



# GAMECHANGERE FOR PTX OG PTX-INFRASTRUKTUR I DANMARK

**ENERGINET**

**DANSK  
ENERGI**

## INDHOLD

INTRODUKTION	Side 2
→ PtX som del af fremtidens VE-forsyning	
→ Metode	
UDPEGE GAMECHANGERE	Side 5
→ Referencescenariet	
→ Gamechangere for udvikling af PtX	
PTX UDBUD OG EFTERSPØRGSEL	Side 9
→ Mulige værdikæder for PtX	
→ PtX-forbrug/eksport, VE-ressource af el og kulstof	
→ Import af PtX og konkurrencedygtighed for dansk PtX	
→ Delkonklusioner	
PTX-INFRASTRUKTUR	Side 17
→ El, brint, metan, CO <sub>2</sub> , offshore, varme	
→ Delkonklusioner	
ANBEFALINGER	Side 27
→ Tiltag der kan igangsættes nu	
→ Tiltag afhængige af nøgle-gamechangere	
ORDLISTE	Side 31

## INTRODUKTION

Power-to-X (PtX) bliver en vigtig nøgle i omstillingen væk fra fossile brændsler. I Danmark er der, i lyset af de væsentlige vindressourcer, et stort potentiale for at producere forskellige typer grønne brændsler via PtX. Dansk Energi og Energinet ser i denne analyse på hvilke gamechangere der kan drive udviklingen for PtX hurtigere frem. Hertil analyseres det hvordan de enkelte gamechangere bør tænkes ind i fremtidig planlægning af energiinfrastruktur, så det understøtter PtX-udviklingen.

### Udfaldsrum for PtX-udvikling

Denne analyse er ikke tænkt som et roadmap for PtX, men et diskussionsoplæg om mulige udfaldsrum for PtX i Danmark. Formålet er at sikre en grundig diskussion af hvordan den danske energiinfrastruktur understøtter udviklingen hensigtsmæssigt og omkostningseffektivt.

### VE-elproduktion er blevet billigt og klimaambitionerne er vokset

El fra vind og sol er i dag blevet billigere end konventionel elproduktion med fossile brændsler. Den grønne strøm skaber først og fremmest værdi der hvor den kan være med til at skubbe fossile brændsler ud via direkte elektrificering. Det gælder bl.a. elbiler og varmepumper til opvarmning og industri. Grøn strøm kan imidlertid også videreføres til brint og andre PtX-produkter hvorved der åbnes muligheder for at udnytte en lang større del af de danske VE-ressourcer via indirekte elektrificering. Dette bliver afgørende for at nå i mål med danske klimaambitioner.

### PtX kan være løsningen for de "svære sektorer" såsom tung transport og industri

Analysen peger på at PtX skal i spil til at reducere dele af de 40-50 pct. af energiforbruget som ikke kan elektrificeres. Navnlig de sektorer, som fortsat vil efterspørge flydende brændsler eller gas. Det gælder bl.a. tung vejtransport, fly- og skibstransport samt visse industrier. For at hente omkostningseffektive CO<sub>2</sub>-reduktioner i disse sektorer, hvor direkte elektrificering synes vanskelig, vil der bl.a. blive brug for brint og PtX.

### Danmark har brug for PtX-infrastruktur for at kunne gribe mulighederne

Der vil opstå behov for understøttende infrastruktur hvis PtX skal op i en skala hvor det kan dække dansk efterspørgsel og på sigt også eksporteres til udlandet. Alt efter skalaen og om der tegner sig en dominerende central eller decentral udvikling for PtX, har det store konsekvenser for hvordan fremtidens energiinfrastruktur skal planlægges. Hertil hvornår der opstår behov for brintinfrastruktur. Dansk Energi og Energinet ønsker med denne analyse at belyse de potentielle udfaldsrum, hvilke gamechangere, der påvirker udviklingen og hermed afdække hvilke infrastrukturbehov, der kan opstå i takt med, at PtX-værdikæder vokser frem.

# PTX KAN BLIVE VIGTIG DEL AF FREMTIDENS VE-FORSYNING

I den grønne omstilling og for at nå vores klimaambitioner kan der overordnet set tegnes tre hovedspor til VE-forsyning af energisystemet: Direkte elektrificering, indirekte elektrificering via PtX samt biomasse og biogas anvendelse. Yderligere kan øget energieffektivisering, cirkulær økonomi og CCS bidrage til dekarbonisering af energisystemet – mange analyser tyder på alle veje skal i spil for at nå hele vejen til netto-nuludledninger.

EU kommissionens 1,5 °C-scenarier\* anslår, at PtX og direkte elektrificering i 2050 kan udgøre hhv. ca. 21 pct. og 50 pct. af slutforbruget. Disse andele varierer mellem scenarier og vil desuden variere fra land til land. PtX anlæg i EU kan efterspørge op mod 1700TWh elproduktion, og det er derfor helt afgørende at de kan forsynes af rigelige mængder billig og grøn el. Her har Danmark gode muligheder for spille en nøglerolle og udnytte de betydelige VE-ressourcer vi råder over.

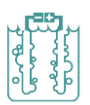
## VE-ressourcer



Biomasse og biogas



Sol og vind

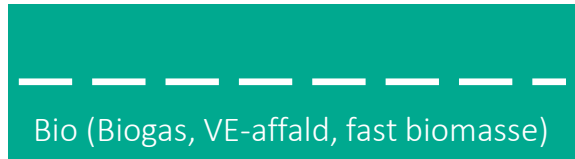


Forædling af VE-ressourcer via PtX

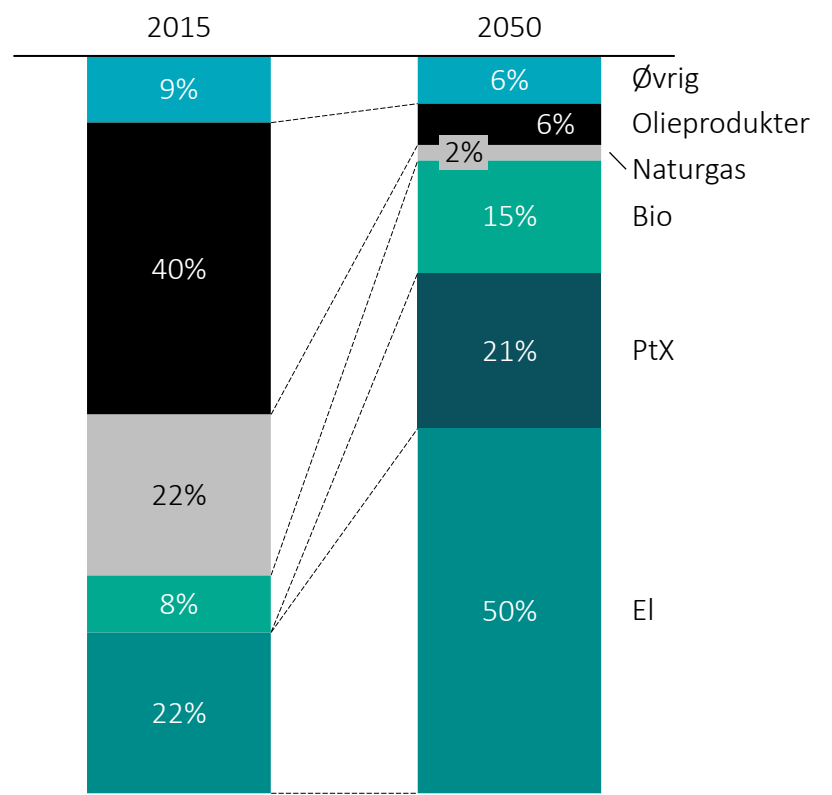


Sol og vind

## Veje til VE-forsyning



## Slutforbrug



Figur 1. Slutforbrug\* af energi i hhv. 2015 samt 1,5

\*EU Kommissionen (2019, "A Clean Planet for all - A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy"). Slutforbrug i 2050 er middel af 1,5TECH og 1,5LIFE-scenarierne. Der tages ikke stilling Kommissionens øvrige scenarier, da de ikke er klimaneutrale i 2050.

# METODE: HVAD VIL PÅVIRKE BEHOVET FOR DANSK PTX OG PTX-INFRASTRUKTUR I FREMTIDEN?

Analysen anvender gamechangere til at identificere hvilke udviklingstendenser for PtX, der bør holdes særligt øje med de kommende ti år. Det analyseres hertil hvordan gamechangerne vil påvirke PtX-udbud/efterspørgsel samt den tilhørende infrastrukturudvikling i Danmark.

## 1 UDPEGE GAMECHANGERE, DER KAN FÅ MARKANT BETYDNING FOR PTX OG PTX-INFRASTRUKTUR I DANMARK

Gennem studier af tidligere analyser, tendenser fra ind- og udland samt PESTEL-analyse er en række gamechangere for PtX og PtX-infrastruktur identificeret. De er grupperet i fire kategorier:

- Konkurrence og efterspørgsel
- Brintteknologier- og priser
- Metan som energibærer
- Kulstof-tilgængelighed



## 2 PTX UDBUD OG EFTERSPØRGSEL I DANMARK

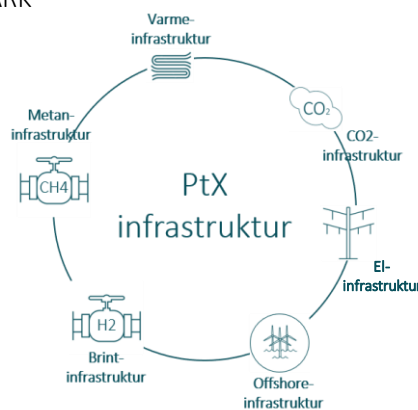
Hvordan bliver hhv. udbud og efterspørgsel af PtX i Danmark påvirket af de identificerede gamechangere? Dette undersøges ved mini-analyser af væsentlige emner indenfor udbud og efterspørgsel:

- Hvor stort er PtX-potentialet i Danmark?
- Er der nok grøn el til PtX, elektrificering og eksport?
- Er der nok kulstof til PtX-forbruget?
- Får vi import og brint og PtX til Europa?
- Kan dansk brint konkurrere med udlandet?

Til hvert emne udpeges særligt vigtige gamechangere, der kan få betydning for udfaldet.

## 3 PTX-INFRASTRUKTUREN I DANMARK

PtX-infrastruktur kan udgøres af el-, metan-, brint-, offshore, CO<sub>2</sub>- og varmeinfrastruktur. For hver infrastruktur beskrives hvordan de kan understøtte PtX samt hvilke gamechangere, der kan få særligt stor betydning for hver af dem.



## 4 ANBEFALINGER

På baggrund af arbejdet med gamechangeres indflydelse på udbud, efterspørgsel og nødvendig infrastruktur opdeles anbefalinger i tiltag som kan igangsættes nu samt tiltag som afhænger af nølegamechangere.

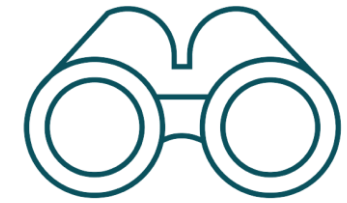
Dette hjælper til at identificere robuste valg for PtX og PtX-infrastruktur i Danmark samt om der er helt vilde udviklinger, som kan ramme os og dermed kræver forberedelse af bl.a. infrastruktur?

A photograph of three children playing on a wooden obstacle course in a park. The children are wearing blue jackets and are holding onto a horizontal wooden beam. The background shows a grassy field, trees, and a clear blue sky. The ground is covered in wood chips.

# UDPEGE GAMECHANGERE

HVILKE MARKANTE SPRING I TEKNOLOGI OG I VORES  
OMVERDEN KAN PÅVIRKE PTX OG PTX-INFRASTRUKTUR?

# GAMECHANGERE FOR UDVIKLING AF PTX OG PTX-INFRASTRUKTUR I DANMARK



Hvad ser vi i kikkerten?

## Analysér og udmeldinger viser stort udfaldsrum for PtX

Udvikling af PtX er forbundet med et stort potentiale. Men da teknologien stadig er dyr og endnu ikke har fundet vej til et marked med kommercielt afsæt er fremtiden for PtX og PtX-infrastruktur forbundet med betydelig usikkerhed.

Denne usikkerhed kan illustreres fx ved, at Energistyrelsens analyseforudsætninger til Energinet anno 2019 samt flere europæiske scenarier stort set ikke indeholder brint eller PtX de næste tyve år, og fx har et fortsat højt naturgas-forbrug gennem perioden. Omvendt peger 2030-udmeldinger fra flere af Regeringens Klimapartnerskaber på betydelig PtX-udvikling inden 2030. Tilsvarende har flere PtX-projekter set dagens lys: Tre danske demoprojekter er sat i gang i 2019 med støtte fra EUDP, mens udlandet har større projekter under opførelse fx brint til kulfrit stål i Sverige, og e-fuels produktion samt brint til industri og raffinaderier i Tyskland og Holland. EU's klimaneutral 2050-scenarier (se side 3) viser, at PtX kan få en stor rolle for at nå i mål med dekarbonisering i alle sektorer.

## Udpegede gamechangere kan afgøre udfaldet

For at forstå udfaldsrum bedre er kikkerten rettet mod hvilke gamechangere for udviklingen af PtX vi bør holde særligt øje med.

En gamechanger er et markant spring i teknologi eller den omverden, som dansk PtX fungerer i. Der er i alt identificeret 12 gamechangere der tager afsæt i fire overordnede kategorier: Konkurrence og efterspørgsel, brintteknologi- og priser, metan som energibærer og kulstof-tilgængelighed. Flere gamechangere har global karakter særligt teknologiudvikling ift. PtX-import.

De enkelte gamechangere kan både virke fremmende eller prohibitive for udviklingen af PtX generelt, eller påvirke hvilke forskellige PtX-udviklingsspor, som vil blive styrket eller svækket. Hvilke gamechangere der i sidste ende bliver til virkelighed får således en helt afgørende betydning for hvordan energiinfrastrukturen i fremtiden bør udvikles.

Identificerede gamechangere



## KONKURRENCE OG EFTERSPØRGSEL

1. **IMPORT.** PRISPRES FRA UDLANDET BETYDER ØGET IMPORT AF BRINT OG BRINTBASEREDE BRÆNDSLER
2. **KLIMAMÅL.** KLIMAMÅLSÆTNING ØGER EFTERSPØRGSEL PÅ ALTERNATIVER TIL FOSSILE BRÆNDSLER
3. **BRINTNETVÆRK.** UDLANDET UDBYGGER SAMMENHÆNGENDE BRINT INFRASTRUKTUR NÆR DANMARK



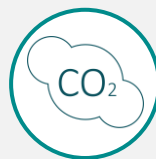
## BRINTTEKNOLOGIER OG -PRISER

4. **BRINTPRIS.** TEKNOLOGISK UDVIKLING OG BILLIG GRØN STRØM BRINGER DANSK BRINT NED I PRIS
5. **OFFSHORE BRINT.** DER ETABLERES DANSK OFFSHORE ENERGIØ MED TILKNYTTET BRINTPRODUKTION
6. **BRÆNDELSCELLER.** GENNEMBRUD FOR BRÆNDELSCELLER-TEKNOLOGI I DANMARK OG UDLAND



## METAN SOM ENERGIBÆRER

7. **GAS-TO-LIQUID.** DIREKTE PRODUKTION AF FLYDENDE BRÆNDSLER VINDER FREM
8. **METANFORBRUG.** MARKANT SÆNKET METANFORBRUG
9. **BIOMETAN.** BILLIG OG RIGELIG BIOMETAN FRA LANDBRUG OG BIOGASANLÆG



## KULSTOF-TILGÆNGELIGHED

10. **PUNKTKILDER.** BILLIG CO<sub>2</sub>-FANGST FRA PUNKTKILDER GIVER BEGRÆNSET MÆNGDE GRØNT KULSTOF
11. **DIRECT-AIR-CAPTURE.** CO<sub>2</sub>-FANGST FRA LUFTEN GIVER UENDELIGE MÆNGDER GRØNT KULSTOF
12. **CO<sub>2</sub>-LAGRING.** CO<sub>2</sub>-LAGRING BLIVER BILLIG OG KOMMERCIELT TILGÆNGELIG

# GAMECHANGERE FOR PTX OG PTX-INFRASTRUKTUR

De første seks gamechangere ser på konkurrence og efterspørgsel, herunder udlandets påvirkning. Herefter ses der på gamechangere der relaterer sig særligt til reduktion i omkostningerne til brintproduktion og øvrig brintteknologi.



## 1 Import

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

Brintbaserede brændsler fra udlandet importeres til danske forbrugere 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, fx 10 øre kWh i Mellemøsten, og lave transport omkostninger muliggør import fra blandt andet Nordafrika og Mellemøsten.



## 2 Klimamål

### 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 om at levere til den stigende efterspørgsel. Samlet set vil øgede klimaambitioner drive efterspørgsel på PtX i vejret.



