



# POWER-TO-X - ET VÆKSTOMRÅDE MØDER UDFORDRINGER

ERHVERVSØKONOMISK ANALYSE 2



TEKNOLOGISK  
INSTITUT



**DBI**  
BRAND OG SIKRING



ALEXANDRA  
INSTITUTTET

**Titel:**

Power-to-X - Et vækstområde møder udfordringer Erhvervsøkonomisk analyse 2

**Udarbejdet af**

Teknologisk Institut  
Gregersensvej 1  
2630 Taastrup  
Analyse og Erhvervsfremme

**November 2023**

Analysen er gennemført i et samarbejde med eksperter fra Dansk Brand- og sikringsteknisk Institut, FORCE Technology, Teknologisk Institut og Alexandra Instituttet.

**Analysen er finansieret af**

Uddannelses- og Forskningsministeriet, Uddannelses- og Forskningsstyrelsen.

**Forfattere:**

Leif H. Jakobsen  
Stig Yding Sørensen

**Fotos:**

Teknologisk Institut  
Pixabay  
Pexels  
Unsplash

**ISBN:**

978-87-91461-67-5

# Indhold

	Indhold
Sammenfatning: Power-to-X - et grønt vækstområde med betydelige udfordringer	4
Baggrund	6
Power-to-X som teknologi	6
Om analysen og PtX-virksomhederne	7
Politiske ambitioner – PtX-erhvervet lidt mere forsigtig	10
Udfordringer for PtX	12
Barrierer for egne forretningsmæssige mål	16
Til kamp mod de teknologiske udfordringer	18
Erhvervsøkonomisk betydning og potentiale	22
Figur 1: I hvilken grad har virksomheder forretningsmæssige interesser relateret til Power-to-X?	7
Figur 2: Virksomhedernes forretningsmæssige interesser inden for Power-to-X	7
Figur 3: PtX-virksomhederne fordelt efter branche	8
Figur 4: PtX-virksomheder og alle danske virksomheder fordelt efter antal ansatte	9
Figur 5: PtX-virksomhederne geografisk fordelt	9
Figur 6: PtX-virksomheders vurdering af sandsynligheden for at nå målet om etablering af 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030	11
Figur 7: PtX-virksomheders forventning til, at PtX-produkter (fx brint, metanol, ammoniak) vil være konkurrencedygtige i forhold til tilsvarende fossile produkter i 2030	11
Figur 8: PtX-virksomheders vurdering af hvornår det er sandsynligt, at Danmark når målet på 4-6 GW elektrolysekapacitet	11
Figur 9: Teknologiske udfordringer som er en afgørende barriere for etablering af 4-6 GW PtX-kapacitet inden 2030	13
Figur 10: Samfundsmæssige vilkår som er en afgørende barriere for etablering af 4-6 GW PtX-kapacitet inden 2030	15
Figur 11: Reguleringer o.l. som er en afgørende barriere for etablering af 4-6 GW PtX-kapacitet inden 2030	15
Figur 12: Barrierer for at PtX-virksomheder kan nå deres egne mål for Power-to-X	17
Figur 13: Hvilken indsats finder PtX-virksomhederne vil være den mest hensigtsmæssige for at imødegå de teknologiske udfordringer, som Power-to-X står overfor?	19
Figur 14: Hvilke former for teknologisk service har PtX-virksomheder behov for, fx fra det danske GTS-net frem til 2030?	19
Figur 15: Hvilke former for teknologisk service har PtX-virksomheder behov for, fx fra det danske GTS-net frem til 2030 fordelt efter PtX-kernevirksomheder og ikke-kernevirksomheder?	21
Figur 16: I hvor høj grad har PtX-virksomheder samlet set behov for teknologisk service i relation til Power-to-X frem til 2030?	21
Figur 17: I hvilken grad arbejdet med PtX giver mulighed for, at PtX-virksomheder kan øge eksporten af teknologi eller know-how i de kommende år?	23
Tabel 1: Økonomiske nøgletal for PtX-virksomheder.	23

# Sammenfatning: Power-to-X - et grønt vækstområde med betydelige udfordringer

---

I den grønne omstilling er vedvarende energi fra sol og vind helt nødvendig. Vedvarende energikilder leverer elektricitet. Men elektricitet er det også muligt at spalte vand til ilt og brint, hvor brint indgår i produktion af e-metanol som brændstoffer til fx tunge køretøjer og skibe samt flybrændstof (Sustainable Aviation Fuel), eller brinten kan omdannes til e-ammoniak, som kan bruges til fx gødning. De grundlæggende teknologier til at anvende elektricitet til at producere brint, e-metanol og e-ammoniak, er kendte – også omtalt som Power-to-X (PtX). Skaleringen af PtX- teknologier er stadig i et udviklingsstadium i forhold til at realisere de betydelige potentialer, som PtX rummer for den grønne omstilling og den kommercielle udnyttelse af PtX.

Med denne rapport præsenterer vi den anden systematiske kortlægning og analyse af økosystemet og værdikæden til fremstilling af PtX-produktions- og distributionsanlæg. Denne rapport primære sigte er at afdække, hvilke udfordringer – teknologiske som samfundsøkonomiske – det samlede økosystem står overfor, når ambitionen er, at PtX på kort sigt skal blive en vigtig del af den grønne omstilling.

Analysen tager afsæt i, at der i Danmark er en værdikæde – et økosystem – inden for PtX. Analysen bekræfter, at dette økosystem er under udvikling, hvor stadig flere aktører er involveret i udvikling og etablering af PtX-produktions- og distributionsanlæg.

En politisk ambition er, at der i Danmark er etableret 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030. De danske PtX-virksomheder har i mindre grad tiltro til, at dette vil lykkes. Der er dog en optimisme at spore blandt PtX-virksomhederne, da langt hovedparten af PtX-virksomheder har tiltro til, at dette mål kan nås allerede i midten af 2030'erne.

Ifølge PtX-virksomhederne kan dette ikke ske uden en målrettet indsats. PtX-virksomhederne peger på en række teknologiske og samfundsøkonomiske udfordringer, som udgør afgørende barrierer for etablering af PtX frem til 2030.

*En hovedkonklusion er, at den grundlæggende teknologi, selvom den erkendt, ikke er fuldt moden i forhold til drift af fuldskala PtX-produktionsanlæg. Mellem halvdelen og trefjerdedele af PtX-virksomhederne peger på, at de væsentligste teknologiske barrierer relaterer sig til:*

- skalering af PtX-produktion, dvs. udvikling og etablering af fuldskala produktionsanlæg.
- udvikling af højeffektive industrielle processer til elektrolyse til fremstilling af brint samt katalyse til fremstilling af grønne brændstoffer og produkter.
- integration af PtX i det samlede energisystem.

*En anden hovedkonklusion er, at vitale del af det samlede energisystem ikke er rede til at understøtte PtX-produktion. Når det kommer til de samfundsøkonomiske vilkår – forudsætninger for at etablere en storskala PtX-produktion – peger mere end 2 ud af 3 PtX-virksomheder således på, at de mest vitale barrierer er:*

- adgang til grøn strøm både i mængde og til en konkurrencedygtig pris.
- adgang til en infrastruktur for transport og lagring af PtX-produkter.

*En tredje hovedkonklusion er, at der er usikkerhed om de regulative krav til PtX-produktion og -distribution. Udover disse barrierer, som relaterer sig direkte til den samlede værdikæde, finder over 50 procent af PtX-virksomhederne, at reguleringer mv. i relation til at bygge PtX-anlæg samt standarder for lagring og distribution udgør barrierer for udbygning af PtX i Danmark.*

En fjerde hovedkonklusion er, at de teknologiske usikkerheder og usikkerheder, om hvordan PtX vil blive en del af et grønt energisystem, skaber stor usikkerhed ift., om PtX kan udvikle sig til en kommerciel bæredygtig forretning. Selvom PtX bygger på kendt teknologi, er der stadig en række barrierer at rydde af vejen, før PtX-produkter bliver konkurrencedygtige med tilsvarende fossile produkter. At dette er alvor, ses også af, at blot 3 ud af 10 PtX-virksomheder forventer, at PtX-produkter vil være konkurrencedygtige med tilsvarende fossile produkter i 2030. For den enkelte virksomhed kan dette også koges ned til to vitale barrierer:

- 60 procent af PtX-virksomhederne står over for en ufærdig forretningsmodel, hvor en afhjælpning af ovenstående barrierer er en forudsætning for, at PtX kan blive en kommerciel forretning.
- 46 procent af PtX-virksomhederne står over for at færdigudvikle PtX-teknologierne, så de kan fremstille PtX-produkter i stor skala.

De teknologiske udfordringer kan imødegås på flere måder, men der er fra PtX-virksomheder et markant behov for at arbejde i et "real-life environment". Af PtX-virksomheder peger 8 ud af 10 på, at test og demonstration i stor skala er af vital betydning, og 7 ud af 10 finder, at de teknologiske udfordringer kan imødegås gennem installation og ibrugtagning af PtX-produktions- og -distributionsanlæg. Analysen peger på, at løsningen af de teknologiske udfordringer går gennem adgang til fuldskala test- og demonstrationsfaciliter med mulighed for en uafhængig verifikation og dokumentation af PtX-teknologier til industrielt brug.

Alt i alt er vi i Danmark godt på vej med at udvikle et samlet PtX-produktionssystem med tilhørende værdikæde af leverandører, procenter og aftagere, som kan sætte gang i at bruge elektricitet til at fremstille CO<sub>2</sub>-neutrale brændstoffer og CO<sub>2</sub>-neutrale produkter. Det skulle i sig selv være et positivt signal om, at vi næsten er der, og så er vi der måske alligevel ikke. På den ene side står nemlig teknologiske udfordringer med opskalering og teknologisk effektive produktionsprocesser. På den anden side er rammebetingelserne for PtX ikke fuldt til stede. Og uden adgang til grøn strøm og muligheder for salg og distribution vil det gå langsomt fremad med at udvikle et kommercielt marked for PtX-produkter. Den politiske ambition om etablering af 4-6 GW elektrolysekapacitet kan nok ikke nås i 2030, men så dog inden for en overskuelig tidshorisont.



