portland indgået en aftale med Evida om opkobling til gasnettet i 2022 [43].

Som det fremgår af (GC #8) forventes industrisektoren i 2030 at blive den dominerende gasforbrugende sektor, særlig i industri med behov for højtemperatursprocesser. I analyseforudsætningerne (se figur 13) ses dog ikke en stigning i direkte anvendelse af biometan til transportsektoren, hvor biometanen må forventes at komme i direkte konkurrence med elektrificering og brint/PtX.

Biogasproduktion vil vokse markant

Energistyrelsens analyseforudsætningerne fra 2020 angiver en stigning i produktionen af grøn gas på 59 % allerede i 2025 og mere end en fordobling i 2035. I 2030 udgør grøn gas således 60 % af det samlede gasforbrug - inklusiv biogas som ikke tilføres gasnettet. Det sker i takt med stigende produktion af grøn gas og et generelt faldende gasforbrug i Danmark [40].

Mængden af yderligere biogasproduktion som følge af den nye støtteordning afhænger af, hvordan støtten udmøntes, hvilket fastsættes i løbet af 2021. Det påvirkes desuden af faktorer såsom ændring af certifikatsystemet for biogas.

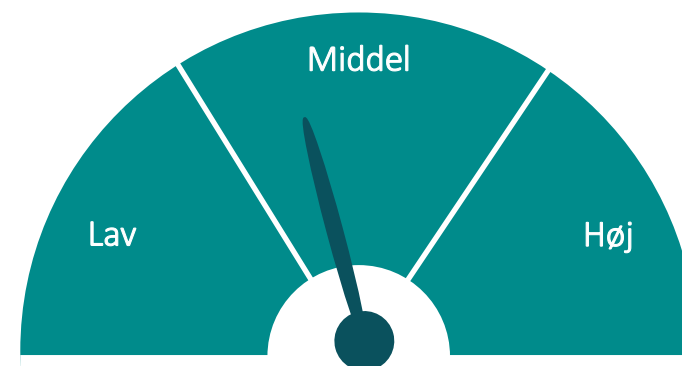
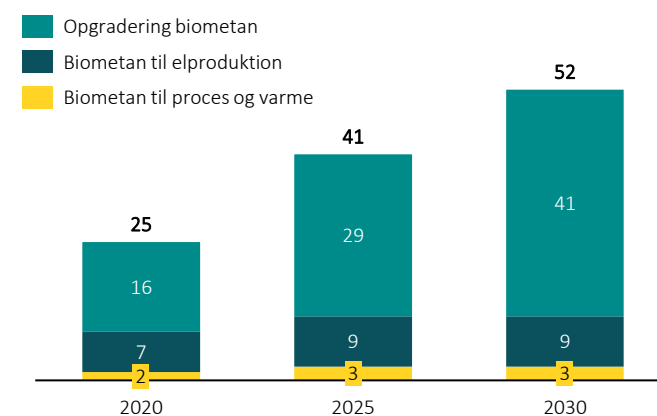
Ukendt pris på biogas

Hvor brintproducenter har udmeldt forventninger til en relativ hurtig reduktion i brintproduktionsomkostningerne (se GC #4), så tegner der sig ikke et klart billede af prisudviklingen for biogas. Det er derfor på nuværende tidspunkt svært at sige noget konkret om konkurrencedygtigheden for hverken biogas eller GTL (GC #7). I løbet af 2021 fastsættes den nye biogasstøtteordning, hvilket vil give et bedre indblik i hvilken pris biogas kan produceres til i fremtiden. På nuværende tidspunkt synes den oplagte konsekvens af mere biogas ift. PtX at være den stigende mængde biogene CO₂, som bliver tilgængelig. CO₂ der kan anvendes til yderligere produktion af biometan gennem metanisering eller produktion af PtX-produkter såsom e-metanol og e-kerosen. Derfor kan CO₂-fangst ved biogasanlæg bidrage til øget produktion af kulstofbaseret PtX.

Vurdering af barometer for gamechanger #9

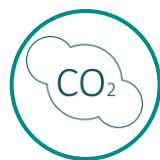
Den øgede produktion/efterspørgsel på biogas har betydning for udvikling af dansk infrastruktur og tilgængeligheden af grøn CO₂. Mængden af biogas/metan kan mere end fordobles i 2030. Fremskrivningen viser, at biogas primært forventes opgraderet og injiceret i metanet. Biometanen vurderes ikke at være i direkte konkurrence med brint og andre PtX-produkter, som i høj grad forventes at skulle anvendes i transportsektoren, men i stedet et vigtigt element i den kulstofbaserede PtX-værdikæde.