## 3 Brintnetværk

### 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.



## 4 Brintpris

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

Brintproduktion bringes hurtigere ned i pris end antaget – fx en halvering inden 2025. Elektrolyseteknologier som alkalisk og PEM industrialiseres og bringes markant ned i pris. Nye teknologier som fx 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 elektrolyse-kapacitet som samlet set gør brintproduktionen mere konkurrencedygtig.

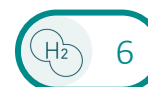


## 5 Offshore brint

### 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.



## 6 Brændselsceller

### GENNEMBRUD FOR BRÆNDELSCELLE-TEKNOLOGI I DANMARK OG UDLAND

Brændselscelle-teknologi 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.

# GAMECHANGERE FOR PTX OG PTX-INFRASTRUKTUR

De sidste seks gamechangere vedrører i særdeleshed PtX-teknologier, der anvender kulstof. Enten med direkte produktion af flydende brændsler fra biogas eller som følge af ændring i forholdet mellem udbud og efterspørgsel af naturgas, som kan enten styrke eller lette presset på produktion af grøn gas. Derudover vil forhold omkring kulstofudvinding fra punktkilder eller direkte fra luften påvirke den øvrige efterspørgsel af PtX-produkter og dertilhørende infrastrukturbehov.



## 7 Gas-to-liquid

### DIREKTE PRODUKTION AF FLYDENDE BRÆNDSLER VINDER FREM

Eksempler på direkte produktion er fx e-SMR ved biogasanlæg (produktion af metanol) eller termisk forgasning, hvor fast biomasse som træ og halm omdannes direkte til fx syntetisk diesel. PtX-anlægget bliver altså placeret 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.



## 10 Punktkilder

### BILLIG CO<sub>2</sub>-FANGST FRA PUNKTKILDER GIVER BEGRÆNSET MÆNGDE GRØNT KULSTOF

Teknologien bag CO<sub>2</sub>-fangst fra punktkilder giver adgang til grønt kulstof som kan anvendes (CCU) til produktion af PtX-produkter. Fangst af CO<sub>2</sub> vil koncentrere sig omkring de store biogasanlæg 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.



## 8 Metanforbrug

### MARKANT SÆNKET METANFORBRUG

En øget energieffektiviseringsindsats og konverteringer til varmepumper, hybridvarmepumper og fjernvarme sænker efterspørgslen for naturgas til opvarmning og i 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, CO<sub>2</sub> eller rå, ikke opgraderet biogas. Samtidigt 'frigøres' biogas til nye anvendelser fx som input til produktion af e-fuels.



## 11 Direct-Air-Capture

### CO<sub>2</sub>-FANGST FRA LUFTEN GIVER UENDELIGE MÆNGDER GRØNT KULSTOF

CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> samt fra punktkilder mindskes, hvilket fører til mindre behov for transport af kulstof.



## 9 Biometan

### 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 fx brint eller e-fuels. Hermed udskydes behovet for PtX pga. øget biometan-konkurrence. Potentialet for e-metan øges via metanisering af CO<sub>2</sub> fra biogassen.



## 12 CO<sub>2</sub>-lagring

### CO<sub>2</sub>-LAGRING BLIVER KOMMERCIELT TILGÆNGELIG

Teknologisk udvikling og satsning fra kommercielle aktører gør Nordeuropa attraktiv for lagring af CO<sub>2</sub> (CCS) i fx dansk og norsk undergrund.

Det betyder for PtX, at lagring af CO<sub>2</sub> er en konkurrent som dekarboniseringsvej til PtX:

- Direkte konkurrence om grønt kulstof, hvis grønt CO<sub>2</sub> kan tælles som negative emissioner, ved lagring frem for at blive anvendt (CCU) til kulstofbaserede PtX-produkter.
- Indirekte konkurrence ved at fossil CO<sub>2</sub> eller CO<sub>2</sub> fra DAC kan lagres og hermed gøre fortsat fossil anvendelse med CO<sub>2</sub>-ækvivalent lagring billigere end ny VE-forsyning til dekarbonisering.





# PTX UDBUD OG EFTERSPØRGSEL

HVORDAN PÅVIRKER GAMECHANGERNE UDBUD OG  
EFTERSPØRGSEL PÅ PTX I DANMARK?

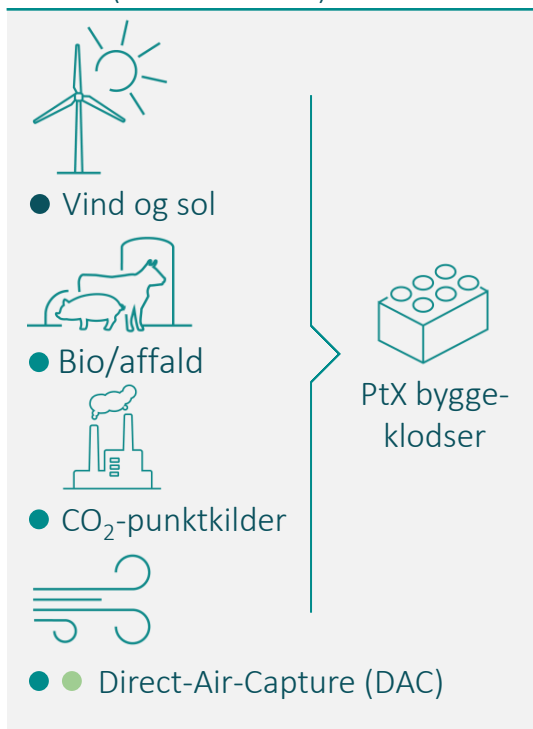
# FRA UDBUD TIL EFTERSPØRGSEL: MULIGE PTX-VÆRDIKÆDER I DANMARK

Til produktion af alle tænkelige PtX-produkter skal der bruges tre grundlæggende byggeklodser: brint, kulstof og kvælstof. Kvælstof kan udtages direkte fra luft mens kulstof kan komme fra forskellige kilder fx fra CO<sub>2</sub> fra skorstene, biogasanlæg eller direkte fra luften. Den grønne brint kan produceres via elektrolyse med strøm fra vind og sol.

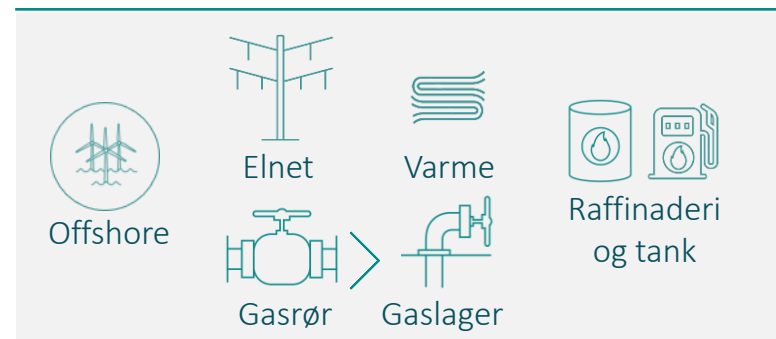
Elinfrastrukturen (transmission og distribution) transporterer strøm fra VE-kilder til elektrolyseenheder, som producerer brint. Elektrolyseenheden kan være forbundet til decentrale anlæg hvor der produceres flydende brændsler. Alternativt kan brint og kulstof også transporteres til storskala PtX-anlæg via dedikeret gasinfrastruktur. På PtX fabrikkerne kan byggeklodserne via en synteseproces konverteres til forskellige typer brændsler med eller uden kulstof.

Alle PtX-produkterne (e-ammoniak, e-brint, e-metan, e-fuel) har potentiale til at erstatte fossile brændsler i både transportsektoren og i industrien. Gasserne e-brint, e-metan og muligvis e-ammoniak kan ligeledes anvendes til sæsonlagring og spidslast i elsystemet. e-ammoniak har hertil potentiale til at erstatte fossil ammoniak i produktionen af kunstgødning.

## Udbud (VE-ressourcer)



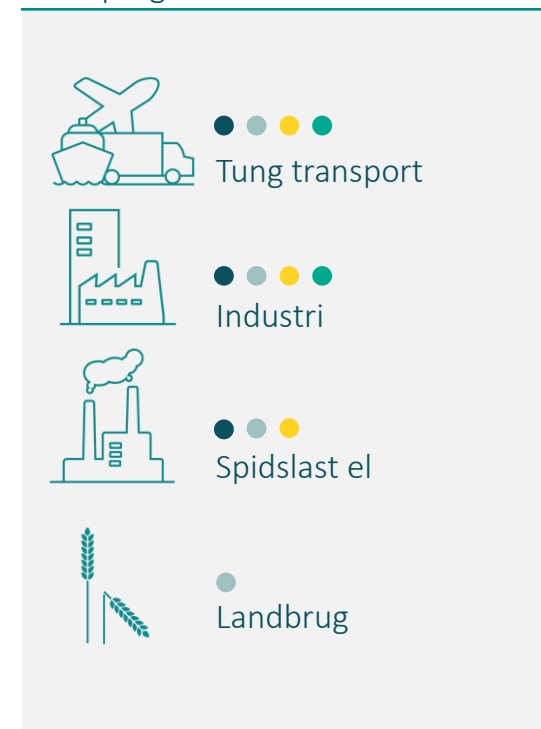
## Infrastruktur (transport og lagring)



## Konverteringsveje til PtX-produkter



## Efterspørgsel



● Kulstof (CO<sub>2</sub>)    ● Nitrogen (N<sub>2</sub>)    ● e-Brint (H<sub>2</sub>)    ● e-Ammoniak (NH<sub>3</sub>)    ● e-Fuels (C<sub>x</sub>H<sub>x</sub>)    ● e-Metan (CH<sub>4</sub>)

# HVOR STORT ER PTX-POTENTIALIET I DANMARK?

Fuld omstilling af det PtX-relevante fossile brændselsforbrug i Danmark inkl. international skibs- og flytransport kræver omtrent 50 TWh elforbrug til brint. Dvs. sig ca. 1½ af Danmarks nuværende elforbrug. De største potentielle brintforbrugere til PtX er indenfor industri og transport, særligt brændstoffer til skibe og fly, såfremt der medregnes optankning i Danmark til transport ud af landet. Desuden kan der komme et betydeligt merforbrug ved eksport af brint eller øvrige PtX-produkter.

## Særligt vigtige gamechangere

- 2 KLIMAHENSYN ØGER EFTERSPØRGSEL AF PTX-PRODUKTER UDEN TEKNOLOGI GENNEMBRUD
- 6 GENNEMBRUD FOR BRÆNDELSCELLE-TEKNOLOGI I DANMARK OG UDLAND

### Der er usikkerhed om hvor PtX-produkter vil vinde frem – alle PtX-veje er i spil

I tabellen er vist forskellige PtX-produkters mulige slutanvendelse. Der er usikkerhed om "vinder-produkterne" internt i PtX, og desuden er der konkurrence med delvis direkte elektrificering og rene biofuels. Konkurrenceforholdet til særligt biofuels skal analyseres nærmere for at komme frem til mere præcise estimater for PtX-forbrug.

Kommer brændselsceller ned i pris (GC6) kan vi meget vel se direkte brintanvendelse i transportsektoren, særligt til tung vejtransport. E-ammoniak og e-kerosen har store muligheder indenfor hhv. skibs- og luftfart, mens e-metan kan erstatte eksisterende naturgasforbrug. Alle PtX-veje kan derfor komme i spil i fremtiden.

### Skibs- og flytransport kan blive største slutanvendelser for PtX

Det ses, at det største potentielle PtX-forbrug ligger indenfor brændstoffer til skibe og fly. Det bemærkes at der yderligere forefindes en offshore bunkring (dvs. ikke-fortoldet og dermed ikke med i Energistyrelsens statistik) i danske farvande. Hvis disse medregnes vil det fordoble behovet til skibsfart.

Indenrigsforbruget for skibs- og luftfart, som medregnes i Danmarks klimaregnskab, er kun ca. 16 pct. af det totale forbrug som er medtaget i figuren til højre. Kunstgødning produceres ikke i Danmark. Derfor vil en indenlandsk produktion af ammoniak og jetfuel ikke påvirke Danmarks klimaregnskab, men bidrage kraftigt til fysiske reduktioner. Selvom PtX-potentialet er stort, skal det understreges, at skibe og fly som agerer på globale markeder under intens konkurrence.

Motorer til e-ammoniak er under udvikling ligesom syntetisk produktion af jetfuel er i sin spæde begyndelse. For tung vejtransport (busser og lastbiler) samt toge med direkte brintforbrug er der direkte adgang til kommercielle produkter; og med fortsat stigende hastighed.

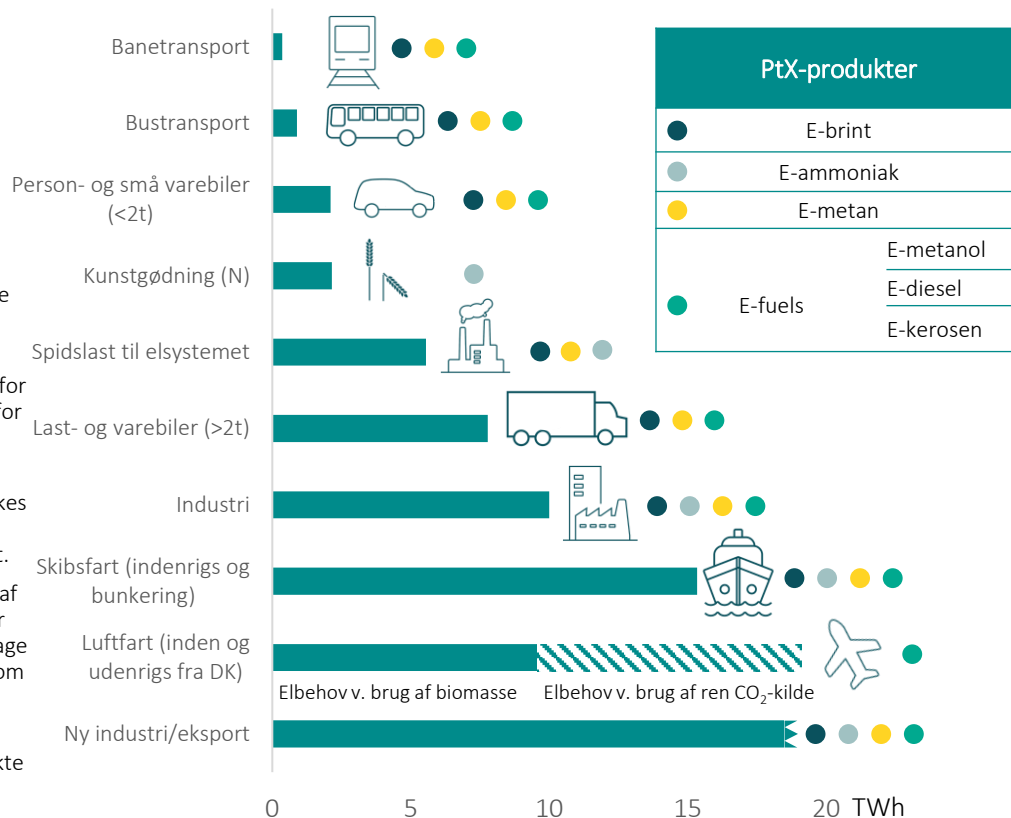
### Samlet PtX-behov i Danmark – og muligt industri-/eksporteventyr

Øget klimahensyn hos forbrugerne samt regulatoriske drivere fx opfyldelse af Danmarks 70 pct. mål i 2030 eller EU's øgede klimaambitioner mod 2030 (GC2) kan få meget stor betydning for udbredelseshastigheden af PtX-produkterne.

I figuren er vist størrelsesordenen på ca. 50-60 TWh elforbrug til en fuld dekarbonisering af Danmarks nuværende fossile energiforbrug (inkl. optankning af international skibs- og flytransport) med PtX-produkter. Det skal her bemærkes at der af danske bioressourcer er benyttet 10 TWh til at producere jetfuel, hvorfor der potentielt er 35TWh tilovers til alternative anvendelser eller eksport (se side 13). Altså er det endelige PtX-elbehov til dansk omstilling 15-60TWh.

Der er i Danmark stort potentiale for PtX-produkter til ny brintforbrugende industri eller eksport, da VE-ressourcerne langt overstiger det nationale behov (side 12). Udover PtX-produkter til energivarer og gødning kan relevante nye industrier fx være VE-plast og VE-protein.