# Baggrund

---

## Power-to-X som teknologi

PtX er en del af den grønne omstilling. PtX er en proces, der gør det muligt at bruge elektricitet til at fremstille CO<sub>2</sub>-neutrale brændstoffer fx til tung vejtransport, søfart og luftfart samt til fremstilling af CO<sub>2</sub>-neutrale produkter som fx gødning og grønne plastprodukter. PtX er således særlig relevant inden for områder, der ikke umiddelbart kan elektrificeres.

PtX er en teknologisk proces, der ved hjælp af grøn strøm (Power), typisk fra solceller eller vindmøller, konverterer vand til brint og ilt via elektrolyse. Brinten kan herefter anvendes direkte eller videreforarbejdes til ammoniak, metanol. Kort og godt er PtX en vej til konvertering af grøn strøm til brint som erstatning af fossile brændsler, mv.

Med implementering af PtX følger også nogle udfordringer, som fx om PtX-teknologien er tilstrækkeligt moden, og om den er økonomisk og energimæssig effektiv, samt om vi kan producere tilstrækkeligt med grøn strøm. Selvom Danmark er godt på vej med udvikling og implementering af PtX, er vi ikke de eneste i verden, der har fået denne idé. Så vi vil også blive konkurrencemæssigt udfordret af store internationale udviklingsorienterede virksomheder<sup>1</sup>, ligesom mange andre lande, som fx vores sydlige naboland Tyskland, har stor fokus på PtX.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Teknologisk Institut (2022): Power-to-X – et teknologiområde i vækst. Teknologitrends og globale hotspots belyst gennem en patentanalyse. <https://www.teknologisk.dk/tydelser/kraftig-teknologi-udvikling-mod-power-to-x/44513?cms>

<sup>2</sup> Wulf C, Zapp P and Schreiber A (2020) Review of Power-to-X Demonstration Projects in Europe. Front. Energy Res. 8:191. doi: 10.3389/fenrg.2020.00191. file:///C:/Users/lhjn/Downloads/fenrg-08-00191.pdf

## Om analysen og PtX-virksomhederne

Bag analysen står et partnerskab af GTS-institutterne, Dansk Brand- og sikringsteknisk Institut, FORCE, Technology, Teknologisk Institut og Alexandra Instituttet. GTS-institutter er strategiske leverandører af praksisnære teknologiske løsninger og med adgang til test- og demonstrationsfaciliteter, som virksomheder og deres underleverandører kan benytte sig af ved implementering af PtX.<sup>3</sup> Det er derfor af vital betydning at kende virksomhedernes behov for teknologisk service. Analysen kan også tjene til, at danske virksomheder, det samlede økosystem om PtX, kan se sig selv som en del af den danske PtX-værdikæde med de teknologiske behov og udfordringer, der følger heraf.

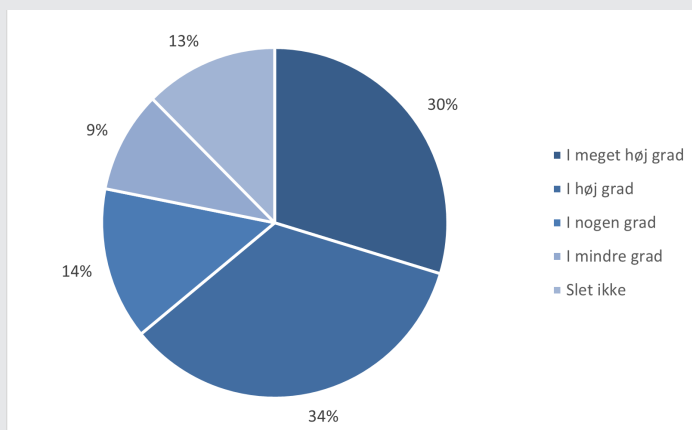
I 2022 gennemførte Teknologisk Institut i samarbejde med Dansk Brand- og sikringsteknisk Institut, FORCE Technology og Alexandra Instituttet en analyse, der viste, at en værdikæde inden for PtX er under udvikling.<sup>4</sup>

Hen over sommeren 2023 er der gennemført en opfølgning på denne analyse med fokus på barrierer for etablering af PtX og med et fingerpeg om, hvor der med fordel kan sættes ind.

Vi har foretaget en fornyet kortlægning af virksomheder med interesse og aktivitet inden for PtX. I alt er der identificeret 326 mulige PtX-aktører medio 2023. Det fremsendte spørgeskema er udfyldt af 111 virksomheder. Hovedparten af virksomhederne, 94 procent, har i dag forretningsmæssige interesser inden for PtX, mens de resterende 6 procent har mere politiske og/eller miljømæssige interesser, se figur 1.

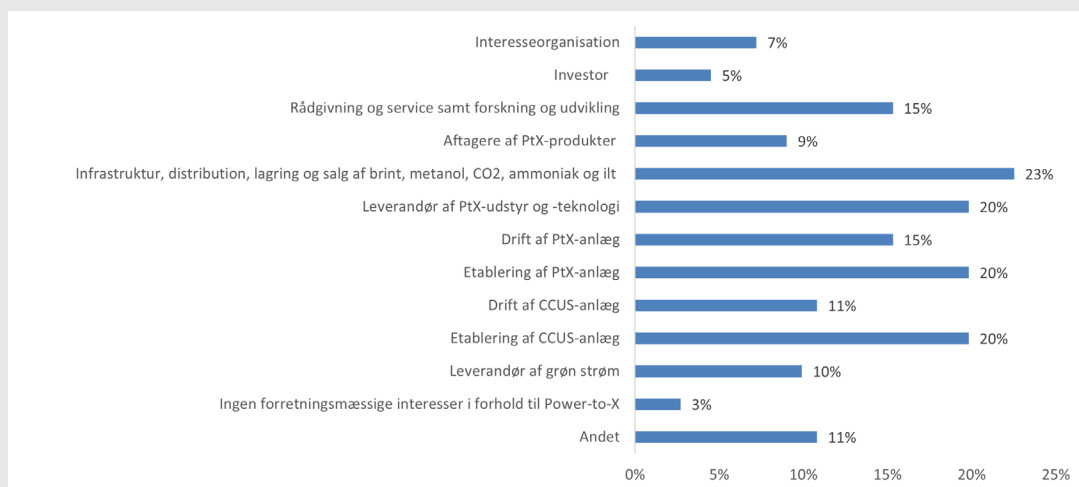
De adspurgte virksomheder er en spejling af den samlede værdikæde inden for PtX, se figur 2. Virksomhederne repræsenterer således leverandører af energi og råstoffer samt teknologi og udstyr, producenter af grønne brændsler og andre PtX-produkter samt distributører og aftagere af PtX-produkter. Rådgivere mv er også en del af værdikæden.

Figur 1: I hvilken grad har virksomheder forretningsmæssige interesser relateret til Power-to-X?



Kilde: Teknologisk Institut. Spørgeskemaundersøgelse medio 2023. N= 111

Figur 2: Virksomhedernes forretningsmæssige interesser inden for Power-to-X



Kilde: Teknologisk Institut. Spørgeskemaundersøgelse medio 2023. N= 111, mulighed for flere svar

<sup>3</sup> Force Technology, Teknologisk Institut, Dansk Brand- og sikringsteknisk Institut, og Alexandra Instituttet (2020): Fælles GTS-indsats for Power-to-X i Danmark. (Foreløbigt internt strategipapir).

<sup>4</sup> Teknologisk Institut (2022): Power-to-X – et forretningsområde i fremvækst. <https://www.teknologisk.dk/ydelser/kraftig-teknologi-udvikling-mod-power-to-x/44513?cms>

Endelig spiller myndigheder, interesseorganisationer o. lign. også en rolle i udvikling og implementering af PtX i Danmark; ikke mindst ved at sætte fokus på rammevilkårene. Endelig bør man hæfte sig ved, at mange af aktørerne ikke kun har fokus på ét forretningsområde, men har interesser på tværs af værdikæden.