Figur 13: Fremskrivning af produktion af biogas (PJ). Kilder: Høringsudkast til Energistyrelsens Klimastatus og -fremskrivning 2021 [44]



Status på udvikling af biometan

Lav : Biometan anvendes i mindre grad i gasnettet
Middel : +Biometan anvendes i stigende grad til industri
Høj : +Biometan anvendes i tiltagende grad til industri og transport



KULSTOF-TILGÆNGELIGHED

GAMECHANGER #10 – CO₂ PUNKTKILDER

#10 BILLIG CO₂-FANGST FRA PUNKTKILDER GIVER BEGRÆNSET MÆNGDE GRØNT KULSTOF

Teknologien bag CO₂-fangst fra punktkilder giver adgang til grønt kulstof som kan anvendes (CCU) til produktion af PtX-produkter. Fangst af CO₂ vil koncentrere sig omkring de store biogas-, affalds-, industrianlæg og kraftværker, der afbrænder bæredygtig biomasse.

EU-regulering stiller krav til oprindelse af kulstof anvendt til produktion af PtX-produkter. Efterspørgsel gør grønt kulstof til en relativt knap ressource.

Markante ændringer i den danske energi- og forsyningssektor samt energiintensive industri skaber fokus på at hente nødvendige omkostningseffektive CO₂-reduktioner. Som led i den grønne omstilling vil det for disse industrier forventeligt indebære fangst af CO₂ fra både større og mindre punktkilder. CO₂-fangst på affalds- og biomasseværker forventes muligt frem mod og efter 2030, men på længere sigt vil mængden af affald og tilgængelig biomasse falde som følge af bl.a. skærpede miljøkrav til affaldsforbrænding og udfasning af biomasse på kraftværker. Det tyder ikke på, at biogent kulstof frem mod 2030 bliver en begrænset ressource, men billedet kan dog ændre sig efter 2030.

Fortsat uklare rammer for CO₂-fangst

I Regeringen og aftalepartierne Klimaaftale for Energi- og Industri fra juni 2020, afsættes fra 2024 en pulje målrettet løsninger til fangst og lagring (GC #12) af CO₂ på 800 mio. kr. årligt, som skal medføre reduktioner på 0,9 mio. ton. CO₂/år i 2030 [13]. Der skal dog skabes mere klarhed omkring økonomien og de politiske rammer samt en forventet CO₂-afgift, før vi vil se investeringer i CO₂-fangst. En politisk strategi for CCS afventes senere i 2021.

Fordobling af biogasproduktionen frem mod 2030

Nature Energy Korskrø er det eneste biogasanlæg som udnytter CO₂ fra opgraderingsprocessen til kuldioxid i sodavand. Frem mod 2030 fordobles biogasproduktionen, hvilket øger potentialet for fangst af grøn kulstof derfra. Biogasopgraderingsanlæg er enkeltvis ikke store CO₂-punktkilder, men da CO₂'en på disse anlæg allerede separeres, når biogassen opgraderes til naturgaskvalitet (biometan), reduceres investeringsbehovet til CO₂-fangst. [45]

Pilotanlæg er besluttet og massiv opskalering kan være på vej

Amager Ressourcecenter, som udleder ca. 0,5 mio. ton CO₂/året, modtog sammen med et konsortium 30 mio. kroner i juni 2020 til et pilotanlæg der skal teste CO₂-fangst, som forventes at være i drift i 2022. Anlægget skal kunne indfange 12 ton CO₂ om dagen, og skal på sigt udbygges til et fuldskaalanlæg, som skal indfange 95 % af værkets CO₂ i 2025. [46]

