

Power-to-X kan blive en fremtidig klimaløsning, men bidrager kun lidt til danske klimamål



SAMFUNDSMÆSSIGE ASPEKTER
AF DEN GRØNNE OMSTILLING

Indholdsfortegnelse

Forord	2
Kraka Advisorys anbefalinger	4
Begrebsforklaringer	6
1. Store forventninger til Power-to-X i Danmark	7
1.1 Power-to-X er et grønt alternativ til fossile brændsler	9
1.2 Elektrolyse kan lave grøn brint	10
1.3 Power-to-X skal omstille den tunge transport og industrien	11
1.4 Power-to-X er ressourcekrævende og findes kun i lille skala	12
1.5 Politiske ambitioner om udvikling af PtX i Danmark	13
1.6 Der er nødvendigt at investere i nye løsninger for at nå klimamål	14
2. PtX-produkter spiller kun en lille rolle i 2030-mål	15
2.1 Potentialet i reduktioner med PtX er begrænset	17
2.2 PtX-produkter til dansk forbrug har høje skyggepriser	20
2.3 Grøn strøm er essentielt for PtX-produktion	24
2.4 Der er mange udfordringer ved PtX-produktion	25
3. Der er mange udfordringer ved PtX i stor skala	28
3.1 Der er lang vej til PtX i stor skala	30
3.2 Det er omkostningstungt at bygge stor-skala anlæg	30
3.3 Både kapitalomkostninger, elpris og fuldlasttimer er afgørende for brintprisen	32
3.4 PtX-skalering kræver også skalering i grøn strøm	33
3.5 PtX-produktion stiller mange krav til infrastruktur	34
3.6 Energiøen i Nordsøen spiller også en rolle for PtX-skalering	36
4. Der er stor international interesse for PtX-teknologien	38
4.1 Stor global efterspørgsel efter brint og brintbaserede produkter	40
4.2 Mange lande har sat mål for PtX	40
4.3 Krigen i Ukraine har fremrykket europæiske brint-ambitioner	41
4.4 De danske PtX-ambitioner i en international kontekst	43
5. Drøftelse af argumenterne i aftalen om Power-to-X	44
5.1 Første argument: PtX skal bidrage til opnåelse af de nationale mål	46
5.2 Andet argument: Danmark skal være et foregangsland	47
5.3 Tredje argument: Det fremmer Danmarks erhvervs- og eksportpotentiale.	47
6. Litteraturliste	51

Forord

Der skal udvikles og investeres i nye teknologier, hvis de danske klimamål skal nås. Det gælder bl.a. teknologier, der skal drive den tunge del af transportsektoren. Her findes der ikke på nuværende tidspunkt gode, grønne alternativer til diesel og olie. Det er ikke oplagt at bygge batterier, der kan drive tunge lastbiler, store færges og fly. Batterierne ville simpelthen blive for store og tunge. I stedet må der findes alternative måder at omstille sektoren på - her kommer Power-to-X-teknologien ind i billedet.

Power-to-X gør det nemlig muligt at fremstille brint og brintbaserede brændsler med elektrolyse af vand. Det kræver kun strøm. Derfor er Power-to-X CO₂e-neutralt, hvis strømmen er grøn. Kan denne type brændstof implementeres i transportsektoren, kan CO₂e-udledningerne fra den tunge transport derfor reduceres markant.

Politikerne har også store ambitioner for Power-to-X-teknologien. Flere aktører ønsker at opføre kæmpestore anlæg, og politikerne har sat et mål om 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030. En kapacitet, der er flere hundrede gange større end i dag.

Der er ingen tvivl om, at det kommer til at kræve store investeringer at nå 70 pct.-målet i 2030. Der skal også investeres i mere uprøvede teknologier. Men på trods af den store opbakning til Power-to-X, er det ikke nødvendigvis den bedste måde at reducere CO₂e-udledninger på i 2030. Elektrolyseteknologien er ikke ny, men Power-to-X-kapaciteten er i dag nærmest ikke eksisterende og bliver meget dyr at opskalere. Samtidig udgør en kapacitet på 4-6 GW godt en fjerdedel af det samlede danske elforbrug i 2030.

Samtidig er prisen for CO₂e-reduktioner med Power-to-X i nogle tilfælde meget høj. På kort sigt er der sandsynligvis andre klimateknologier, der skal prioriteres, hvis klimamålene skal nås på en omkostningseffektiv måde.

Selv hvis det lykkes at nå den politiske målsætning om en kapacitet på 4-6 GW, er potentialet for CO₂e-reduktioner med Power-to-X begrænset. I stedet vil en stor del af produktionen blive eksporteret. På grund af den betydelige meromkostning ved produktion med Power-to-X, risikerer vi at sende statsstøttet brint til vores nabolande.

Denne rapport fra Kraka Advisory handler om Power-to-X's rolle i den grønne omstilling i Danmark. Vi går i dybden med den politiske ambition, bidrag til CO₂e-reduktioner og omkostningerne og undersøger den internationale interesse for Power-to-X. Rapporten er udarbejdet på baggrund af en bevilling fra Novo Nordisk Fonden, som skal bidrage med fakta og nuancer til samfundsdebatten om den grønne omstilling. Derudover bygger denne rapport på et baggrundsnotat af DTU, der afdækker Power-to-X's potentiale og integration med det danske energisystem.

Rapporten består af en sammenfatning af bekymringer og anbefalinger til arbejdet med Power-to-X samt fem kapitler. I det første kapitel afdækker vi, hvad Power-to-X er, og hvorfor det er en interessant klimateknologi. I kapitel 2 undersøger vi, hvor meget Power-to-X kan bidrage til danske CO₂-reduktioner, og hvad det koster. Dernæst undersøger vi i kapitel

3, hvad det kræver at opskalere Power-to-X til politikernes målsætninger, samt hvilken infrastruktur der skal på plads, før Power-to-X kan indgå i det danske energisystem på en meningsfuld måde. I kapitel 4 undersøger vi, hvilke forventninger der er til Power-to-X i både Europa og resten af verden. Til sidst undersøger vi i kapitel 5, hvilke argumenter der er for en stor udbygning af Power-to-X i Danmark inden 2030, og om argumenterne overhovedet holder vand.

Stor tak til de medarbejdere, der har bidraget til udarbejdelsen af rapporten: Mette Dalsgaard, Mikael Bjørk Andersen, Marc Skov Jacobsen, Pernille Birch, Frederik Læssøe Nielsen, Rasmus Ballebye Jensen, Clara Parbøl Engelund, Magnus Andreas Bødker Jensen og Amalie Tokkesdal. Derudover en stor tak DTU's Department of Wind and Energy Systems og Alessandro Singlitico og Jacob Østergaard for godt samarbejde og sparring. Til sidst en særlig tak til Krakas Senior Fellows, Jørgen Søndergaard og Peter Kjær Kruse-Andersen for deres mange gode faglige input til rapporten.

Peter Mogensen, CEO i Kraka Advisory

Kraka Advisorys anbefalinger

De politiske Power-to-X-ambitioner bør genovervejes, da de er for høje

I Kraka Advisorys nye rapport *Power-to-X's bidrag til den grønne omstilling, omkostninger og de internationale perspektiver* stiller vi skarpt på, hvordan og hvor meget CO₂e Power-to-X kan reducere. Først og fremmest viser tal fra Energistyrelsen, at Power-to-X kun kan bidrage ganske lidt til at nå Danmarks klimamål om 70 pct. CO₂e-reduktion i 2030.

Vores estimater viser også, at de mulige reduktioner har en relativt høj pris sammenlignet med andre klimatiltag. Derudover er Power-to-X en meget strømkrævende proces. Derfor kan en stor produktion lægge beslag på en stor del af den grønne strøm, der er blevet en knap ressource.

Statsstøttet brint skal ikke eksporteres til rige nabolande

En stor andel af Power-to-X-produktionen vil ifølge energistyrelsen gå til eksport. Som det ser ud lige nu, har Power-to-X brug for støtte for at sætte gang i produktionen, og det vil reelt betyde, at danske skattekroner går til at reducere CO₂-udledninger i vores rige nabolande som Tyskland og Holland.

Det er ind til videre uklart, hvor stor samlet støtte, der er behov for. Der er afsat 1,25 mia. kr. i aftalen om Power-to-X, yderligere er der afsat forskellige millionbeløb i forskellige støtteordninger, der bl.a. kan bruges til Power-to-X. Vores beregninger viser, at en kapacitet på 6 GW Power-to-X vil kræve investeringer på ca. 20 mia. kr. i 2030. Det kan naturligvis være, at anlæggene kan opføres på markedsvilkår, men fordi prisen på Power-to-X-produkter ser ud til at blive klart højere end deres sorte alternativ, også inkl. CO₂e-afgifter og kvotepriser, vurderer vi det sandsynligt, at det kræver økonomisk støtte i milliardklassen at opføre Power-to-X-anlæggene.

Den danske Power-to-X-udbygning bør ryste sig fri af lokale særinteresser og fokuseres der, hvor udbygningen er optimal

Selvom det er attraktivt for mange kommuner at tiltrække Power-to-X-relateret erhverv, bør politikerne undgå fristelsen at tilgodese områder ud fra særinteresser. Det er nødvendigt, at etableringen af Power-to-X-anlæg bliver koordineret fra centralt hold sammen med Energinet, for at udbygningen af anlæggene bliver så omkostningseffektiv som muligt.

Power-to-X-anlæg kræver store mængder strøm, og derfor er det ikke ligegyldigt, hvordan de placeres på elnettet. Anlæggene kan bl.a. være med til at aflaste elnettet, hvis de placeres rigtigt, og på den måde mindske behovet for renovering og udbygning af elledningerne.

Den grønne omstilling skal gøres omkostningseffektivt – Det gælder også Power-to-X-produktionen

Den grønne omstilling bliver dyr for danskerne. Derfor er det også vigtigt, at klimainsatsen bliver så økonomisk effektiv som mulig. Klimarådet har vurderet, at den mest omkostningseffektive vej til 70-pct. reduktion i 2030 er en CO₂e-afgift på ca. 1.500 kr. per udledt ton CO₂e. Afgiften vil sikre, at de billige løsninger prioriteres først, og at de dyre løsninger kommer senere.

Det er den omkostningseffektive metode og vil spare den danske stat mange penge sammenlignet med en pick-the-winner-strategi, hvor politikerne bestemmer, hvor der skal omstilles og hvordan. Med en bred CO₂e-afgift vil der formegentlig stadig blive udviklet noget Power-to-X-produktion i 2030. Fx produktion af brint til busser eller lastbiler, mens de dyrere løsninger som e-kerosen til fly først kommer efter 2030.

Der er ingen garanti for, at Power-to-X-anlæg kan bidrage til balance på elnettet

Både politikere og producenter forventer, at Power-to-X-anlæggene kan bidrage til at skabe balance mellem strømproduktion og -forbrug. I det tilfælde skal anlæggene køre, når der er overskud af strøm, og elprisen derfor er meget lav. Omvendt skal anlæggene skrue ned eller slukke, når elprisen er høj og strømproduktion er mere begrænset. Men fremtidig elpris, brintpriser og omkostninger til Power-to-X-anlæg er behæftet med stor usikkerhed, og det kan blive nødvendigt med et forholdsvis stort antal driftstimer, for at det bliver rentabelt.

Regeringens ambition om en Power-to-X-kapacitet på 4-6 GW vil udgøre en stor del af det samlede danske elforbrug i 2030. Vores beregninger viser, at anlæggene vil bruge en fjerdedel af elforbruget, hvis anlæggene skal køre lidt over halvdelen af tiden. Derfor er det spekulativt, om Power-to-X virkelig kan bidrage til balance på elnettet, hvis det samtidig skal være rentabelt.

Prioritering af Power-to-X kan gøre omstilling dyrere end nødvendigt. Power-to-X bliver en del af løsningen – men primært på lang sigt

Der bruges allerede store mængder brint og brintbaserede-produkter som ammoniak i industri og landbrug i dag. Det udvindes primært af naturgas, og produktionen udleder store mængder CO₂. DTU estimerer, at det vil kræve en kapacitet på 515 GW Power-to-X-anlæg bare at dække den eksisterende, globale brintefterspørgsel. Hvis Power-to-X også skal levere brændsler til tung vejtransport, fragtskibe og fly, skal kapaciteten være markant større.

Power-to-X bliver derfor helt naturligt en del af løsningen på langt sigt og på områder, hvor der ikke er andre muligheder. Men rækkefølgen er vigtig. Omstillingen skal gøres omkostningseffektivt, og det indebærer i høj grad, at elektrificeringen føres til ende, før meget af Power-to-X-udbygningen går i gang. Herefter er det også vigtigt, at Power-to-X-produkterne prioriteres i rigtig rækkefølge, så de mest omkostningseffektive kommer først. Det kan sikres med en generel CO₂-afgift, frem for et politisk valg om, hvilke teknologier, der skal støttes. Sker den forkerte prioritering, vil den samlede regning for den grønne omstilling blive meget dyrere end nødvendigt.

En mindre Power-to-X-udbygning kan gøre grønt brint billigere på sigt

Der er økonomiske gevinster ved at udsætte en stor Power-to-X-udbygning. Derfor er det også mere oplagt med en mindre udbygning, hvor der fokuseres på gode forsknings- og udviklingsprojekter frem mod 2030. DTU anslår, at investeringsomkostningerne til Power-to-X-anlæggene bliver 40 pct. billigere frem mod 2030 og helt op til 80 pct. billigere frem mod 2050. Det skyldes bl.a., at der indtil videre ikke produceres komponenter til store Power-to-X-anlæg, og alt skal på nuværende tidspunkt specialfremstilles. Derudover vil det sandsynligvis også være muligt at bygge billigere og mere effektive anlæg, efterhånden som der opsamles mere erfaring inden for Power-to-X.

Begrebsforklaringer

Alkaline elektrolyseceller (AEC): Teknologi til elektrolyse af vand. Anvender typisk billige materialer og opererer ved lave temperaturer.

Blå brint: Brint fremstillet på samme måde som grå brint. Det adskiller sig dog fra grå brint ved, at der er CO₂-opsamling og -lagring tilknyttet for at mindske de samlede udledninger.

CAPEX: Capital expenditure, eller på dansk; anlægsomkostninger, er de samlede omkostninger til et anlæg. Fx køb af grund, opførsel af bygning og indkøb af nødvendigt udstyr.

CO₂e: CO₂-ækvivalenter. En fælles måleenhed for drivhusgassers forurening.

Direct air capture (DAC): Teknologi, der kan optage CO₂ direkte fra atmosfæren.

Fastoxid elektrolyseceller (SOEC): Teknologi til elektrolyse af vand. På nuværende tidspunkt markant den dyreste teknologi. Anvender billige materialer ved høje temperaturer.

Fulldlasttimer: Et udtryk for antallet af timer et energi-anlæg kører på fuld kapacitet. En havvindmølle i Nordsøen har ca. 4.500 fulldlasttimer. Det betyder, at den forventede strømproduktion fra vindmøllen på et år, vil være kapaciteten, fx 8 MW for en mølle, ganget med fulldlasttimerne.

Grå brint: Brint udvundet fra fossile kilder som naturgas og kul.

Levelised cost of hydrogen (LCoH): Et mål for gennemsnitsprisen på brint over hele Power-to-X-anlæggets levetid.

Lækage: CO₂-udledning der overføres fra et område til et andet.

Polymer elektrolyt membran elektrolyse (PEM): Teknologi til brintelektrolyse, anvendes kommercielt. Anvender typisk sjældnere materialer og operer ved lave temperaturer.

Skyggepriser: Værdiansættelse af varer eller tjenester, der ikke udelukkende består af markedsprisen. I dette tilfælde er der tale om CO₂e-skyggeprisen, som er prisen for at reducere et ton CO₂e.

1. Store forventninger til Power-to-X i Danmark

I det følgende kapitel gennemgås hvordan Power-to-X-teknologien kan bidrage til danske CO₂e-reduktioner, samt hvilke begrænsninger der på nuværende tidspunkt er for teknologien. Derudover undersøges den politiske opbakning til Power-to-X.



Centrale pointer

Vi mangler stadig at reducere 10 mio. tons CO₂e, hvis Danmark skal nå 2030-målet om 70 pct. reduktion af drivhusgasudledningerne sammenlignet med 1990. Derudover skal der findes yderligere 23 tons, når vi skal være nettonul-udledere i 2050. Vi kan ikke løse udfordringen kun med kendte teknologier, der er brug for, at vi også udvikler nye. Her kan Power-to-X teknologien spille en central rolle. På baggrund af følgende kapitel har vi følgende centrale pointer:

Power-to-X kan bidrage til omstilling i den tunge transport

- Det er mest energieffektivt at elektrificere direkte, men det er ikke muligt i alle tilfælde. Fx er det ikke alle typer af transport, der kan blive elektrificeret. Biobrændsler er et alternativ, men biomasse er en begrænset ressource, og kan derfor ikke erstatte hele forbruget af fossile brændsler.
- Med Power-to-X kan der fremstilles brint og brintbaserede produkter, som ammoniak, e-metanol og e-kerosen, uden at det udleder CO₂e. De produkter kan bl.a. bruges som drivmidler i den tunge transport. Afbrænding af disse vil være klimaneutrale, modsat af fossile brændstoffer.
- Potentialet for at reducere danske CO₂e-udledninger med Power-to-X er dog begrænset. Det gælder også frem mod 2050.