Figur 2: Elforbrug til PtX fordelt på sektorer og brændsler



Metode: Estimer for behovet for indirekte elektrificering af udvalgte sektorer uden forbrugsfremskrivninger baseret på Energistyrelsens Energistatistik 2018 med direkte elektrificeringsprocenter på: Industri (85 pct.), Personbiler og små varebiler u. 2t (95 pct.), Bustransport (75 pct.), Banetransport (80 pct.), Last- og varebiler o. 2t (60 pct.). Elektricitetsbehov er yderligere konservativt da der er anvendt 70 pct. konverteringseffektivitet til sektorer hvor ren brint kan finde anvendelse (landtransport og industri) og 65 pct. til flydende brændsler til brug i skibs- og flytrafik (inkl. international og bunkring). Dele af forbrug til fx godstransport og industri kan dækkes med biometan. Figuren viser det maksimale potentiale for indirekte elektrificering i sektorer via elektrolyse.



# ER DER NOK GRØN EL TIL PTX, ELEKTRIFICERING OG EKSPORT?

Der er tilstrækkelige danske vind- og solressourcer til at omstille hele det nuværende danske fossile forbrug via både direkte elektrificering og PtX. Det svarer til omtrent en firedobling af det nuværende elforbrug, og muligvis en fordobling af elforbruget allerede i 2030. Den danske VE-ressource kan også understøtte eksport af el, brint og øvrige PtX-produkter. Det kræver dog, at havvindsressourcen langt fra kysten bliver udnyttet – her kan offshore produktion ifm. "energiøer" vise sig at være nødvendige for omkostningseffekt at bringe el eller brint til land.

## Særligt vigtige gamechangere

5

DANSK OFFSHORE ENERGIØ MED TILKNYTTET BRINTPRODUKTION

### VE-elproduktion til at dække fremtidens elforbrug

På figur 3 er illustreret øget elforbrug til elektrificering af bl.a. elbiler og varmepumper som mange analyser peger på er nødvendig for at nå klimamål i 2030 og 2050. Hertil er illustreret PtX-elforbrug til komplet dansk omstilling (jf. forrige slide) samt mulig eksport.

Samlet set er der behov for 14-22 GW offshore vind (samt ca. 6 GW landvind og 12 GW sol) til fuld omstilling af dansk forbrug. Intervallets bredde skyldes at en ukendt del af energien til PtX vil komme fra biofuels (jf. s. 11). Dette dækker både direkte elektrificering samt PtX-produkter til erstatning af fossile produkter. Hertil kan komme yderligere behov til ny industri.

Offshore produktion af brint eller flydende brændsler (GC5) kan få et gennembrud som gør det mere konkurrencedygtigt at få VE-ressourcer langt fra land i spil til PtX.

Herunder følger en beskrivelse af de forskellige potentialer for dansk VE-elproduktion.

### Havvind rummer den største VE-ressource

Det er svært at give et præcist bud på de danske havvindsressourcer, da der ikke er taget endelig stilling til anvendelsen af hele Danmarks havarealer. Indtil videre er der reserveret havarealer til havvind svarende til 10 GW i danske farvande. Det tekniske potentiale er dog langt større. Studier har anslået at det vil være muligt at etablere op til 180GW havvind langt fra land i Nordsøen hvoraf 40 GW kan realiseres i danske farvande i Nordsøen.

EU kommissionen peger i deres seneste scenarieanalyser på, at der i hele EU er brug for op til 440 GW havvind i 2050.

### Landvind og sol er billige men møder begrænsninger

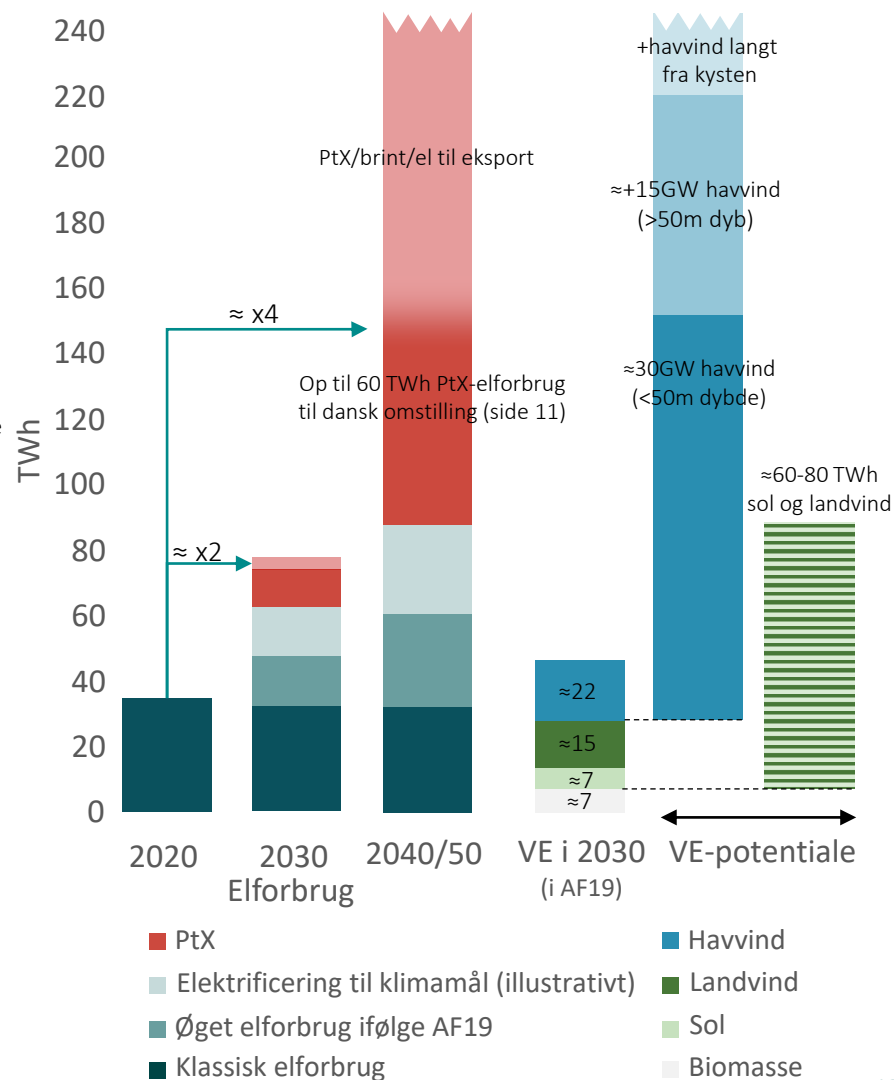
Landvind er og vil i fremtiden være den billigste elproduktionsform i Danmark. På grund af usikkerhed om etableringsmulighederne og godkendelsesmuligheder anses det realistiske potentiale for at være begrænset. Teknisk er der mulighed for at udbygge landvindskapaciteten op til 12 GW.

Solceller har oplevet de mest massive prisfald blandt VE teknologier de seneste år. Den danske pipeline for nye projekter er derfor på det nærmeste eksploderet til 15-20 GW som ønskes opført uden eller ved lav støtte. Hvor meget som rent faktisk vil blive opført er meget svært at sige noget om.

Der er stor usikkerhed om solcellers faktiske potentiale. De billigste solcelleanlæg er markanlæg. Det store markanlæg møder, ligesom land- og kystnæremøller, stigende folkelig modstand, ligesom anlæggene kan belaste de lokale elnettet.

Teknisk er potentialet meget stort. Areal burde ikke være en begrænsning for at benytte solceller til at forsyne elforbruget til PtX anlæg. På 1 pct. af Danmarks samlede areal vil der kunne produceres el fra solceller svarende til hele Danmarks nuværende elforbrug.

Figur 3: Elforbrug og teknisk potentiale for VE-produktion til PtX



# ER DER NOK KULSTOF TIL PTX-FORBRUGET?

Frem mod 2030 tyder grøn kulstof ikke på at blive en udfordring i Danmark såfremt CCU efterspørges i moderate mængder og hvis både biogas og biomasse-kraftværker kan udnyttes. På langt sigte er der usikkerhed om tilgængelig grønt kulstof pga. teknologigennembrud, CCS, biomassens fremtid etc. CO<sub>2</sub>-fangst fra luft vil potentielt give ubegrænset kulstof og hermed åbne de PtX-veje som kræver kulstof.

## Særligt vigtige gamechangere

- 7** DIREKTE PRODUKTION AF FLYDENDE BRÆNDSLER VINDER FREM
- 10** BILLIG CO<sub>2</sub>-FANGST FRA PUNKTKILDER GIVER BEGRÆNSET MÆNGDE GRØNT KULSTOF
- 11** CO<sub>2</sub>-FANGST FRA LUFTEN GIVER UENDELIGE MÆNGDER GRØNT KULSTOF

Brint er blot det første skridt ift. at producere store mængder VE-brændstof som direkte kan erstatte fossilt olie- og gasforbrug. Skridt to er at anskaffe tilstrækkeligt med kulstof til de kulstofbaserede behov. Indtil DAC (GC11) slår igennem er der en begrænset mængde kulstof til rådighed i Danmark fra punktkilder og biomasse.

### Opsamling af kulstof fra store punktkilder – skorstene

Med kulstofpotentialer fra store punktkilder antages det, at carbon capture-teknologier til punktkilder bliver billige nok til at det er interessant at producere e-fuels ud fra dem (GC10). Der skal nemlig indsamles CO<sub>2</sub> fra røggas på affaldsforbrændinger, biomassefyrede kraftvarmeværker, raffinaderier og cementfabrikken i Aalborg. Nogle af disse punktkilder er små, så det er i første omgang primært de store anlæg, der vil blive kommercielt interessante.

Det bemærkes et flere aktører som Dansk Fjernvarme, Dansk Affaldsforening, ARC, Danske Tegl m.fl. er aktive ift. at udvikle CO<sub>2</sub>-fangst.

### Opsamling af kulstof fra små punktkilder – biogasanlæg

For at udnytte mindre punktkilder kan det i nogle områder muligvis blive interessant at transportere rå biogas eller CO<sub>2</sub> til centrale PtX-forædlingsfabrikker. I konkrete situationer skal det altså vurderes, hvad der bedst kan betale sig at transportere rundt: strøm, brint eller kulstof?

Kulstof fra rå biogas kan effektivt udnyttes med GtL og/eller eSMR (GC7). Ca. 40 pct. af den rå biogas består af CO<sub>2</sub> som sammen med metan kan omdannes direkte til flydende brændsler.

Det bemærkes at CO<sub>2</sub> fra et biogasopgraderingsanlæg, modsat fra røggasser, er kemisk ren og derfor lettere/billigere at anvende. I dag udnyttes denne kulstofkilde kun i begrænset omfang, hvor størstedelen udledes direkte til atmosfæren.

### Kulstof fra fast biomasse og luften

Alternativet til at indsamle CO<sub>2</sub> fra punktkilder er, at biomasseressourcerne tilføres termiske forgassere og/eller pyrolyseanlæg således, at der ud fra ressourcerne laves syngas som kan indgå direkte i den syntetiske brændstofproduktion. Spildvarmen fra disse anlæg vil kunne anvendes til fx fjernvarme.

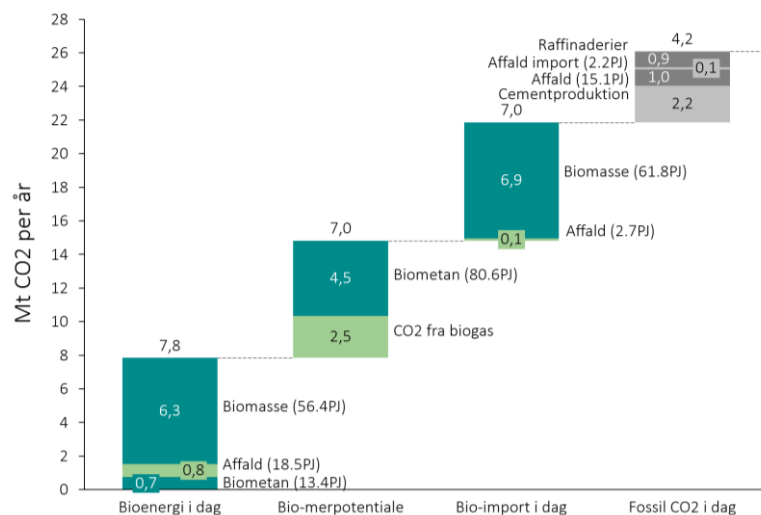
Den helt store gamechanger ift. CO<sub>2</sub>-spørgsmålet er direct air eller water capture (GC11). Dvs. når prisen for at hive CO<sub>2</sub> direkte ud af atmosfæren eller vand bliver lav nok, er der pludselig ingen begrænsninger for produktion af e-fuels.

### Hvor meget kulstof har vi brug for? Strategi for kulstof til CCU?

Totalt set dækker CO<sub>2</sub>-potentialet op til ca. 26Mt CO<sub>2</sub>/år. Såfremt udelukkende indenlandske biogene kulstofpotentialer indregnes er potentialet maksimalt små 15Mt CO<sub>2</sub>/år. Af denne mængde er det sandsynligt at en væsentlig del af biometanen vil blive anvendt i bl.a. industriens processer. På længere sigte kan dette slutbrug potentielt overgå til brint.

Flytransport er et af de slutbrug hvor kulstoffrie muligheder ligger længst ude i tid (hvis muligt) til lange distancer. Kulstofindholdet (omsat til CO<sub>2</sub>) i dansk indenrigs og udenrigs jetfuel var til sammenligning 3.2Mt CO<sub>2</sub> i 2018. Ved produktion af syntetisk jetfuel bliver ca. 60 pct. til e-jetfuel og 40 pct. til e-diesel/benzin. Det betyder at det danske behov for kulstof til syntetisk jetfuel max. kan dækkes 2,8-4,9 gange alt efter hvilke kulstofkilder der udnyttes. Grundet udfordringer med geografi og skala (økonomi) er det meget usandsynligt at potentialet kan udnyttes til fulde. For at sikre, at kulstoffet anvendes i de mest optimale sektorer kan en kulstof-strategi være relevant.

Figur 4: CO<sub>2</sub> fra punktkilder



**Biogas**  
Biogasproduktionen i Danmark var i 2018 på 13.4PJ og vil ifølge basisfremskrivningen 2019 være 26,8PJ i 2025. Udviklingen går mod en endnu større biogasproduktion, men afhænger meget af støtte –og rammevilkår.

**Biomasse**  
De seneste år er biomasseforbruget i Danmark øget som følge af omstillingen af kraftvarmeværkerne fra gas og kul til flis og træpiller. Forbruget af biomasse kommer både fra indenlandsk produceret biomasse og fra import af træpiller og flis-

Metode: CO<sub>2</sub>-ressourcer er beregnet ud fra Energistatistikken 2018 (ENS), Miljøstyrelsens oversigt over punktkilder (Miljøoplysninger om virksomheder), samt totalt biometanpotentiale på 94PJ fra Energiforbrødanalysen 2020 (SDU og SEGES). Det er sandsynligt at mindre end 94PJ (inkl. halmressourcer) vil kunne udnyttes i praksis. Alt i nedre brændværdi.

# FÅR VI IMPORT AF BRINT OG E-FUELS TIL EUROPA?

PtX kan også produceres i andre dele af verden med billige VE-ressourcer. Spørgsmålet er om Danmark kan konkurrere på et globalt marked for brint og PtX?

## Særligt vigtige gamechangere

- 1 PRISPRES FRA UDLANDET BETYDER ØGET IMPORT AF PTX-PRODUKTER
- 2 KLIMAMÅLSÆTNING ØGER EFTERSPØRGSEL PÅ ALTERNATIVER TIL FOSSILE BRÆNDSLER
- 3 UDLANDET UDBYGGER SAMMENHÆNGENDE BRINTINFRASTRUKTUR

Markedet for grøn brint kan udvikle sig regionalt for så sidenhen at blive globalt. På de kommende to sider ser vi importmulighederne for blå og grønt brint samt flydende PtX-produkter og undersøger, hvad det kan betyde for konkurrencedygtigheden for dansk brint og PtX-produkter.

### Import af grøn brint i rørbunden infrastruktur

Nordafrika er en af de mest solrige regioner i verden. Lande som Marokko har fx store ørkenarealer med rigtig mange soltimer. Med øgede klimaambitioner (GC2) kan der for alvor komme gang i brintproduktionen i denne region, og det vil ikke koste meget at transportere energien til Europa via brintrør. Hvis der etableres et tværeurøpæisk brintnet (GC3) er det derfor sandsynligt, at konkurrencedygtigheden hos nordvest-europæiske producenter af grøn brint kan blive udfordret herfra (GC1). Dette forhold analyseres nærmere på næste side.

Det er i den forbindelse interessant at bemærke, at Tyskland og Holland ser sig selv som fremtidige importører af grøn brint med en landsdækkende brintinfrastruktur. Den udvikling vil kunne bane vejen for en europæisk brint "backbone" fra syd til nord, som illustreret på figur 5.