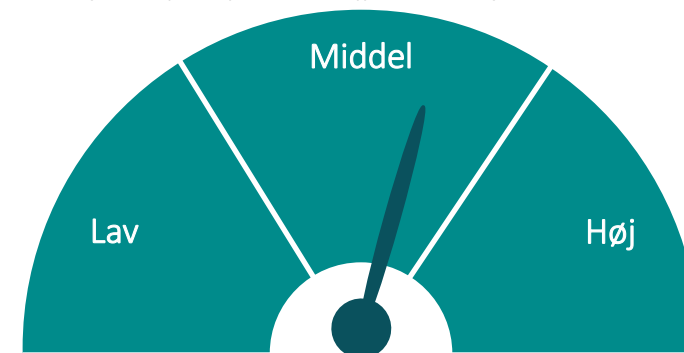
Aalborg Portland har indgået samarbejdsaftale med Regeringen om CO₂-fangst som et af midlerne til at reducerer med 0,6 mio tons in 2030 [43]. Senest har ARC sammen hovedstadens øvrige forsyningselskaber (Ørsted, Hofer og Vestforbrændingen) etableret konsortiet *Carbon Capture Cluster Copenhagen* (C4), med det formål at indfange 3 mio. ton CO₂ om året i 2030 fra selskabernes værker [47]. Ørsted, Aker Carbon Capture og Microsoft har desuden indgået alliance om fangst af CO₂ fra biomasse kraftvarmeanlæg [48].

Vurdering af barometer for gamechanger #10

Det vurderes at der frem mod 2025 opstilles flere storskala pilotanlæg som gradvist udbygges til fuldskaalanlæg i takt med nye skærpede udledningskrav og en potentiel CO₂-afgift vedtages. Med den planlagte opskalering af anlæg til CO₂-fangst i f.eks. Aalborg og København er der potentiale til at omkostningerne bliver sænket pga. storskala og hermed giver adgang til en stor mængde grønt kulstof, der kan anvendes i bl.a. PtX-værdikæder (CCU) eller til lagring (CCS).

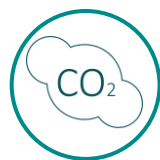


Figur 14: Fremskrevet årlig CO₂-udledning for 2030 baggrund af AF20, BF20, restlevetid på eksisterende kraftvarmeværker og annoncerede nedlukninger af kulkraft/ fossil fyrede værker, samt Klimapartnerskabet for energiintensiv industri og Klimaafalen for en Grøn Affaldssektor og Cirkulær Økonomi.



Status for CO₂-fangst fra grønne punktkilder

- Lav** : Ingen konkrete projekter / forskning og Udvikling
- Middel** : Demonstrationsprojekter besluttet
- Høj** : Opskalering af CO₂-fangst planlagt



KULSTOF-TILGÆNGELIGHED

GAMECHANGER #11 – DIRECT AIR CAPTURE

#11 CO₂-FANGST FRA LUFTEN GIVER UENDELIGE MÆNGDER GRØNT KULSTOF

CO₂-fangst fra luften med Direct Air Capture (DAC) gennemgår betydelig teknologisk udvikling og falder i pris til konkurrencedygtigt niveau med punktkilder. Dette giver adgang til ubegrænsede mængder kulstof som ikke er geografisk afgrænset.

Teknologiudviklingen muliggør produktion af kulstofbaserede PtX-brændsler decentralt ved elektrolyseanlæg tæt på VE-produktion. Efterspørgsel fra biogent CO₂ samt fra punktkilder mindskes, hvilket fører til mindre behov for transport af kulstof.

CO₂-fangst fra luften er fortsat dyrt

På grund af den relativ lave koncentration af CO₂ i atmosfærisk luft er Direct Air Capture (DAC) teknologien fortsat væsentligt dyrere end konventionel CO₂ fangst fra punktkilder, selvom teknologien over de seneste år har gennemgået betydelig udvikling. Da ingen af de to typer DAC, høj temperatur (900°C) og lav temperatur (100°C), endnu er demonstreret i stor skala, er de fremtidige omkostninger ved teknologien fortsat usikre.

Dog skønnes det, at fra et prisniveau på 1.000/1.600 kr./ton CO₂ i 2020 for lav temp. DAC (m./u. gratis udnyttelse af spildvarme), vil omkostningerne frem mod 2030 falde til 400/800 kr./ton CO₂. DAC vil således fortsat i 2030 være dyrere end CO₂ fangst fra punktkilder (GC #10) som estimeres til 250 – 500 kr./t CO₂ [49].

Synergier skal realiseres

DAC har den fordel, at teknologien ikke er afhængig af at være installeret på et anlæg. Det giver mulighed for decentrale DAC-anlæg, som potentielt kan medvirke til at ændre behovet for CO₂-infrastruktur, da de kan placeres geografisk tæt ved elektrolyseanlæg (GC4) eller CO₂-lagring (GC #12). En placering

tæt ved det øvrige energisystem kan reducere omkostningerne til DAC, ved at realisere synergieffekter med fjernvarmenettet.