Politikere og markedet er meget positive over for Power-to-X teknologien

- Et bredt flertal i folketinget har indgået en aftale om fremme af Power-to-X i Danmark. Aftalen indeholder bl.a. et mål om 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030 og økonomisk støtte til brintprojekter på 1,25 mia. kr.
- Der er ligeledes flere konsortier, der har annonceret Power-to-X-projekter rundt i landet. De største projekter er i størrelsesordenen 1 GW. Der er dog ingen af de store projekter, der for alvor er gået i gang endnu. Sandsynligvis fordi der mangler klarhed om støttereget til Power-to-X-produktion.
- Det er vigtigt, at politikerne samtænker løsninger til at nå 2030 og 2050 målene, så den grønne omstilling ikke skal finansieres to gange. Derfor kan der også være gevinster ved at investere i Power-to-X nu, selvom det er på et tidligt udviklingsstadium.

1.1 Power-to-X er et grønt alternativ til fossile brændsler

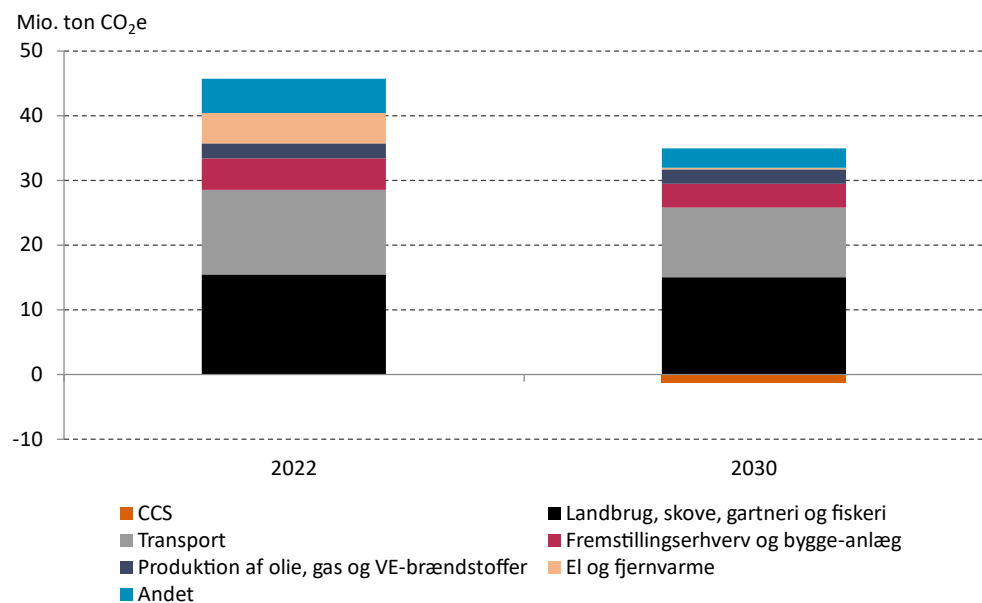
Den grønne omstilling kræver nye løsninger

Transportens udledninger fylder meget, også i 2030

Skal Danmark realisere sine klimamål, skal der udvikles nye klimaløsninger. Klimarådet (2020) vurderer, at Danmark kan reducere sine udledninger med 60 pct. ved hjælp af kendte teknologier. Det gælder fx grøn strøm og elbiler. Herefter mangler en reduktion på 10 pct. for at nå op på en 70 pct. reduktion i 2030. De resterende 10 pct. skal nås med nye teknologier.

Hvis klimamålene skal nås, er det også nødvendigt at reducere i de sektorer, der er svære at omstille. Det er fx tung transport og landbrugssektoren. figur 1.1 viser, hvor mange udledninger forskellige sektorer vil bidrage med i 2030 uden yderligere klimatiltag. Som det ses af figuren, forsvinder udledningerne fra el og fjernvarme, mens både transportsektoren og landbrug fylder over halvdelen af de samlede udledninger – også i 2030.

Figur 1.1 Forskellige sektors udledninger i 2022 og 2030



Anm.: CCS er en forkortelse for carbon capture and storage. Andet inkluderer affald, serviceerhverv og husholdninger.
Kilde: Energistyrelsen (2022c).

Nødvendigt med et grønt alternativ til fossile brændsler

Mens personbilerne kan udskiftes til elbiler, en kendt og udbredt teknologi, skal mange af reduktionerne i den tunge transport findes på en anden måde. Særligt tung transport over lange distancer er svært at omstille til batterier.¹ Det skyldes, at der skal bruges for store tunge og store batterier, til at det er praktisk muligt. Omstilling til grønne brændstoffer er et CO₂e-neutralt alternativ. Der findes bio- brændsler, hvor biomasse udnyttes til at lave fx bio-benzin og bio-diesel. Biomasse er dog en begrænset ressource, og derfor er det ligeledes begrænset, hvor meget biobrændstof der kan fremstilles (Klimarådet, 2018).

¹ Klimarådet (2021) vurderer at det inden for de næste 10 år bliver rentabelt med eldrevne lastbiler til kortere distancer, som fx distribution i og ved byerne.

PtX kan bruges til fremstilling af grønt brændstof

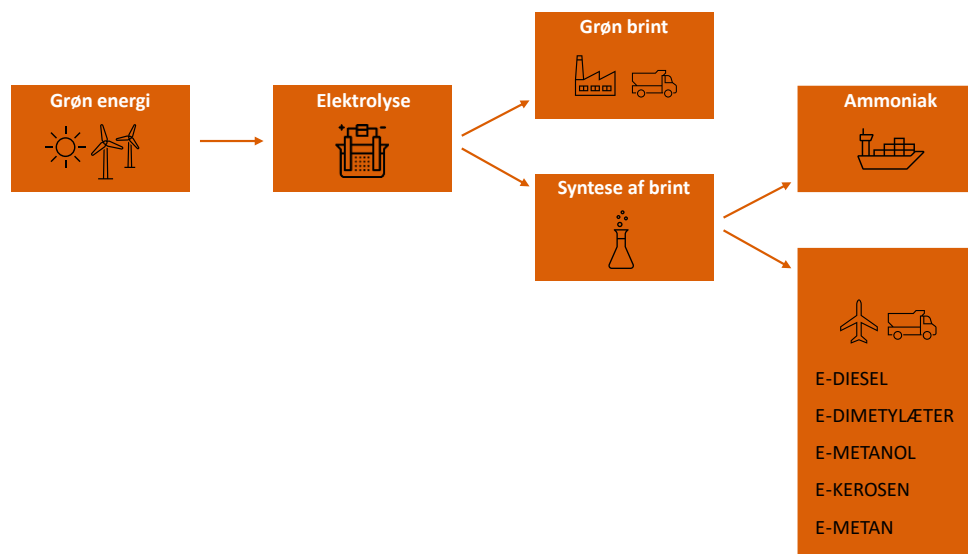
Her kan *Power-to-X*-teknologien (PtX) spille en rolle. Teknologien kan bruges til at fremstille grønne brændsler som brint, ammoniak eller syntetiske brændstoffer som e-diesel eller e-kerosen. Det er muligt at bruge brint og ammoniak som brændstof, men det kræver særlige brændselsmotorer. De syntetiske brændsler kan i vid udstrækning anvendes som erstatning for fossile og biobrændsler i allerede eksisterende motorer.

1.2 Elektrolyse kan lave grøn brint

Strøm og vand kan blive til grønne brændsler

PtX er en paraplyterm, der dækker over produktion af brint og andre brintbaserede stoffer med elektrolyse og en eventuel videreførelse. Altså at anvende *Power* gennem elektrolysen til produktion af *X*. *X* kan fx være brint, ammoniak eller syntetiske brændsler som e-diesel, e-metanol eller e-kerosen. figur 1.2 viser en illustration af PtX-processerne. Strøm produceres af vedvarende energikilder, og sendes til elektrolyseanlægget, der laver brint (H_2) fra vand (H_2O). Affaldsproduktet er ilt (O_2). Brinten kan bagefter enten anvendes rent eller sendes videre til en forædling, med andre stoffer som kvælstof (N_3) til at lave ammoniak eller CO_2 til fx e-metanol og e-kerosen.

Figur 1.2 Illustration af Power-to-X-produktion



Kilde: Klima- Energi og Forsyningsministeriet (2021a).

Fremstilling af PtX-produkter kan være CO_2e -neutral

PtX-produkter kan fremstilles uden at udlede CO_2e . Det eneste affaldsprodukt fra elektrolyse er ilt. Elektrolysen er drevet af strøm. Kommer strømmen fra vedvarende kilder, er der heller ingen indirekte udledninger fra elforbruget. Hvis brinten videreførelses til ammoniak (NH_3), tilsættes der kvælstof (N_3) i en kemisk proces. CO_2 -baserede brændsler fremstillet med brint fra elektrolyse er også CO_2e -neutrale, hvis det anvendte CO_2 er fra en klimaneutral kilde. Se boks 1.1 for en længere beskrivelse af, hvornår CO_2 kan betragtes som klimaneutralt.

Boks 1.1 Hvornår anses CO₂ som klimaneutralt?

Klimaneutral CO₂ kan komme fra biomasse, som biomasseværker og biogent affald, eller direkte fra luften ved hjælp af direct air capture (DAC).

Der udledes CO_{2e}, når der afbrændes biomasse som fx træpiller og halm. Alligevel betragtes CO₂ fra biomasse som klimaneutralt modsat CO₂ udledt fra fossile brændsler som kul og gas.

Det skyldes, at biomasse indgår i et kulstofkredsløb. Planter optager CO₂ gennem fotosyntese, når de vokser, som frigives ved forbrænding, uanset om det afbrændes direkte eller bliver omformet til bio- eller syntetiske brændsler. Er der ligevægt mellem, hvor meget der plantes og afbrændes, kan der argumenteres for, at biomasse over en årrække er CO_{2e}-neutralt. Det er begrænset, hvor meget biomasse der kan produceres årligt og anvendes til energiproduktion globalt (Klimarådet, 2018).

CO₂ indfanget med DAC er CO₂, der allerede findes i atmosfæren. Derfor øger det ikke udledningerne at anvende denne type CO₂ til fx brændsler. DAC-teknologien er dog umoden og kræver en del strøm. Derfor er DAC i stor skala kun en mulig løsning på længere sigt (Energistyrelsen, 2021b).

Modsat regnes CO_{2e} indfanget med CCS på fossile punktkilder, som fx et kulkraftværk, ikke som grønt. Derfor kan denne type CO₂ ikke anvendes, hvis brændstoffet skal fremstilles klimaneutralt.

1.3 Power-to-X skal omstille den tunge transport og industrien

Eldrevne køretøjer er mest energieffektive

Direkte elektrificering er at foretrække, når det er teknisk muligt. Det er både billigere og mere energieffektivt, da der er et væsentligt energitab ved konvertering af elektricitet til brint gennem elektrolyse. Det er i stort omfang muligt at elektrificere person- og varebiler direkte, og derfor er der kun et lille økonomisk potentiale ved at omstille denne sektor til PtX-brændsler. Omvendt vurderes det at 40-60 pct. af busserne og 30-70 pct. af lastbilerne på lang sigt skal omstilles til PtX- og biobrændsler. Resten forventes at blive direkte elektrificeret (Energistyrelsen, 2021a).

PtX bliver særligt vigtigt for sø- og luftfart

PtX-produkterne bliver endnu vigtigere, når vi bevæger os væk fra vejtransporten. Energi- styrelsen (2021a) vurderer, at PtX- og biobrændsler har et robust, langsigtet potentiale særligt i sø- og luftfart. På langt sigt forventes det, at 65-85 pct. af søfarten og 80-90 pct. af luftfarten kan omstilles til PtX- og biobrændsler.

Brint er ikke udbredt som drivmiddel

Brint kan bruges direkte som brændstof, men er ikke udbredt i stor skala. Der var 167 brintbiler i Danmark i slutningen af 2021, jf. FDM (2021). Ammoniak er ikke udbredt som brændsel, men der arbejdes på at udvikle og udbrede teknologien.² Modsat brint og ammoniak kan brintbaserede stoffer med CO₂-iblanding anvendes i eksisterende motorer i dag. Det kunne fx være e-diesel eller e-kerosen.

² MAN Energy Solutions er i gang med at udvikle ammoniakmotorer, jf. Innovationsfonden.

Der er allerede efterspørgsel efter brint og ammoniak

Selv om brint og ammoniak ikke er bredt anvendt inden for transport på nuværende tidspunkt, er der stor efterspørgsel efter brint og ammoniak inden for andre sektorer. Fx raffinaderier, i stålproduktion og til gødning i landbruget. Brint udvindes i dag primært fra naturgas og videreforædles evt. til ammoniak. Denne proces udleder meget CO₂e.

Trade-off mellem forskellige PtX-produkter

Der er forskellige gevinster og udfordringer ved de forskellige PtX-produkter. Afvejningen består i, at de syntetiske brændsler som e-diesel og e-kerosen kan anvendes i eksisterende transportmidler, men at produktionen af disse i fremtiden vil være begrænset af den tilgængelige mængde klimaneutrale CO₂. Brint og ammoniak er på den anden side ikke afhængige af CO₂ som input, men ingen af produkterne er på nuværende tidspunkt udbredt som brændstof, og de kræver nye typer motorer til drift. Ammoniak er også giftigt, hvilket også kan være en udfordring.

Fremstilling af brint kan også betragtes som et energilag

Udover at være et fremtidigt grønt brændstof kan PtX-produkter betragtes som en mulighed for at lagre energi. I et energisystem, der primært får energi leveret fra vindmøller og solceller, vil strømproduktionen fluktuere en del. Der vil være tidspunkter, hvor der er overproduktion af strøm, samtidig med at der vil være flere perioder end i dag, hvor produktionen ikke kan følge med forbruget. I perioder med overproduktion af strøm, kan der produceres PtX-produkter, der kan lagres og anvendes senere. På den måde skal efterspørgslen efter PtX-produkter ikke matche produktionen på alle tidspunkter, som det gør sig gældende for strøm (DTU, 2022).

1.4 Power-to-X er ressourcekrævende og findes kun i lille skala

Der er et energitab i brintproduktion...

Det koster energi at omdanne vand til brint. Der findes forskellige teknologier til brintelektrolyse. *Alkaline elektrolyseceller (AEC)*, *polymer elektrolyt membran elektrolyse (PEM)* og *fastoxid elektrolyseceller (SOEC)*. De har alle forskellige inputs og for AEC, den mest effektive teknologi, bliver 1 MWh elektricitet omdannet til 0,67 MWh brint og 0,16 MWh varme.³ tabel 1.1 giver et overblik over de forskellige teknologiers egenskaber.

Tabel 1.1 Sammenligning mellem de forskellige elektrolyseteknologier

	Input (MWh)		Output (MWh)			Output (kg)
	Strømtilførsel	Varme	Brint	Genanvendelig varme	Varmetab	Brint
AEC	1	-	0,67	0,16	0,05	20
PEM	1	-	0,58	0,26	0,05	17
SOEC	1	0,26	0,97	-	0,1	29

Anm: Energimængden i brinten er opgjort som den nedre brændværdi, der er defineret ved at den mængde varme, der frigives ved, at brinten forbrændes (starttemperatur 25 °C) og forbrændingsprodukterne har fået en temperatur på 150 °C.
Kilde: DTU (2022)

... der bliver større, hvis brinten videreforædles

Energitabet bliver større, hvis brinten skal videreforædles til et andet stof. tabel 1.2 giver et overblik over energiforbrug og output ved forskellige PtX-processer. 1 MWh elektricitet kan fx omdannes til 0,5 MWh ammoniak eller 0,6 MWh metanol, men kun til 0,2 MWh e-kerosen. Der er altså nogle PtX-produkter, der er mere effektive at fremstille end andre. Det er

³ Det afhænger dog af metoden. Solid Oxide-elektrolyse celler (SOEC) har en effektivitet på 0,97. Til gengæld er det den markant dyreste og mindst teknologisk modne løsning. Prisen for de forskellige elektrolyseteknologier gennemgås i afsnit 4.2.

også værd at bemærke, at noget af energien bliver omdannet til varme, der muligvis kan anvendes til andre formål. Dette bliver diskuteret i afsnit 3.5.