Alt i alt tegner der sig således et billede af, at konturerne af værdikæden for produktion og distribution af PtX, i forhold til den tilsvarandede analyse i 2022, fortsat er under udvikling. Eftersom værdikæden repræsenterer forskellige typer af forretningsaktiviteter, favner værdikæden også en række forskellige brancher, se figur 3. PtX-virksomhederne er, som set i den tidligere analyse, væsentlig større, end hvad der ses for alle danske virksomheder under ét, se figur 4. Det er således ressourcestærke virksomheder med viden og kapital, som tegner implementeringen af PtX i Danmark. Endelig er PtX-virksomhederne at finde i alle egne af Danmark, hvilket givetvis hænger sammen med, at produktion af grøn strøm og PtX-anlæg er geografisk spredt, ligesom

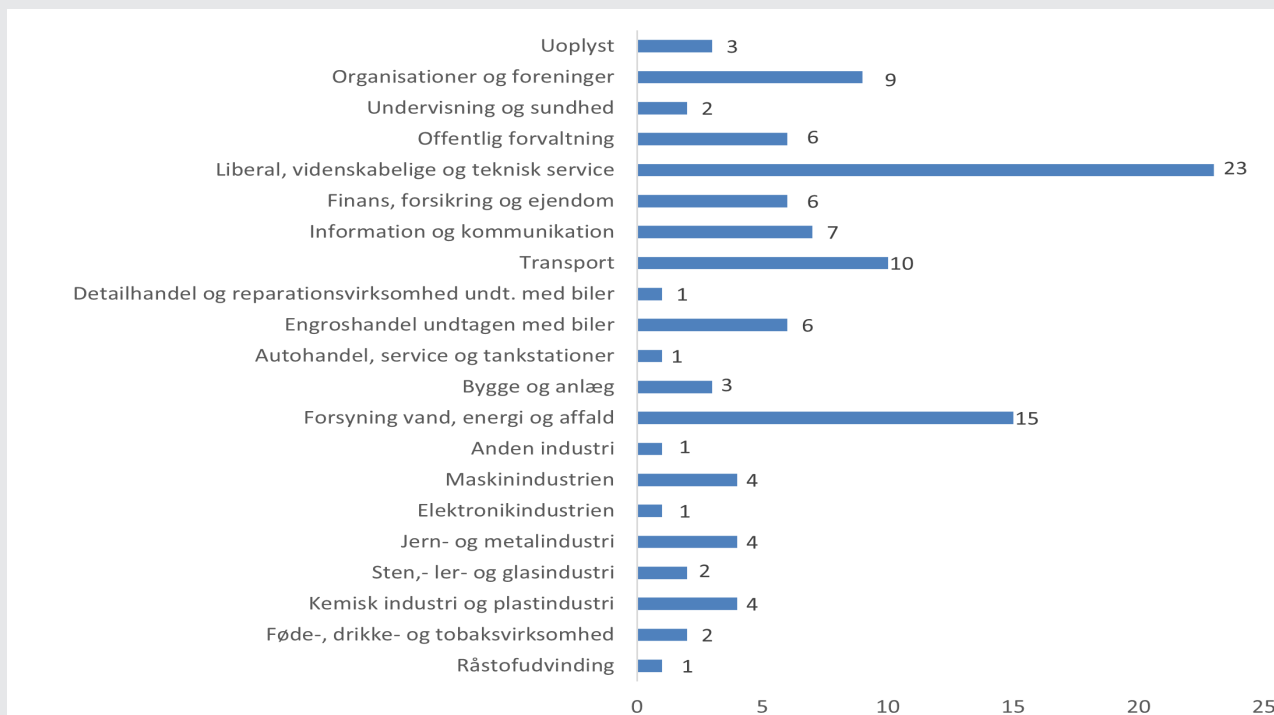
teknologileverandører og videninstitutioner er geografisk spredt, se figur 5.

Der er tydeligvis også forretningsmæssige udfordringer inden for PtX. Udsagn fra to rådgivere om deres forretningsmæssige fokus illustrerer bredden i de udfordringer, som PtX-økosystemet står overfor:

- "Konsulentbistand inden for modellering og udvikling af elektrolyse og brændselsceller, moduler og de teknologier, der skal producere MeOH, NH<sub>3</sub>, etc. - mekaniske og multifysiske og batterier".
- "Erhvervs politik, analyser, roadmap, sektorkobling, testsite, vejledning af SMV'er og kompetenceudvikling".

I det følgende dykker vi yderligere ned i, hvordan virksomhederne ser på barrierer for udvikling og implementering af PtX i Danmark.

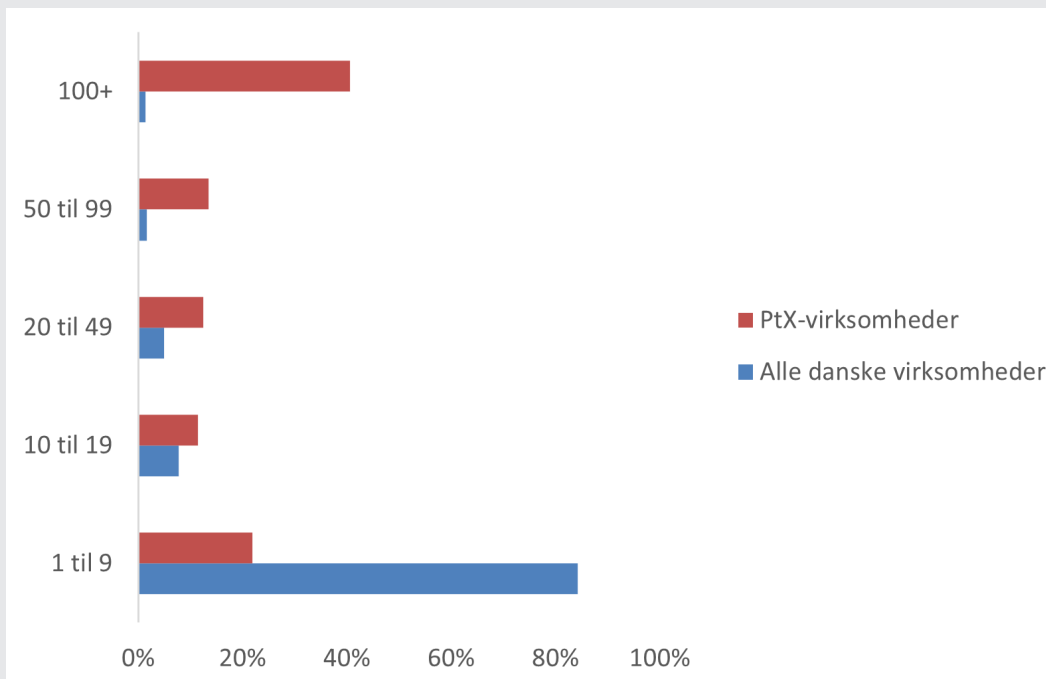
Figur 3: PtX-virksomhederne fordelt efter branche



Kilde: Experian-data for virksomheder, der har gennemført spørgeskemaundersøgelse medio 2023, N=111

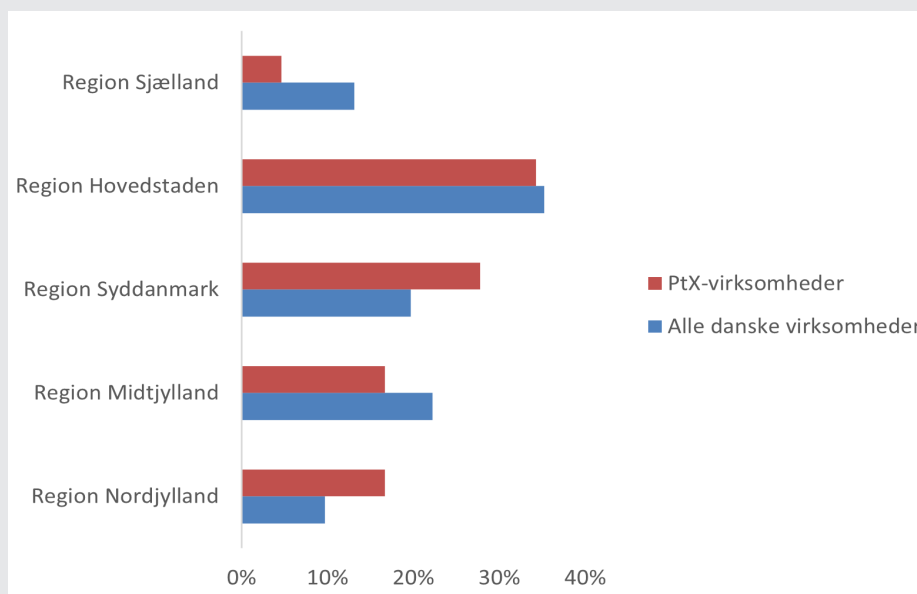


Figur 4: PtX-virksomheder og alle danske virksomheder fordelt efter antal ansatte



**Kilde:** Experian-data for virksomheder, der har gennemført spørgeskemaundersøgelse medio 2023, N=111. Virksomheder med 0 ansatte eller ukendt antal ansatte er ikke medtaget i beregningen.

Figur 5: PtX-virksomhederne geografisk fordelt



**Kilde:** Experian-data for virksomheder, der har gennemført spørgeskemaundersøgelse medio 2023, N=111

# Politiske ambitioner - PtX-erhvervet lidt mere forsigtig

---

Politisk er der sat et sigtepunkt op om, at Danmark skal have opbygget 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030. Og dette skal ske på markedsvilkår.<sup>5</sup> For at fremme en omstilling til PtX er der tillige iværksat tiltag og udloddet støtte til produktion af grøn brint i Danmark.<sup>6</sup> Det er en betydelig omstilling, som Danmark nok har et godt udgangspunkt for at håndtere, men omstillingen er også forbundet med en række udfordringer.

De danske PtX-virksomheder er spurgt om deres vurdering af sandsynligheden for at nå målet om etablering af 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030. Knap en fjerdedel finder, at det "i meget høj grad" eller "i høj grad" vil være sandsynligt, at dette mål nås, se figur 6.

Selvom vurderingen er, at opfyldelse af målet om 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030 nok ikke nås, er der blandt PtX-virksomhederne dog en opfattelse af, at udviklingen af et kommercielt marked for PtX-produkter er undervejs. Knap 30 procent har "i meget høj grad" eller "i høj grad" en forventning om, at PtX-produkter vil være konkurrencedygtige i forhold til tilsvarende fossile produkter i 2030, se figur 7. Hvis man medtager de PtX-virksomheder, som finder, at det "i nogen grad" vil ske, er det næsten 2/3 af PtX-virksomhederne, der forventer, at PtX-produkter vil være konkurrencedygtige i forhold til tilsvarende fossile produkter i 2030.

Der tegner sig således et billede af en omstillingsproces hen imod implementering af PtX. Det er tillige det overordnede billede, at denne omstillingsproces trods alt er ganske forestående. Blandt PtX-virksomheder, som ikke har den store tiltro til målet om 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030, finder 3/4, at det vil være sandsynligt at nå målet i 2035 eller før, og kun få skyder målopfyldelse årtier ud i fremtiden, se figur 8.