DAC-anlæg i Danmark

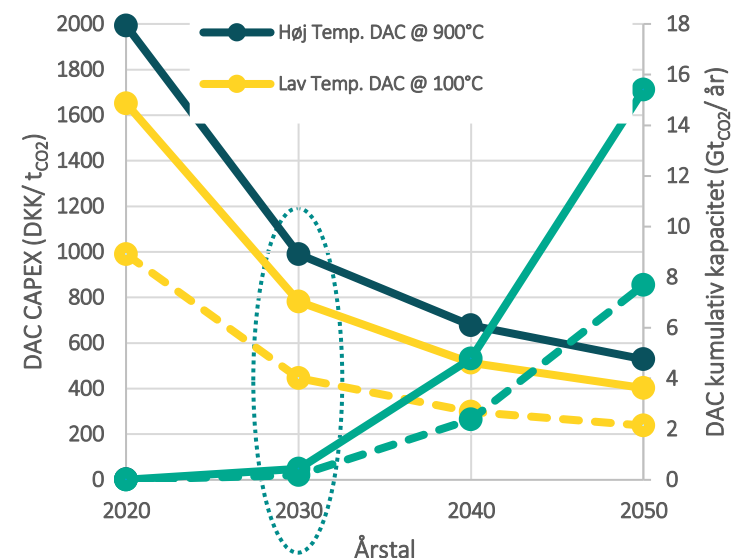
Danmarks geografiske placering sikrer os store vedvarende energiressourcer og nogle af Europas laveste elproduktionsomkostninger. Netop dette kan give Danmark en styrkeposition, da DAC anlæg er CAPEX-intensive, og det er derfor favorabelt at operere anlægget ved så mange fuld last timer (FLH) som muligt. Realisering af synergieffekter med fjernvarmenettet og de lave LCOE priser til øvrige varmepumper, kan understøtte en dansk udvikling af DAC anlæg til kulstofholdige PtX produkter og CO₂ lagring (GC #12).

Kun små demonstrationsprojekter

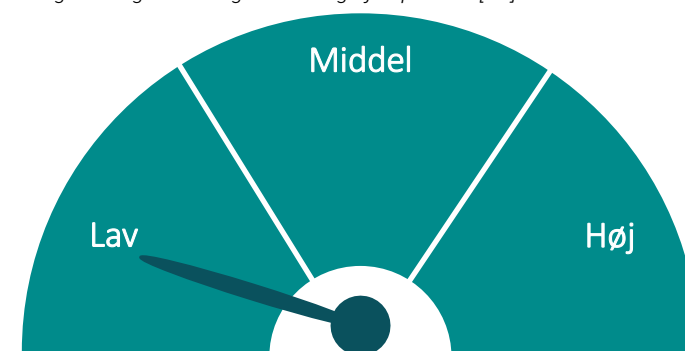
Der eksisterer i dag 15 små DAC anlæg på verdensplan, som indfanger mere end 9.000 tons CO₂/år og som primært afsættes til brug som kuldioxid i sodavandsindustrien [50]. Virksomheden Climeworks gik i december 2020 sammen med den islandske CO₂ lagringsvirksomhed Carbfix om at opstille demonstrations-anlægget Orca, der forventes i drift i 2021 og skal fange ca. 4.000 tons CO₂/år.[51] Virksomheden Carbon Engineering forventer i 2021 at igangsætte etableringen af et større DAC anlæg på 1 Mt CO₂/år i USA som forventes i drift i 2023. [52] Her skal CO₂'en dog afsættes til brug i olieindustrien gennem "Enhanced Oil and Gas Recovery" (EOR).

Vurdering af barometer for gamechanger #11

Vores vurdering er, at den fortsatte nødvendige udvikling af DAC ikke gør det muligt at realisere DAC i storskala frem mod 2030, og at DAC fortsat vil være væsentligt dyrere end CO₂ fangst fra punktkilder (GC #10) efter 2030. Dertil skal der udvikles et marked for CO₂ til at understøtte teknologien og skabe den nødvendige betalingsvillighed. Samtidig bliver det i den tidlige opskalingsfase afgørende, at DAC sammentænkes med det øvrige energisystem for at realisere omkostningsreduktioner. For at realisere udviklingen af teknologien efter 2030 er det imidlertid nødvendigt, at der allerede nu implementeres demonstrationsprojekter som gradvist opskaleres.