Tabel 1.2 Sammenligning af output fra forskellige PtX-processer, input = 1 MWh strøm

Proces	Output	
	Brændstof (MWh)	Genanvendelig varme (MWh)
Power-to-ammoniak	0,53 MWh Ammoniak (100 kg)	0,10
Power-to-metanol	0,58 MWh e-metanol (105 kg)	0,25
Power-to-kerosen	0,22 MWh e-kerosen (18 kg), 0,07 MWh benzin (6 kg) og 0,07 MWh let-tere gasarter (6 kg)	0,43

Anm: Energimængden i brændslerne er opgjort som den nedre brændværdi, der er defineret ved at den mængde varme, der frigives ved, at brændslerne forbrændes (starttemperatur 25 °C) og forbrændingsprodukterne har fået en temperatur på 150 °C.

Kilde: DTU (2022)

Stor mængde strøm nødvendig til elektrolyse

Uanset hvordan PtX skal bruges, kommer det altså til at kræve store mængder strøm relativt til slutproduktet. Klima-, Energi og Forsyningsministeriet (2021a) anslår, at en elbil udnytter 70 pct. af den producerede strøm til fremdrift, mens en brintbil kun udnytter 30 pct. af strømmen. Dette tal er sandsynligvis væsentlig mindre, hvis der er tale om et videreforædlet brintbaseret produkt som fx e-metanol, særligt hvis elektriciteten brugt til at indfange biogen CO₂ medregnes.

PtX-anlæg findes ikke i stor skala

Der er lang vej til PtX i stor skala. Der skal store investeringer til, før PtX-produkterne kan produceres og bruges i stor skala. I dag findes der ingen store elektrolyseanlæg – den samlede globale kapacitet var lidt mere end 200 MW i 2021, jf. DTU (2022).

1.5 Politiske ambitioner om udvikling af PtX i Danmark

Stor politisk opbakning om udvikling af PtX

Selvom PtX-teknologien befinder sig på et tidligt udviklingsstadium, er der bred politisk enighed om udvikling og udbygning af PtX i Danmark. I slutningen af 2021 udkom regeringen med en PtX-strategi, der er blevet til en bred aftale om PtX i foråret 2022 (Regeringen, 2022a).⁴ De væsentligste punkter fra aftalen kan findes i boks 1.2.

PtX-ambitioner rækker ud over PtX-aftalen

Udover den politiske aftale har regeringen andre konkrete ambitioner med PtX-teknologien. I sin nytårstale fra den 1. januar i år fremlagde statsminister Mette Frederiksen en ambition om, at alle indenrigsfly skal flyve grønt i 2030. Det fremgår ligeledes af PtX-aftalen, at der senere i 2022 skal forhandles om grønne fly (Regeringen, 2022a).

⁴ Aftalen er indgået mellem Socialdemokratiet, Venstre, Socialistisk folkeparti, Radikale Venstre, Enhedslisten, Det Konservative Folkeparti, Dansk Folkeparti, Liberal Alliance og Alternativet

Boks 1.2 Uddrag af politisk aftale om PtX

- Målsætning om 4-6 GW PtX-kapacitet i 2030
- Udmøntning af 1,25 mia. kr. til et samlet PtX-udbud
- Bedre mulighed for at føre elledninger direkte fra vind- og solparker til PtX-anlæg
- Mulighed for lavere tariffer til store elforbrugere som fx PtX-producenter
- Mulighed for etablering af dansk brintinfrastruktur
- 57 mio. kr. i 2022-2026 til en PtX-taskforce

PtX-projekter kræver økonomisk støtte

Der er sandsynligvis brug for anseelig statsstøtte, hvis regeringens mål om 4-6 GW skal nås i 2030. Der eksisterer ikke umiddelbart beregninger af det nødvendige støtteniveau, men det har en betydelig pris at opskalere PtX frem mod 2030. En af årsagerne til, at de store PtX-projekter ikke er påbegyndt endnu, er sandsynligvis, at markedsaktørerne er usikre på det fremtidige støtteregime. Hvis PtX-projekterne skal realiseres, mangler der en plan for det forventede støtteregime. De konkrete udfordringer og omkostninger ved skalering af PtX behandles dybdegående i afsnit 3.

Markedet har intentioner om at bygge PtX-anlæg

DI Energi (2021) vurderer, at der er intentioner om at opføre PtX-anlæg i Danmark med en samlet kapacitet på 6,7 GW frem mod 2030. Ingen af de store projekter er dog endeligt besluttet, jf. IEA (2021b). Det varierer mellem nogle store projekter på 1-1,3 GW og mindre forsøgsprojekter på 2-20 MW. Det er primært rent brint, virksomhederne ønsker at producere, men der er også et stort ammoniakprojekt og flere mindre metanolprojekter. Projekterne er fordelt bredt ud over hele Danmark. De største projekter kan dog findes i Nordjylland, ved Vestkysten og ved hovedstadsområdet jf. Brintbranchen 2022.

1.6 Der er nødvendigt at investere i nye løsninger for at nå klimamål

Det er uklart, hvordan Danmark når klimamål

Der mangler stadig at blive redegjort for reduktionen af 10 mio. tons CO₂e, hvis Danmark skal nå 2030-målet om 70 pct. reduktion af drivhusgasudledningerne sammenlignet med 1990. De reduktioner, der skal laves inden 2030 skal nås med forholdsvis hurtige greb på grund af den korte tidshorisont. Dog er der stadig brug for nye klimaløsninger, for at 2030-målet er muligt (Klimarådet, 2022). Modsat betyder den lange tidshorisont for målet om nettonul i 2050, at nye løsninger kan komme til, og teknologier i udviklingsstadiet kan udvikles og udnyttes på et kommercielt niveau.

2030- og 2050-løsninger skal samtænkes

Det er dog nødvendigt at sammentænke de to reduktionsmål. Hvis løsningerne til at nå 2030-målet senere skal skrottes til fordel for nyere, smartere løsninger for at nå nettonul-målet i 2050, skal den grønne omstilling laves to gange. Det kan blive u hensigtsmæssigt dyrt for danskerne. Der kan være nogle positive spillover-effekter af at investere i udviklingen af en forholdsvis umoden teknologi som PtX, som muligvis kan bidrage til hurtigere implementering i fremtiden. Det kan gøre det billigere at implementere PtX i stor skala frem mod 2050.

PtX har begrænset bidrag til Danmarks CO₂e-reduktioner

Potentialet for at reducere Danmarks CO₂e-udledning med PtX er dog begrænset. Energistyrelsen (2021a) anslår at PtX kan reducere maks 1,9 mio. tons CO₂e i 2030 og 3,5 tons i 2050. Det er primært i indenrigssøfart samt lastbil og bustransport, at PtX-produkter kan reducere. Til sammenligning estimerer Energistyrelsen (2022c), at Danmark vil udlede 45 mio. tons CO₂e i 2022. PtX kan derfor reducere op til 8 pct. af de samlede udledninger i 2050.

2. PtX-produkter spiller kun en lille rolle i 2030-mål

Dette kapitel undersøger hvor meget Power-to-X kan bidrage til opnåelse af danske klimamål i 2030 og i 2050. Efterfølgende estimeres skyggepriserne på forskellige Power-to-X-brændsler. Bagefter diskuteres Power-to-X's følsomhed over for fossil energi i elmikset og betydningen af eksport af Power-to-X produkter.



Centrale pointer

Regeringens Power-to-X -strategi indeholder ambitiøse planer om en udbygning på 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030. Power-to-X kommer dog højst sandsynligt ikke til at spille den store rolle i bidraget til Danmarks 2030-mål, men vil i stedet blive eksporteret til udlandet. En større Power-to-X-produktion i 2030 indeholder dog også en række andre problemer. Det er fx usikkert om den danske strømproduktion kan følge med. Hvis det ikke er tilfældet, så kan Power-to-X-produkter gøre mere skade end gavn. Derudover vil Power-to-X-produktion i 2030 stadig være en relativt dyr teknologi, og er derfor forbundet med en række omkostninger. De centrale pointer i dette kapitel er derfor:

Power-to-X-strategi bidrager minimalt til 2030-målsætningen i Danmark

- Energistyrelsen vurderer Power-to-X-produkters maksimale reduktionspotentiale i 2030 til 3-4 pct. af Danmarks CO₂e-udledninger i 2021. En stor del af disse Power-to-X-reduktioner i 2030 vil bestå af relativt dyre reduktioner, og vil derfor ikke bidrage til en omkostningseffektiv opnåelse af 2030-målet.

Dansk Power-to-X-indsats er dyr og vil primært gå til eksport

- Power-to-X-strategien giver en produktion, der i 2030 svarer til godt 2-3 gange mere end Danmarks maksimale efterspørgsel efter de Power-to-X-produkter, der er omkostningseffektive på langt sigt.
- Eksporten af Power-to-X-produkter vil formentlig stadig kræve statsstøtte i 2030, men dog ikke lige så meget som Power-to-X til dansk brug.
- Både produktion og eksport af Power-to-X-produkter kan medføre lækage, der reducerer klimaeffekten.

Den positive klimaeffekt ved Power-to-X er skrøbelig

- Power-to-X-produkter kan risikere at gøre mere skade end gavn for klimaet. Det sker, hvis produktionen af strømmen til Power-to-X-produktet enten udleder meget CO₂e eller Power-to-X-produktionen bruger grøn strøm, der ellers kunne have fortrængt meget CO₂e andre steder, fx ved direkte elektrificering.
- Så længe der stadig kan elektrificeres mere, vil det næsten altid være en bedre klimamæssig investering end Power-to-X-produktion.

Power-to-x vil være en umoden og dyr måde at reducere CO₂ i forhold til alternativerne i 2030

- Flere Power-to-X-produkter har meget høje skyggepriser. Fx har e-kerosen til fly en skyggepris på ca. 3.700 kr./ton, og er derfor en meget dyr måde at reducere CO₂e-udledningen på i 2030. Klimarådet har vurderet, at den dyreste reduktion vil koste ca. 1.500 kr./ton, hvis 2030-målet skal nås omkostningseffektivt.
- Produktionen af e-kerosen til de danske indenrigsfly vil give en meromkostning på ca. 370 mio. kr. sammenlignet med, hvis den samme CO₂-reduktion på 0,17 mio. ton CO₂e realiseres med en CO₂-afgift på 1.500 kr. pr. ton CO₂e.
- CO₂-udledningen fra indenrigsfly svarer til knap 0,4 pct. af de samlede danske udledninger i 2021, men giver en ekstraregning på ca. 370 mio. kr. Alternativt kunne pengene bruges til at hæve 2030-målet fra 70 pct. til 70,3 pct. CO₂e-reduktioner ift. 1990.
- Størstedelen af meromkostningen ved grønne indenrigsfly vil formentlig blive finansieret gennem dansk statsstøtte.

2.1 Potentialet i reduktioner med PtX er begrænset

PtX's bidrag til 2030-mål er begrænset

Energistyrelsen (2021a) forventer, at PtX-produkter, der er omkostningseffektive på langt sigt, og som kan bidrage til Danmarks 2030-mål, maksimalt kan bidrage med 1,3 mio. ton CO₂e-reduktioner, jf. figur 2.1.a. Derudover er der et potentiale på 0,6 mio. ton CO₂e-reduktioner i 2030 gennem PtX-produkter, som betragtes som ikke-omkostningseffektive på langt sigt.⁵ Samlet svarer PtX-produkters reduktionspotentiale i 2030 til 3-4 pct. af Danmarks CO₂e-udledninger i 2021. PtX kommer derfor til at spille en relativt begrænset rolle i CO₂e-reduktionerne i Danmark frem mod 2030-målet. Størst potentiale for omkostningseffektive PtX-bidrag er der inden for indenrigsskibsfart, der kan omstilles til at sejle på brint eller ammoniak, samt brintbusser og -lastbiler, der hver har et potentiale på 0,4 mio. ton CO₂e-reduktioner i 2030.⁶

Overkapacitet af PtX ift. 2030-mål

Regeringen (2022a) planlægger med PtX-strategien en PtX-kapacitet på 4-6 GW i 2030, hvilket vil mere end dække det danske behov for PtX-produkter, jf. figur 2.1.b. Det kræver nemlig blot en kapacitet på 1,8 GW at producere PtX, der bidrager til de 1,3 mio. ton CO₂e-reduktioner, der er omkostningseffektive på langt sigt. Derudover kræver det 0,9 GW at producere PtX-tiltag, der ifølge Energistyrelsen (2021a) kan hjælpe med reduktioner i 2030, men som ikke kommer til at spille en rolle i den langsigtede klimaomstilling.

Overkapacitet vil formentlig gå til eksport

Den overskydende elektrolysekapacitet som ikke bruges til PtX-produkter, der bidrager til Danmarks 2030-mål, vil enten stå uudnyttet, eller blive brugt til eksport, der kan bidrage til udenlandske reduktioner. Aftalen om PtX-strategien lægger da også vægt på, at PtX-produktionen kan bruges "... til at sænke Danmarks globale klimaaftryk og opnåelse af nationale og internationale klimamålsætninger" (Regeringen, 2022a). Den kapacitet, der kommer til at gå til eksport, afhænger både af, om der bygges 4 eller 6 GW PtX-kapacitet, og hvor meget af PtX-potentialet til danske reduktioner i 2030, der indfries. Hvis hele potentialet for PtX-reduktioner i 2030 indfries, vil overkapaciteten, der formentlig går til eksport være på 1,3-3,3 GW.

Produktion og eksport af PtX kan give lækage

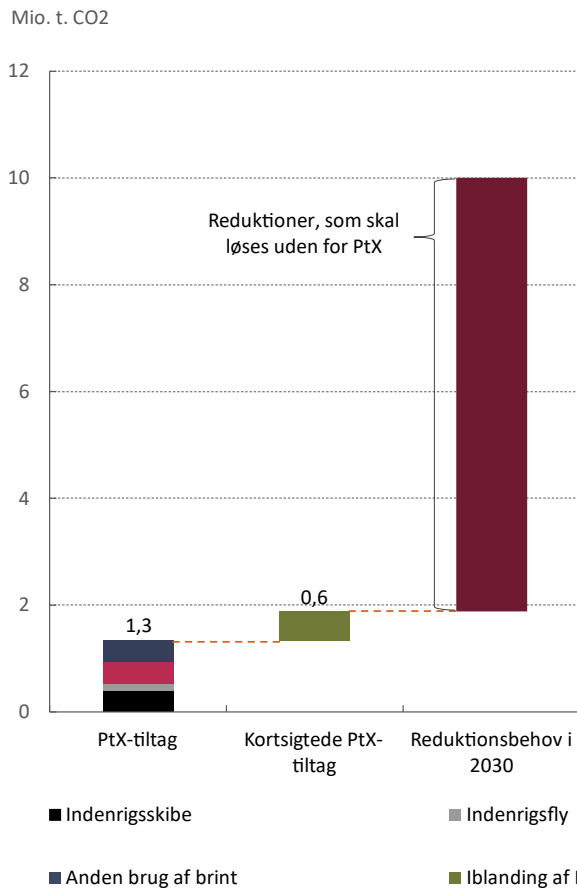
Eksporten af PtX-produkter til udlandet kan give anledning til lækage, som reducerer klima-effekten fra brugen af PtX-produkterne. Kraka Advisory (2022) har tidligere gjort opmærksom på lækageeffekten i EU's CO₂e-kvotestystem (EU ETS), ligesom De Økonomiske Råd (2019) både nævner lækage i EU ETS og gennem brændstofpriserne som en udfordring. Lækagen i EU ETS skyldes, at store dele af de ubrugte danske kvoter, ender med at blive brugt i andre EU-lande i stedet. Lækagen gennem brændstofpriserne skyldes, at en øget produktion af PtX-brændstoffer, mindsker efterspørgslen efter fossile brændstoffer, hvilket fører til lavere priser på fossile brændstoffer og dermed en mindre stigning i efterspørgslen. Lækagen kan ligeledes opstå ved at en dansk PtX-produktion øger behovet for strøm, hvormed strømproduktionen fra fossil energi i udlandet øges. Alle disse effekter gør, at PtX-produkterne ikke har fuld gennemslagskraft, og effekten udvandes. En uddybning af hvordan lækagen fungerer, findes i boks 2.1.

⁵ Tiltag der ikke vurderes at være omkostningseffektive på langt sigt er tiltag, der kan bidrage til en kortsigtet CO₂e-reduktion, men som ikke vil spille en rolle i et CO₂e-neutralt samfund. Dette gælder fx e-benzin og e-diesel i personbiler, der kan hjælpe med kortsigtede reduktioner, men hvor sektoren på langt sigt bliver elektrificeret.