Der er således en tiltro til, at PtX bliver en del af den grønne omstilling, men en kommentar fra en PtX-virksomhed understreger alvoren: "*Andre lande har samme strategi, og hvis Danmark tøver, er vi bagud og når muligvis ikke med*". Og med en haltende udbygning af produktionen af grøn strøm i 2023 kan situation vise sig at være endog kritisk for udbygningen af PtX i Danmark. Energiministeren har også udtrykt samme bekymring.<sup>7</sup>

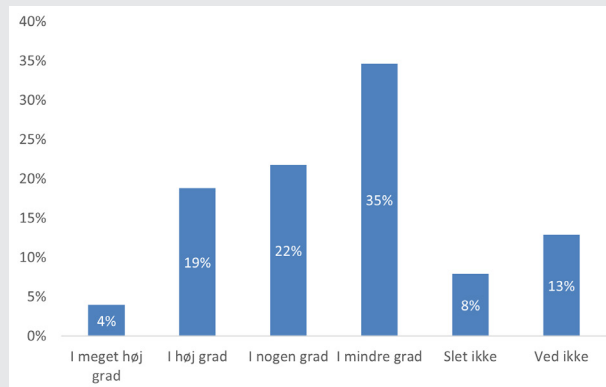
---

<sup>5</sup> Klima, Energi- og Forsyningsministeriet (2021): Regeringens strategi for Power-to-X og Aftale mellem regeringen (Socialdemokratiet), Venstre, Socialistisk Folkeparti, Radikale Venstre, Enhedslisten, Det Konservative Folkeparti, Dansk Folkeparti, Liberal Alliance og Alternativet om Udvikling og fremme af brint og grønne brændstoffer (Power-to-X strategi), marts 2022.

<sup>6</sup> <https://ens.dk/presse/energistyrelsen-aabner-tilbud-i-power-x-udbuddet>

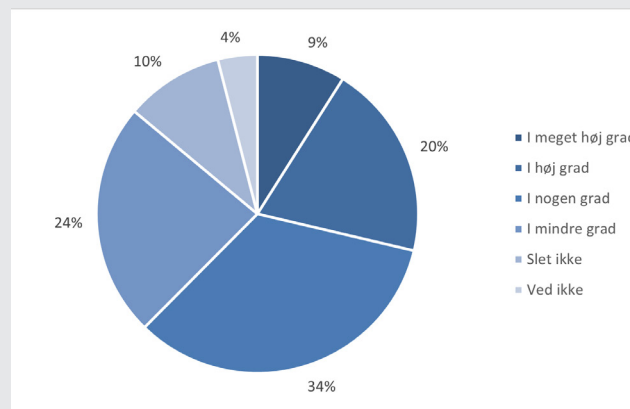
<sup>7</sup> Berlingske Business, 22. august 2023

Figur 6: PtX-virksomheders vurdering af sandsynligheden for at nå målet om etablering af 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030



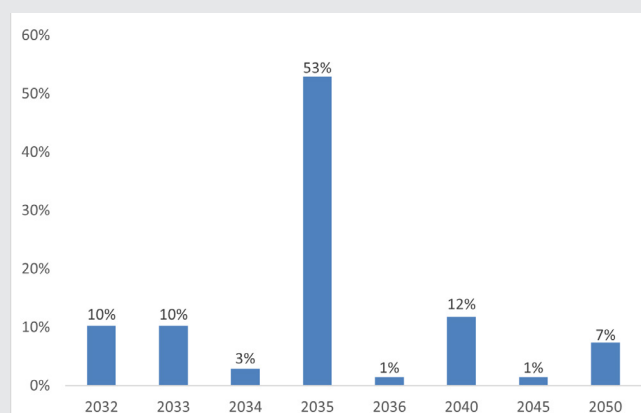
**Kilde:** Teknologisk Institut. Spørgeskemaundersøgelse medio 2023. N= 101

Figur 7: PtX-virksomheders forventning til, at PtX-produkter (fx brint, metanol, ammoniak) vil være konkurrencedygtige i forhold til tilsvarende fossile produkter i 2030



**Kilde:** Teknologisk Institut. Spørgeskemaundersøgelse medio 2023. N= 101

Figur 8: PtX-virksomheders vurdering af hvornår det er sandsynligt, at Danmark når målet på 4-6 GW elektrolysekapacitet



**Note:** Virksomheder som vurderer, at Danmark "I meget høj grad" eller "i høj grad" vil nå dette mål i 2030 har ikke besvaret dette spørgsmål, jf. figur 6.

**Kilde:** Teknologisk Institut. Spørgeskemaundersøgelse medio 2023. N= 67

# Udfordringer for PtX

---

Udvikling af et nyt produktionssystem og marked for PtX-produkter som brint, metanol, ammoniak går i langsommere tempo end ambitionerne. Derfor er det værdifuldt at identificere barriererne for denne omstilling. Nogle af de grundlæggende PtX-teknologier, som elektrolyse og katalyse, er kendte teknologier, som nu skal indgå i industriel produktion. Forudsætningen for at nå hertil er opbygning af storskala industriel PtX-produktion, men også udvikling af forsyningskæder for grøn strøm og en infrastruktur for salg og distribution samt politiske tiltag for regulering af dette nye marked.

Vi har her valgt at identificere de overordnede teknologiske udfordringer, der er en barriere for etablering af 4-6 GW PtX-kapacitet inden 2030. Mere specifikt er der spurgt ind til områder, som er vurderet at have betydning for en teknisk opskalering af PtX-produktion. Dette kan så efterfølgende være afsat for en mere indgående teknisk diskussion blandt teknologiske eksperter.

Blandt PtX-eksperter kan man høre, at PtX bygger på kendt eller moden teknologi. Det er dog ikke ensbetydende med, at PtX-teknologier er på et teknologisk modenhedsniveau, hvor de umiddelbart kan danne grundlag for en egentlig industriel produktion i storskala. På fire teknologiske områder er der spurgt ind til, om de udgør en teknologisk udfordring. Mere end 50 procent af PtX-virksomhederne finder "i meget høj grad" eller "i høj grad", at alle fire teknologiske områder udgør en barriere, se figur 9. Af PtX-virksomhederne finder 2/3, at skalering af produktion er en afgørende barriere. Dette udgør ikke bare en "simpel" opskalering, idet elektrolyse – fremstilling af brint – og produktion af grønne brændsler ved katalysatorer og processer med højere konverteringseffektivitet endnu ikke har en tilstrækkelig effektivitet.

PtX har også koblinger til det øvrige energisystem, som fordrer den teknologiske udvikling. Dette handler bl.a. om kobling til den grønne elektricitetsproduktion, som kan være fluktuerende, da strømproducerer ved sol og vind er afhængig af vind og vejr. Endelig er der også overskudsvarme fra elektrolyse, som bør nyttiggøres til opvarmning (fjernvarme) samt distribution af brint til forbrug eller videreforarbejdning.

Der er en teknologisk udvikling i gang på disse områder, men der øjensynlig et stykke vej endnu.

Koblinger til det øvrige energisystem rejser tillige spørgsmålet, om der er samfundsmæssige vilkår, som udgør en barriere for etablering af 4-6 GW PtX-kapacitet. Adspurgt om hvilke af de samfundsmæssige vilkår, der er en afgørende barriere, peger PtX-virksomhederne først og fremmest på, at den samlede værdikæde for produktion og distribution ikke er udbygget. Konkret peger 83 procent på, at manglende adgang til grøn strøm "i meget høj grad" eller "i høj grad" udgør en barriere. Dette må også ses i lyset af, en beskeden udbygning af vindmøller i 2023. Hertil kommer, at 75 procent "i meget høj grad" eller "i høj grad" giver udtryk for, at manglende adgang til infrastruktur og lagring er en barriere. Adgang til biogen (grøn) CO<sub>2</sub> oplever 58 procent som en afgørende barriere, hvilket fra 2025-2032 yderligere vil blive påvirket negativt af, at NECCS-puljen støtter fangst, transport og geologisk lagring af biogent eller atmosfærisk CO<sub>2</sub> i størrelsesorden ½ mio. ton CO<sub>2</sub>-emissioner om året.<sup>8</sup>

Sagt på en anden måde; den egentlige værdikæde for PtX - dvs. råvarer i form af grøn strøm og CO<sub>2</sub>, den egentlige produktion af PtX-produkter (se ovenfor) og distribution og lagring – er en godt stykke vej fra at være