### Import af blå brint i rørbunden infrastruktur

I dag anvendes der sort brint svarende til 400 TWh i EU til industrielle formål. Langt størstedelen af "sorte brint" produceres ved at spalte naturgas gennem steamreforming (SMR). Denne proces udleder CO<sub>2</sub>. I terminologien skelnes der mellem sort og blå brint. Blå brint laves også ved spaltning af naturgas med den forskel, at CO<sub>2</sub>'en lagres i undergrunden (CCS). I Europa vil blå brint formegenlig være billigere end grøn brint på den korte bane. Planer for etablering af brintinfrastruktur i fx Holland og Tyskland er afhængig af en vis mængde blå brint for at få tilstrækkelig volumen til at kunne understøtte udbygningen af infrastrukturen. Blå brint er derfor en bro til at brint fra elektrolyse kommer op i skala.

### Import af flydende grøn brint via skibe

Hvorvidt Dansk PtX-produktion kan konkurrere afhænger i høj grad af transportomkostninger samt hvor stort det globale udbud på PtX bliver (GC1).

Lande som Australien og Chile er pga. meget store potentialer for billig solenergi, men dårlige afsætningsmuligheder for strøm, oplagte til brintproduktion. Ved udgangen af 2019 præsenterede den australske regering derfor et roadmap for hvordan Australien skal blive en ledende producent og eksportør af flydende brint. Hvorvidt import af flydende grøn brint til Europa kan blive aktuelt afhænger af global efterspørgsel, og om de lave brintproduktionsomkostninger i fx Australien kan opveje omkostninger til transport, herunder den energitunge proces forbundet med at gøre brinten flydende.

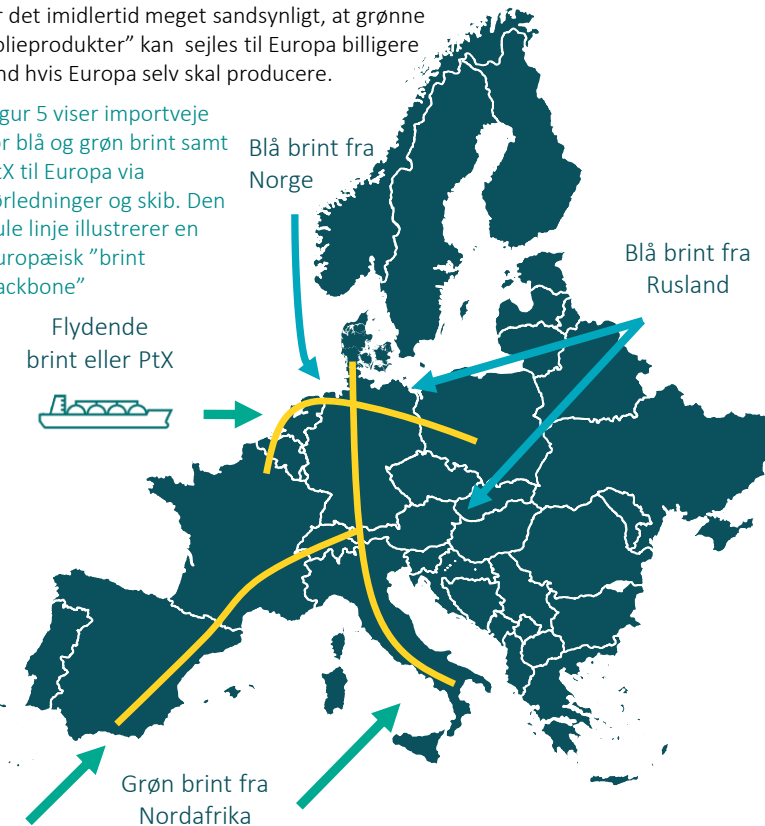
### Import af e-Fuels via skibe

Der findes flere alternativer til at gøre brinten flydende, som kan gøre import til Europa interessant. Brint kan f.eks. omdannes til ammoniak, som kan produceres på stedet. En anden stor fordel med ammoniak er, at der allerede eksisterer

en global værdikæde med skibe, modtagerterminaler og ikke mindst stor efterspørgsel fra den kemiske industri.

Flydende kulstofholdige PtX-produkter såsom flybrændstof og metanol har også den fordel, at det er nemt at håndtere, billigt at transportere og der er eksisterende efterspørgsel. Den geografiske decentrale adgang til kulstof til PtX-processerne vanskeliggør dog storskala produktion af denne type brændsler. Formår man at løse udfordringen med direct air capture (GC11), er det imidlertid meget sandsynligt, at grønne "olieprodukter" kan sejles til Europa billigere end hvis Europa selv skal producere.

Figur 5 viser importveje for blå og grøn brint samt PtX til Europa via rørledninger og skib. Den gule linje illustrerer en europæisk "brint backbone"



# KAN DANSK BRINT KONKURRERE MED UDLANDET?

Alle PtX-vejene er afhængig af brint og derfor er det essentielt om Danmark får billig brint – både ift. andre lande samt om PtX-produkter kan konkurrere med grønne og blå konkurrenter.

## Særligt vigtige gamechangere

- 1 PRISPRES FRA UDLANDET BETYDER ØGET IMPORT AF PTX-PRODUKTER
- 4 ADGANG TIL RIGELIG OG BILLIG GRØN BRINT

### PtX-produktionspris påvirkes af grøn brintpris

Brint er input til alle PtX-produkterne. Niveaet for PtX-produkters produktionsomkostning afgøres derfor i høj grad af prisen på brint. Dvs. hvis brinten falder i pris flyttes hele omkostningsniveaet. Produktionsprisen for PtX-produkterne stiger fra brint til ammoniak til e-metan til e-fuels fordi det medfører stigende tab, flere anlægsinvesteringer og evt. omkostning til kulstofkilde desto mere brint, der skal raffineres til andre produkter.

### Elektrolyse-teknologien i kraftig udvikling

Elektrolyse anlæg gennemgår lige nu en rivende pris- og effektivitets udvikling i stil med det som verden har set for batterier, solceller og vindturbiner. Bloomberg anslår at prisen på elektrolyseanlæg kan falde med 90 pct. frem mod 2030 (GC4), til under 1 mio. DKK/MW, mens IEA peger på priser ned til 2.7 mio. DKK/MW. Usikkerheden i 2030 er stor, og afhænger primært af udrulningshastighed. I de viste beregninger er der anvendt 2 mio. DKK/MW og en virkningsgrad på 70 pct. Elektrolyse CAPEX er primært vigtig ift konkurrencen med blå brint mens kombinationen mellem el-pris og transportomkostninger er afgørende for konkurrencen indbyrdes de grønne producenter.

Brintfremstilling fra elektrolyse på dansk grund har tre oplagte konkurrenter. Den traditionelt fremstillede brint, med og uden CO<sub>2</sub> fangst er vurderet til i dag at koste hhv. 12,6 (sort) og 17,1 (blå) DKK/kg af fremstille ifølge IEA. Blå brint vil falde til omkring 15 DKK/kg frem mod 2025. Den sidste konkurrent er import af brint (eller PtX produkter) fra andre verdensdele.

Der er i figur 6 beregnet et importeksempel med brint importeret fra Nordafrika. Omkostningen til transport er antaget 3,4-11,2 DKK/kg, hvor den øvre er fra IEA og nedre fra potentiel optimering.

### Billig VE el er afgørende for billig brint

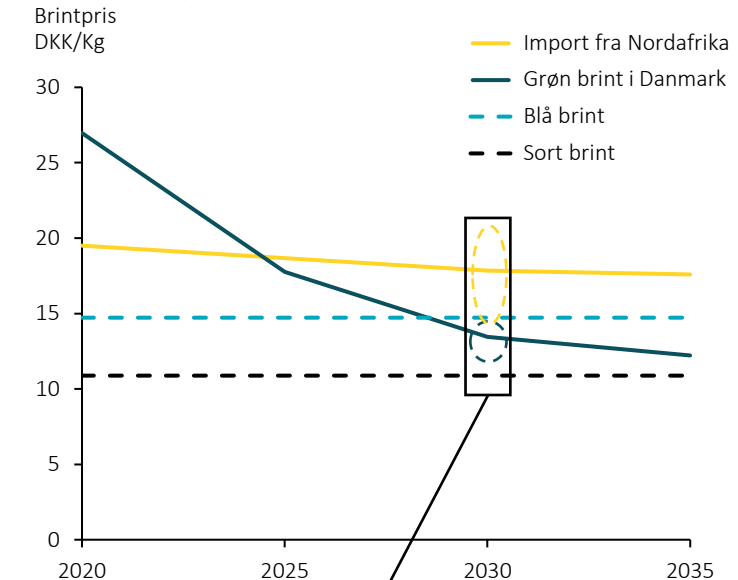
Den største omkostning til brintproduktion er i dag CAPEX for elektrolyseanlægget. Derfor kan det ikke betale sig for anlæggene at agere fleksibelt i forhold til elprisen, da en høj driftstid er nødvendig for at få økonomi i anlæg med høj CAPEX. Efterhånden som elektrolyseteknologien udvikles og masseproduceres vil CAPEX blive lavere og den største omkostning vil gå fra at være elektrolyseenheden (CAPEX) til at være el-inputtet (OPEX). Med fremtidens mere fluktuerende elpriser vil fleksibilitet blive afgørende for at udnytte mere VE-el samt for at opnå tilstrækkelig god økonomi i en elektrolyseenhed.

De billigste VE-anlæg opføres i dag i ofte øde ørkenområder, som eksempelvis Nordafrika. Her kan man i dag gennemføre solcelleprojekter til 20 øre/kWh og i fremtiden til omkring 10 øre/kWh. Det kan danske projekter næppe konkurrere med. Danmarks styrkeposition i forhold til Nordafrika ligger i vores veludviklede elsystem. Hertil er stabile politiske og samfundsmæssige rammer også en oplagt dansk styrke.

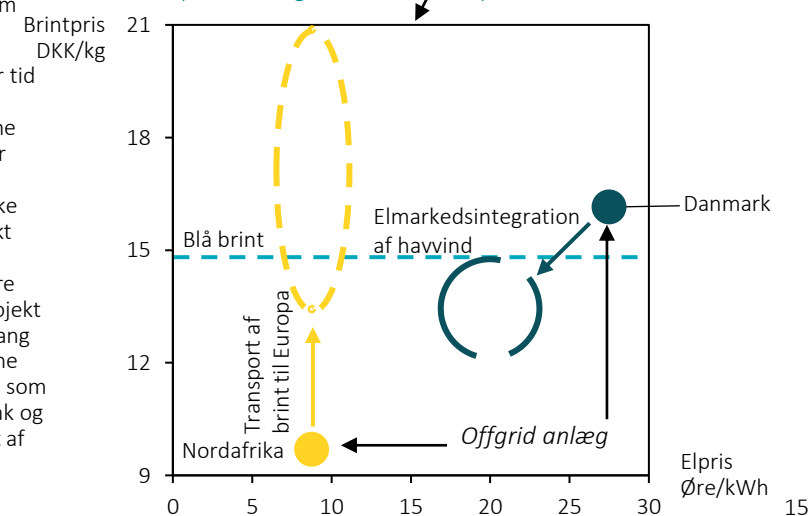
Der er store besparelser at hente ved at integrere elektrolyseanlæg i det danske elsystem. Anlæggene kan således udnytte timer med lave elpriser og overskud af VE-produktion. Dette vil gøre det muligt at opnå en mere konkurrencedygtig produktionspris frem mod 2030 ved systemintegration end et offgrid anlæg.

Figur 6 og 7 viser hhv. udviklingen i brintproduktionspriser over tid samt de samlede omkostninger til grøn brint ved forskellige integrationstiltag. For Danmark og Nordafrika er antaget samme prisudvikling for elektrolyseanlæg, mens den fossile brintpris er holdt konstant. Brinten i Nordafrika antages produceret i forbindelse med et solcelleanlæg i 2.500 timer årligt. Det danske offgrid stand alone anlæg er antaget at være et havvindprojekt med 4.650 driftstimer. Det ses at selvom det nordafrikanske projekt i sig selv er billigst, kan det ikke nødvendigvis konkurrere når der tillægges transportomkostninger. For at det danske projekt kan konkurrere kræver det elmarkedsintegration i form af adgang til elnettet og lokale afsætningsmuligheder for brinten. Cirklerne illustrerer følsomhederne ift. prisen for grøn brint og transport som bekendt afhænger af mange parametre. Transport af ammoniak og e-fuels vil være billigere end transport af brint, hvorfor billedet af konkurrencedygtigheden formegentlig vil se anderledes ud.

Figur 6: Produktions- og leveringsomkostninger for brint (Dansk Energis Balmorel-model)



Figur 7: Produktionsomkostninger til brint i hhv. Danmark og Nordafrika År 2030 (Dansk Energis Balmorel-model)



# OPSUMMERING: PTX UDBUD OG EFTERSPØRGSEL

Danmark har store PtX-ressourcer særligt i kraft af havvind. Efterspørgsel drevet af høje klimaambitioner samt konkurrence fra omverdenen vurderes at have særlig stor betydning for, hvor meget de danske ressourcer til PtX kan komme i spil.

I dette kapitel er beskrevet, at Danmark har betydelige VE-ressourcer - vind, sol, biomasse og biogas – som kan understøtte en dansk PtX-produktion. Havvind er den markant største danske VE-ressource at bygge PtX-produkter ud fra. Fuld omstilling af det PtX-relevante fossile brændselsforbrug (inkl international fly- og skibstransport) i Danmark kræver op til omtrent 50-60 TWh elforbrug til brint. Mindre hvis der i højere grad anvendes biofuels eller mere elektrificering. Endeligt efterlader de danske ressourcer et potentiale for stor-skala eksport af brint og/eller øvrige PtX-produkter til udlandet.

Omvendt kan konkurrence fra udlandet også vise sig at have stor betydning for PtX i Danmark. Det kan enten være import af brint via rør over landegrænser, såfremt der opstår et regionalt eller kontinentalt brintnetværk. Import kan fx være i form af "Blå brint" fra naturgas samt grøn brint fra solcelleproduktion i Nordafrika. Beregninger indikerer at i et 2030-perspektiv vil elektrolysebaseret brint i Danmark fra elnettet potentielt kunne konkurrere med begge, men at dette i høj grad afhænger hvor effektivt offshore el kan udnyttes og hvor langt ned stor-skala interkontinental brinttransport kan komme i pris. Brintprisen i meget solrige områder vil blive lavere end Danmark, men transportomkostning med brintnetværk er betydelig. Overordnet set peger det på, at VE-omkostningen har stor betydning for dansk PtX-konkurrenceevne.

Udviklingen af PtX kan ske via veje med kulstof, e-metan og e-fuels, og uden kulstof, e-brint og e-ammoniak. Frem mod 2030 tyder adgangen til grøn kulstof ikke på at blive en udfordring i Danmark såfremt CCU efterspørges i moderate mængder og hvis både biogas og biomassekraftværker kan udnyttes. På lang sigt er der usikkerhed om tilgængeligheden af grønt kulstof pga. teknologigennembrud, CCS, biomassens fremtid etc. CO<sub>2</sub>-fangst fra luft vil potentielt give ubegrænset kulstof og hermed åbne de PtX-veje som kræver kulstof.

Fremtiden for PtX i Danmark kan derfor blive bestemt både af nationale og europæiske klimambitioner som kan føre både til efterspørgsel og markeder for PtX-produkterne, samt udvikle ny infrastruktur fx brintnetværk, som kan blive afgørende for mulighederne i Danmark.

## Udbud (VE-ressourcer)



● Vind og sol



● Bio/affald



● CO<sub>2</sub>-punktkilder



● ● Direct-Air-Capture

## Efterspørgsel



Tung transport



Industri



Spidslast el



Landbrug



# PTX INFRASTRUKTUR

HVORDAN PÅVIRKER PTX OG GAMECHANGERE BEHOVET FOR ENERGIINFRASTRUKTUR?



# PTX-INFRASTRUKTUR KRÆVER NYTÆNKNING

*Intelligent infrastrukturplanlægning for PtX kan have store samfundsøkonomiske fordele i den grønne omstilling. Tilgængelig infrastruktur kan i sig selv være en vigtig driver for at PtX-udviklingen bliver succesfuld.*

I dette afsnit ses der nærmere på hvilke infrastrukturbehov der kan opstå i takt med udviklingen af danske PtX-værdikæder. Der fokuserer på den bagvedliggende infrastruktur som skal til for at gå fra "P til X". Der er dog ikke taget stilling til infrastruktur til at håndtere flydende produkter (fx olieprodukter og ammoniak) værende olierør, brændstofsloge, tankinfrastruktur mv.

PtX-infrastruktur henviser derfor til seks forskellige typer energiinfrastruktur: El-, metan-, brint-, CO<sub>2</sub>-, varmeinfrastruktur på land samt offshore-infrastruktur. Disse kan alle tænkes at indgå i fremtiden PtX-værdikæder.

Hvilken vej udviklingen går indenfor PtX-produktion og anvendelse har stor betydning for hvordan PtX-infrastruktur bedst kan understøtte udviklingen. Det analyseres derfor hvordan forskellige gamechangers påvirker behovet og mulighederne for hver infrastruktur, samt hvilke retninger og koncepter som forskellig infrastruktur hermed kan udvikle sig i.