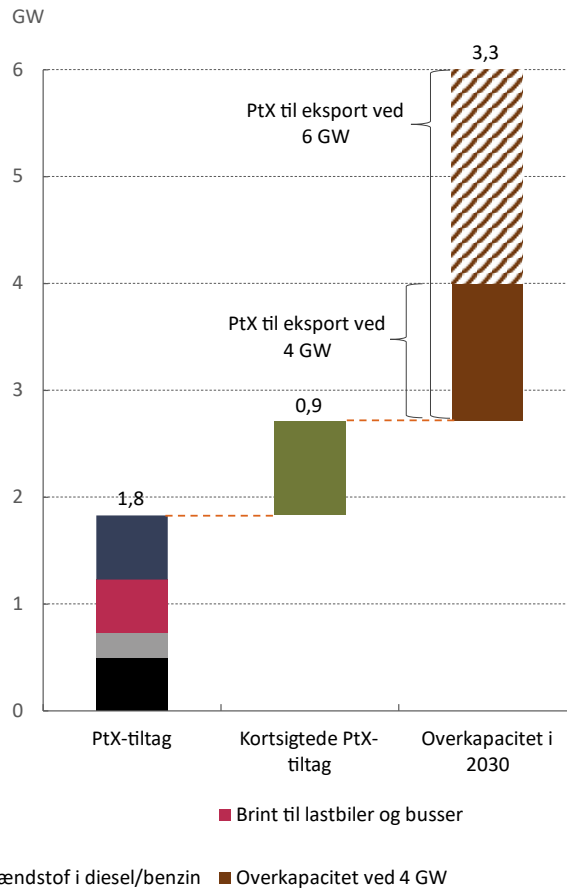
⁶ Energistyrelsen (2021a) forventer på langt sigt, at den skibsfart, der ikke kan elektrificeres omstilles til brint, ammoniak eller metanol. De vurderer dog også, at det er teknisk muligt at omstille hovedparten af sektoren til eldrift, brint eller ammoniak i 2030. Klimarådet (2021) ser eldrevne lastbiler som en vinderteknologi på de korte ture, hvorimod de ikke kan udpege en klar vinderteknologi på de længere ture. Vores beregninger tager udgangspunkt i Energistyrelsen (2021a), der vurderer en elektrificering af lastbiler på 1-10 pct. inden 2030 og 25-75 pct. frem mod 2050 samt en potentiel udbredelse af brintlastbiler på 25 pct. i 2030 og 25-75 pct. i 2050. Beregningerne i Figur 2.1 og Figur 2.2 antager et potentiale på hhv. 25 pct. brintlastbiler i 2030 og 75 pct. brintlastbiler i 2050.

Figur 2.1 PtX's reduktionspotentiale i Danmark og den påkrævede analysekapacitet i 2030

Figur 2.1.a PtX's maksimale bidrag til Danmarks 2030-mål



Figur 2.1.b Påkrævet elektrolysekapacitet, GW



Anm.: Figur 3.1.a: Figuren viser, at langsigtede PtX-tiltag samlet kan bidrage til reduktion af 1,3 mio. ton CO₂e ud af et samlet reduktionsbehov på ca. 10 mio. ton CO₂e, der mangler aftaler for, hvis Danmark skal nå 2030-målet (Klimarådet, 2022). De ikke-langsigtede tiltag er tiltag, der kan bidrage til en kortsigtet omstilling, men ikke vil spille en rolle i et CO₂e-neutralt samfund. Dette gælder fx e-benzin og e-diesel i personbiler, der kan hjælpe med kortsigtede reduktioner, men hvor sektoren på langt sigt bliver elektrificeret.

Figur 3.1.b: Figuren viser den nødvendige PtX-kapacitet til produktion af de PtX-tiltag, der kan bidrage til de danske 2030-mål. Overkapaciteten er den kapacitet af PtX, der kommer i 2030, hvis PtX-strategien føres ud i livet med en PtX-kapacitet på 4-6 GW i 2030, samtidig med at det maksimale PtX-potentiale til danske reduktioner udnyttes i 2030. Der er antaget, at elektrolysen har 4.600 fuldlasttimers produktion, hvilket svarer til ca. 53 pct. af tiden, hvilket er de samme antagelser, som Energistyrelsen (2021a) bruger.

Kilde: Energistyrelsen (2021a), Klimarådet (2022), Regeringen (2022a) og egne beregninger

Alternativt vil kapaciteten køre i færre timer

Den danske PtX-kapacitet der overstiger 2030-målet, kan udover eksport have til formål at reducere antallet af fuldlasttimer i elektrolyseproduktionen. Beregningerne i Figur 2.1 er baseret på Energistyrelsen (2021a), der antager, at elektrolysen til brintproduktion har 4.600 fuldlasttimer, hvilket svarer til ca. 53 pct. af tiden. Elprisen spiller dog en stor rolle i omkostningerne til brintproduktionen (se fx figur 3.3.b) og ved at reducere antallet af fuldlasttimer, så der kun produceres, når elprisen er lav, kan de variable produktionsomkostninger reduceres en del.

PtX kan spille en større rolle i 2050

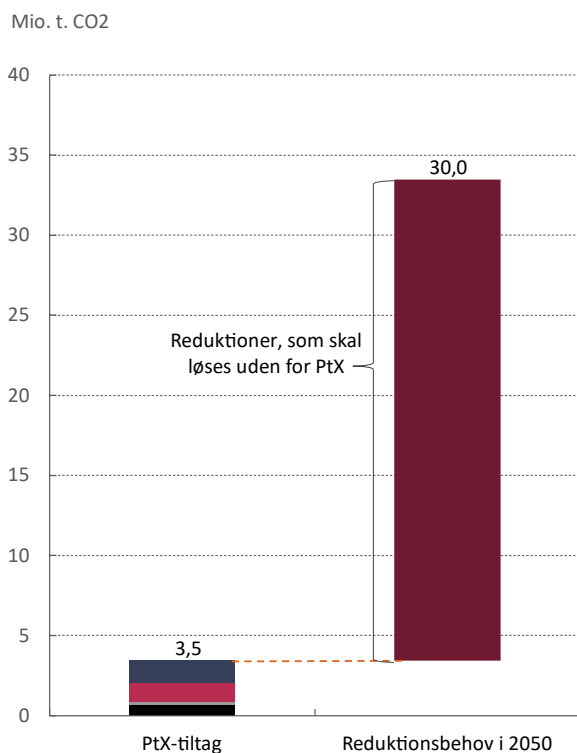
Danmarks potentiale for brug af PtX-produkter stiger fra 2030 og frem mod 2050. Det ses af figur 2.2.a, der viser at PtX-produkter har et potentiale til at reducere 3,5 mio. ton CO₂e i Danmark i 2050. Det svarer til ca. 10 pct. af de udledninger i 2050, der endnu ikke er vedtaget politik for. Størstedelen af potentialet kommer fra brint til lastbiler, busser og anden brug.

2030-planen giver dog stadig overkapacitet i 2050

Hvis hele Danmarks potentiale for brug af PtX-produkter i 2050 skal produceres i Danmark, kræver det PtX-kapacitet på ca. 4,6 GW i 2050. Behovet i 2050 er derfor mindre end den øvre del af Regeringens ambition om 4-6 GW PtX-kapacitet i 2030. PtX-ambitionen lægger derfor op til, at der potentielt bygges så stor overkapacitet i 2030, at der end ikke i 2050 vil være dansk efterspørgsel efter så mange PtX-produkter. Store dele af den danske PtX-produktion fra 2030 til 2050 må derfor forventes at skulle eksporteres.

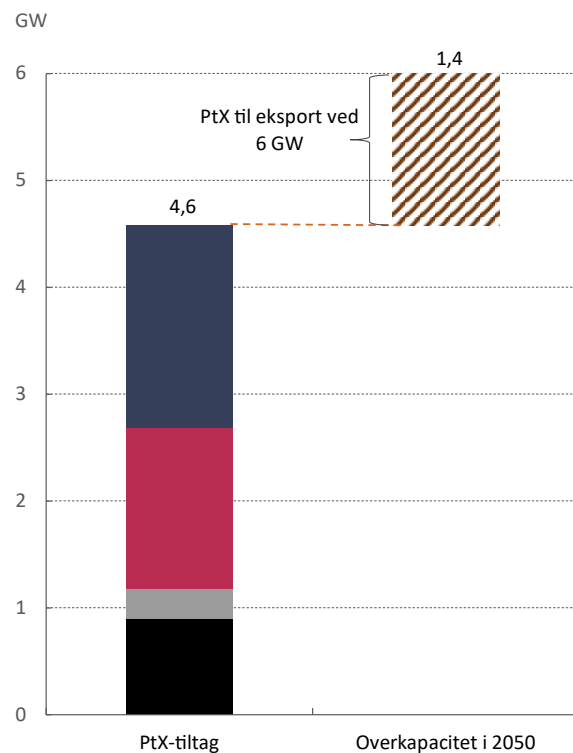
Figur 2.2 PtX's reduktionspotentiale i Danmark og den påkrævede analysekapacitet i 2050

figur 2.2.a PtX's maksimale bidrag til Danmarks 2050-mål



- Indenrigsskibe
- Indenrigsfly
- Brint til lastbiler og busser
- Anden brug af brint
- Iblanding af PtX-brændstof i diesel/benzin
- Overkapacitet

figur 2.2.b Påkrævet elektrolysekapacitet, GW



Anm.: Figur 3.2.a: Figuren viser, at langsigtede PtX-tiltag samlet kan bidrage til reduktion af 3,5 mio. ton CO₂e ud af et samlet reduktionsbehov på ca. 33,5 mio. ton CO₂e, der mangler aftaler for, hvis Danmark skal nå 2050-målet (Klimarådet, 2022).

Figur 3.2.b: Figuren viser den nødvendige PtX-kapacitet til produktion af de PtX-tiltag, der kan bidrage til de danske 2050-mål. Overkapaciteten er den kapacitet af PtX, der kommer i 2050, hvis der er 6 GW PtX-kapacitet i 2050, samtidig med at det maksimale PtX-potentiale til danske reduktioner udnyttes i 2030. 6 GW svarer til det øvre spænd på Regeringens PtX-ambition for 4-6 GW allerede i 2030. Der er antaget, at elektrolysen har 4.600 fuldtimers produktion, hvilket svarer til ca. 53 pct. af tiden, hvilket er de samme antagelser, som Energistyrelsen (2021a) bruger.

Kilde: Energistyrelsen (2021a), Klimarådet (2022), Regeringen (2022a) og egne beregninger

Boks 2.1 Lækage ved PtX-produktion

Inden for klimaøkonomi refererer lækage til den situation, hvor en reduktion af CO₂e-udledning i det ene sted fører til øgede CO₂e-udledninger andre steder i økonomien. Lækagen kan opstå i andre brancher, lande eller tidsperioder. Ofte omtales lækage som en situation, hvor nedlukning af en CO₂e-intensiv produktion i det ene land fører til en stigning i produktionen i et andet land, så de samlede CO₂e-udledninger mindskes med mindre end nedlukningen ellers ville bewirke. Lækage kan opstå ad mange veje. De Økonomiske Råd (2019) nævner bl.a. lækage fra prisseffekt på fossile brændstoffer og lækage i EU's CO₂e-kvotestystem (EU ETS) som vigtige.

Lækage fra prisseffekten på fossile brændstoffer opstår, når produktionen af PtX-brændstoffer mindsker efterspørgslen efter fossile brændstoffer. Den mindskede efterspørgsel efter et fossilt brændstof, sænker den internationale pris på brændstoffet, som giver en stigning i efterspørgslen efter det fossile brændstof. Dermed vil den direkte reduktion i det fossile brændstof som følge af PtX-produktionen ikke slå fuldt igennem.

Lækage gennem et kvotestystem opstår, når reduktion i efterspørgslen efter CO₂e-kvoter, fører til lavere kvotepriser, der øger andre udledderes tilskyndelse til at købe og bruge kvoter. I et traditionelt kvotestystem er mængden (i dette tilfælde CO₂e-udledninger) fast. Hvis et PtX-produkt bruges til at fortrænge et fossilt brændstof, falder efterspørgslen efter CO₂e-kvoter i kvotesystemet. I et traditionelt kvotestystem vil den lavere efterspørgsel få kvoteprisen til at falde, lige indtil den efterspurgte mængde CO₂e-kvoter er den samme. CO₂e-udledningen vil derfor være uændret og lækagen er 100 pct.

EU ETS er dog ikke noget traditionelt kvotestystem. Efter den seneste ændring af EU ETS kan efterspørgselsreducerende tiltag nu påvirke mængden af CO₂e-udledning i kvotesystemet (EU-kommissionen, 2020). Det sker ved at en reduktion i efterspørgslen, delvist vil reducere prisen og delvist vil annullere et antal af kvoter (se fx Beck og Kruse-Andersen, 2020 for uddybning af mekanismen). Det er usikkert, hvordan fordelingen af disse to effekter er i 2030. Dermed vil en reduktion i efterspørgslen efter CO₂e-kvoter (fx ved indførelse af et PtX-produkt) kunne give en reduktion i CO₂e-udledningen. Kraka Advisory (2022) viste dog også, hvordan grønne projekter med lang tidshorisont kan give en CO₂e-lækage i EU ETS på over 100 pct.

Lækage kan også opstå, hvis fx Danmark producerer PtX-produkter til at reducere nationale udledninger, men inputmaterialet i produktionen er tysk produceret strøm indeholdende CO₂e. På den måde giver reduktionen i danske CO₂e-udledninger en stigning i de tyske CO₂e-udledninger.

Dette er blot tre af de væsentligste kilder til lækage. En uddybende beskrivelse af forskellige lækagekanaler kan bl.a. findes i Kruse-Andersen, Beck og Stewart (2021).

2.2 PtX-produkter til dansk forbrug har høje skyggepriser

PtX-produktion til 2030-mål har høje skyggepriser

Produktion af PtX-produkter, der skal bidrage til det danske 2030-mål, har relativt høje skyggepriser ift. andre tiltag, jf. tabel 2.1. Skyggeprisen beskriver prisen for at fortrænge et ton CO₂e, hvilket både afhænger af hvilket virkemiddel, der bruges, og hvilket produkt det fortrænger. Ydermere lægges det til grund, at dyre tiltag skal statsstøttes for at blive gennemført, hvorfor der også skal tages hensyn til skatteforvridningseffekter. Udregningen af skyggepriserne er beskrevet nærmere i boks 2.2. Produktion af e-kerosen til erstatning af fossilt

jet-fuel i indenrigsfly har en skyggepris på ca. 3.700 kr./t. CO₂e, jf. tabel 2.1. Den skyggepris kan sammenlignes med de 1.500 kr./t. CO₂e, som er Klimarådets bud på en CO₂e-afgift, der gør, at Danmark når 2030-målet (Klimarådet, 2022). Klimarådets afgift på 1.500 kr./t. CO₂e svarer dermed til skyggeprisen på den dyreste CO₂e-reduktion, der er nødvendig for, at Danmark når 2030-målet på en omkostningseffektiv måde.

Tabel 2.1 Skyggepriser for PtX-produkter og andre udvalgte virkemidler i 2030, 2020-priser

	Potentiale, mio. ton CO ₂ e	Skyggepriser, kr./t. CO ₂ e
PtX-virkemidler til Danmarks 2030-mål		
Indenrigsluftfart på e-kerosen	0,13	3.700 ^a
Indenrigsskibsfart på ammoniak	0,4	1.100 ^b
Brint til lastbiler og busser	0,4	500-1.500 ^c
Alternative virkemidler til Danmarks 2030-mål		
CO ₂ e-lagring gennem pyrolyse	2,0	1.000
Skalering af CCUS-puljen	0,8	1.350
CO ₂ e-afgift på 1.500 kr. pr. ton, foreslået af Klimarådet	10,0	1.500
PtX-produkter til eksport		
Grøn brint til at erstatte grå brint ^d	Meget stort	100 ^e
Grøn ammoniak til at erstatte grå ammoniak ^d	Meget stort	1.100 – 1.600 ^f

Anm.: Skyggeprisberegningerne for PtX tager udgangspunkt i omkostningsforskellen på produktionen af PtX-produkter. Generelt er infrastruktur, transport, skift af kapitalapparat eller lignende ikke medregnet i skyggepriserne, medmindre andet fremgår. Skyggeprisberegningerne for PtX-produkter er lavet på baggrund af antagelsen om, at der er brugt 100 pct. grøn strøm i elektrolysen. Beregningerne tager udgangspunkt i omkostningsberegninger fra Energistyrelsen (2021c), hvor der er brugt 3.000 fuldlasttimer til elektrolysen. Energistyrelsen (2021c) tager udgangspunkt i omkostninger til CO₂ fra en punktkilde, og CO₂-afgift og kvotepris er ikke direkte inkluderet i produktionsomkostningerne. Beregningerne er behæftet med en stor usikkerhed. For detaljeret beskrivelse af metoden til skyggeprisberegninger, se boks 2.2

Anm. a: PtX-brændstoffet e-kerosen forventes at kunne benyttes i eksisterende transportmidler, og det kræver dermed ikke udskiftning af kapitalapparat. Beregningen tager udgangspunkt i de forventede produktionsomkostninger for PtX-brændstoffet i 2030 fra Energistyrelsen (2021c) og de forventede importpriser for det fossile flybrændstof JP1 i 2030 fra Energistyrelsen (2019).