---

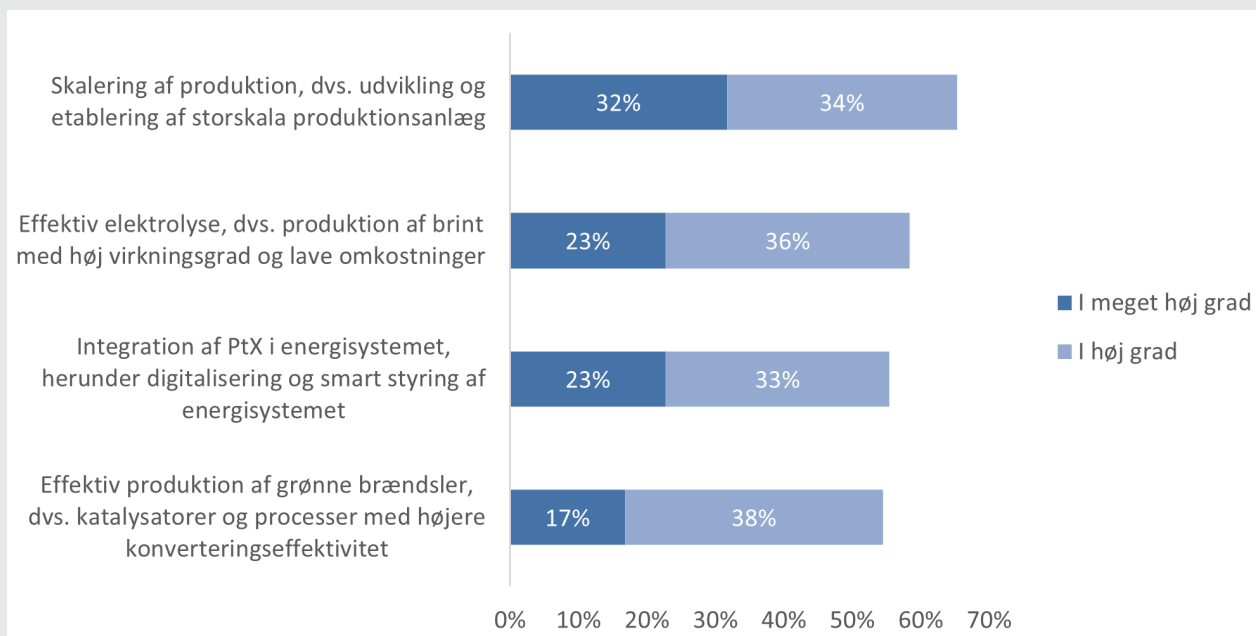
<sup>8</sup> <https://ens.dk/node/4408/pdf>



på plads. Og løses disse problemer ikke, fx med adgang til grøn, konkurrencedygtig strøm, vil implementering af PtX-produktion i Danmark nok være ganske udfordret. Den gode "nyhed" er, at de kommercielle aktører er på banen inden for alle led af værdikæden.<sup>9</sup> Dog peger PtX-virksomhederne på, at manglende adgang til leverandører af PtX-produktionsteknologi er en barriere, som er tegn på, at denne del af værdikæden halter efter.

Adgang til kapital fremstår som en mindre barriere, så kapitalen er der åbenbart, men investeringsvilligheden udfordres af usikkerhed ift. en driftssikker PtX-værdikæde og af om PtX-produkter kan være konkurrencedygtige i forhold til tilsvarende fossile produkter, jf. figur 7. Er disse usikkerheder i forbindelse med en endelig investerings Slutning stadig til stede, kan investeringsvilligheden aftage og dermed vanskeliggøre adgangen til kapital.

Figur 9: Teknologiske udfordringer som er en afgørende barriere for etablering af 4-6 GW elektrolysekapacitet inden 2030



**Note:** Svar kun medtaget svar for "I meget høj grad" og "I høj grad"

**Kilde:** Teknologisk Institut. Spørgeskemaundersøgelse medio 2023. N= 101

<sup>9</sup> Se tidligere analyse for en beskrivelse af PtX-værdikæden: Teknologisk Institut (2022): Power-to-X; et forretningsområde i fremvækst. <https://www.teknologisk.dk/ydelser/kraftig-teknologi-udvikling-mod-power-to-x/44513?cms>

En række andre mere generelle samfundsmæssige rammevilkår fremhæver PtX-virksomheder også som barrierer for etablering af PtX, se figur 10. Det drejer sig om adgang til kvalificeret arbejdskraft, entreprenører og håndværkere samt politisk opbakning og opbakning fra naboer/offentligheden. Det samlede billede er dog, at de generelle samfundsmæssige rammevilkår umiddelbart opfattes som en mindre barriere end de teknologiske udfordringer, medmindre de influerer direkte på muligheden for at etablere et industrielt PtX-produktionssystem som fx adgangen til grøn strøm.

Når det kommer til offentlig regulering/lovgivning, påpeger PtX-virksomhederne, at disse udgør en barriere både i forhold til etablering og drift af PtX-anlæg, se figur 11. I alt 54 procent finder, at bygge og anlægsreguleringer "i meget høj grad" eller "i høj grad" udgør en barriere, og 52 procent peger på, at standarder for lagring og distribution "i meget høj grad" eller "i høj grad" udgør en barriere.

## Stor kompleksitet i at udvikle et grønt energisystem

Der er ovenfor peget på en række barrierer for at udvikle og etablere et PtX-produktionssystem. Disse barrierer er på mange måde sammenvævet, ikke mindst når PtX både skal være en kommerciel forretning og også skal indgå i et integreret og fleksibelt energisystem ved dels at understøtte og supplere de eksisterende forsyningssektorer og ved at producere nye, grønne brændstoffer og kemikalier.

En række kommentarer fra PtX-virksomhederne har peget på nogle af disse komplekse sammenhænge. En kommentar sigter til, at ambitionsniveauet må hæves for at udtænke et nyt sammenhængende energisystem:<sup>10</sup>

*"Helt kort, så er al national lovgivning overordnet set bygget op omkring fortidens forsyningsinfrastruktur, og lige nu skal vi udvikle, investere i og etablere fremtidens energiinfrastruktur. Der er behov for en helt ny måde at tænke sammenhængende energisystem på, der ikke muliggør eller fremmer suboptimering i den enkelte sektor, som lovgivningen gør i dag. Og det skal være muligt at samarbejde og fremme udviklingen i andre sektorer, også fx transport og landbrug, ellers når vi ikke de globale og nationale mål".*

*"Hvis Power-to-X her også inkluderer kemiproduktion, højtemperatur procesvarme og nogle af de andre meget store forbrugere af fossile kilder i dag, er én af barriererne, at de slet ikke er med i billedet af Power-to-X på trods af et*

*samlet forbrug, der er markant. Derimod er der stort fokus på råmaterialeproduktion af brint men meget mindre på muligheder for lagring, industriaftag og fx efuels, gødning og andre produktioner, der fjerner logistiske udfordringer for brint".*

Ifølge andre PtX-virksomheder er det ikke let at omstille det samlede energisystem:

*"Det bliver i stadig højere grad synligt, at der mangler realisme fra statens side, idet der er formuleret store ambitioner, mens de ressourcer, der stilles til rådighed, ikke følger ambitionerne".*

En ambition er, at omstillingen skal ske på kommercielle vilkår, men PtX-produkter er endnu ikke konkurrencedygtige. Flere PtX-virksomheder peger på muligheder for at afhjælpe dette:

*"Lovgivning vedr. etablering af vedvarende energianlæg samt regulering som skaber efterspørgsmål efter grøn brint".*

*"Der er behov for at styrke efterspørgselsiden af de grønne, flydende kulstofholdige brændstoffer for at realisere etableringen af 4-6 GW grundet stort brintforbrug i processen (eksempelvis højere fortrængningskrav, krav til sustainable aviation fuel (SAF) og marine fuel samt støtte til projekter, da de ikke er kommercielle endnu). Altså der er behov for at støtte brint-aftagersiden for at realisere den danske PtX-produktion. Derudover er etablering af den nationale brintinfrastruktur naturligvis også yderst presserende".*

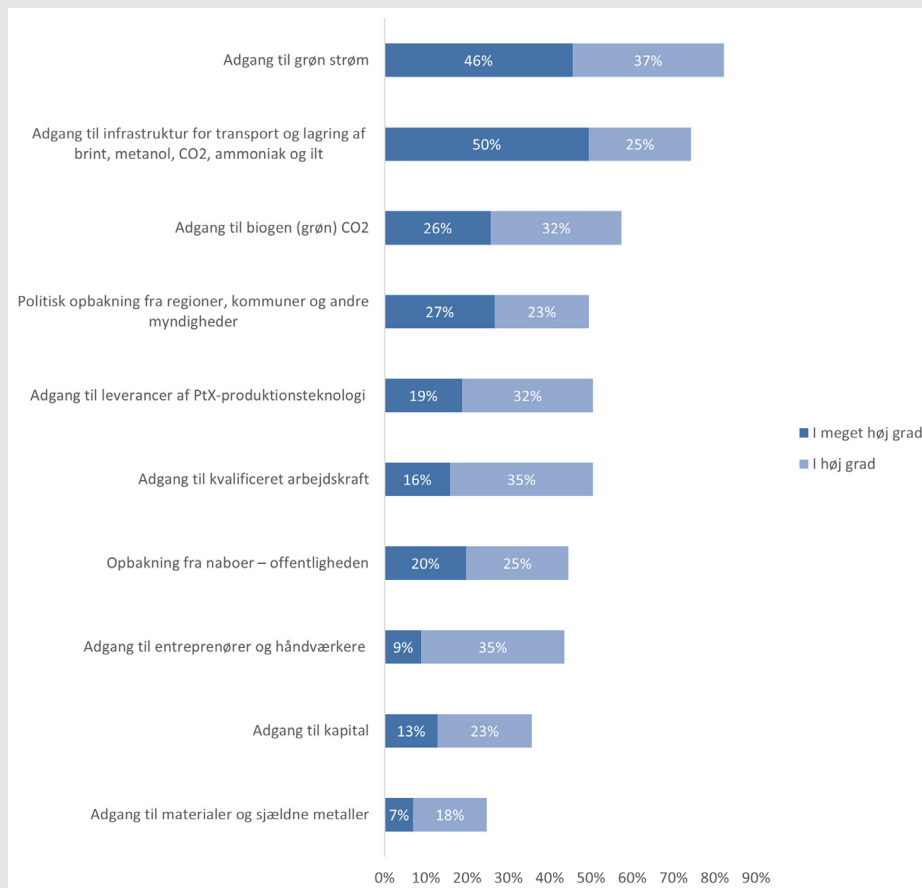
I forlængelse heraf har flere peget på, at afgifter og tariffer samt tilskud også spiller en rolle i etablering af PtX-produktion:

*"Hele tarifstrukturen, hvem betaler for hvad? Hvad og hvor meget skal tilskyndes af tilskud/statsstøtte, og hvad bliver det på bekostning af? Det kunne være gavnligt, at man begyndte at arbejde på et "husholdningsbudget" for hele energi- og forsyningsinfrastrukturen i Danmark, og fandt ud af at lave en samfundsøkonomisk regnemodel, der tog det samlede billede i betragtning i stedet for at favorisere det, der er populært, eller dem der råber højest - én ikke-diskriminerende energitarif, som sikrede sammenhæng på tværs af energisystemet og sektorer, der har behov for ydelser/produkter fra energisektoren (herunder PtX) for at kunne omstilles".*

Dette er blot nogle udvalgte kommentarer til eftertanke.