## PtX-anlægs interaktion med elnettet

Hvor stor en belastning der bliver på elnettet fra elektrolyseanlæg afhænger bl.a. af hvor store anlæggene bliver, hvor i elnettet anlæggene installeres samt hvor fleksible de kan tilpasses kapaciteten i elnettet.

Analysens første to sider er opdelt i de tre grundlæggende modeller for PtX-anlægs interaktion med elinfrastrukturen: PtX i indfødningszoner samt øvrig tilslutning kaldet hhv. Onsite PtX og Distribueret PtX, hvor forskellen afgøres af i hvor høj grad det kollektive elnet leverer elforsyningen. Det beskrives hvilke gamechangerne som kan fremme hver af de to modeller, samt hvilke systemmæssige fordele og ulemper hver model kan indebære.

Det skal understreges, at alle tre modeller formodentlig vil komme til at sameksistere i det danske energisystem, hvor der i dag allerede ses de første projekter baseret på hhv. Onsite PtX og distribueret PtX.

## Fra elektroner til molekyler

I den næste del af analysen ses der på at konvertere VE-el til molekyler som brint og metan, hvorfor gasinfrastrukturen udnyttes til at transportere og lagre energien.

Generelt kan komprimeret brint opnå høj energitæthed og er derfor konkurrencedygtig målt på transporteret energi pr. investeret krone. Hertil er storskala lagring af brint meget billig sammenlignet med andre lagringsløsninger. Analysen beskriver også hvordan brintinfrastruktur kan reducere potentielle flaskehalsproblemer i eltransmissionsnettet.

## Offshore infrastruktur

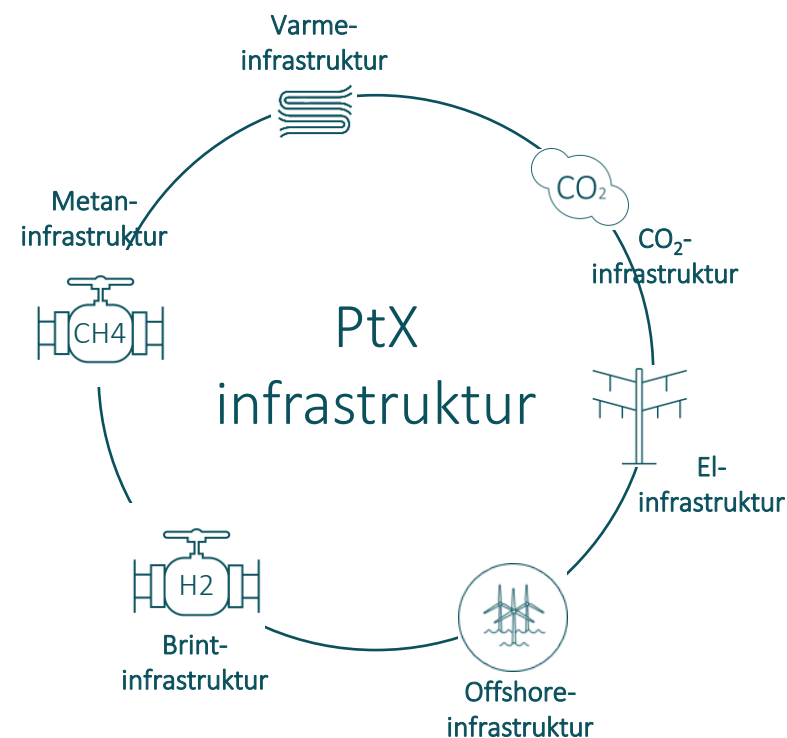
For VE-ressourcer langt fra land er offshore infrastruktur nødvendigt for at ilandføre el- eller brintproduktion. Hermed kan offshoreinfrastrukturen påvirke den nødvendige infrastruktur på land, fx forholdet mellem el og brint.

## Anskaffelse af kulstof

Opsamling og distribution af kulstof (CO<sub>2</sub>) fra punktkilder kan også blive nødvendigt alt efter om den kulstofbaserede PtX-vej vinder frem.

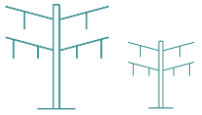
## Udnyttelse af overskudsvarme

Elektrolyse og storskala produktion af ammoniak og andre PtX-produkter kan give særdeles store mængder overskudsvarme. Et effektivt samspil med fjernvarmesystemet eller alternativ udnyttelse af overskudsvarme bliver et vigtigt element iPtX-anlæggenes samlede økonomi og energieffektivitet.



Med PtX-infrastruktur henvises der til seks forskellige typer energiinfrastruktur, som kan tænkes at indgå i fremtiden PtX-værdikæder. Analysen forholder sig til transmission, distribution og lagring.

Behov og muligheder med hver enkelt type infrastruktur beskrives ud fra gamechangerne. Der ses også på mulige synergieffekter ved kobling af infrastrukturer.



# PTX KAN GIVE FLEKSIBILITET TIL DET EKSISTERENDE ELNET

Anvendelse af decentrale VE- og kulstofressourcer såsom landvind, solcelleparker og biogasanlæg øger behovet for at få integreret ny elproduktion og elforbrug bedst muligt i det eksisterende elnet. Flexibelt elforbrug fra PtX – både onsite eller distribueret – kan sammen med fornuftig geografisk placering af anlæggene give gevinst ved at aftage VE-produktion så den eksisterende elnetkapacitet udnyttes bedst muligt.

## Særligt vigtige gamechangere



DIREKTE PRODUKTION AF FLYDENDE BRÆNDSLER VINDER FREM



CO<sub>2</sub>-FANGST FRA LUFTEN GIVER UENDELIGE MÆNGDER GRØNT KULSTOF

Den afgørende forskel mellem Onsite PtX og Distribueret PtX er i hvor høj grad det kollektive elnet anvendes til transport af el fra sol og vindproduktion til elektrolyseanlæg.

Placering af VE og PtX ift. det eksisterende elnet samt evt. brintinfrastruktur kan blive påvirket hvis direkte produktion af flydende brændsler vinder frem (GC7) fordi hensyn til lokale kulstofressourcer giver større geografiske bindinger.

Omvendt kan gennembrud for CO<sub>2</sub>-fangst fra luften (GC11) tilsvarende sænke afhængigheden af geografi og lade PtX-placeringen være afgjort af VE-ressource og infrastruktur samt evt. afsætning af overskudsvarme. Placeringen af PtX kan udfordre elsystemet, hvis anlægget ikke placeres hensigtsmæssigt ift. nettets kapacitet.

### Onsite PtX – lokal samplacering af VE og forbrug

Det er en mulighed at installere elektrolyseanlæg direkte i forbindelse med mindre decentrale VE-anlæg, hvor produktionen fra vind og sol går direkte til brintproduktion i stedet for at strømmen føres ind på elnettet. Dette giver ejerne af VE-produktion en mulighed for at få værdi ud af strømmen i områder hvor der kan opstå flaskehalse i elnettet.

Onsite-modellen giver dog en betydelig indsnævring af egnede placeringer og vanskeliggør udnyttelsen af synergieffekter, fordi elektrolyseanlægget skal placeres på samme matrikel som den vedvarende elproduktion for at tælle som egenproduktion.

Adgang til nærliggende brintinfrastruktur kan blive en driver for Onsite elektrolyse. Hermed kan VE-anlæg og elektrolyse placeres

tæt på brintinfrastrukturen, som herefter transporterer brinten videre til slutanvendelse. Dette gælder fx lokale brintnet til bl.a. biogasanlæg og tankstationer, hvor transporten dog også kan ske med lastbil.

### Distribueret PtX – PtX indpasset i elnettet

Distribueret PtX vurderes at blive vigtig for at få udviklingen i gang, da elektrolyse kan afprøves og integreres med det øvrige energisystem forholdsvis simpelt. Mindre og mellemstore elektrolyseanlæg kan tilsluttes elnettet rundt omkring i landet. Det kan fx være i nærheden af kulstofkilder såsom de danske biogasanlæg, biomassefyrede kraftværker, cementfabrikker eller lignende.

Distribueret PtX kan opnå storskala-gevinster for elektrolyse og synteseanlæg (ift. onsite anlæg), og hermed have fordele af at bruge elnettet som opsamling af VE-produktion.

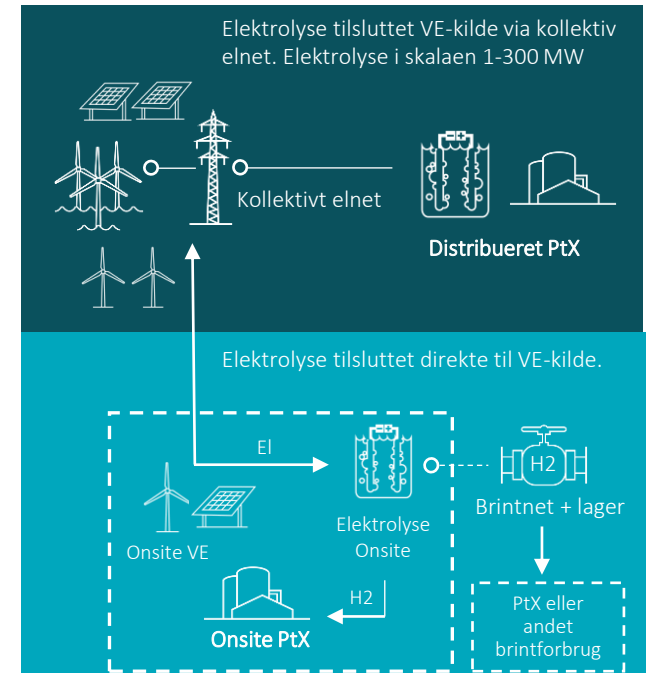
Elektrolyseanlæg kan levere fleksibilitet via op- og nedregulering af hvorved elnettet ikke overbelastes ved spidsbelastning.

Placeringen af elektrolyseanlægget i elnettet kan ligeledes have stor betydning for om lokale flaskehalse ift. elproduktion, og hermed netudbygning, kan undgås.

Netselskabernes nuværende incitamenter til at fremme fleksibilitet er beskrevet i boksen herunder:

### Incitamenter til fleksibilitet i eksisterende elnet

- *Betaling, der afspejler adgang til elnet:*  
Nye typer af elforbrug som fleksible varmepumper og PtX kan muligvis anvende den "midlertidige kapacitet" som normalt reserveres til håndtering af udfald af netkapacitet eller produktionskapacitet. Udnyttelse af elnettets "midlertidige kapacitet" kræver dog udvikling af drifts- og tarifprincipper som understøtter dette, hvilket er i gang via et nyt tarifprodukt. Distributionsnetselskaber tilbyder sparet tilslutningsgebyr som følge af afbrydelighed af forbruget.
- *Betaling, der belønner placering ift. flaskehalse:*  
Flaskehalse i elsystemet kan håndteres ved forskellige typer af løsninger. Elnetselskaberne har i dag udviklingsprojekter med geografisk information i regulerkraftbudget, bl.a. på Lolland, således at fx et PtX anlæg kan aktiveres når der er mere VE-produktion i området end der kan håndteres med eksisterende forbrug og netkapacitet. Hermed fås et incitament til at placere nyt PtX-forbrug hensigtsmæssigt ift. den eksisterende elnetkapacitet samt VE-udbygning.





# PTX VED ILANDFØRING KAN SPARE EL-INFRASTRUKTUR

Intelligent infrastrukturplanlægning for PtX kan have store samfundsøkonomiske fordele i den grønne omstilling. Indfødningszoner kan være en metode til at give et geografisk incitament til at placere forbruget så elnetudbygningsomkostningen bliver mindst mulig.

## Særligt vigtige gamechangere

- 3 UDLANDET UDBYgger SAMMENHÆNGENDE BRINTINFRASTRUKTUR
- 5 DANSK ENERGIØ MED TILKNYTTET BRINTPRODUKTION

### Stor VE-udbygning udfordrer eltransmissionsnettet - placering af forbruget er vigtigt

De danske VE-ressourcer overstiger langt behovet til direkte elektrificering, som beskrevet på side 12. Særligt ift. udnyttelse af havvindressourcerne kræver det en optimeret udbygning og placering af storskala elektrolyse til PtX. Det overordnede rationale med indfødningszonerne er at optimere placeringen af PtX samt elforbruget ift. den øvrige infrastruktur – særligt elinfrastrukturen. Det skal derfor gøres attraktivt for nye typer energiforbrugere som PtX at placere sig inde i disse zoner, for at der kan opnås besparelser på infrastruktur andre steder i systemet. I indfødningszoner kan fx PtX-anlæg forbruge en betydelig del af strømmen fra havvind, og dermed skal en mindre del af strømmen føres langt ind på det kollektive elnet.

### Sektorkobling i indfødningszonen giver mere driftssikkert system

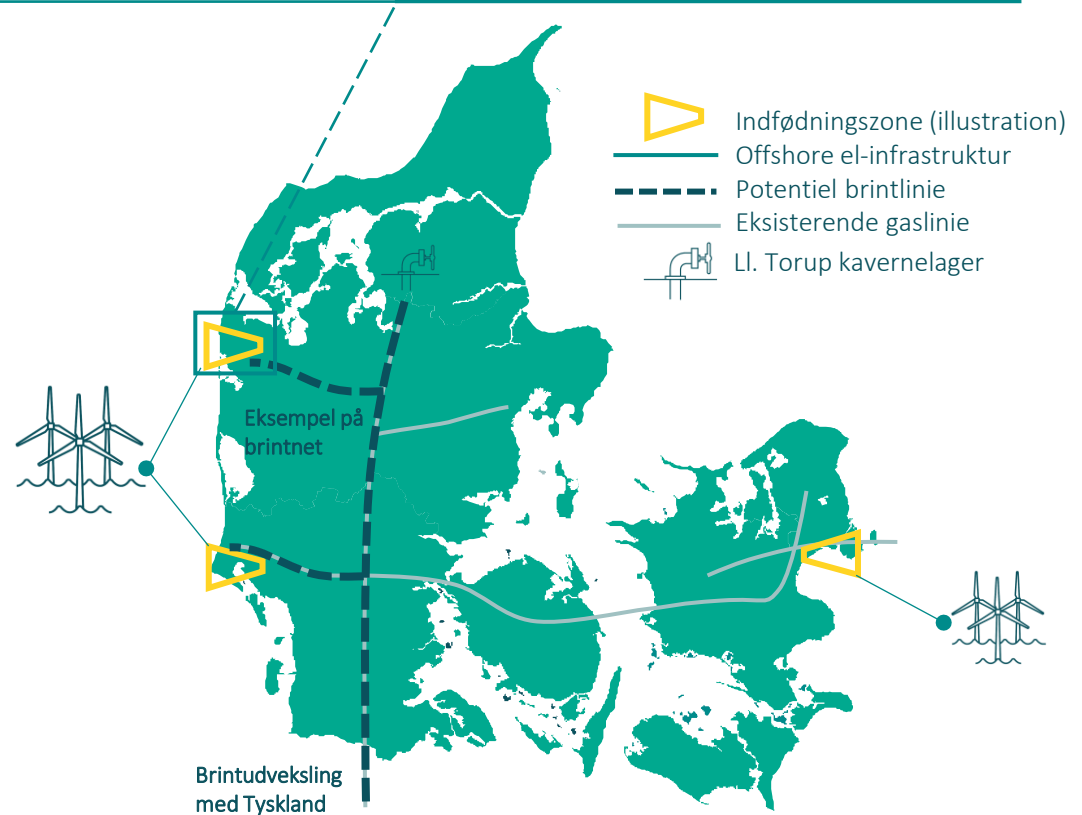
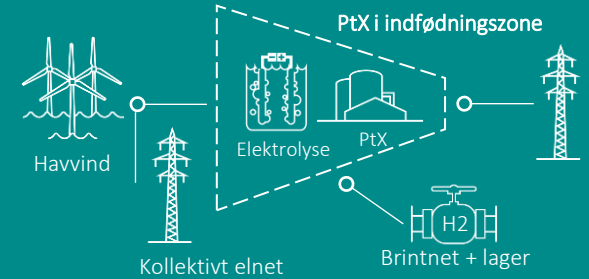
I zonen skal der derfor være et betydeligt sektorkoblet elforbrug. Her tænkes som udgangspunkt elektrolyse, der kan konvertere strømmen til brint. Konceptet er dermed tænkt som et planlægningsværktøj til - også på kortere sigt - driftssikkert at kunne integrere større mængder vind og sol i det danske energisystem. Det skal sikre, at vind og sol kan klare 100 pct. af el-efterspørgslen til PtX i langt flere driftstimer. Efter konvertering i zonen kan brinten transporteres med et brintnet til PtX-anlæg, lagres i brintlagre og potentielt eksporteres til udlandet (GC3). En energiø med tilhørende brintproduktion (GC5) vil sænke behovet for indfødningszoner, da konverteringen fra el til brint allerede er sket offshore.