Anm. b: Skyggeprisen er udregnet som prisforskellen ved standeren i 2030, hvilket vil sige, at prisforskel i transport og tryksætning er inkluderet for disse beregninger. Derudover er skyggeprisen kun udregnet på ændring i brændstoffet, og der er dermed ikke indregnet den ekstra omkostning ved at skulle skifte kapitalapparat, som forventes at have en betydelig størrelse.

Anm. c: Skyggeprisen er udregnet som prisforskellen ved standeren i 2030, hvilket vil sige, at prisforskel i transport og tryksætning er inkluderet for disse beregninger. Skyggeprisen på 500-1.500 kr. afhænger af om ændring i kapitalapparat er medregnet. For skyggeprisen på 500 kr. er det kun ændring i brændstoffet, mens skyggeprisen på 1.500 kr. også medtager et skift i kapitalapparatet.

Anm. d: Brint er grøn, når det produceres af elektrolyse, hvor energiinputtet til produktionen er grøn strøm. Brint er grå, når energiinputtet til produktionen er naturgas eller andre fossile kilder. I denne beregning antages, grå brint produceres af naturgas. Ligeledes kan ammoniak være grå og grøn, hvis den er hhv. fremstillet på naturgas eller elektricitet. Se begrebsforklaringer for yderligere beskrivelse af grøn, blå og grå brint.

Anm. e: Beregningen tager udgangspunkt i de forventede produktionsomkostninger for PtX-produktet i 2030 fra Energistyrelsen (2021c). Dette sammenlignes med de aktuelle priser for grå brint, som Goldman Sachs (2022), dog forventer at være det samme uændret i 2030.

Anm. f: Spændet i skyggepris kommer på baggrund af forskellige estimater for den nuværende CO₂e-udledning i forbindelse med ammoniakproduktion.

Kilde: Klimarådet (2022) og Klima-, Energi-, og Forsyningsministeriet (2021b) og egne beregninger på baggrund af COWI (2020), Danmarks Statistik (2022), Dechema (2022), DTU (2022), Energistyrelsen (2021a), Energistyrelsen (2021c), Energistyrelsen (2021c), Energistyrelsen (2019), Goldman Sachs (2022), International Energy Agency (2021a), Klima-, Energi-, og Forsyningsministeriet (2021c), Moutak m.fl. (2017), The Royal Society (2020) og Wismann m.fl. (2019).

Skyggepriserne til eksport er lavere end til 2030-mål

Skyggepriserne for PtX-produktion til eksport af brint er generelt noget lavere end skyggepriserne til opnåelse af det danske 2030-mål. Baggrunden for de forskellige skyggepriser er en kombination af, hvilket PtX-brændsel, der skal produceres, og hvad det forventes at fortrænge. E-kerosen til indenrigsfly er relativt dyrt at producere ift. det fossile jet-fuel, som det skal fortrænge, hvilket giver en høj skyggepris. Til sammenligning forventes der ikke at være stor forskel i omkostningerne til produktion af grøn og grå brint i 2030, hvilket er grunden til den relativt lave skyggepris på produktion af grøn brint.⁷ Det er nogle af de faktorer, der gør, at skyggeprisen for e-kerosen til indenrigsfly er meget højere end skyggeprisen for grøn brintproduktion.

⁷ Brint er grøn, når det produceres af elektrolyse, hvor energiinputtet til produktionen er grøn strøm. Brint er grå, når energiinputtet til produktionen er naturgas eller andre fossile kilder. I denne beregning antages, grå brint produceres af naturgas. Se **Fejl! Henvissingskilde ikke fundet.** for yderligere beskrivelse af grøn, blå og grå brint.

Skyggepriser er også lavere ved alternative tiltag

Flere virkemidler til at opnå CO₂e-reduktioner i Danmark har en lavere skyggepris end PtX-produkterne til danske reduktioner. Det gælder fx teknologier, som Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) og pyrolyse, der indfanger og lagrer CO₂. Klimarådet (2022) og Klima-, Energi-, og Forsyningsministeriet (2021b) vurderer, at skalering af CCUS-puljen har en skyggepris på ca. 1.350 kr./t. CO₂e, mens pyrolyse til lagring har en skyggepris på ca. 1.000 kr./t. CO₂e. Hvis 2030-målet skal opnås på en omkostningseffektiv måde, vil disse tiltag altså være bedre end reduktioner opnået med PtX-produkter.

Høje skyggepriser giver højere statsstøtte

Jo højere skyggeprisen på et ton CO₂e-reduktion er, desto større statsstøtte skal der forventeligt til for at gennemføre tiltaget. Skyggepriser kan betragtes som ekstraomkostningen ved tiltaget, frem for den nuværende fossile produktionsmetode. Forskellen i skyggepriser er derfor forskellen mellem at reducere et ton CO₂e på den ene og på den anden måde. Den forskel skal finansieres af enten producenten, forbrugerne eller gennem statsstøtte.⁸ For produktion af e-kerosen er der derfor en ekstraomkostning på ca. 2.200 kr./ton CO₂e (3.700 kr./ton - 1.500 kr./ton), sammenlignet med en generel CO₂e-afgift.⁹ Da det formentlig er de færreste producenter og forbrugere, der direkte vil betale ekstra for en bestemt type CO₂e-reduktion frem for en anden, vil størstedelen af ekstraomkostningen på 2.200 kr./ton CO₂e forventeligt skulle finansieres gennem statsstøtte.

Potentielt stor ekstraomkostning ved PtX

Hvis statsstøttet PtX-produktion vælges over andre klimatiltag, kan det ende med en stor regning for statskassen. Alene målet om grønne fly fra 2030 giver en ekstraomkostning på ca. 370 mio. kr. om året i 2030, ift. hvis reduktionen på godt 0,17 mio. ton CO₂e var sket gennem en CO₂e-afgift.¹⁰ På trods af at skyggeprisen er relativt lav for grøn brint til udlandet, kan produktionen af det også blive dyr, hvis det sker gennem finansiering fra den danske statskasse. Hvis hele den danske elektrolysekapacitet i 2030 går til grøn brint, der eksporteres, vil det kræve dansk statsstøtte på ca. 500-750 mio. kr. om året.¹¹ Dette er vel at mærke på PtX-produktion, der ikke bidrager til det danske 2030-mål.¹²

⁸ Statsstøtten finansieres dog som regel af skatter på forbrugere eller producenter, så lige meget hvad vil forbrugerne og producenterne stå med regningen.

⁹ Skyggeprisen på 3.700 kr./ ton CO₂e kan også holdes op mod den marginale CO₂-afgift for den ikke-kvotebelagte sektor i 2030, der bliver på 750 kr. / ton CO₂e (Finansministeriet, 2022). Dette vil give en ekstraomkostning på ca. 500 mio. kr. årligt (0,17 mio. ton CO₂e * (3.700 kr./ton CO₂e - 750 kr./ton CO₂e) = 500 mio. kr.).

¹⁰ Udregnet som den samlede CO₂-reduktion ganget med forskellen på, om reduktionen sker gennem grønne fly eller en CO₂e-afgift (0,17 mio. ton CO₂e * (3.700 kr./ton CO₂e - 1.500 kr./ton CO₂e) = 370 mio. kr.). Dette er den årlige meromkostning i 2030. De samlede omkostninger afhænger af hvornår PtX-produktionen idriftsættes. 0,17 mio. t. CO₂ er den forventede udledning fra hele den indenrigs luftfart i 2030, som var målet at omstille i Statsministerens nytårstale. Energistyrelsen (2021a) antager dog blot, at ca. 75 pct. af sektoren kan omstilles til at flyve på PtX-brændstoffer, svarende til 0,13 mio. t CO₂. Det er de 75 pct. og det tilsvarende brændstofforbrug, der ligger til grund for skyggeprisberegningerne. Beregningen på de 370 mio. kr. antager dermed, at hele sektorens udledning kan reduceres med en skyggepris svarende til reduktionen af de første 75 pct. af udledningerne. Hvis de sidste 25 pct. af reduktionerne bliver dyrere end de første 75 pct. (som det normalt antages), er resultatet på 370 mio. kr. derfor et underkantsskøn.

¹¹ Beregningen tager udgangspunkt i en ekstra omkostning på ca. 1.300 kr./t. brint, en energieffektivitet på brint på 120 GJ/t. brint, en PtX-produktion på 11,8 PJ/GW (svarende til samme produktionsforhold, som Energistyrelsen, 2021, bruger til produktion af brint til busser og lastbiler) og en nødvendig PtX-kapacitet på 4-6 GW i 2030.

¹² Hvis der i stedet tages udgangspunkt i, at hele det danske omkostningseffektive PtX-potentiale på lang sigt udnyttes i 2030, og det kun er overkapaciteten på PtX-produktionen på 2,2 til 4,2 GW, der bruges til eksport af grøn brint, vil meromkostningen blive lidt mindre. Meromkostningen vil i så fald ligge på ca. 270-525 mio. kr. om året i 2030, hvis eksporten af grøn brint erstatter grå brint, med skyggepriserne beregnet i Fejl! Henvissingskilde ikke fundet..

Boks 2.2 Beregning af skyggepriser

Beregningen af skyggepriser tager udgangspunkt i metoden fra Tværministeriel arbejdsgruppe (2013) og Klima-, Energi-, og Forsyningsministeriet (2021c).

Skyggeprisen beregnes på baggrund af følgende ligning:

$$P^{CO_2} = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{X_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{\Delta CO_2^t}{(1+r)^t}}$$

hvor P^{CO_2} er skyggeprisen for tiltaget. X beskriver summen af de samfundsøkonomiske nettoomkostninger (ekskl. CO_2 e-effekterne). Det vil sige forskellen mellem de samfundsøkonomiske gevinster og omkostninger. Heri ligger en antagelse om, at en merprisomkostning for PtX-produktet ift. det fossile brændstof skal finansieres gennem statsstøtte. Derfor ganges en skatteforvridningsfaktor på 1,1 på den prismæssige nettoomkostning. ΔCO_2 beskriver ændringen i CO_2 e-udledningen. r beskriver diskonteringsrenten og t er et tidsindeks.

Konkret for beregning af PtX-produkters skyggepris kræves, et kendskab til:

- Forventet fortrængning af CO_2 e.
- Energiforbrug i det brændstof, der fortrænges.
- Forventede omkostninger til PtX-produktet og det fossile brændstof i 2030.

I skyggeprisberegningerne i afsnit 2.2 er der som udgangspunkt kun regnet skyggepriser for produktionen af PtX-produktet. Der er derfor ikke medregnet omkostninger til infrastruktur og udskiftning af kapitalapparat (fx busser, lastbiler og skibe). I enkelte beregninger er der medregnet omkostninger til transporten. Derudover er skyggeprisen udregnet som både omkostninger og reduktioner i 2030, så tidsaspektet udgår fra ligningen, så den bliver følgende:

$$P^{CO_2} = \frac{X}{\Delta CO_2}$$

Eksempelberegning for e-kerosen til indenrigsluftfart

Skyggeprisen for e-kerosen er beregnet ved at bruge estimater fra Energistyrelsen (2021a) for, hvor meget indenrigsluftfart forventes at kunne reducere deres CO_2 e-udledning i 2030 vha. PtX-produkter (0,13 mio. ton CO_2 e), samt hvor stort et brændstofforbrug det drejer sig om (1,8PJ brændstof). Det giver en reduktion på 0,0072 ton CO_2 e/GJ PtX-produkt (0,13 mio. ton CO_2 e/1.800.000 GJ = 0,0072 ton CO_2 e/GJ).

Dernæst bruges forskellen i omkostninger på det nuværende fossile brændstof (103 kr./GJ) og PtX-produktet (345kr./GJ) fra Energistyrelsen (2021c). Denne forskel skal som udgangspunkt finansieres gennem øget skattebetaling, hvorfor der ganges en skatteforvridningsfaktor på 1,1 på de 242 kr./GJ (345 kr./GJ – 103kr./GJ = 242kr./GJ). Ekstraomkostningen for staten er dermed 266kr./GJ (242kr./GJ*1,1=266kr./GJ). Skyggepriser er der følgende:

$$P^{CO_2} = \frac{266kr./GJ}{0,072 \text{ ton } CO_2e/GJ} = 3.700kr./t. CO_2e$$

Kilde: Energistyrelsen (2021a), Energistyrelsen (2021c), Klima-, Energi-, og Forsyningsministeriet (2021c) og Tværministeriel arbejdsgruppe (2013).

2.3 Grøn strøm er essentielt for PtX-produktion

Grøn strøm er også en knap ressource i 2030

Grøn strøm er meget vigtig til produktion af PtX, og der kommer formentlig til at mangle grøn strøm i 2030. Flere aktører (se fx Klimarådet, 2022 og Kraka Advisory, 2022) vurderer, at Danmark med de nuværende udbygningsplaner for vedvarende energi og med PtX-ambitionen om 4-6 GW kapacitet, skal nettoimportere 13-23 TWh strøm i 2030.¹³ Den importerede strøm kommer fra de danske nabolande, hvor store dele af den marginale strømproduktion ikke forventes at være grøn i 2030. Energistyrelsen (2022a) estimerer, at 1 MWh ekstra dansk strømmimport i 2030 vil have en CO₂e-intensitet på ca. 260 kg grundet brugen af fossile brændstoffer i elproduktionen i udlandet. Det vil sige, at hvis strøminput til PtX-produktionen kommer fra øget strømmimport, vil det få udlandets udledninger til at stige med 3-6 mio. t. årligt i 2030, svarende til 7-13 pct. af de danske udledninger i 2021.

Grøn strøm vigtig for at PtX har en klimaeffekt

PtX-produktion er meget afhængig af, at strømmen er vedvarende, for at der er en klimaeffekt, jf. figur 2.3. Det skyldes, at energitabet ved konvertering er højt, og en lille del fossil energi i elmixet er derfor klimamæssigt meget værre ved PtX-produktion end ved direkte elektrificeret forbrug. figur 2.3 viser, hvordan CO₂e-fortrængningen fra forskellige PtX-produkter afhænger af CO₂e-intensiteten i elmixet. Her viser y-aksen, hvor meget CO₂e, PtX-produktet forventes at fortrænge pr. MWh el i input. X-aksen viser CO₂e-indholdet i elproduktionen, som PtX-produktet baseres på. Ved skæringen med y-aksen er strømmen helt grøn, så CO₂e-intensiteten er på 0. Skæringen med x-aksen viser den maksimale CO₂e-intensitet, der kan bruges i elmixet, før PtX-produktet udleder mere CO₂e i produktion, end det fortrænger i brugen af produktet. Jo længere til venstre virkemidlet ligger i figuren desto mindre CO₂e i elmixet skal der til, før tiltaget ikke har nogen klimaeffekt. Her ses det fx, at grøn brint til erstatning af grå brint bidrager til CO₂e-fortrængning, så længe CO₂e-intensiteten i elmixet er under 200 kg/MWh. For direkte elektrificering, fx skift fra gasfyr til varmepumpe, skal CO₂e-intensiteten være over 700 kg/MWh, før tiltaget ikke længere bidrager til CO₂e-fortrængning.

PtX-produktion kan føre til øgede udledninger i 2030

PtX-produktionen kan endda risikere at have en negativ CO₂e-fortrængning ved at udlede mere CO₂e i produktionen, end det ender med at fortrænge. Det er illustreret i figur 2.3, hvor PtX-produkterne skærer x-aksen til venstre for den lodrette, stiplede linje, der repræsenterer CO₂e-intensiteten i udlandets forventede marginalproduktion i 2030. Det vil sige, at den forventede udenlandske ekstraudledning fra øget strømforbrug er større end den CO₂e-fortrængning, som PtX-produktet giver.

CO₂-indhold afhænger af tid og alternativt brug

Det kan ikke med sikkerhed konkluderes, at 1 MWh øget strømforbrug til PtX-produktion i Danmark fører til 260 kg CO₂e-udledning i udlandet, da det bl.a. afhænger af, hvilke tidspunkter PtX-produktionen finder sted. Figuren illustrerer dog, at grøn strøm er essentielt for PtX-produktionen, da et relativt lille CO₂e-indhold i elmixet kan fjerne hele klimaeffekten. Derudover er det ikke nok, at strømmen til PtX-produktionen er grøn, for at produktionen er CO₂e-neutral. Det kræver også, at produktionen ikke bruger strøm, der alternativt kunne have været brugt til at fortrænge CO₂e andre steder i økonomien. Hvis PtX-produktionen blot fortrænger andre CO₂e-reduktioner, kan det også ende med at øge CO₂e-udledningerne.