<sup>10</sup> Alle, der har bidraget til e-surveyet, er lover fuld anonymitet. Derfor er kommentarerne også anonyme.

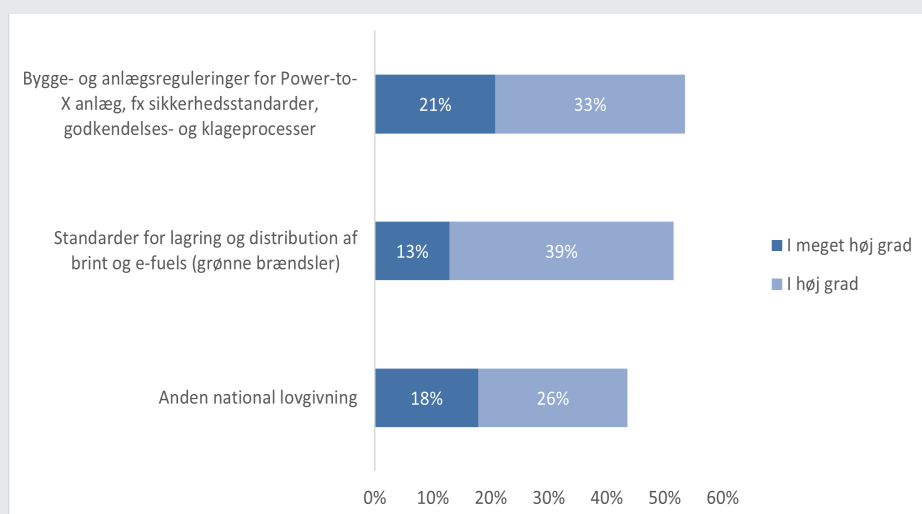
Figur 10: Samfundsmæssige vilkår som er en afgørende barriere for etablering af 4-6 GW elektrolysekapacitet inden 2030



**Note:** Svar kun medtaget svar for "I meget høj grad og "I høj grad"

**Kilde:** Teknologisk Institut. Spørgeskemaundersøgelse medio 2023. N= 101

Figur 11: Reguleringer o.l. som er en afgørende barriere for etablering af 4-6 GW elektrolysekapacitet inden 2030



**Note:** Svar kun medtaget svar for "I meget høj grad og "I høj grad"

**Kilde:** Teknologisk Institut. Spørgeskemaundersøgelse medio 2023. N= 101

# Barrierer for egne forretningsmæssige mål

---

I ovenstående afsnit pointerer PtX-virksomhederne, at de rette samfundsøkonomiske vilkår er en forudsætning for at udvikle og etablere et nyt PtX-produktionssystem på kommercielle vilkår. Men en løsning på de teknologiske barrierer er ligeledes en grundlæggende forudsætning for kommerciel PtX-produktion. Dette bliver også tydeligt, når PtX-virksomhederne spørges, hvilke barrierer der er for, at den enkelte PtX-virksomhed kan nå egne forretningsmål.

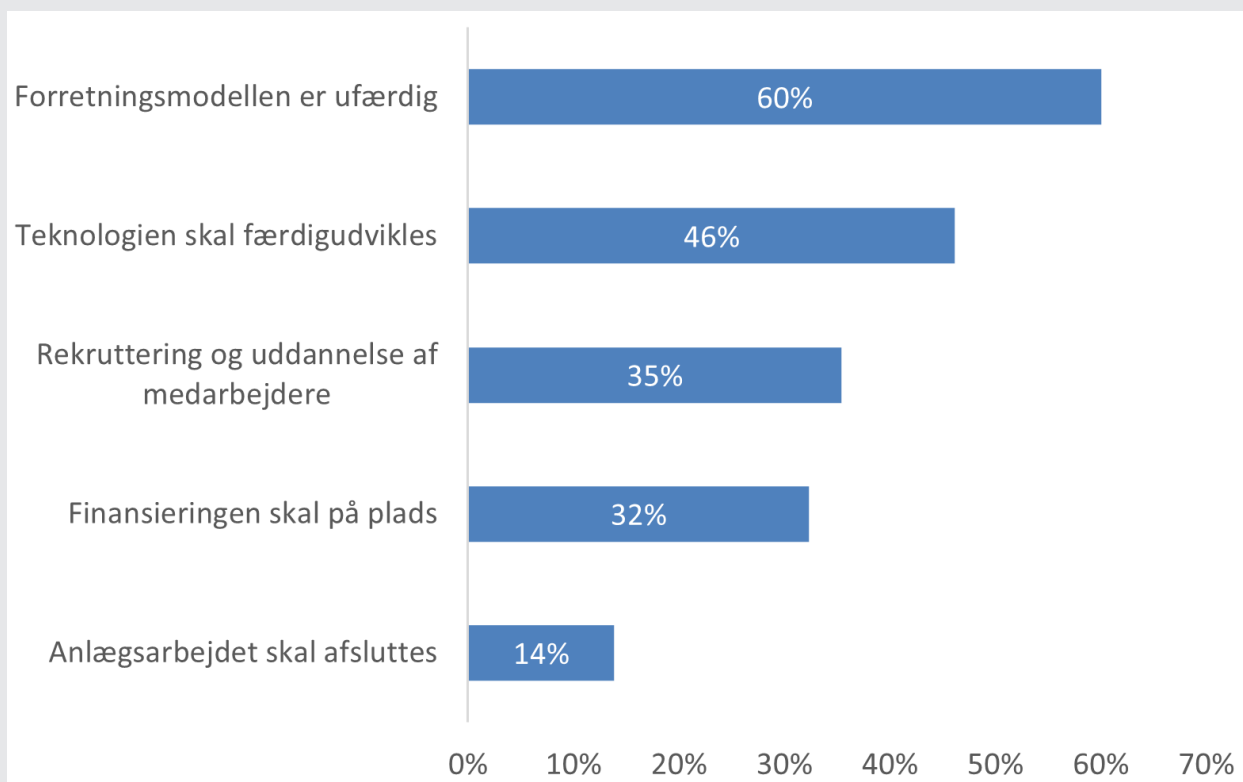
Samlet giver 60 procent udtryk for, at forretningsmodellen i øjeblikket er ufærdig. Sagt på en anden måde er det uklart, om det bliver muligt at tjene penge på at fremstille PtX-produkter. Når et muligt forretningsmæssigt afkast er usikkert, vil dette alt andet lige hæmme interessen for at investere i PtX, se figur 12.

For at investere i PtX og dermed nå egne forretningsmæssige mål må teknologien tillige være til stede. Det bliver ofte fremført, at PtX-teknologierne er kendte. Men i og med at 46 procent af PtX-virksomhederne tilkendegiver, at teknologien skal færdigudvikles for at man kan nå egne forretningsmæssige mål, er teknologiudvikling tydeligvis også et centralt fokusområde, om end der ikke kan ses bort fra betydningen af adgang til grøn strøm og de samfundsmæssige rammevilkår i øvrigt.





Figur 12: Barrierer for at PtX-virksomheder kan nå deres egne mål for Power-to-X



**Note:** svarmulighederne "ikke relevant" og "ved ikke" er udeladt.

**Kilde:** Teknologisk Institut. Spørgeskemaundersøgelse medio 2023. N= 65.



# Til kamp mod de teknologiske udfordringer

---

Der er tydeligvis stadig barrierer og udfordringer med at få de ellers relativt velkendte PtX-teknologier til at fungere effektivt i fuldskala industrielle anlæg.

I forhold til PtX-teknologiernes teknologiske modenhed er der blandt PtX-virksomhederne meget stor enighed om, at den primære teknologiske udviklingsvej går via en indsats hen imod at udvikle teknologierne gennem demonstration og test i stor skala. Og gennem teknologiudvikling og erfaringsopsamling gennem installation og ibrugtagning af produktions- og distributionsanlæg. Henholdsvis 79 og 70 procent af PtX-virksomhederne peger på disse indsatsområder som de mest hensigtsmæssige for at imødegå de teknologiske udfordringer, som PtX står overfor, se figur 13.

Mange, 32 procent, ser også muligheder i at løse de teknologiske udfordringer gennem at finde og udvikle nye teknologiske løsninger, men der er tydeligvis ikke noget stort behov for teknologiudvikling gennem grundforskning eller afprøvning på laboratorieniveau.

Teknologisk service, fx fra de danske GTS-institutter, kan være en vej til at finde en samarbejdspartner eller leverandører, som kan bistå med at løse de teknologiske udfordringer. I tråd med det billede der tegner sig af de teknologiske udfordringer og barrierer, er det forventeligt, at PtX-virksomhederne først og fremmest har behov for teknologisk service i form af adgang til demonstration i fuld skala, fx store laboratorieforsøg eller prøveproduktioner i relation til PtX, se figur 14.

I samme spor har PtX-virksomhederne også behov for rådgivning i forbindelse med fx design, installation eller ibrugtagning af nye produktions- og distributionsanlæg i relation til PtX samt for ekstern verifikation, certificering eller dokumentation, fx af udstyr, teknologi, systemer, mv. Eller som en PtX-virksomhed udtrykker det, så må GTS-institutterne være med til at "udfylde huller i lovgivningen og sætte myndigheder sammen for at udforme nye standarder".