### Indfødningszoner kan skabe storskalafordele og optimering af energiservices

Foruden de infrastruktur-mæssige fordele, vil elektrolyseanlæg og PtX-forædlingsfabrikker til fx e-ammoniak og e-fuels sandsynligvis kunne opnå stordriftsfordele ved at lægge sig i disse zoner. Nogle enheder vil nemlig have varmeoverskud mens andre har et varmebehov. Andre biprodukter som kulstof og ilt kan også udveksles indenfor zonen. Behovet for brintinfrastruktur til transport og lagring af den producerede brint i disse zoner beskrives mere detaljeret på de følgende sider.

**Indfødningszoner** er geografiske områder med særlige vilkår for forbrugere, som kan sikre at forbrugsenheder placeres hensigtsmæssigt i infrastrukturen, dvs. giver synergi til øvrig infrastruktur eller begrænser elnetudbygning i områder hvor VE-produktionen er netdimensioneret. Nordsøen og Østersøen er brugt som eksempler, men konceptet kan kopieres til andre steder hvor der er behov for infrastruktur til ny stor VE-produktion.

Elektrolyse tilsluttet elnettet nær ilandføring af havvind. Modellen kan indeholde brintinfrastruktur til transport og lagring. Elektrolyse er i skalaen 0,1 – 3 GW





# BRINTINFRASTRUKTUR UNDERSTØTTER STORSKALA PTX

Rigelig og billig grøn brint skaber behov for brintinfrastruktur, som via fleksibilitet optimerer PtX-produktionskæder, og kobler Danmark sammen med Tyskland og Holland i et nordeuropæisk brintnet.

## Særligt vigtige gamechangere

- 3 UDLANDET UDBYGGER SAMMENHÆNGENDE BRINTINFRASTRUKTUR
- 4 RIGELIG OG BILLIG GRØN BRINT FRA DANSKE ELEKTROLYSEANLÆG
- 5 DER ETABLERES DANSK ENERGIØ MED TILKNYTTET BRINTPRODUKTION

Infrastruktur til transport og lagring af brint kan bidrage med fleksibilitet og give væsentlige infrastrukturbesparelser. Dette understøtter placering af storskala PtX i centrale zoner og dermed en optimeret udnyttelse af de store VE ressourcer. På figur 8 illustreres potentielle besparelser ved investering i brinttransmission med et tilknyttet brintlager. Som det fremgår af figuren er det væsentligt billigere at transportere energien i form af molekyler, også ved en lav udnyttelse af infrastrukturen i en opstartsperiode. Altså skal elektrolysen placeres tæt på VE-produktion for at spare på infrastrukturen.

### Infrastruktur til eksport af brint

Som beskrevet på side 14 er både Holland og Tyskland langt fremme med udvikling af grønne brintløsninger. Der eksisterer allerede konceptuelle planer for brintinfrastruktur syd for den danske grænse. Realiseres (GC4), kan der således blive skabt nogle muligheder for at afsætte grøn dansk brint udenfor landets grænser, hvormed brintinfrastruktur til grænsen er et must ift. konkurrencedygtig transport.

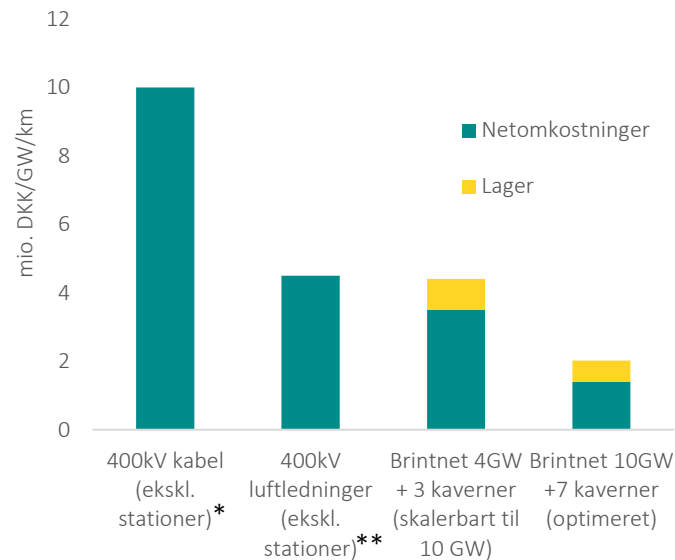
Eksisterende tysk og hollandsk industri er storforbrugere af konventionel brint og en grøn omstilling af denne industri kan potentielt åbne for et stort brintmarked. Det er derfor realistisk at forestille sig, at Danmark på længere sigt via Tyskland vil blive koblet op på et tværeuropæisk brintnet – en såkaldt *hydrogen backbone*. (GC3)

### Brintinfrastruktur tiltrækker ny industri?

Adgang til billig grøn brint (GC4) vil kunne tiltrække ny industri til Danmark, som PtX-industrier. Disse nye industrier vil kunne reducere sine produktionsomkostninger ved at ligge nye anlægsinvesteringer tæt på brintproduktionen eller brintinfrastrukturen. Man kan også forestille sig at adgang til rigelig (billig) grøn brint kunne tiltrække anden industri, som i dag anvender store mængder brint produceret fra fossile brændsler. Dette forudsætter fuld troværdighed om brintens grønne værdi og regler for tredjepartsadgang til infrastrukturen.

Et gennembrud for brændselsceller (GC6) kan lede til stor efterspørgsel efter brint fra den tunge vejtransport. I så fald kan der i Danmark opstå et behov for distribution af brint til centrale tankanlæg/logistikområder langs hovedmotorveje. Det kunne ske ved distribuering af brint fra en central brintinfrastruktur (se side 20), mens mindre lokale brinttankanlæg kan forsynes via tankbiler.

Figur 8: Sammenligning af omkostninger til investering i el- og brinttransmission + brintlager.



\*Det er kun fysisk muligt at kabellægge en begrænset del af en 400kV strækning.  
\*\* Luftledning med delvis kabellægning.

### Energiø(er) – et helt nyt kapital

De store vindpotentialer i de danske farvande, giver mulighed for at etablere energiøer. På en energiø kan eloverløb anvendes til PtX. Brint produceret direkte på en energiø kan enten eksporteres til land i brintrør eller kan forædles yderligere på energiøen. Brintproduktion vil kunne håndtere overskudsvind peaks, som det kan være urentabelt at udbygge elinfrastrukturen til, og dermed bidrage til at reducere curtailment. Energiøen kan omvendt også tænkes at være direkte forbundet med centrale områder for PtX produktion på land via offshore elinfrastruktur. Under alle omstændigheder skal havvind forbindes til øen via elinfrastruktur.

Brintproduktion direkte på energiøer (GC5) vil økonomisk være mest rentabelt og give de største synergier, når der er tale om storskala produktion og øerne etableres langt fra land. Videreforædling til e-brændsler på en ø er muligt. Det dog mest realistisk at en offshore PtX produktion vil være af e-ammoniak, da kvælstof kan ekstraheres fra luften, og e-ammoniak vil kunne afskibes direkte fra en energiø og dermed spare infrastrukturen til land.



Illustration af mulige "energiøer" i Nordsøen til forsyning af el og evt. brint til lande. Offshore produktion af brint i Nordsøen kan ændre behovet for infrastruktur både til vands og til lands.  
Illustration: North Sea Wind Power Hub.



# BRINTLAGRE GIVER FLEKSIBILITET TIL PTX-ANLÆG

Grøn brint produceret fra sol og vind skal kunne anvendes når behovet opstår. For at få forbrug og produktion til at mødes, kræver det fleksibilitet i form af lagringsmuligheder et sted i værdikæden. Det er langt billigere at lagre denne energi som brint sammenlignet med el.

## Særligt vigtige gamechanger

- 3 RIGELIG OG BILLIG GRØN BRINT FRA DANSKE ELEKTROLYSEANLÆG
- 4 UDLANDET UDBYGGER SAMMENHÆNGENDE BRINTINFRASTRUKTUR

### Behov for fleksibilitet i et elsystem med megen VE-elproduktion

Desto mere sol og vind der installeres frem mod 2030 og 2050 desto mere af det traditionelle elforbrug kan dækkes med VE. Samtidig opstår der perioder med "overproduktion" hvor elprisen bliver meget lav. Disse mængder kan ikke lagres med batterier, og må enten gå til spilde via bortkobling af produktion eller optages i et fleksibelt forbrug.

PtX kan være et fleksibelt forbrug, hvor strømmen konverteres til brint og evt. andre produkter. Yderligere giver storskala kavernelagring af brint mulighed for at gemme brint til spidslastproduktion i perioder hvor VE produktionen er mindre end det klassiske elforbrug. Batterier er gode til at matche produktion og forbrug på kort tidsskala, mens brintkaverner kan dække ubalancer over flere dage og gennem sæsoner. Flere teknologier som fx termisk stenlagring er også i en rivende udvikling og kan meget vel også være en af løsningerne til lagring af elektricitet.

### Brintkaverner er storskala lagring

Brintkaverner har typisk en størrelse svarende til 0,2 TWh brint. Det svarer til ca. 1.500 af verdens største batteri (Tesla, Hornsdale 129MWh). Der kan til et overfladeanlæg til brintlagring kobles flere kaverner hvorved man kan få etableringsomkostninger i omegnen af 2.000 DKK/MWh. Til sammenligning forventes det at batterier i 2030 kan fås til lidt mere end 400.000 DKK/MWh.

### Flere muligheder for fleksibilitet

En brintinfrastruktur med kavernelager kan sikre de nye PtX-industrier en sikker og stabil forsyning af brint. Brintproduktionen kan således være fleksibel og afkoblet brintforbruget.

Store procesindustrier er typisk karakteriseret ved at have en kontinueret og optimeret drift. Det er dog muligt at indrette anlæggene således at de i højere grad driftes fleksibelt så de følger elpriser og/eller produktionen af brint.

En PtX-producerende industri har følgende muligheder:

- 1) Ingen/lav fleksibilitet. Både elektrolyse -og synteseanlæg kører ufleksibelt for at udnytte produktionskapacitet bedst muligt. Dette betyder at der benyttes el i en del mellem til højpristimer, og kun spidslastperioder bliver forventelig undgået.
- 2). Fleksibel produktion
  - a. Fleksibel brintproduktion og stabilt forbrug. Brintinfrastruktur med kavernelager sikrer afkobling mellem brintproduktion og forbrug. Herved kan elektrolyse køre når der er lave elpriser og dermed være med til at skabe balance i elsystemet. Synteseanlægget kan via brintlageret køre kontinuerligt på dets produktionskapacitet.
  - b. Fleksibel brintproduktion og forbrug. Det vil betyde en højere CAPEX for synteseværket, da der er behov for en større produktionskapacitet, der kan følge brintproduktionen. Løsningen bidrager til stabilitet i elnettet.

### Brintlager kan være den billigste og bedste løsning

Ved hjælp af Dansk Energis Balmorel-model er der foretaget en analyse af gevinsten ved at PtX anlæg kan agere fleksibelt (figur 9). Analyserne er foretaget med udgangspunkt i brintproduktion til et ammoniak-anlæg, som enten kører 8.000 timer eller er fleksibelt og kun kører de 4.400 timer med de laveste elpriser. Det er antaget at prisen på ammoniak-anlægget er ca. 2 gange højere end elektrolyseanlægget (målt i energi output). Elforbruget til brintproduktion er 10:1 i forhold til synteseanlægget.

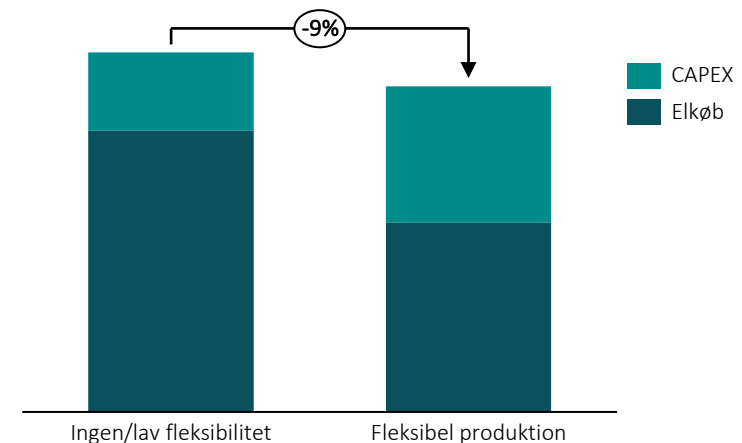
Analysen viser, at der er en betydelig besparelse ved at drive anlæggene fleksibelt. Besparelsen opnås ved at elkøbet optimeres og bliver markant lavere som følge af fleksibel ageren i forhold til elmarkedet. Prisen for fleksibilitet er højere CAPEX til elektrolyse, brintinfrastruktur eller synteseanlæg.

Besparelsen er størst for elektrolyseanlægget, som kan reducere sine omkostninger med 20-25 pct., ved at producere de billigste

4.400 timer. Det afføder dog ekstra omkostninger andre steder i værdikæden (enten brintinfrastruktur eller fleksibel ammoniakproduktion) som fører til en endelig besparelse på 9 pct. De to fleksibilitetsløsninger leverer besparelser i samme størrelsesorden, men kan falde til den ene eller anden side alt efter grad af udbygning og udvikling i etableringsomkostninger.

Med et integreret og fleksibelt synteseanlæg er en produktionskæde med el-, brint- og ammoniakproduktion skrøbelig, da de alle tre ligger stille hvis et anlæg fejler (eller går konkurs). En brintinfrastruktur skaber et marked hvor der er robuste afsætningsmuligheder for brint, og en lettere adgang for nye producenter. Et brintnet med lagring kan altså understøtte forskellige former for ny industri med forskellig størrelse og fleksibilitetsbehov, mens fleksible synteseanlæg set i et udviklingsperspektiv er mere låste. Omvendt kan et fleksibelt slutforbrug være den eneste løsning i områder uden mulighed for brintnet og lagring.

Figur 9 viser gevinsten ved at kunne producere brint fleksibelt i år 2030. Eksempel beregning fra Balmorel for brint til et ammoniak-anlæg. Det fleksible beregning er CAPEX til syntese, elektrolyse og infrastruktur slået sammen



# METANINFRASTRUKTUR KAN INDGÅ I PTX-VÆRDIKÆDER

Dele af den danske naturgasinfrastruktur kan finde nye anvendelser til transport og lagring af brint

## Særligt vigtige gamechangere



7 DIREKTE PRODUKTION AF FLYDENDE BRÆNDSLER VINDER FREM



8 MARKANT SÆNKET METANFORBRUG

Gasnettet er i kombination med de to gaslagre landsdækkende med gode forbindelser til udlandet. Naturgasforbruget falder, og på sigt bliver naturgassen erstattet helt af grøn metan. Eksisterende gasinfrastruktur kan i takt med den grønne omstilling også få en rolle i PtX.

Grundlæggende er der to udviklingsmuligheder, hvis gasnettet og gaslagrene skal bruges til at understøtte en brint/PtX udvikling:

- 1) **Metanvejen** med biogas, metaniseret CO<sub>2</sub> og iblanding af mindre mængder brint i metangassen.
- 2) **Brintvejen** hvor dele af metanettet og gaslagre konverteres til at kunne transportere og lagre ren brint.

De to muligheder udelukker ikke gensidigt hinanden, da dele af både transmissions- og distributionsnettet vil kunne tages ud og anvendes til forskellige formål.

### 1) Metanvejen og iblanding

I 2023 forventes biogas at dække 25 pct. af det danske gasforbrug. Denne mængde kan stige yderligere ved fx at udnytte mere halm eller ved metanisering af overskydende CO<sub>2</sub> fra biogas. Metanisering kan øge biogasproduktionen med ca. 60 pct. (e-metan). Grundlæggende vil metanvejen ikke føre til store ændringer i metanettet eller for de eksisterende gasforbrugere. Det skyldes, at der fortsat er tale om metangasser, som er 100 pct. substituerbare med fossil naturgas.

I gassystemet kan der håndteres en vis iblanding af brint. Energinets egne undersøgelser indikerer, at der uden væsentlige ændringer kan iblandes op til 10 pct. grøn brint. Brinten kan dog, med nuværende teknologi, ikke udskilles fra metanen igen.

Pga. brintens lavere energidensitet svarer de 10 pct. brint iblandet naturgas kun til ca. 3 pct. af den totale energi i gassen. Der er derfor tale om indpasning af små mængder brint set ift. det danske gasforbrug. Over tid kan det blive en mulighed at iblande brint i de relativt store mængder gas som transporteres til Polen via Baltic Pipe, hvorved potentialet for iblanding øges markant.