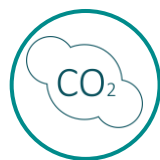


Figur 15: Udviklings skøn i investeringsomkostninger (CAPEX) for Direct-Air-Capture (DAC) for de to dominerende teknologier, hhv. høj temperatur (900°C) og lav temperatur (100°C), med og uden gratis udnyttelse af spildvarme (til venstre). Skøn af kumulativ kapacitet for DAC under antagelse af forskellige læringskurver og realisering af kapacitet. [49]



Bliver storskala DAC en realitet inden 2030?

- Lav** : Ingen konkrete projekter / forskning og Udvikling
- Middel** : Demonstrationsprojekter
- Høj** : Opskalering / industrialisering



KULSTOF-TILGÆNGELIGHED

GAMECHANGER #12 – CO₂-LAGRING

#12 CO₂-LAGRING BLIVER KOMMERCIELT TILGÆNGELIG

Teknologisk udvikling og satsning fra kommercielle aktører gør Nordeuropa attraktiv for lagring af CO₂ (CCS) i f.eks. dansk og norsk undergrund.

Det betyder for PtX, at lagring af CO₂ er en konkurrent som dekarboniseringsvej til PtX:

- Direkte konkurrence om grøn kulstof, hvis grøn CO₂ kan tælles som negative emissioner, ved lagring frem for at blive anvendt (CCU) til kulstofbaserede PtX-produkter.
- Indirekte konkurrence ved at fossil CO₂ eller CO₂ fra DAC kan lagres og hermed gøre fortsat fossil anvendelse med CO₂-ækvivalent lagring billigere end ny VE-forsyning til dekarbonisering.

På trods af, at varig deponi af CO₂ fortsat er på et tidligt udviklingsstadium, er denne gamechanger i bevægelse. GEUS har i deres arbejde med CO₂-lagring identificeret en lang række CO₂-lagringsområder i den danske undergrund. CO₂-deponi på land har tidligere været undersøgt, som en del af Vattenfalls projekt om at lagre CO₂ i Vedstedstrukturen i Nordjylland i perioden 2009-2011. Der synes dog at være en fornyet interesse for lagring af CO₂ på land med det øgede fokus på CCS, og det vurderes at Havnsø, Thisted, Hanstholm og Vedsted bliver de første geologiske strukturer der tages i brug, samt udtjente olie- og gasfelter i Nordsøen.

CCS skal udgøre stor del af 2030-reduktion

Regeringen og aftalepartierne nåede med klimaaftalen i juni 2020 til enighed om en teknologineutral, markedsbaseret pulje til fremme af CCS og CCU fra 2024 med målet om at reducere CO₂-udledningen med 0,4 Mt i 2025 og 0,9 i 2030.[13] Sidenhen er der afsat yderligere 200 mio. kr. til CCS i Danmark, og ifølge klimaftalen skal CCS udgøre den største CO₂-reduktion blandt nogle af de nye teknologier.

Danmark undersøger udtjente olieletter

Projekt Greensand er blevet tildelt knap 10 mio. i støtte til at undersøge, om Nini olieletter i Nordsøen kan bruges til lagring af CO₂. Målsætningen er at kunne lagre 0,5-1 Mt CO₂ om året i 2025, som frem mod 2030 skal udvides med omkringlæggende lagringsområder for at opnå det fulde CO₂-lagrings-potentiale, som er estimeret til 3,5-4,5 Mt CO₂ om året. [53]

Northern lights projektet

Mens Danmark stadig er på det tidlige udviklingsstadium, når det kommer til CCS, har Norge siden 2016 foretaget undersøgelser af, hvordan man kan udnytte tomte olie- og gasfelter i Nordsøen til CO₂-lagring. I december 2020 traf den norske regering den endelige beslutning om finansiering af Northern Lights projektet [54]. Forventningen er, at projektet kan sættes i drift i første kvartal af 2024 med lagring af op til 1,5 Mt CO₂ om året, som i fase 2 skal øges til 5 Mt CO₂ om året. Det åbner op for muligheden for at indfange CO₂ i Danmark og eksportere til Norske nordsøletter, hvilket kan bidrage til en hurtigere udvikling af markedet for kulstoffangst (GC #10), som samtidig tillader at CO₂'en kan tælle med som reduktion i det danske nationale klimaregnskab.