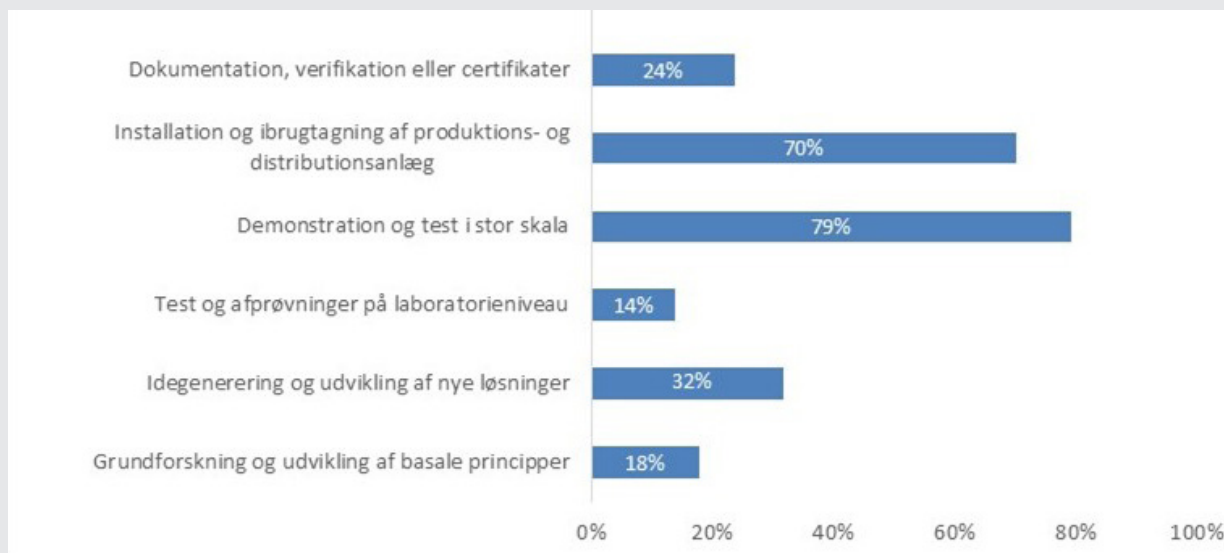
Heroverfor står, at der er et langt mindre behov for teknologisk service eller rådgivning til indkøb af udstyr og komponenter, adgang til testfaciliteter, til forskellige former for afprøvning af udstyr samt rådgivning om udvikling af nye løsninger. En PtX-virksomhed giver en plausibel forklaring på dette efterspørgselsmønster:

"Vi arbejder primært med "proven technologies" og har internt kompetencer til at udvikle og drive anlæg. Projekterne udføres i samarbejde med partnere med hver deres spidskompetencer".

Eller sagt på en anden måde er dette en indikation på, at PtX-industrien et stykke henad vejen selv kan løse denne type teknologiske udfordringer.

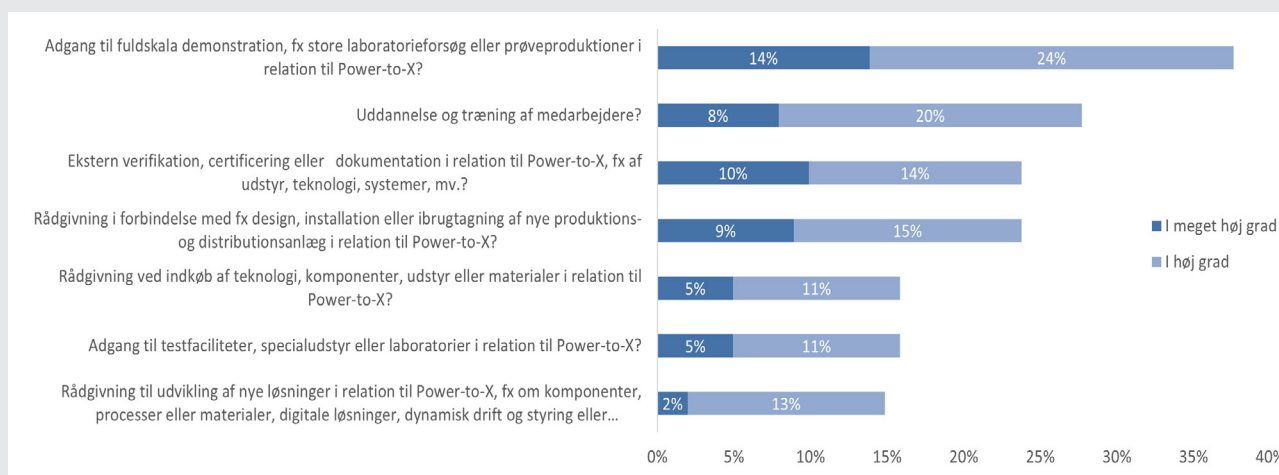
Af PtX-virksomheder har 28 procent også et behov for uddannelse og træning af medarbejdere i relation til PtX. I en tid hvor adgang til kvalificeret arbejdskraft ofte er en udfordring, kan GTS-institutterne her spille en vigtig rolle.

Figur 13: Hvilken indsats, finder PtX-virksomhederne vil være den mest hensigtsmæssige for at imødegå de teknologiske udfordringer, som Power-to-X står overfor?



Kilde: Teknologisk Institut. Spørgeskemaundersøgelse medio 2023. N= 101

Figur 14: Hvilke former for teknologisk service har PtX-virksomheder behov for, fx fra det danske GTS-net frem til 2030?



Kilde: Teknologisk Institut. Spørgeskemaundersøgelse medio 2023. N= 101

Behovet for teknologisk service er i nogen grad afhængig af, om PtX-virksomhederne tilhører gruppen af PtX-kernevirksomheder (virksomheder inden for etablering og drift af PtX-anlæg samt teknologileverandører) eller ikke-kernevirksomheder (alle andre virksomheder). Den samlede efterspørgselsprofil for de to grupper er overordnet set relativt ens. PtX-kernevirksomheder har dog i højere grad behov for adgang til test- og demonstrationsfaciliteter samt for ekstern verifikation, certificering eller dokumentation af udstyr, teknologi og systemer, se figur 15.

I forhold til PtX-kernevirksomheder efterspørger ikke-kernevirksomheder i højere grad rådgivning om teknologiske løsninger og rådgivning i forbindelse med etablering af PtX-anlæg. Om disse forskelle i behovet for teknologisk service også afspejler sig i behovene for uddannelse og træning mellem PtX-kernevirksomheder og ikke-kernevirksomheder, er der ikke grundlag for at vurdere, men begge grupper har et udtalt behov for uddannelse og træning.

Samlet set har 29 procent af PtX-virksomhederne "i meget høj grad" og "i høj grad" behov for teknologisk service, se figur 16. I forhold til den tilsvarende analyse fra 2022 er der her tale om en stigning fra 22 procent til 29 procent, men de to analyser er af metodiske grunde ikke fuldstændig sammenlignelige, hvorfor dette kun kan tolkes som en tendens.

Samlet set skal GTS-nettet understøtte teknologiudvikling inden for teknologiområder, hvor erhvervslivet og markedet har vanskeligt ved at drive teknologiudviklingen. Det er i dette lys, at de samlede

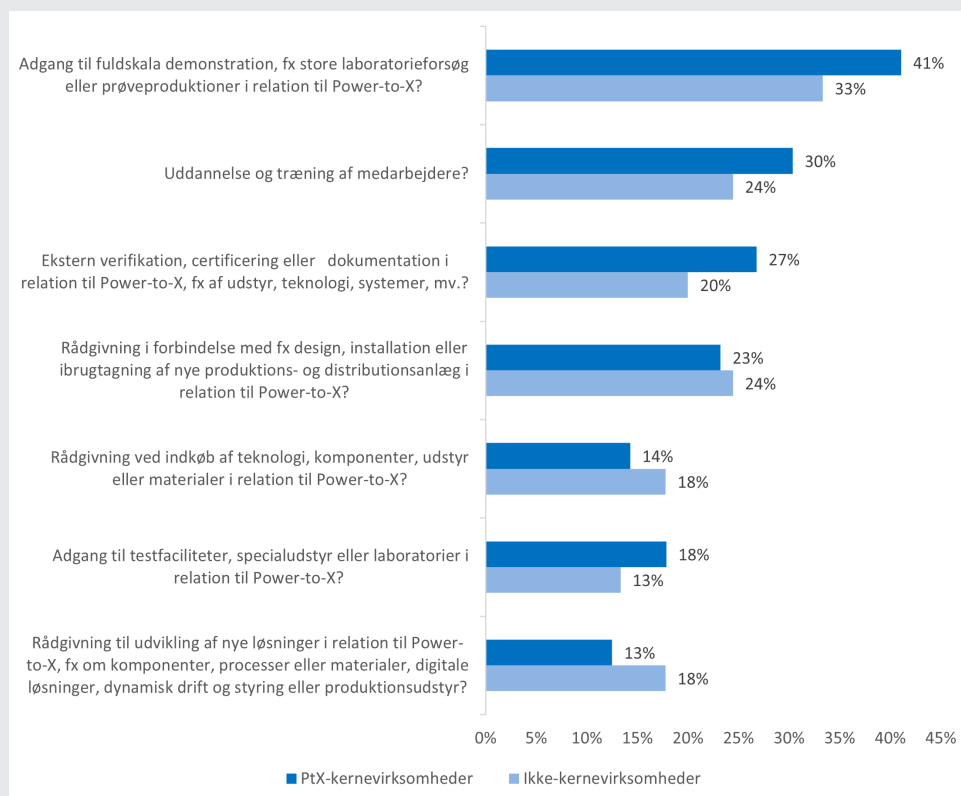
behovstilkendegivelser skal ses. Med de barrierer og udfordringer der er i forhold til fuldskala demonstration mv., jf. figur 9 og figur 13, er det således forventeligt, at flest, dvs. 38 procent "i meget høj grad" og "i høj grad", efterspørger adgang til fuldskala demonstration, fx store laboratorieforsøg eller prøveproduktioner i relation til PtX, se figur 14.