### 2) Brintvejen

Det vurderes, at der kan opnås mere rentable værdikæder, hvis brinten transporteres som et rent produkt. Afhængigt af hvor og hvordan brint skal anvendes, samt hvilken skala dansk brintproduktion udvikler sig i, kan det blive relevant at afsøge mulighederne for at konvertere dele af metansystemet til rørbundet transport og lagring af brint.

Transport af brint kan ske ved konvertering af dele af det eksisterende metanet eller ved etablering af ny dedikeret brintinfrastruktur. I takt med at metanforbruget i Danmark falder (GC8), vil det frigivne infrastruktur som kan konverteres og anvendes til transport af brint. Udover den mulige samfundsøkonomiske gevinst ved at genbruge de eksisterende gasaktiver til brint, kan mange udfordringer forbundet med at etablere ny infrastruktur begrænses.

Energinet undersøger allerede, i hvilket omfang den eksisterende gasinfrastruktur kan bruges til at transportere ren brint. I Holland og Tyskland er der tilsvarende undersøgelser i gang.

Store dele af det vest-østgående transmissionsnet vil dog i mange år blive anvendt til transit af naturgas via Baltic Pipe, hvilket ikke muliggør konvertering på denne strækning.

### Metanettet og Gas-to-Liquid

Produktion af flydende PtX-brændsler kan realiseres med metanvejen. Der vil være gode muligheder for at udnytte biogas og den overskydende CO<sub>2</sub> fra biogasproduktionsanlæg til at producere kulstofbaserede e-brændsler på et GtL-anlæg.

Biogas produceres i dag lokalt på biogasanlæggene, hvorefter den opgraderes til naturgaskvalitet og i de fleste tilfælde transporteres den gennem distributionsnettet ud til de traditionelle gasforbrugere. I biogasopgraderingen fjernes den overskydende CO<sub>2</sub> fra den rå biogas og udledes til atmosfæren. Hvis man i stedet transporterer den rå biogas hen til en PtX-brændselsfabrik med tilknyttet elektrolyse eller brintindfødning, har man byggeklodserne til at producere e-brændstof (GC7). Konverteres dele af distributionsnettet til rå biogas vil det dog have konsekvenser for eksisterende gasforbrugere i de berørte net. Samtidig forsvinder den vigtige fleksibilitet fra det øvrige gassystem, herunder muligheden for at bruge gaslagrene.

Der opnås et mere stabilt driftsmønster for GtL-anlægget, hvis den overskydende CO<sub>2</sub> metaniseres og transporteres til et GtL-anlæg. Biogas plus e-metan vil kunne transporteres og lagres i det eksisterende gassystem, uden det har konsekvenser for andre gasforbrugere eller gasnettet. Ulempen er, at gassen skal konverteres adskillige gange, hvilket fører til effektivitetstab.

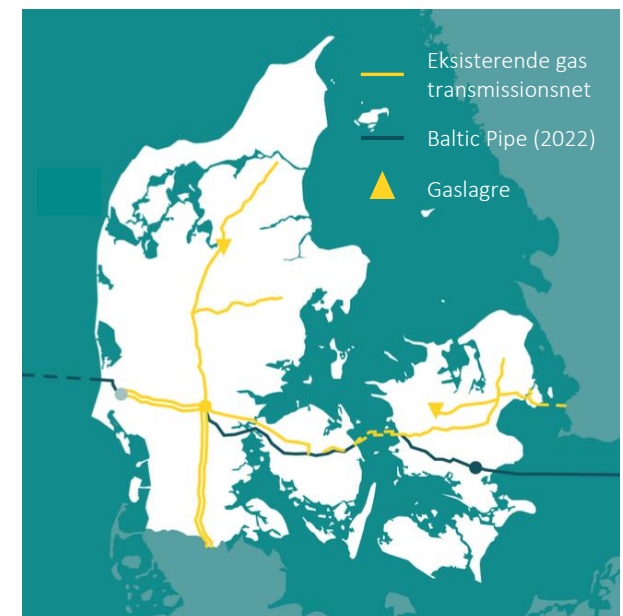


Illustration af det danske gastransmissionsnet med de to gaslagre og Baltic Pipe

# ANSKAFFELSE AF CO<sub>2</sub> PÅVIRKER INFRASTRUKTURBEHOV

Produktion af kulstofbaserede PtX-brændsler kræver adgang til store mængder kulstof, som i dag kan komme fra forskellige punktkilder spredt udover landet.

## Særligt vigtige gamechangere

10

BILLIG CO<sub>2</sub>-FANGST FRA PUNKTKILDER GIVER BEGRÆNSET MÆNGDE GRØNT KULSTOF

11

CO<sub>2</sub>-FANGST FRA LUFTEN GIVER BILLIG ADGANG TIL RIGELIGE MÆNGDER GRØNKULSTOF

12

CO<sub>2</sub>-LAGRING BLIVER KOMMERCIELT TILGÆNGLIG

## Behov for en CO<sub>2</sub>-infrastruktur?

Brændselsfabrikker som producerer kulstofbaserede PtX-produkter har grundlæggende behov for brint og kulstof. Så længe at DAC (**GC11**) ikke er kommercielt tilgængelig vil kulstof til PtX dog være en begrænset ressource. Opsamlingsprisen for CO<sub>2</sub> via DAC er typisk langt over 2.000 DKK/ton. På lang sigt kan omkostningen komme under 1.000 DKK/ton. Herved kan PtX-produktion potentielt blive mulig uden, at anskaffelsen af kulstof bliver en begrænsning.

På den korte og mellemlange bane må kulstof til PtX forventes at skulle komme fra punktkilder såsom biogas, industri og kraftværker (se side 13). Det kræver, at CO<sub>2</sub> indfanges fra disse anlæg i en proces kaldet Carbon Capture and Utilization (CCU) – alternativet til CCS, som er carbon capture storage, hvor CO<sub>2</sub> slutdeponeres. CCU fra punktkilder skal reduceres i pris før det bliver rentabelt (**GC10**).

Anskaffelsen af kulstof til PtX skal optimeres via infrastrukturen, som det også er tilfældet for el, brint, metan og varme. Her vises tre udfaldsrum for infrastrukturen:

### 1. Transport af CO<sub>2</sub> til VE/brintkilder

Transport af CO<sub>2</sub> i udfaldsrum 1 kan ske rørbundet eller via lastbil. I modellen opsamles CO<sub>2</sub> fra flere punktkilder og transporteres til PtX-industri, hvor der er elektrolyse af VE-el. Denne løsning for anskaffelse af CO<sub>2</sub> kan blive aktuel for alle tre elnets-modeller beskrevet på side 19 og 20.

Ved mindre decentrale Onsite og distribueret PtX anlæg, kan man forestille sig transport af CO<sub>2</sub> i lastbil eller lokale CO<sub>2</sub>-

distributionsnet. For elektrolyseanlæg som placeres direkte i forbindelse med mindre decentrale VE-anlæg (Onsite), er kulstofkilden enten at finde lokalt (onsite) eller ved tilførsel fra nærliggende punktkilder, fx biogasanlæg eller industrier.

Ved storskala PtX-anlæg, som tænkes at opstå i forbindelse med indfødningszoner, kræves der meget store mængder CO<sub>2</sub>. For at forsyne disse anlæg med tilstrækkelig kulstof, vil det efter alt at dømme kræve dedikeret rørbundet CO<sub>2</sub>-transport.

### 2. Transport af VE-el til CO<sub>2</sub>-kilder

I denne model tilsluttes mindre elektrolyseanlæg elnettet rundt omkring i landet (distribueret PtX). Det kan fx være i nærheden af gode kulstofkilder såsom de danske biogasanlæg, biomassefyrede kraftværker, cementfabrikker eller lignende. Elektrolyse med el fra det kollektive elnet giver en ekstra belastning med et behov for at nedregulere anlægget i perioder med høj belastning. Fordelen ved denne model er, at hverken CO<sub>2</sub> eller brint skal transporteres. Omvendt skal der transporteres el som i perioder kan begrænses af nettets kapacitet. Hertil fjernes mulighederne for storskala fordele i PtX-produktionen

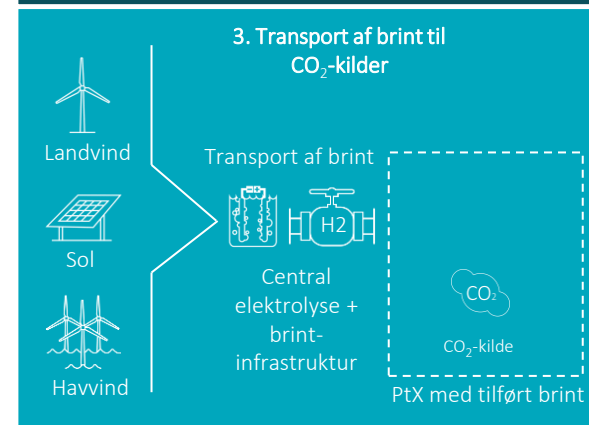
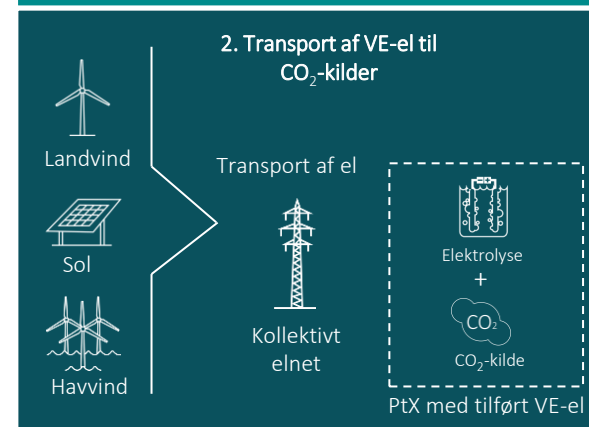
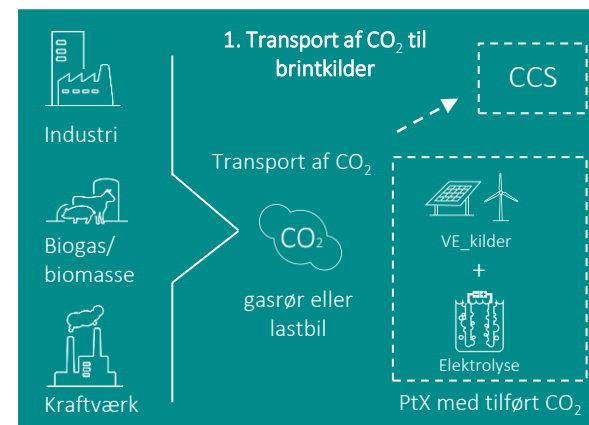
### 3. Transport af brint til CO<sub>2</sub>-kilder

I udfaldsrum 3 indføres brint til CO<sub>2</sub>-punktkilder via et brintnet. Dette ville i så fald være i kombination med en overordnet brintinfrastruktur som etableres ifm. indfødningszoner.

Fordelen i denne model er, at elnettets kapacitet ikke bliver en begrænsning for hvor meget brint der kan tilføres PtX-processen, da VE-el til elektrolyse ikke skal transporteres. Ulempen er på den anden side, at det kræver en fintmasket brintinfrastruktur

### CO<sub>2</sub>-infrastruktur giver mulighed for CCS

I model 1 hvor der etableres en CO<sub>2</sub>-infrastruktur kan det sammentænkes med CCS, der får øget opmærksomhed. Det er sandsynligt, at der opstår et behov for, at transportere CO<sub>2</sub> til slutdeponering i undergrunden (**GC12**). I så fald det vil højst sandsynligt ske via rørbunden infrastrukturer der transporterer CO<sub>2</sub> til velegnede lagringsstrukturer enten on- eller offshore. På den måde kan de to gamechangere (**GC10**) og (**GC12**) være med til understøtte en fælles CO<sub>2</sub>-infrastruktur.



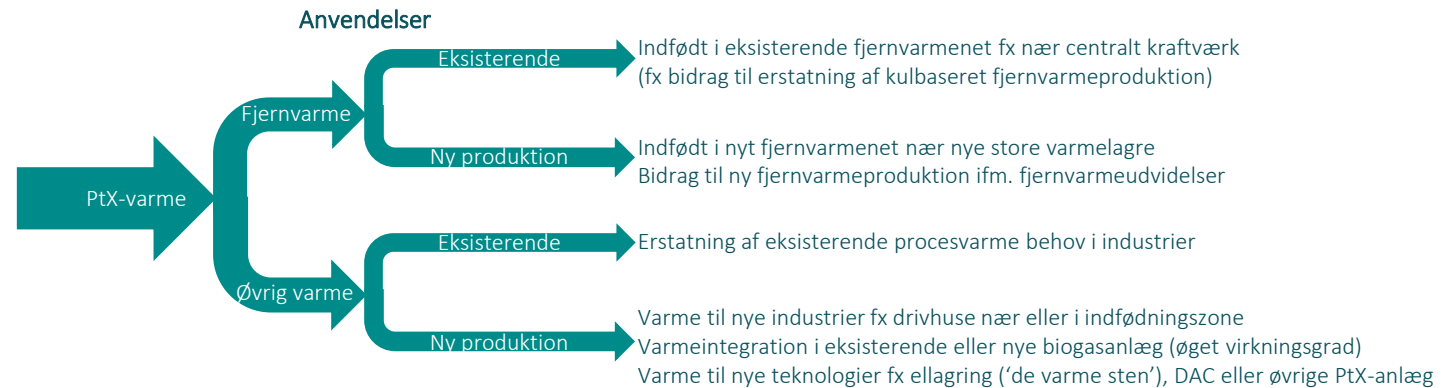


# OVERSKUDSVARME FRA PTX BØR ANVENDES

Der er et stort overskudsvarmepotentiale fra PtX anlæg både ifm. elektrolyse og syntese-processer. Varmen kan anvendes til fjernvarme eller integreres i nye eller eksisterende processer og industrier. Indtægten fra varme vil være én blandt flere parametre som kommende PtX-anlæg placeres og dimensioneres efter. Den nødvendige varmeinfrastruktur vil derfor afhænge af hvilke varmeanvendelser som vinder frem. Flere store varmelagre i fjernvarmeinfrastrukturen kan potentielt øge værdien af PtX-varme.

**Særligt vigtige gamechangere**

- 7 DIREKTE PRODUKTION AF FLYDENDE BRÆNDSLER VINDER FREM
- 11 CO<sub>2</sub>-FANGST FRA LUFTEN GIVER BILLIG ADGANG TIL RIGELIGE MÆNGDER GRØNKULSTOF
- 12 CO<sub>2</sub>-LAGRING BLIVER KOMMERCIELT TILGÆNGLIG



**Eksisterende fjernvarmeinfrastruktur samt flere store varmelagre kan integrere PtX-varme**  
Overskudsvarmen fra fx lavtemperaturelektrolyse er tilgængelig ved 80-100 C og kan derfor forventelig i stort omfang udnyttes til fjernvarme. PtX-anlæg kan have endnu højere temperatur spildvarme.

Det er forholdsvis dyrt at anlægge nyt fjernvarmetransmissionsnet over lange afstande, hvilket gør at indfødning af overskudsvarme i den eksisterende fjernvarmeinfrastruktur er at foretrække.

Placering af hhv. elektrolyse og synteseanlæg er derfor afgørende for om overskudsvarme fra PtX bør anvendes til fjernvarme eller evt. bruges til øvrige varmemål. Hvis carbon-capture teknologier (11) vinder frem på store CO<sub>2</sub>-punktkilder som kraftværker, affald og industri, kan det tale for at PtX-varmen produceres i de store fjernvarmesystemer og hermed forholdsvis nemt kan integreres.

Uden varmelagre er der behov for en god samtidighed mellem PtX-varmeproduktionen og efterspørgslen på fjernvarme. Derfor kan nye store varmelagre hjælpe til at øge værdien af PtX-varme (samt øvrig eldrevet varmeproduktion fx fra varmepumper). Samtidig kan der muligvis samtænkes ny fjernvarmeinfrastruktur til store varmelagre og overskudsvarme fra PtX-anlæg.

## Nye varmebehov kan opstå tæt på PtX-anlæg og mindske varmeinfrastrukturbehovet

For PtX-anlæg placeret langt væk fra større byer er det ikke oplagt at udnytte overskudsvarmen i eksisterende fjernvarmesystemer. Disse anlæg kan fx være elektrolyse placeret i indfødningzone eller ved biogasanlæg til fx direkte produktion af brændsler (7). Dette gør at overskudsvarmen bedst udnyttes tæt på PtX-anlæggene ved at integrere den i eksisterende eller nye varmebehov – både i processer og hos slutkunder særligt indenfor erhverv.