Samspil mellem CCS og CCU

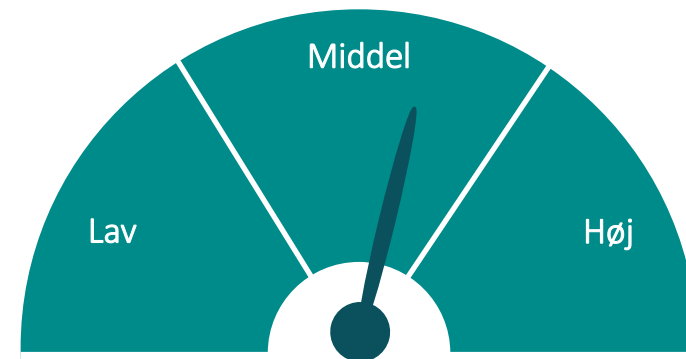
Langvarig binding af CO₂ til CCS for at sikre investeringer kan have konsekvenser for udviklingen af produktion af kulstoffoldige PtX-produkter. Der er dog risiko for, at der på kort sigt investeres i infrastruktur, CCS anlæg, mv., som ikke tager højde for fremtidig behov for CO₂ til PtX, medmindre der laves langsigtet planlægning, der understøtter de oplagte synergier mellem CCS og CCU, som f.eks. fangst og infrastruktur.

Vurdering af barometer for gamechanger #12

Vores vurdering er, at CO₂-lagring i dansk undergrund afhænger af den kommende strategi for CO₂-fangst, lagring og anvendelse (CCUS) og PtX i Danmark, og at det alt efter skala mv. således kan være optimalt enten at eksportere CO₂ til lagring i udlandet, eller importere og have national CCS i større skala.



Figur 16: Kortlagte og undersøgte CO₂ lagringsområder/ geologiske strukturer på land og i det danske farvand, udført af GEUS, som indikerer potentialet for CCS i den danske undergrund.[55]



Storskala CCS konkurrer med CCUS om grøn CO₂?

- Lav** : Ingen konkrete projekter / forskning og Udvikling
- Middel** : Demonstrationsprojekter
- Høj** : Opskalering / industrialisering