At efterspørgslen efter GTS-nettets ydelser i forhold til fuldskala demonstration mv. ikke er på samme niveau som de samlede behovstilkendegivelser, kan der være flere forklaringer på. En forklaring er, at mange af de danske PtX-anlæg stadig er i en planlægningsfase, hvorved de teknologiske udfordringer endnu ikke er trådt tydeligt frem. En anden forklaring er, at GTS-institutterne ikke i tilstrækkelig grad har opbygget fuldskala test- og demonstrationsanlæg eller testfaciliteter, som kan indgå i et samspil med de mange igangsatte demonstrationsprojekter. Endelig er spørgsmålene om behov for teknologisk service i høj grad fokuseret på selve PtX-produktionen og i mindre grad på de led i værdikæden, som ligger både før og efter. Dette kan undervurdere behovet eller som en kommentar lyder: "Som aftagere af PtX-baserede produkter er spørgsmålene om de teknologiske udfordringer og behov for teknologisk service ikke direkte relevant".

Tilbage står tydeligvis et noget udækket behov for fuldskala test- og demonstrationsfaciliteter, som ikke kun omfatter den egentlige PtX-produktion men den samlede værdikæde for PtX.



Figur 15: Hvilke former for teknologisk service har PtX-virksomheder behov for, fx fra det danske GTS-net frem til 2030, fordelt efter PtX-kernevirksomheder og ikke-kernevirksomheder?

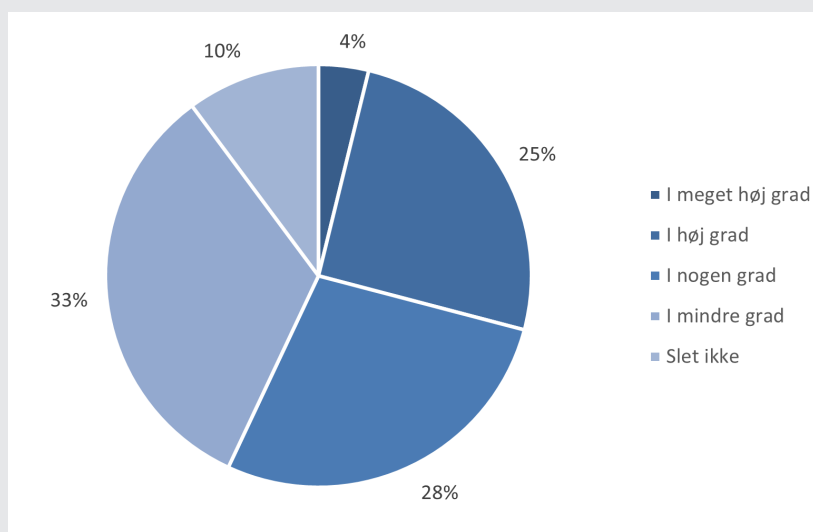


PtX-kernevirksomheder omfatter virksomheder med forretningsmæssige interesser inden for etablering af PtX-anlæg, drift af PtX-anlæg, infrastruktur, distribution, lagring og salg af brint, metanol, CO<sub>2</sub>, ammoniak og ilt samt leverandører af PtX-udstyr og -teknologi, jf. figur 2. Ikke-kernevirksomheder er virksomheder, som ikke har forretningsmæssige interesser inden for de førnævnte områder.

**Note:** PtX-kernevirksomheder: N= 56; Ikke-kerne virksomheder: N=55

**Kilde:** Teknologisk Institut. Spørgeskemaundersøgelse medio 2023.

Figur 16: I hvor høj grad har PtX-virksomheder samlet set behov for teknologisk service i relation til Power-to-X frem til 2030?



**Note:** Svarmulighederne "ikke relevant" og "ved ikke" er udeladt

**Kilde:** Teknologisk Institut. Spørgeskemaundersøgelse medio 2023. N= 79

# Erhvervsøkonomisk betydning og potentiale

---

Alle PtX-virksomheder i den samlede værdikæde er også spurgt om, hvor meget PtX-markedet betyder for dem i forhold til omsætning og beskæftigelse, samt om deres forventninger til vækst frem mod 2030.

Spørgeskemaundersøgelsen viser samlet set, at 13 procent af omsætningen relaterer sig til PtX-markedet med en samlet beskæftigelse i Danmark på rundt regnet 1.100 medarbejdere – og i udlandet på godt 6.000 medarbejdere, se tabel 1. Selvom mange PtX-virksomheder er forbeholdne med, om Danmark kan nå målet på 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030 (se ovenfor), forventer mange PtX-virksomheder alligevel en vis vækst i omsætning og beskæftigelse. Alt andet lige vurderer PtX-virksomhederne i gennemsnit, at PtX

vil udgøre en stigende andel af omsætningen frem mod 2030 og medarbejderstaben med en årlig vækst på 14 procent frem mod 2030. Alt i alt så er der et PtX-marked i Danmark, som udviser en vis vækst siden 2022.<sup>11</sup>

Internationalt sker der tydeligvis også en del gennem brug af udenlandske teknologileverandører og testfaciliteter. Hertil kommer, at 64 procent af PtX-virksomhederne har en forventning om, at arbejdet med PtX giver mulighed for at øge eksporten af teknologi eller know-how i de kommende år, se figur 17. Dette vil dog forde, at de danske PtX-virksomheder fremover opbygger attraktive kompetencer og konkurrencedygtige teknologier og services.



---

<sup>11</sup> Teknologisk Institut (2022): Power-to-X; et forretningsområde i fremvækst.  
<https://www.teknologisk.dk/ydelser/kraftig-teknologi-udvikling-mod-power-to-x/44513?cms>

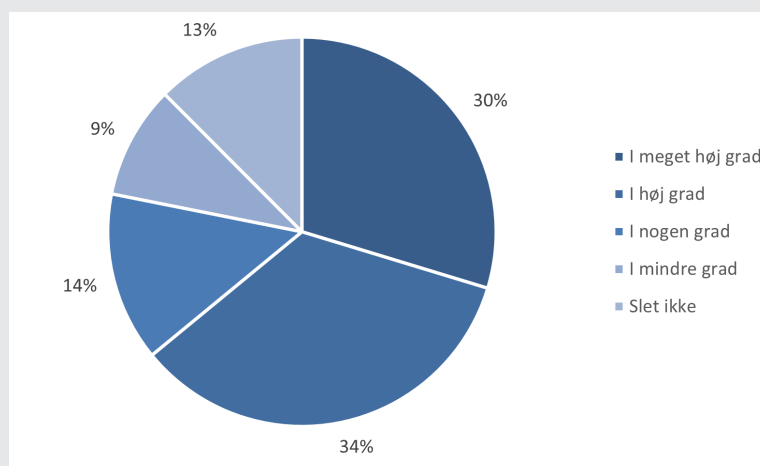
Tabel 1: Økonomiske nøgletal for PtX-virksomheder

	2023	2030
Andel af omsætningen relateret til PtX	13%	34%
Antal medarbejdere der arbejder med PtX	1112	
Antal medarbejdere i udlandet i samme virksomhed der arbejder med PtX	6235	
Forventet årlig vækst i antal medarbejdere frem mod 2030	14%	

**Note:** Det relativt høje antal medarbejdere i udlandet er båret oppe af ganske få virksomheder

**Kilde:** Teknologisk Institut. Spørgeskemaundersøgelse medio 2023. N= 101.

Figur 17: I hvilken grad giver arbejdet med PtX mulighed for, at PtX-virksomheder kan øge eksporten af teknologi eller know-how i de kommende år?



**Note:** Svarmulighederne "ikke relevant" og "ved ikke" er udeladt

**Kilde:** Teknologisk Institut. Spørgeskemaundersøgelse medio 2023. N= 64

Dansk Brand- og sikringsteknisk Institut, FORCE Technology, Teknologisk Institut og Alexandra Instituttet spiller en aktiv rolle i udvikling og implementering af Power-to-X. De gennemfører hver især og sammen en række udviklingsaktiviteter, ligesom de er med i store samarbejdsprojekter som Innomission.

Dansk Brand- og sikringsteknisk Institut, FORCE Technology, Teknologisk Institut og Alexandra Instituttet har med midler fra Uddannelses- og Forskningsstyrelsen finansieret denne analyse for at skabe en bedre platform for at understøtte implementering af Power-to-X i Danmark.

Analysen er gennemført som en spørgeskemaundersøgelse i juli og august 2023 med i alt 326 identificerede aktører (virksomheder, vidensinstitutioner og myndigheder) i den samlede værdikæde for PtX. Spørgeskemaundersøgelsen er gennemført som e-survey med udsendelse af en mail med link til spørgeskemaet. Vi har fået svar fra 111 aktører.

Analysen er udarbejdet af Teknologisk Institut.

Denne analyse indgår i en analyseserie, der tillige omfatter to analyser fra 2022; dels en analyse for at identificere og karakterisere den danske PtX-værdikæde og dels en patentanalyse om globale teknologitrends inden for vitale teknologiområder relateret til PtX baseret på en gennemgang af alverdens patenter. Gennem patentanalysen er det muligt at identificere, hvem der driver den teknologiske udvikling. Alt i alt et bidrag til at give PtX-udviklingen i Danmark et globalt udsyn og mulighed for ny hjemtagning af viden. Den fjerde analyse, som efterfølger denne analyse, beskæftiger sig mere dybtgående med løsning af de teknologiske udfordringer relateret til PtX.



**TEKNOLOGISK  
INSTITUT**



**DBI**   
BRAND OG SIKRING



**ALEXANDRA  
INSTITUTTET**