PtX har lille klimaeffekt ved CO₂-indhold i el

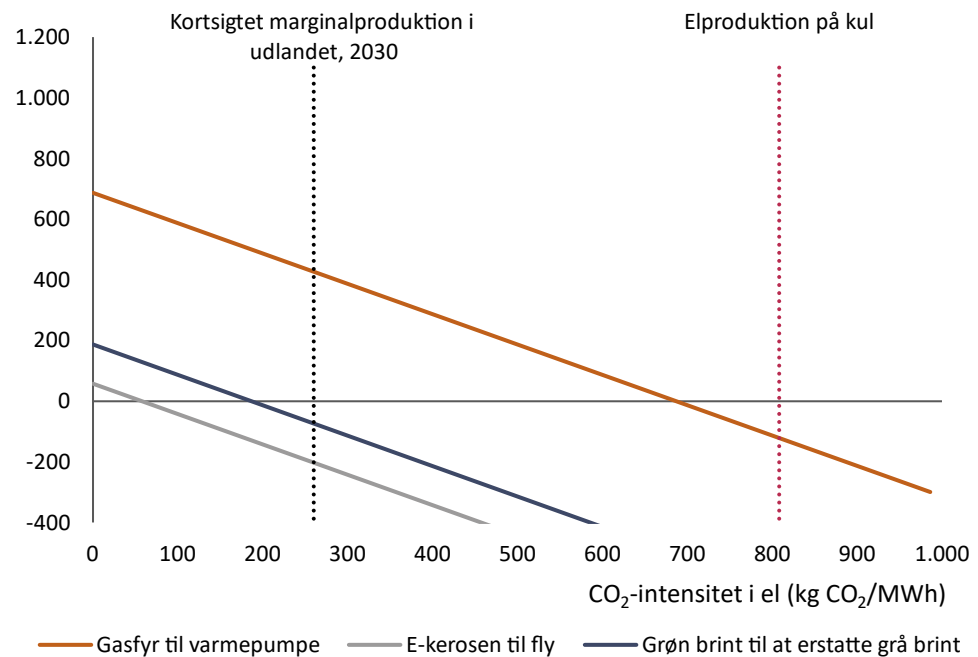
PtX-produktionen kan grundet højt energitab have en lille, og nogle gange negativ klimaeffekt, når det produceres på fossil strøm. Det står i kontrast til elektrificering, der ofte har en gavnlig klimaeffekt, på trods af et højt CO₂-indhold i strømmen. Dette er eksemplificeret i

¹³ Efterfølgende er der indgået en aftale om øget udbygning af havvindmøller, landvindmøller og solceller i forbindelse med "Aftale om et mere grønt og sikkert Danmark" (Regeringen, 2022b). Hvis disse udbygninger materialiserer sig, vil det lukke meget af strømmankoen inden 2030.

figur 2.3 med omstilling fra gasfyr til varmepumpe, mens Klimarådet (2022) viser tilsvarende for fx omstilling fra fossilbil til elbil. Hvis et mål er at bruge strømmen til at skaffe den største direkte CO₂e-reduktion, bør elektrificering derfor oftest vælges før PtX-produktion.

Figur 2.3 CO₂e-fortrængningspotentiale for udvalgte virkemidler ved forskellige elmix

Fortrængning
(kg CO₂/MWh)



Anm.: Figuren viser forholdet mellem CO₂e-fortrængning og CO₂e-intensitet i elmixet for forskellige virkemidler inden for PtX-produktion og direkte elektrificering, der øger elforbruget.

Kilde: Klimarådet (2022) og egne beregninger på baggrund af DTU (2022), Energistyrelsen (2022a), Energistyrelsen (2021a) og Wismann m.fl. (2019).

2.4 Der er mange udfordringer ved PtX-produktion

PtX-mål kan være ekstra benspænd

Den nuværende aftale om PtX-udvikling kan ende med at blive en ekstra forhindring ift. Danmarks klimalov og 70-pct.-målet i 2030. Skyggepriserne ved PtX-produktion er højere end mange alternative tiltag for at nå 2030-målet, og en stor PtX-produktion i 2030 går på kompromis med et af Klimalovens principper, der tilsiger, at den grønne omstilling skal gøres omkostningseffektivt.¹⁴

Eksport giver lavere skyggepriser, men hjælper ikke DK

Store dele af PtX-produktionen i 2030 og frem mod 2050 forventes at blive eksporteret. PtX-produkter til eksport har en lavere skyggepris, bl.a. grundet den fossile brintproduktion i andre europæiske lande. Eksporten af PtX-produktionen gavner dog ikke Danmarks 2030-mål, og siden skyggeprisen stadig er over 0, må det forventes, at PtX-produktionen til eksport vil kræve statsstøtte.

¹⁴ "Indfrielsen af Danmarks klimamål skal ske så omkostningseffektivt som muligt...", Klima-, Energi, og Forsyningsministeriet (2019).

PtX-produktion kan risikere ikke at have nogen klimaeffekt

PtX-produktion risikerer at have en meget lille klimaeffekt, hvis strømmen i produktionen, ikke har en tilstrækkelig lav CO₂e-intensitet. Det står i kontrast til direkte elektrificering, der ikke i samme grad stiller krav til lav CO₂e-intensitet i elmixet. Hvis der ikke udbygges mere vedvarende energi end forventet inden 2030, vil PtX-produktionen derfor kunne ende med at øge CO₂e-udledningerne.¹⁵

Klimaloven siger Danmark som foregangsland

PtX-produkter kan dog blive essentielle i omstillingen til et nulemissionsamfund, og et mål i Klimaloven er også, at Danmark skal være et foregangsland.¹⁶ Som foregangsland kan det være nødvendigt at lave dyre investeringer i forskning og udvikling af nye teknologier, før de bliver rentable. Derfor kan det også være en god ide for Danmark at investere i PtX for at understøtte industrialisering, skalering og reducere omkostningerne ved PtX-teknologien.

Er 4-6 GW PtX i 2030 for høj kapacitet?

Med tanke på, at potentialet for PtX-produkter i Danmark er relativt lavt i både 2030 og 2050, kan der sættes spørgsmålstegn ved om en PtX-kapacitet på 4-6 GW i 2030 er den rigtige størrelse. Det vil i hvert fald give en overkapacitet ift. den danske efterspørgsel. Om det skal gøres alligevel, bliver dog en politisk afvejning af, hvilke principper fra Klimaloven der sættes højest. Skal Danmark nå 2030-målet på en omkostningseffektiv måde, eller skal Danmark i høj grad bidrage som klimapolitisk foregangsland ved forskning og udvikling samt ved at hjælpe andre lande med at reducere? På den ene side kan det blive meget dyrt for Danmark at give statsstøtte til dansk PtX-produktion i så stor skala, at det mere end dækker den danske efterspørgsel, og dermed skal eksporteres. På den anden side kan Danmark som foregangsland godt vælge at påtage sig ekstra omkostninger for at hjælpe andre lande med deres grønne omstilling.

¹⁵ Et bredt politisk flertal har med "Aftale om et mere grønt og sikkert Danmark", øget planerne for udbygning af vedvarende energi (Regeringen, 2022b).

¹⁶ "Derfor skal Danmark være et foregangsland i den internationale klimainsats, som kan inspirere og påvirke resten af verden.", Klima-, Energi, og Forsyningsministeriet (2019).



3. Der er mange udfordringer ved PtX i stor skala

I dette kapitel gennemgås udfordringerne ved at bygge Power-to-X i stor skala. Bl.a. hvordan Power-to-X vil indgå i den eksisterende elinfrastruktur, behovet for strøm til anlæggene, samt hvilken infrastruktur, der skal opføres for at producere og distribuere brint og brintbaserede brændsler.



Centrale pointer

Der er flere hindringer for at bygge Power-to-X i stor skala. Det er ret dyrt at opføre et Power-to-X anlæg på nuværende tidspunkt. Desuden vil Power-to-X anlæg i stor skala påvirke den danske infrastruktur. Anlæggene skal fx bruge en massiv mængde grøn strøm. Til gengæld kan der være nogle gevinster for den danske energiinfrastruktur, hvis anlæggene placeres hensigtsmæssigt. På den baggrund har vi følgende konklusioner i dette kapitel:

Der er lang vej til de 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030

- Der findes ikke en stor Power-to-X-produktion i Danmark på nuværende tidspunkt. Det vil kræve, at teknologien bliver skaleret med mere end en faktor 400, hvis målet om 4-6 GW i 2030 skal nås.
- Prisen for anlæggene er lige nu meget høj. Det vil koste et anseeligt milliardbeløb at opføre den nødvendige kapacitet, hvis det skal bygges inden 2030. Dansk skalering kan muligvis udvikle teknologien hurtigere, og på den måde effektivisere og billiggøre den.

Udsættes Power-to-X skalering til 2050 kan der spares op til 20 mia. kr.

- Prisen på skalering af elektrolyseanlæg kommer til at falde væsentligt over tid. Der er 6-10 mia. at spare ved at vente 10 år med at opføre de store elektrolyseanlæg jf. Energistyrelsen
- Stor Power-to-X-produktion kræver store mængder grøn strøm. Vi er dybt afhængige af grøn strøm til mange ting i den grønne omstilling. Selvom Danmark netto vil producere nok strøm i 2030, kan det sandsynligvis være mere omkostningseffektivt at eksportere strøm end Power-to-X.

Det er stadig spekulativt, om Power-to-X er rentabelt

- Prisen på brint fra elektrolyse afhænger til dels af prisen på anlæggene og prisen på el. Jo flere timer anlæggene kører, jo mere afhængig er brintprisen af elprisen relativt til anlægsomkostningerne.
- Hvis anlægsomkostningerne ikke er tilstrækkeligt lave, og elprisen kun er meget lav i en meget begrænset periode, er det måske aldrig rentabelt at producere brint med Power-to-X.

En stor Power-to-X produktion kræver massiv ud- og ombygning af dansk infrastruktur

- Placeres Power-to-X-anlæggene tæt på energiproduktion, kan anlæggene aflaste en overbelastning på elnettet, og på den måde mindske behovet for forbedringer og udbygninger af elnettet, der er omkostningstungt.
- Power-to-X-anlæg kan muligvis bruges til at balancere nettet. Men det kommer dog med et trade-off, da produktionen vil være mindre og slide mere på anlæggene.
- Varme fra Power-to-X anlæg kan udnyttes i fjernvarmenettet, men det er muligvis mere hensigtsmæssigt at placere anlæggene langt væk fra byområder, hvilket gør det svært at udnytte overskudsvarmen ligesom hvis det placeres på en energiø.

3.1 Der er lang vej til PtX i stor skala

PtX-kapacitet skal skales massivt for at nå mål

Der skal ske meget de næste 8 år, hvis Danmark skal nå det politiske mål om 4-6 GW elektrolysekapacitet i 2030. Produktion af brint med elektrolyse findes ikke på kommercielt niveau i dag. Ifølge IEA's Hydrogen Project Database (IEA, 2021c) var der mindre end 10 MW samlet elektrolysekapacitet i Danmark i 2021. Den kapacitet skal altså skales op med mere end en faktor 400 for at nå det danske mål om 4-6 GW kapacitet i 2030.

De store anlæg kan bidrage markant til skalering

Men det betyder naturligvis også noget for skaleringen, hvis der bliver opført bare et værk i 100 MW eller 1 GW skala.¹⁷ Flere konsortier har meldt ud, at de ønsker at opføre anlæg i netop den størrelsesorden. Dog er ingen af de store projekter under konstruktion endnu (IEA, 2021c).¹⁸

Der er flere forhindringer for skalering af PtX

Der er flere årsager til, at det ikke er muligt at opføre 4-6 GW elektrolyseanlæg fra den ene dag til den anden. Det skyldes bl.a. prisen på selve anlægget, elprisen, den tilgængelige mængde strøm, og at der endnu ikke eksisterer en infrastruktur til fx brint. Det bliver behandlet i det følgende afsnit.

3.2 Det er omkostningstungt at bygge stor-skala anlæg

Det er dyrt at bygge PtX-anlæg...

Omkostningerne er en af de store udfordringer ved at få skaleret PtX-anlæggene, så de kan producere brint og brintprodukter på et kommercielt niveau. Det skyldes bl.a., at de nødvendige komponenter til et anlæg ikke laves i stor skala endnu. Det skaber usikkerhed om produktionsomkostningerne (IRENA, 2020). Hertil kommer usikkerheden ved at investere i et stort PtX-anlæg, fordi den type anlæg ikke tidligere er blevet bygget. De mange ubekendte faktorer samt usikkerhed om elprisen og fremtidig støtte driver sandsynligvis prisen på anlæggene op.

... men prisen falder sandsynligvis med forskning og skala

Der er dog forventninger om, at prisen på PtX-anlæg vil falde markant. Det skyldes for det første, at forskning og udvikling i teknologien kan gøre den mere effektiv. For det andet er der skalaeffekter ved at bygge store anlæg.¹⁹ Det betyder at investeringsomkostningerne pr. input falder, hvis anlægget bygges større. Det er dog ikke muligt at forudsæ den faktiske størrelsesorden på skalafordelene.

Det er svært at forudsæ udgifter til store PtX-anlæg

Derudover er prisen på materialer, der skal bruges til at fremstille anlæg, en anden ubekendt. Der findes tre forskellige teknologier til elektrolyse, der varierer i nødvendige materialer, temperatur og effektivitet, hvilket også påvirker produktionsomkostningerne til at producere brint. Afsnit 1.4 behandler forskellene på de tre teknologier mere dybdegående. Derudover vil anlæggene til videreforædling af brint også kræve forskellige metaller og andre materialer.

Dog forventes det, at prisen falder markant mod 2030

Energistyrelsen (2022b) forudsæ, at prisen for at opføre anlæg til elektrolyse vil falde på tværs af elektrolyseteknologierne frem mod 2030 og videre mod 2050. figur 3.1 viser et overblik over den forventede prisudvikling relativt til kapaciteten for de forskellige elektrolyseteknologier. AEC-teknologien er mest omkostnings- og energieffektiv sammenlignet med de andre teknologier, men der er forventninger om store prisfald for alle typer af

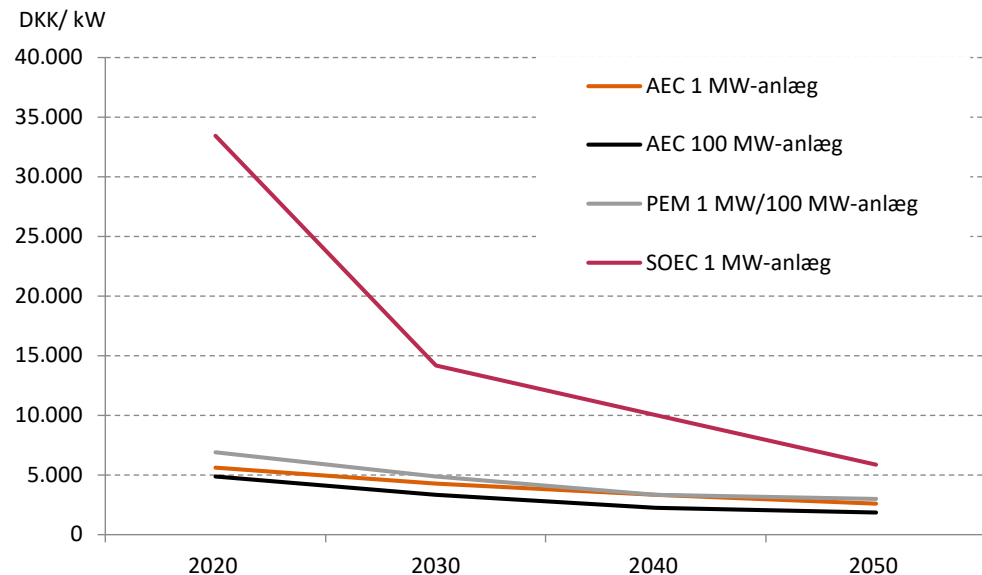
¹⁷ 1 GW = 1000 MW

¹⁸ De fremtidige projekter er enten på et niveau, hvor det undersøges om de kan gennemføres, eller ved investeringsbeslutningen.