BILAG



- [1] Gamechangers for PtX og PtX-infrastruktur, Energinet & Danske Energi (Maj 2020): [Link](#)
- [2] Cirle K rydder Danmark for PtX-brændsel, Energiwatch (2020): [Link](#)
- [3] CIP vil bygge Europas største PtX-anlæg i Esbjerg, Energiwatch (Februar 2021): [Link](#)
- [4] Nel får Danmarks største brintordre, Energiwatch (December 2020): [Link](#)
- [5] Leading Danish companies join forces on an ambitious sustainable fuel project, Ørsted (Maj 2020): [Link](#)
- [6] Dansk vindkæmpe vil bygge verdens største brintfabrik, Energiwatch (December 2020): [Link](#)
- [7] "Hydrogen Insights", Hydrogen Council (februar 2021): [Link](#)
- [8] EU Hydrogen Strategy, European Commission (juli 2020): [Link](#)
- [9] Study on the opportunities of Power-to-X in Morocco, Fraunhofer ISI (feb.2019). [Link](#)
- [10] Hydeal Ambition, McPhy (februar 2021): [Link](#)
- [11] The national Hydrogen Strategy, BMWI (juli 2020): [Link](#)
- [12] Gigawatt-scale: the world's 13 largest green-hydrogen projects, Recharge (2021): [Link](#)
- [13] Klimaaf tale for energi og industri mv, FM (Juni 2020): [Link](#)
- [14] Tillægsaftale, FM (Februar 2021): [Link](#)
- [15] Net-Zero Challenge: The supply chain opportunity | World Economic Forum, weforum.org (2021): [Link](#)
- [16] Danske Rederier – Rederipanel 2020. [Link](#)
- [17] Gasunie hydrogen pipeline from Dow to Yara brought into operation, Gasunie (2018): [Link](#)
- [18] Gesetz zur Umsetzung unionsrechtlicher Vorgaben und zur Regelung reiner Wasserstoffnetze im Energiewirtschaftsrecht, BMWI (Februar 2021): [Link](#)
- [19] European Hydrogen Backbone, Gas for climate (Juli 2020): [Link](#)
- [20] Commission proposes revised rules for cross-border energy infrastructure in line with the European Green Deal, European Commission (December 2020): [Link](#)
- [21] Siemens Energy targets \$1.50/kg renewable hydrogen cost by 2025, S&P Global Platts (2021): [Link](#)
- [22] NEL CMD 2021: Launches 1.5 USD/kg target for green renewable hydrogen to outcompete fossil alternatives. [Link](#)
- [23] Green Hydrogen Capapult. [Link](#)
- [24] "Anbefalinger til en dansk strategi for Power-to-X, Dansk Energi, 2020. [Link](#)
- [25] Haldor Topsøe vil bygge elektrolysefabrik på halv gigawatt. [Link](#)
- [26] Siemens Gamesa and Siemens Energy to unlock a new era of offshore green hydrogen production. [Link](#)
- [27] Oyster projektet. [Link](#)
- [28] Tillæg til klimaaf tale om energi og industri af 22. juni 2020 vedr. Ejerskab og konstruktion af energier mv. [Link](#)
- [29] Årsmagsin, Energinet, Energinet (marts 2020): [Link](#)
- [30] Stationary Power — Fuel Cell & Hydrogen Energy Association (fchea.org). [Link](#)
- [31] Scania's commitment to battery electric vehicles (volkswagenag.com). [Link](#)
- [32] Daimler Truck AG and the Volvo Group complete creation of fuel-cell joint venture: cellcentric. [Link](#)
- [33] Hydrogen-electric mobility in Switzerland. [Link](#)
- [34] Partnerskab vil udvikle brintfærge til Oslo-København. [Link](#)
- [35] Shell backs hydrogen for shipping's decarbonization. [Link](#)
- [36] Landbrug & Fødevarer samt Aftale om finansloven for 2021 og aftale om stimuli og grøn genopretning af 6. december 2020
- [37] EIA (US Energy Information Administration) samt Sasol
- [38] EUDP
- [39] Gasforbrugernes forventning til deres fremtidige opvarmning, Evida (marts 2021): [Link](#)
- [40] Analyseforudsætninger til Energinet 2020, Energistyrelsen (september 2020): [Link](#)
- [41] ROCKWOOL reducerer sin CO₂-udledning i Danmark med mere end 70 % fra nytår, Rockwool (2020): [Link](#)
- [42] Gasledning til Lolland-Falster skal sikre CO₂-reduktioner og arbejdspladser, KEFM (februar 2021): [Link](#)
- [43] Ny samarbejdsaftale: Aalborg Portland forpligter sig til mindst 660.000 ton CO₂-reduktioner, KEFM (september 2020): [Link](#)
- [44] Høringsudkast til Energistyrelsens Klimastatus og -fremskrivning 2021, Energistyrelsen (januar 2021): [Link](#)
- [45] Dansk CO₂ fra landbruget bliver til bobler din sodavand, Nature Energy (2020): [Link](#)
- [46] København går efter CO₂-fangst i stor skala, Dansk Energi (September 2020): [Link](#)
- [47] Danske energigiganter går sammen om CO₂-fangst, Energiforum Danmark (februar 2021): [Link](#)
- [48] Ørsted, Aker Carbon Capture, and Microsoft commit to explore development of carbon capture, Ørsted (marts 2021): [Link](#)
- [49] Fasihi, Mahdi. Techno-economic assessment of CO₂ direct air capture plants (2019)
- [50] Direct Air Capture, IEA (2021): [Link](#)
- [51] Climeworks (2020): [Link](#)
- [52] Occidental on course to transition from oil and gas to carbon capture management, S&P Global (2020): [Link](#)
- [53] Project Greensand: North Sea reservoir and infrastructure certified for CO₂ storage, Maersk Drilling (2020): [Link](#)
- [54] Northern Lights (2020): [Link](#)
- [55] CO₂-lagring, GEUS (2020): [Link](#)
- [56] Klimarådet – Statusrapport 2021 - Danmarks nationale og globale klimaindsats. [Link](#)
- [57] Regeringens Klimaprogram 2020. [Link](#)
- [58] Brint og PtX i fremtidens energisystem, EA Energianalyse, 2020. [Link](#)