Eksempler på varmeintegration i processer er øget gasudbytte i biogasanlæg pga. adgang til overskudsvarme. Desuden kan nye teknologier indenfor lagring og CO<sub>2</sub>-capture (DAC) eller andre PtX-anlæg benytte ekstra varme, og hermed kan de blive integreret i PtX-anlæggene eller placeret tæt på. Eksempler på slutfordbrug der kan bruge lavtemperatur varme fra PtX-anlæg er eksisterende eller nye drivhuse. Hvis indfødningzoner tiltrækker brintforbrugende industrier med procesvarmebehov kan disse muligvis også bruge PtX-varmen fra elektrolyse eller synteseanlæg. Omvendt kan nye højtemperatur elektrolyseteknologier (SOEC) skabe efterspørgsel på højtemperaturvarme, som muligvis kan leveres fra (PtX) industrier.

Nye varmebehov åbner hermed op for replikerbare løsninger til brug af PtX-varmen (fx i forbindelse med indfødningzoner), som i høj grad vil kunne eksporteres til andre lande og som ikke er afhængig af geografiske begrænsninger eller eksisterende varmebehov.

# OPSUMMERING: PTX-INFRASTRUKTUR

PtX og gamechangerne har stor indflydelse på hvilke infrastrukturbehov der vil opstå i fremtiden. Hvis der tænkes i synergier mellem forskellige typer infrastruktur og optimeres geografisk særligt ift. el-infrastruktur kan der hentes store samfundsøkonomiske gevinster. Adgangen til kulstof kan dog få stor betydning for hvilke infrastrukturbehov der vil opstå.

I dette kapitel er beskrevet tre grundlæggende modeller for integration af PtX-anlæg med udgangspunkt i tilslutningen til elnettet. De tre modeller (Onsite PtX, Distribueret PtX og PtX ved ilandføring) adskiller sig grundlæggende i deres placering i elnettet samt integration med andre typer infrastruktur. Alle modeller kan sameksistere, men hvad der vinder frem afhænger i høj grad af hvilke vilkår der gælder for tilslutning til elnettet. Fleksible tariffer vil give incitament til bedre udnyttelse af elnettets kapacitet til PtX-formål.

Hvis de store havvindsressourcer for alvor skal udnyttes, er det hensigtsmæssigt at konvertere strøm til brint tæt på produktionspunktet (indfødningszoner eller offshore). Indfødningszoner kan sikre, at forbrugsenheder placeres hensigtsmæssigt i infrastrukturen, dvs. giver synergi til øvrig infrastruktur og/eller begrænser elnetudbygning hvor VE-produktion er netdimensionerende.

Indenfor indfødningszonerne kan brinten anvendes direkte til PtX eller anden industri. Det er dog sandsynligt, at der kan opstå behov for en brintinfrastruktur som kan levere fleksibilitet fra underjordiske lagre. Foruden besparelser forbundet med at transportere brint fremfor strøm, kan brintlagrene levere stor værdi til PtX-producenterne, som kan bygge mindre anlæg med flere fuldlaststimer. Brintinfrastrukturen kan også åbne muligheder for at eksportere brint til vores nabolande, som allerede har stort brintforbrug og planlægger at etablere brintinfrastruktur.

Tilgængeligheden af kulstof til PtX er en afgørende parameter for hvilke infrastrukturbehov der vil opstå. Her handler det om en optimering ift. hvad det kan betale sig at transportere rundt; strøm, brint eller CO<sub>2</sub>? Der er hertil behov for en vis planlægning samt, at markedsaktører får de rigtige rammer af efterspørge infrastruktur ud fra. Transporteres brint eller CO<sub>2</sub> kræver det en form for infrastruktur som ikke findes i dag. Det taler for, at distribueret PtX via elnettet meget vel kan opstå ved punktkilder til CO<sub>2</sub>. Dette kan lede til behov for styrkelse af elnettet på særligt distributionsniveau.

Direct Air Capture af CO<sub>2</sub> er potentielt den gamechanger, der kan få størst indflydelse på PtX-infrastruktur. Det løser udfordringen med at skaffe tilstrækkeligt kulstof til Onsite PtX og indfødningszonerne. Man kan ligeledes forestille sig at DAC vil bane vejen for offshore brændselsproduktion, som kan reducere infrastrukturbehov til PtX.

Med udsigt til et faldende metanforbrug kan dele af den eksisterende gasinfrastruktur anvendes på flere måder. Her spænder mulighederne sig fra transport og lagring af brint til transport af biogas og CO<sub>2</sub>. Det er dermed en mulighed, at noget af gasnettet og gaslagrene kan integreres i en overordnet brintinfrastruktur, og samtidig kan grene af distributionsnettet indgå i kulstofbaserede PtX-værdikæder. Sidstnævnte scenarie kan gøre sig særligt gældende hvis produktion af flydende brændsler via biogas vinder frem. Dog er det vigtigt at understrege at store dele af gasinfrastrukturen i en anseelig periode fortsat vil skabe størst værdi ved transport af naturgas og opgraderet biogas.

Udnyttelse af overskudsvarme fra alle PtX-processer bliver en vigtig værdistrøm. PtX-produktion vil i mange tilfælde ske væk fra fjernvarmenettet pga. optimering ift. kulstofskilder, elnettet og evt. adgang til brintlager. Derfor skal der findes alternative anvendelsesmuligheder for overskudsvarmen fra disse processer.

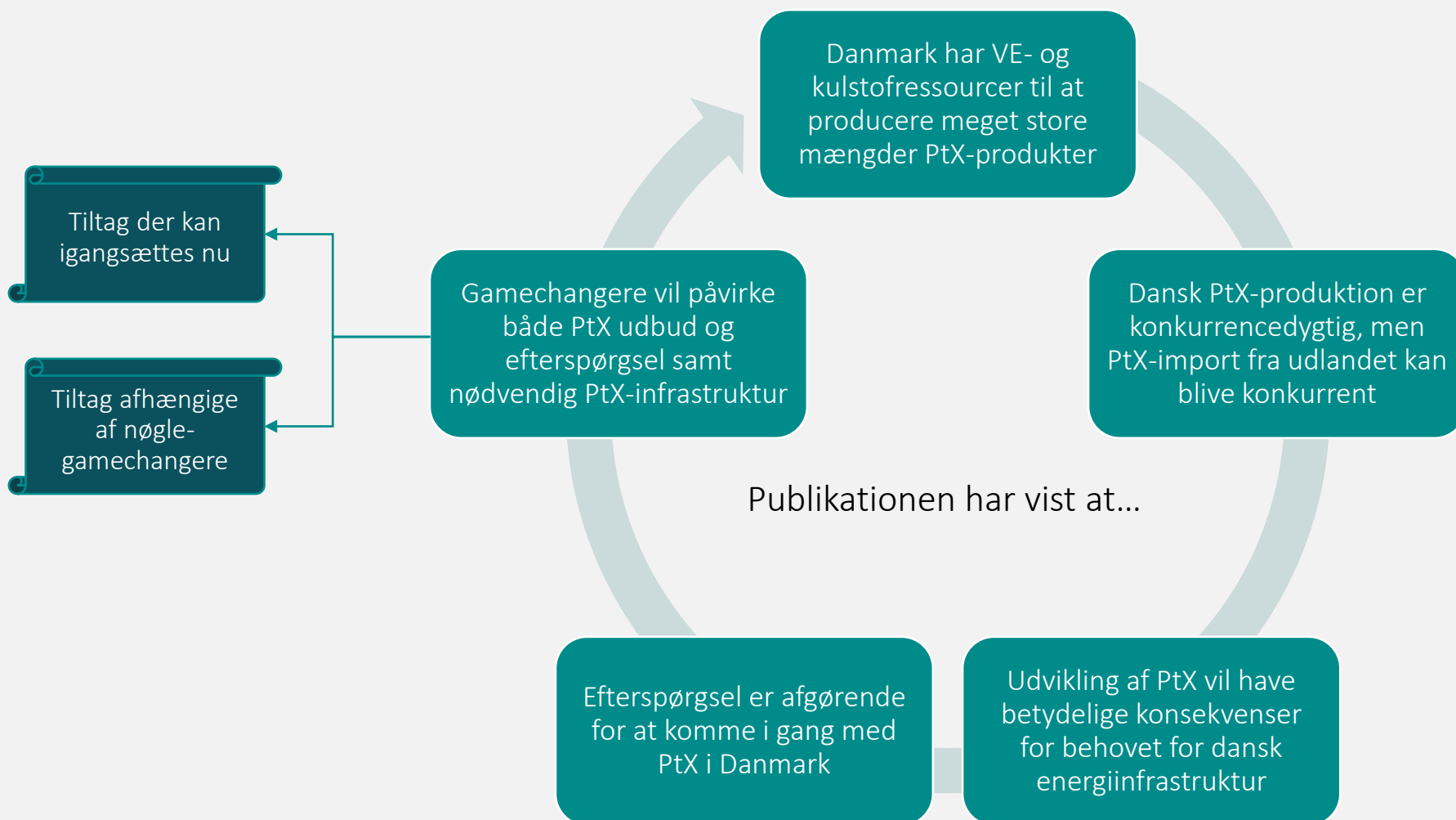


ANBEFALINGER

ENERGINET



# PTX OG PTX-INFRASTRUKTUR BØR UDVIKLES MARKANT I DANMARK MEN MED BLIK FOR GAMECHANGERE



# TILTAG DER KAN IGANGSÆTTES NU

Disse tiltag er essentielle for, at PtX-udviklingen kommer i gang og infrastrukturbehov kan tilfredsstilles.

I relation til PtX udbud og efterspørgsel kan:

- **En effektiv udnyttelse af kulstof til CCU og CCS sikres gennem en kulstofstrategi for Danmark**
- **Storskala produktion og anvendelse af PtX demonstreres** – eksempler kan være ammoniak og metanol til skibsfart samt brint eller ammoniak til spidslastproduktion og højtemperaturprocesser
- **Potentialet for offshore PtX-produktion analyseres nærmere** – dvs. hvordan brint eller øvrig PtX produktion kan ske offshore og påvirke behovet for ilandføringsinfrastruktur
- **Dansk PtX's konkurrencemuligheder vurderes løbende** - herunder afklaring af muligheder for import og eksport af PtX-produkter
- **Fælles regler og markedsvilkår i EU udarbejdes mhp. at sikre de grønne PtX-produkters forsyningssikkerhed og troværdighed i markedet**

I relation til PtX-Infrastruktur kan:

- **Elnettet understøtte at dansk PtX-produktion bliver så konkurrencedygtig som mulig.** Dette sikres ved at udvikle omkostningsægte elnetprodukter der belønner fleksibel brug af nettet og giver incitamenter til optimal placering af PtX-forbrug – det første skridt kan fx være at etablere en regulatorisk testzone for at afprøve indfødningszoner som koncept. Yderligere kan det undersøges hvordan udbudsvilkår for nye VE-anlæg kan bidrage til en samlet optimering af VE, PtX-forbrug og infrastruktur.
- **Brintkompetencer hos de relevante aktører og regulering for brint opbygges** så der gøres klar til, at der kan etableres en dansk brintinfrastruktur og øget brintanvendelse. Hertil laves fælles EU-regler og regulering af brintinfrastruktur over grænser
- **Fremtidens gassystem til PtX udvikles**, dvs. værdien af gassystemet til PtX undersøges nærmere, herunder hvordan det eksisterende gasnet og kaverner kan transportere og lagre brint samt distribuere forskellige gaskvaliteter af biogas.
- **Muligheder for varmeintegration ift. PtX analyseres**, både mellem forskellige typer PtX-anlæg samt til fjernvarme, nye industrier eller teknologier.

# TILTAG AFHÆNGIGE AF NØGLE-GAMECHANGERE

Disse tiltag iværksættes alt efter udfaldet af nøgle-gamechangers, som præger PtX-udviklingen i en bestemt retning.

I relation til PtX-Infrastruktur kan der i tilfælde af:

- **Markant stigende brintefterspørgsel (GC2), udbygning af brintinfrastruktur i nabolande (GC3) eller etablering af energiø med brintproduktion (GC 5)** etableres en brintinfrastruktur, der muliggør eksport af brint – forudsat det er den billigste måde at forsyne brint på.
- **Rigelig og billig grøn brint fra danske elektrolyseanlæg (GC4)** blive behov for op til 50-60 TWh el i Danmark til erstatning af fossilt forbrug. Det vil kræve betydelig udbygning af havvind og af eltransmissionssystemet i særligt Nordsøen. Markant mere VE-kapacitet skal bruges i tilfælde af dansk eksport til nabolande via brintnet eller som e-fuels.
- **Brændselceller til brint får gennembrud (GC 6)** i transportsektoren opbygges brinttankningsstationer og ny el- eller brintinfrastruktur til at forsyne disse
- **Betydeligt fald i metanforbrug i Danmark (GC7)** undersøges hvordan de dele af det eksisterende gasnet, som ikke fortsat skal bruges til biogas, i stedet kan understøtte PtX. Her tænkes der særligt på transport af brint i transmissionssystemet samt regional transport af rå biogas og/eller CO<sub>2</sub>.
- **Gennembrud for Direct Air Capture (GC 11)** opstå mulighed for at kulbrinte brændstoffer som metanol, jetfuel, diesel, metan osv laves i ubegrænsede mængder. Kulstof i ubegrænsede mængder fjerner behovet for CO<sub>2</sub>-infrastruktur. Her ses en stor rolle for infrastruktur til flydende brændsler.

# ORDLISTE

**AF19.** Analyseforudsætninger til Energinet 2019

**Biometan.** Metangas produceret via vedvarende biobaserede energikilder

**‘Blå brint’.** ‘Sort brint’ med CO<sub>2</sub>-lagring (CCS)

**Brændselscelle.** Omdannelse af fx brint til el i et fartøj

**CCS (carbon capture and storage):** indfangelse af CO<sub>2</sub> til lagring i undergrunden

**CCU (carbon capture and utilization):** Indfangelse af CO<sub>2</sub> og udnyttelse til bl.a. at producere e-fuels

**Direct Air Capture (DAC).** Udtrækning af CO<sub>2</sub> direkte fra luften. Alternativt CO<sub>2</sub> fra vand med direct water capture

**Elektrolyse.** Spaltning af vand til brint (H<sub>2</sub>) og oxygen (O) via strøm

**Ellagring.** Proces hvor el lagres (fx batteri, brint, trykluft, varme sten) og efterfølgende kan konverteres tilbage til el

**E-brint.** Brint produceret via elektrolyse

**E-metan.** Metan produceret på baggrund af e-brint og en kulstofkilde

**E-ammoniak.** Ammoniak produceret på baggrund af e-brint og kvælstof fra luften

**E-fuels.** Flydende brændsler produceret på baggrund af e-brint og kulstofkilde

**Elmarkedsintegration.** Produktionsanlæg der har adgang til elmarkedet

**e-SMR.** Elektrisk drevet steam methane reforming, til produktion af syntesegas fra metan eller rå biogas.

Denne omdannes typisk videre til fx metanol

**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

**Gamechanger.** Et markant spring i teknologi eller den omverden, som dansk PtX skal opstå i.

**Gas to Liquid (GtL).** Omdannelse af gas til flydende brændsel.

**‘Grøn brint’.** Populær betegnelse for e-brint fra VE-elproduktion via elektrolyse

**Indfødningszone.** Geografiske områder med særlige vilkår for forbrugere og producenter, som fx kan sikre at forbrugsenheder placeres hensigtsmæssigt i infrastrukturen

**Kaverne.** Stort underjordisk lager til naturgas eller brint

**Metaniseret CO<sub>2</sub>.** Brint kombineret med overskydende CO<sub>2</sub> fra fx biogas til at danne metan (CH<sub>4</sub>)

**Metannet.** Det eksisterende gasnet, som i dag transporterer naturgas og stigende mængder biometan

**Offshore infrastruktur.** El- og gasinfrastruktur offshore fx i Nordsøen

**PESTEL-analyse.** Omverdensanalyse ud fra politiske, økonomiske, sociale, teknologiske, miljømæssige og logivningsmæssige faktorer

**Power-to-X (PtX).** Omdannelse af el til en række energiprodukter (X’er), fx e-brint, metan

**Punktkilder.** CO<sub>2</sub>-udledning fra skorstene, oftest kraftværker, affald eller industrialanlæg

**Sektorkobling.** Kobling af fx el-, gas- varme og transportsektorer. Historisk har fx kraftvarme udgjort betydelig sektorkobling, og fremadrettet forventes grøn el til andre sektorer (direkte og indirekte elektrificering) at få stor rolle

**‘Sort brint’.** Populær betegnelse for brint fra fossile kilder – oftest naturgas eller kul via steam methane reforming

# ENERGINET

Tonne Kjærvej 65  
7000 Fredericia

+45 70 10 22 44  
[info@energinet.dk](mailto:info@energinet.dk)

Energinet er en selvstændig offentlig virksomhed under Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet. Vi ejer og udvikler ryggraden 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@danskenergi.dk](mailto:de@danskenergi.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 maj 2020 i et samarbejde mellem Dansk Energi og Energinet Gas TSO og Elsystemansvar