¹⁹ IRENA (2020) fremhæver fx. hvordan anlægsomkostningerne kan være marginalt aftagende: "a compressor that is ten times larger (e.g. going from 1 MW to 10 MW) is not ten times more expensive, but only about four times".

teknologier. Særligt den dyreste teknologi, SOEC-teknologien, forventes at blive billigere over tid. Mens AEC og PEM findes i MW-skala, findes SOEC-teknologien endnu kun på kW-niveau, hvorfor udviklingen i prisen også må antages at være mere usikker (DTU, 2022).²⁰

Figur 3.1 Forventet prisudvikling for forskellige elektrolyseteknologier



Kilde: Energistyrelsen (2022b)

PtX-anlæg er en dyr investering

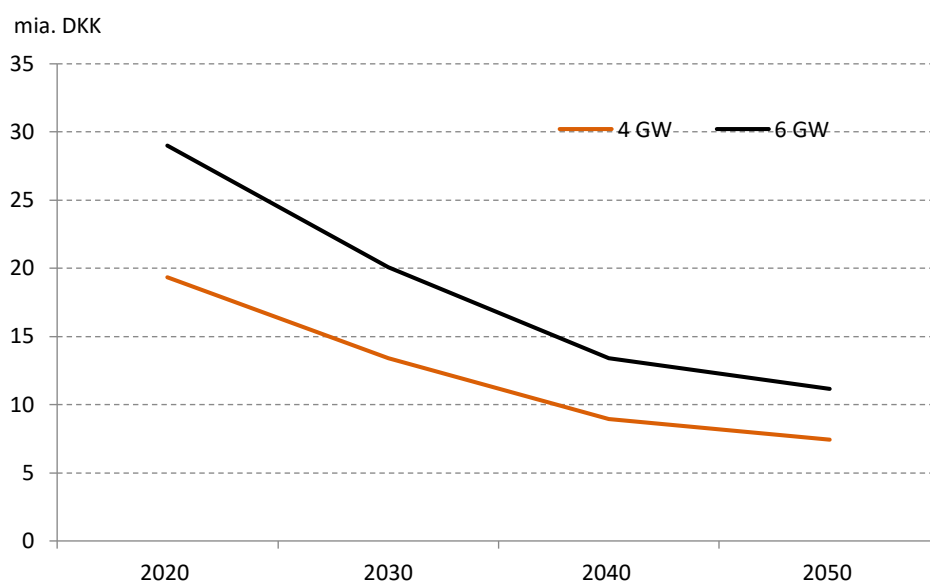
Vores beregninger viser, at der skal store investeringer til, hvis regeringens mål på 4-6 GW elektrolysekapacitet skal nås inden 2030. figur 3.2 viser investeringsbehovet i elektrolyseanlæg afhængigt af, hvornår de bygges. Figuren viser, at det samlede investeringsomfang er 13,4 – 20 mia. kr. for at nå i mål, hvis der udbygges udelukkende med 100 MW AEC-anlæg i 2030. Det svarer altså næsten til en Storebæltsbro eller de 27 nye F35-fly, der er blevet indkøbt til det danske forsvar. Det må forventes, men behæftet med en vis usikkerhed, at en yderligere skalering fra 100 MW til 1 GW anlæg vil gøre de samlede anlægsomkostninger mindre.

Hurtig skalering er en dyr investering

Der er en meromkostning ved at få opført anlæggene hurtigt. Det fremgår af både figur 3.1 og figur 3.2, at prisen for PtX-anlæggene er meget høj, hvis de skal opføres i dag. Der er umiddelbart 6-10 mia. kr. at spare i anlægsomkostninger ved at vente 10 år med at opføre anlæggene. Den ekstraomkostning skal vejes op mod en positiv klimaeffekt og en mulig indirekte effekt ved udvikling og demonstration af PtX i stor skala.

²⁰ 1 MW = 1000 kW.

Figur 3.2 Investering mia. kr. / GW input, 4-6 GW elektrolyseanlæg



Kilde: Energistyrelsen (2022b)

3.3 Både kapitalomkostninger, elpris og fuldlasttimer er afgørende for brintprisen

Den optimale produktionstid for PtX-anlæg er uklar

Det er også en vis usikkerhed om hvor mange timer, PtX-anlæggene skal køre. Det er der flere årsager til, men det relaterer sig primært til udviklingen af dansk elproduktion.

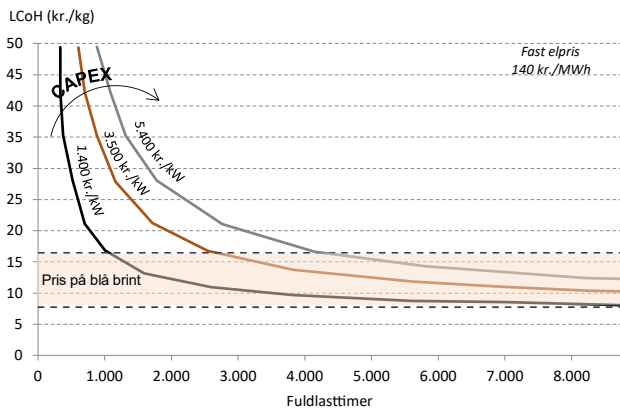
- For det første svinger prisen på el. Den vil svinge mere i et el-system, der primært er understøttet af vind- og solenergi. Eftersom PtX-anlæggene skal bruge store mængder strøm til produktionen, vil elprisen påvirke prisen på slutproduktet fra elektrolysen. Derfor kan det muligvis være billigere udelukkende at producere, når elpriserne er meget lave.
- For det andet er der en forventning om, at anlæggene kan bruges til at balancere elnettet. Det betyder, at der på meget kort tid skal skrues op og ned for elforbruget i anlæggene for at tilpasse efterspørgslen.

Der er et trade-off mellem produktion og elpris

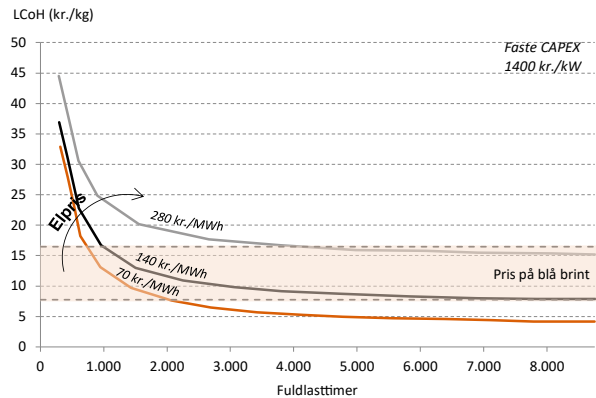
Den lavest mulige brintpris opnås ikke nødvendigvis ved kun at producere, når elprisen er meget lav. figur 3.3 viser, at omkostningerne for brint (LCoH) afhænger af både anlægsomkostninger og elpris. Der er et økonomisk trade-off mellem kun at lade anlægget køre, når strømmen er meget billig eller at producere brint en stor del af tiden, så brintsalget nemmere kan dække anlægsomkostningerne. figur 3.3.a viser, brintprisen kan blive meget høj, hvis anlægget kun kører i få timer, jo højere anlægsomkostningerne er, jo højere vil prisen være. figur 3.3.b viser hvordan den gennemsnitlige elpris til gengæld påvirker brintprisen mere, når anlægget kører i mange timer. Det fremgår også af figur 3.3 at den grønne brint ikke bliver rentabel sammenlignet med blå brint, hvis der er for få fuldlasttimer.

Figur 3.3 LCoH som funktion af antallet af fuldlasttimer

Figur 3.3.a LCoH ved forskellige niveauer af anlægsomkostninger



Figur 3.3.b LCoH ved forskellige niveauer af elprisen



Prisen på blå brint er inkl. Omkostninger til CCS. Elprisen er den pris, producenten køber strøm til.

Kilde: DTU (2022). IRENA (2020)

Gevinsten ved at lade PtX balancere elnettet er uklart

Det er ikke nødvendigvis rentabelt at udnytte PtX-anlæggene til at balancere elnettet. DTU (2022) vurderer, at det er teknisk muligt for elektrolyseanlæggene at levere de fleste balancetjenester, da anlæggene bør kunne respondere på forandringer inden for et minut. Men skal elektrolyseanlæggene udnyttes på den måde i elnettet, skal flere mekanismer overvejes. Hvis anlæggene kun kører på halvt blus, bliver produktion og indtægter også halveret. En fleksibel produktion vil også slide mere på anlæggets komponenter og mindske levetiden af anlægget. DTU (2022) vurderer desuden, at det er mere tids- og energitungt at tænde og slukke for de anlæg, der skal videreførædle brint til fx ammoniak eller e-kerosen. Derfor vil der være et betydeligt effektivitetstab ved at bruge disse anlæg til at balancere nettet.

3.4 PtX-skalering kræver også skalering i grøn strøm

PtX-ambitioner øger efterspørgsel efter grøn strøm

Regeringens mål om 4-6 GW elektrolysekapacitet stiller helt nye krav til produktion af grøn strøm. Energistyrelsen (2021d) estimerer, at danskerne vil efterspørge 64 TWh strøm i 2030. Her er PtX-målet ikke medregnet. Hvis de 4-6 GW elektrolysekapacitet tilføjes til efterspørgslen, vil den stige med yderligere 14-23 TWh, jf. figur 3.4.²¹

Der er politisk vilje til udbygning af grøn strøm

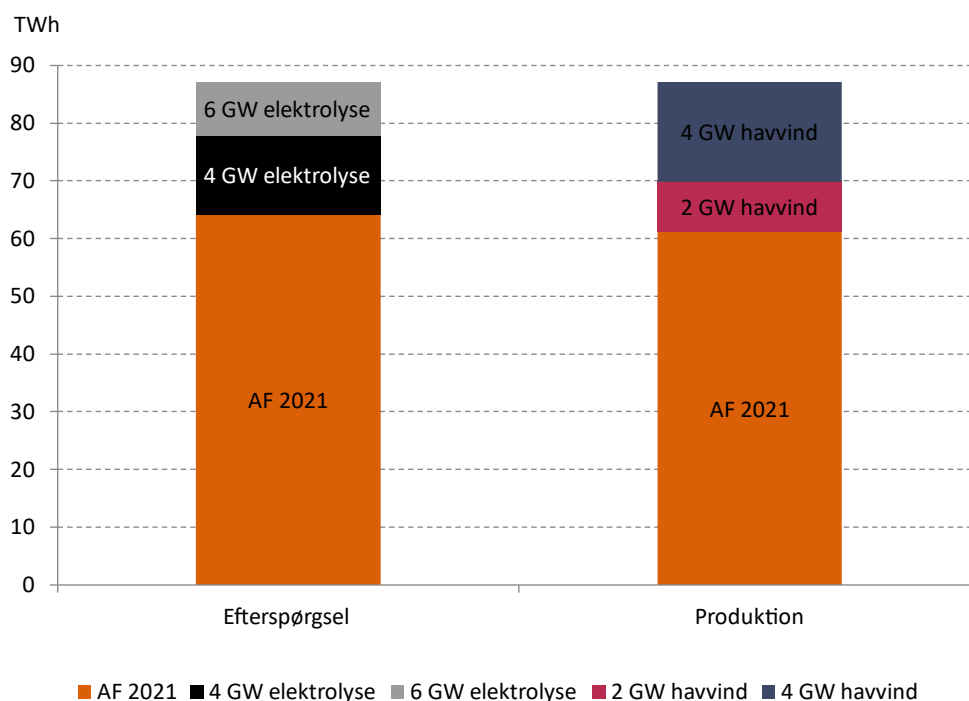
Der er planer om at udbygge den danske energiproduktion. Siden Energistyrelsen (2021d) udkom med fremskrivningen af elproduktion og -forbrug, er der både vedtaget udbygning af yderligere 2 GW havvind (Regeringen, 2021) og yderligere 4 GW ekstra havvind inden 2030 (Regeringen 2022b). Hvis det realiseres, er det umiddelbart lige muligt at dække den danske nettoefterspørgsel efter strøm i 2030, jf. figur 3.4.

Strøm til PtX er ikke nødvendigvis grøn i 2030

Men selvom det samlede elforbrug matcher efterspørgslen netto, bliver Danmark sandsynligvis stadig nødt til at importere strøm på nogle tidspunkter. Derfor bliver PtX-produktionen ikke nødvendigvis grøn, selvom dansk produktion dækker strømforbruget netto. Det er væsentligt, at strøm til PtX-produktion er grønt, for at PtX-produkterne har en klimaeffekt. Det er uddybet i afsnit 2.3.

²¹ Energistyrelsen (2021a) og (2021c) er umiddelbart inkonsistente i forventede antal fuldlasttimer. Energistyrelsen (2021c) antager at PtX-anlæggene vil have 3.000 fuldlasttimer, hvilket vil øge efterspørgslen med 9-15 TWh. Energistyrelsen (2021a) antager 4.600 fuldlasttimer, som denne beregning tager udgangspunkt i.

Figur 3.4 Efterspørgsel og produktion af el i 2030



Anm.: AF 2021 er en forkortelse af Analyseforudsætninger til Energinet. Det er en fremskrivning af udviklingen af det danske elnet frem mod 2040. I fremskrivningen er der allerede indregnet en elektrolysekapacitet på 1 GW med 5.000 fuldlasttimer. Dertil er der lagt 3-5 GW ekstra kapacitet med 4.600 fuldlasttimer oveni. Den ekstra strømproduktion fra den ekstra havvindmøllekapacitet er beregnet ved at antage 4.330 årlige fuldlasttimer, som er et vægtet gennemsnit af havvindmølleparkernes fuldlasttimer i 2030. Produktionen tager udgangspunkt i Energistyrelsens fremskrivninger og en tilføjelse af hhv. 2 GW og 4 GW havvind, der er vedtaget efter at fremskrivningen blev udarbejdet. AF21 er Energistyrelsens analyseforudsætninger til Energinet 2021.

Kilde: Energistyrelsen (2021d) og egne beregninger

3.5 PtX-produktion stiller mange krav til infrastruktur

Den grønne omstilling stiller nye krav til elnettet

Den vedvarende energi kommer også til at ændre både produktion og distribution af strøm i Danmark. Historisk er strømmen blevet produceret på store, centrale kraftværker. Men med vedvarende energikilder som vindmøller og solceller vil strømmen komme fra mindre, decentrale værker på land og store anlæg placeret langt ude på havet. Samtidig vil strømforsyningen fluktuere mere og være sværere at regulere på grund af skiftende vejrforhold.

De enkelte PtX-anlæg trækker på lokal elforsyning

De enkelte PtX-anlæg vil trække en del strøm, hvis de skal opføres i stor skala. Et 1 GW anlæg med 3000 fuldlasttimer vil skulle bruge 3 TWh strøm årligt.²² PtX-anlæggene vil dermed have en ret stor indvirkning på elnettet. Det er altså ikke helt ligegyldigt, hvordan anlæggene placeres på nettet. Regeringen (2022a) lægger op til, at det skal være muligt at have direkte forbindelser fra elproduktion, fx fra en havvindmøllepark, til et PtX-anlæg for at udnytte elnettet optimalt.

Placering af PtX-anlæg giver forskellige fordele

Der er forskellige muligheder i forhold til placering af de store PtX-anlæg. Placeringerne har forskellige fordele og ulemper. Placeres PtX-anlæggene tæt på byer, kan overskudsvarmen nemt udnyttes til fx fjernvarme, og der er forholdsvis kort vej fra produktion til forbruger.

²² Det svarer til elforbruget for ca. 600.000 parcelhuse på 140 m² med 2 voksne og to mindre børn, jf. Nordlys.

PtX-anlægget kan også placeres i umiddelbar forlængelse af, hvor en havvindmøllepark forbindes til land, en såkaldt indfødningszone. Det kan også have sine fordele, da anlægget kan aftage noget af strømmen, inden det sendes ud i elnettet. Det vil mindske behovet for udbygning og forstærkning af elnettet, som ligeledes er omkostningstungt.²³ En tredje mulighed er at opføre elektrolyseanlæg på havet i umiddelbar nærhed af en havvindmøllepark. Her ville der kunne spares dyre elledninger ind til land og i stedet bygge de noget billigere brintrør. Til gengæld vil produktionen sandsynligvis blive lidt dyrere, da opførsel og vedligehold er mere kompliceret på havet end på land. Se figur 3.5 for uddybning af fordele og ulemper ved de forskellige placeringer.