ORDLISTE

AF20. Analyseforudsætninger til Energinet 2020	e-brint og kvælstof fra luften	brint
Biometan. Opgraderet biogas i naturgaskvalitet produceret via vedvarende biobaserede energikilder	E-fuels. Flydende brændsler produceret på baggrund af e-brint og kulstofkilde	Metaniseret CO2. Brint kombineret med overskydende CO2 fra f.eks. biogas til at danne metan (CH4)
‘Blå brint’. ‘Sort brint’ med CO2-lagring (CCS)	Elmarkedsintegration. Produktionsanlæg der har adgang til elmarkedet	Metannet. Det eksisterende gasnet, som i dag transporterer naturgas og stigende mængder biometan
Brændselscelle. Omdannelse af f.eks. brint til el i et fartøj	e-SMR. Elektrisk drevet steam methane reforming, til produktion af syntesegas fra metan eller rå biogas. Denne omdannes typisk videre til f.eks. metanol	Offshore infrastruktur. El- og gasinfrastruktur offshore f.eks. i Nordsøen
CCS (carbon capture and storage): indfangelse af CO2 til lagring i undergrunden	Energi-ø. Kunstigt konstrueret hub eller ø ifm. opførelse af meget store mængder havvind. El fra mange parker samles på huben og sendes til land som el og/eller brint	Power-to-X (PtX). Omdannelse af el til en række energiprodukter (X’er), f.eks. e-brint, metan
CCU (carbon capture and utilization): Indfangelse af CO2 og udnyttelse til bl.a. at producere e-fuels	Gamechanger. Et markant spring i teknologi eller den omverden, som dansk PtX skal opstå i.	Punktkilder. CO2-udledning fra skorstene, oftest kraftværker, affald eller industrianlæg
Direct Air Capture (DAC). Udtrækning af CO2 direkte fra luften. Alternativt CO2 fra vand med direct water capture	Gas to Liquid (GtL). Omdannelse af gas til flydende brændsel.	Sektorkobling. Kobling af f.eks. el-, gas- varme og transportsektorer. Historisk har f.eks. kraftvarme udgjort betydelig sektorkobling, og fremadrettet forventes grøn el til andre sektorer (direkte og indirekte elektrificering) at få stor rolle
Elektrolyse. Spaltning af vand til brint (H ₂) og oxygen (O) via strøm	‘Grøn brint’. Populær betegnelse for e-brint fra VE-elproduktion via elektrolyse	‘Sort brint’. Populær betegnelse for brint fra fossile kilder – oftest naturgas eller kul via steam methane reforming
Ellagring. Proces hvor el lagres (f.eks. batteri, brint, trykluft, varme sten) og efterfølgende kan konverteres tilbage til el	Indfødningszone. Geografiske områder med særlige vilkår for forbrugere og producenter, som f.eks. kan sikre at forbrugsenheder placeres hensigtsmæssigt i infrastrukturen	
E-brint. Brint produceret via elektrolyse	Kaverne. Stort underjordisk lager til naturgas eller	
E-metan. Metan produceret på baggrund af e-brint og en kulstofkilde		
E-ammoniak. Ammoniak produceret på baggrund af		



Tonne Kjærvej 65
7000 Fredericia

+45 70 10 22 44
info@energinet.dk

Energinet er en selvstændig offentlig virksomhed under Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet. Vi ejer og udvikler rygraden i den danske el- og gasforsyning: de store højspændingsledninger og gasrør, som bringer strøm og gas frem til dit energiselskab.

Energinets kerneopgave er at løse energiens trilemma: Vi skal omstille el- og gassystemerne til at køre på grøn energi, samtidig med at vi opretholder en meget høj forsyningssikkerhed og sikrer, at det er til at betale for både forbrugere og samfund



Vodroffsvej 59
1900 Frederiksberg

+45 35 30 04 00
de@danskeenergi.dk

Dansk Energi er en erhvervs- og interesseorganisation for energiselskaber i Danmark. Sammen leverer vores medlemmer stadigt grønnere strøm til danskerne, samtidig med at de sikrer strøm i stikkontakten 99,99 pct. af tiden til konkurrencedygtige priser.

Dansk Energi understøtter medlemmernes udvikling og placering i de markeder, hvor energi spiller en væsentlig rolle. Det gør vi ved at arbejde med de politiske rammevilkår, løse fællesopgaver og være samlingspunkt for branchen.

Publikationen er udgivet i april 2021 i et samarbejde mellem Dansk Energi og Energinet