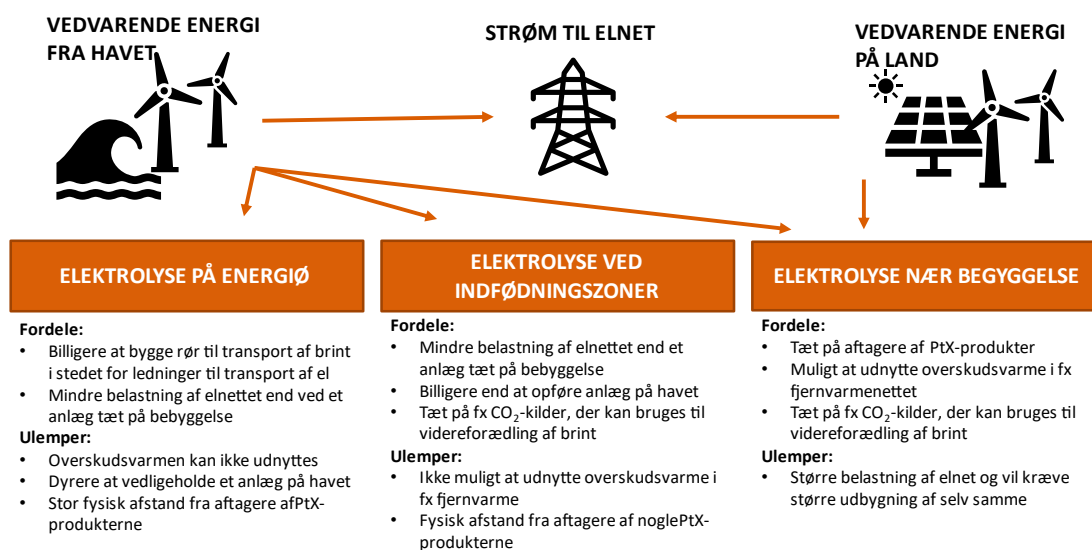
Mulig udnyttelse af varme fra brintproduktion

Det fremgår af PtX-aftalen, at overskudsvarmen fra PtX skal udnyttes hvis muligt (Regeringen, 2022a). Dog er det ikke sikkert, at PtX-anlæggene placeres tilstrækkeligt tæt på byerne til, at dette vil give mening. Overskudsvarmen kan muligvis udnyttes i industrien eller i andre processer relateret til PtX-produktion.

Brændsler med iblanding af CO₂ stiller flere krav

Udover adgang til strøm har produktion af PtX-brændsler med iblandet CO₂ brug for tilførsel af selv samme. Skal det syntetiske brændstof være grønt, er det nødvendigt at den anvendte CO₂ kommer fra en klimaneutral kilde, jf. afsnit 1.2. Der er flere måder at gøre det på, enten ved at transportere CO₂ fra punktkilder, at producere brint i nærheden af CO₂-punktkilder eller at have brint distribueret til punktkilderne.

Figur 3.5 Fordele og ulemper ved forskellig placering af PtX-anlæg

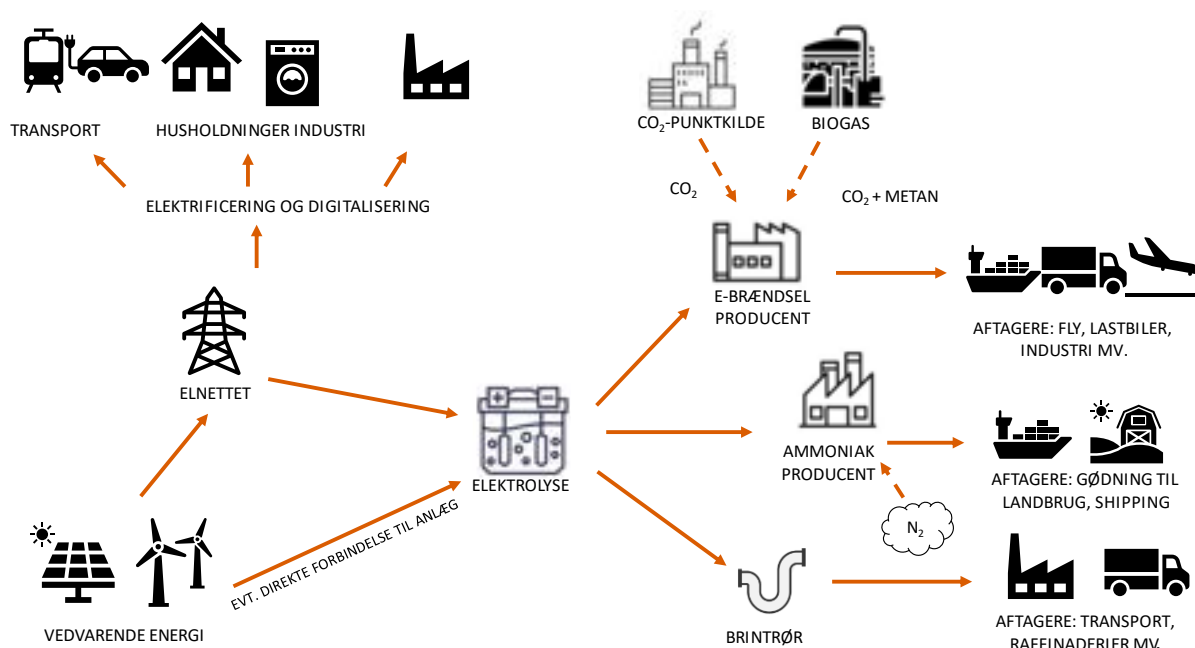


Det er brug for infrastruktur til brintdistribution

Skal det være meningsfuldt at have PtX i stor skala, skal det også være muligt at transportere outputtet, fx brint, ud til potentielle kunder. Der kan også være penge at spare ved at transportere brint rundt i stedet for store mængder strøm til brint. Kablerne til el er noget dyrere end gasledninger, jf. DTU (2022). Besparelsen ved brintrør i stedet for strømkabler er et andet argument for at placere PtX-anlæg tæt på fx vindressourcer, og så videredistribuerer energien som brint. Samtidig vil en rørinfrastruktur til brint kunne udnyttes som lager, så brinten kan produceres, når der er et overskud af strøm. figur 3.6 giver et overblik over nogle af de infrastrukturelementer, der skal være på plads for at have PtX i stor skala.

²³ Energistyrelsen (2021z) anslår at der brug for investeringer i eldistributionsnettet på 32-54 mia. kr. frem mod 2030. Det skyldes både nettets alder og de nye krav, der opstår på baggrund af både den grønne omstilling og teknologisk udvikling-

Figur 3.6 Infrastruktur til PtX i stor skala



3.6 Energiøen i Nordsøen spiller også en rolle for PtX-skalering

Energiøerne har betydning for PtX-produktion

De to danske energiøprojekter er tæt koblet med en fremtidig PtX-produktion. Det fremgår af Klimaaftale for energi og industri mv. at energiøerne skal bidrage til produktion af grønne brændsler med PtX (Finansministeriet, 2020).

Det er usikkert hvordan energiø og PtX spiller sammen

Det er uklart, om det er mest optimalt at placere PtX-produktionen til havs eller til lands. Fx lægges der op til, at der kan bygges PtX-anlæg ude på selve energiøen i Nordsøen (Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet (2021d). Sandsynligvis fordi der er forholdsvis mange penge at spare ved at have rørinfrastruktur i stedet for kabler fra en energiø til land (DTU, 2022). Men markedet har kun signaleret, at de ønsker at udbygge på land. Til gengæld skal de 3 største PtX-projekter på 1 GW, eller mere, ligge relativt tæt på en energiø.²⁴ På den måde bliver det også nemmere at aftage strøm direkte fra energiøerne. Se også figur 3.5.

Mange faktorer påvirker optimal placering af PtX

Den ideelle placering af PtX-produktion kan også variere alt efter hvilket brintprodukt, der skal fremstilles. DTU (2020) har undersøgt, om det giver bedst mening at have PtX-produktion på Bornholm eller at fragte strømmen til København og så lave PtX. De finder at den rene brintproduktion er billigere på Bornholm. Men fordi biogen CO₂ er en relativt begrænset ressource på Bornholm, vil produktion af brintprodukter med CO₂ være billigere i København.

²⁴ Høst (1 GW) og H2 Energy Europe (1 GW) skal ligge i Esbjerg og Green Fuels for Denmark (1,3 GW) skal ligge ved Kastrup.



4. Der er stor international interesse for PtX-teknologien

I det følgende kapitel gennemgås de internationale politiske målsætninger for Power-to-X-skalering og produktion, samt krigen i Ukraines betydning for selv samme.



Centrale pointer

Det er ikke kun i Danmark, at der er interesse for Power-to-X og grøn brint. Mange lande har udarbejdet egne Power-to-X-strategier og afsat store milliardbeløb til at realisere dem. Den store internationale interesse er heller ikke blevet mindre af Ruslands invasion af Ukraine, der har øget presset for at udbygge mere vedvarende energi og løsrive sig fra afhængigheden af russisk naturgas. På den baggrund har vi følgende pointer i dette kapitel:

Der er lang vej til brint bidrager med store globale reduktioner

- Hvis det nuværende forbrug af brint skulle laves med Power-to-X, skulle der opstilles 515 GW elektrolysekapacitet globalt. Lige nu er den globale kapacitet kun lidt over 0,2 GW.
- Derudover vil der komme en ny efterspørgsel efter brint i transporten. Skal den nuværende, danske indenrigs- og udenrigsflytrafik dækkes af Power-to-X, vil det alene kræve en Power-to-X-kapacitet på 6 GW.

Andre lande sætter markant mere ind på at blive førende inden for Power-to-X

- Flere lande, både i og uden for EU, viser stor interesse for at udvikle og skalere Power-to-X og brintbrug. Samtidig har mange lande afsat markant flere midler end Danmark til at nå kapacitetsmål i samme skala.
- De mange støttekroner uden for Danmarks grænser antyder ligeledes, at det er urealistisk at udbygge Power-to-X i stor skala uden massiv statsstøtte.

Dog er der internationale forventninger til dansk Power-to-X-udbygning

- Tyskland har en ambitiøs brintstrategi, men kan ikke producere efterspørgslen alene. Tyskerne har bl.a. indgået en aftale med danskerne om et samarbejde med brintinfrastruktur fra Jylland til Hamborg.
- Danmark har indgået et samarbejde med Holland, Tyskland og Belgien om massiv udbygning af havvind i Nordøen, der også skal bidrage til produktion af grøn brint.

4.1 Stor global efterspørgsel efter brint og brintbaserede produkter

Der eksisterer et stort globalt forbrug af brint

Det eksisterende, globale forbrug brint og brintbaserede stoffer er stor. International Energy Agency (2019) (IEA) anslår, at der globalt blev brugt 70 mio. ton brint uden iblanding i 2018. Brinten anvendes primært i raffinaderier og ammoniakproduktion til landbruget. Derudover blev der brugt 45 mio. ton brint iblandet andre stoffer, bl.a. i metanol. Den globale efterspørgsel forventes desuden at stige fremadrettet, også uden anvendelse af brint i fx den tunge transport (IEA, 2021c).

Produktion af brint udleder meget CO₂

Den globale brintproduktion udledte 830 mio. ton CO₂ i 2018, jf. IEA (2019). Det er mere end Tysklands samlede drivhusgasudledninger.²⁵ I dag udvindes brint primært fra naturgas og kul gennem processer, der udleder store mængder CO₂. Der udledes hhv. 10 og 19 kg CO₂ pr. kg produceret brint med naturgas og kul (IEA, 2019). Den resterende del af brinten produceres enten med olie, der også udleder betydelige mængder CO₂, eller ved elektrolyse.

PtX skal opskaleres massivt for at dække efterspørgsel

Derfor ville det kræve en massiv udbygning af den globale elektrolysekapacitet, hvis det internationale brintforbrug skulle dækkes af PtX-produkter. Skal den eksisterende forbrug af brint fremstilles af elektrolyse alene, ville det som minimum kræve en global elektrolysekapacitet på 515 GW. Lige nu er kapaciteten kun lidt over 0,2 GW, jf. DTU (2022).

Efterspørgsel i nye sektorer øger nødvendig kapacitet

Hvis den globale flåde af både busser, lastbiler, skibe og fly også primært skal drives af PtX-produkter i fremtiden, vil den nødvendige globale elektrolysekapacitet blive endnu større. Alene i Danmark vil det være nødvendigt med 6 GW elektrolysekapacitet for at bare dække energiforbruget i flytransporten med e-kerosen, jf. DTU (2022).²⁶ Hertil vil behovet for PtX-brændstof til busser, lastbiler og skibstransport komme oveni.

4.2 Mange lande har sat mål for PtX

Flere lande har fået øjnene op for brint som klimaløsning

Det er ikke kun i Danmark, at der er stigende interesse for PtX. Det skyldes til dels at nogle lande har et stort forbrug af brint og brintbaserede produkter, som kun forventes at sige i fremtiden. Men det skyldes også, at det er også en stor global udfordring at reducere udledningerne i den tunge transport. IPPC (2022) anslår at transport stod for 23 pct. af de globale CO₂e-udledninger i 2019.

Fælleseuropæiske ambitioner for grøn brint

EU har fastlagt en strategi for udbygning af PtX. Strategien indeholder et mål om produktion af 10 mio. ton bæredygtig brint og import af yderligere 10 mio. ton i 2030. Der skal investeres i en europæisk brintinfrastruktur, kaldet *European Hydrogen Backbone*, og arbejdes på stærke brintforbindelser til bl.a. Nordafrika, jf. EU-Kommissionen (2022a). Målet er i øvrigt blevet sat op fra totalt 5,6 mio. ton brint efter Ruslands invasion af Ukraine, jf. EU-Kommissionen (2022a).

Flere europæiske lande har PtX-strategier

Flere af EU's medlemslande har også planer for PtX-udbygning og har afsat anseelige beløb til skalering af brintproduktion. Det gælder fx Tyskland (5 GW i 2030), Frankrig (6,5 GW i 2030) og Holland (3-4 GW i 2030), jf. tabel 4.1. Tyskland har afsat flest penge til skalering, 67 mia. kr. i alt, mens Holland har afsat ca. en halv milliard kr. årligt.

²⁵ Som var på 739 mio. ton i 2020 (Umwelt Bundesamt (2021)).

²⁶ De 6 GW elektrolysekapacitet vil dække brændstof til både nationale flyvninger i Danmark og det danske bidrag til den internationale luftfart, betegnet som tankninger for både danske fly, der flyver udenlandsk og udenlandske fly, der tankes i Danmark, jf. Energistyrelsen (2022e)

De danske PtX-mål er det største i EU

Relativt til landets størrelse har Danmark de største ambitioner for PtX-udbygning frem mod 2030. Der bor over ti gange så mange mennesker i Tyskland og Frankrig som i Danmark, men PtX-ambitioner er sammenlignelige. Til gengæld er der på nuværende tidspunkt ikke afsat særlig mange midler til udbygning i Danmark sammenlignet med de EU-lande, der vil udbygge PtX i den samme størrelsesorden.

Ambitioner om PtX-udbygning uden for EU's grænser

Det er ikke kun i EU-landene, at der er ambitioner om at udbygge brintproduktionen. Uden for EU's grænser har bl.a. Norge, Storbritannien, Australien, Canada, Chile, Japan og Korea mål for udvikling og udbygning af grøn brint, jf. tabel 4.1. Af disse lande har Chile det mest ambitiøse mål med 25 GW elektrolysekapacitet i 2030.

Tabel 4.1 Oversigt over udvalgte landes 2030-mål for elektrolysekapacitet

Land	2030-mål for elektrolyse, GW	Afsatte midler, mia. kr.	Elektrolysemål, GW/mio. personer
Danmark	4-6	1,25	0,68 - 1,02
Udvalgte EU-lande			
Frankrig	6,5	54,0	0,10
Tyskland	5	67,0	0,06
Spanien	4	12,0	0,09
Holland	3-4	0,52 årligt	0,17 - 0,23
Portugal	2-2,5	6,7	0,20 - 0,25
Udvalgte lande uden for EU			
Norge	-	0,15	-
Storbritannien	5 GW	9	0,08
Australien	-	6,5	-
Canada	-	0,14	-
Chile	25 GW	0,35	1,45
Japan	-	40	-
Sydkorea	-	14,5	-

Anm.: Både Hollands, Storbritanniens, Canadas, Japans og Sydkoreas mål indeholder også produktion af brint med naturgas og carbon capture. Både Japan og Sydkorea har et mål om 15 GW kapacitet i 2040.

Kilde: Regeringen (2022a), IEA (2021) og Dansk Energi (2020).

4.3 Krigen i Ukraine har fremrykket europæiske brint-ambitioner

Ukrainekrig skubber til EU's energipolitik

Da Rusland invaderede Ukraine i starten af 2022, ændrede det de energipolitiske prioriteter i EU. Hvor naturgas tidligere på året blev vurderet til at være en grøn overgangsteknologi af EU-Kommissionen (2022b), er det blevet en europæisk topprioritet at løsryde EU fra afhængigheden af russisk naturgas (EU-Kommissionen, 2022a).

Plan for uafhængighed af russisk gas med PtX

I løbet af foråret har EU-kommissionen udarbejdet REPower EU, der indeholder en plan for, hvordan EU kan blive uafhængig af fossile brændsler fra Rusland. Det skal ske gennem en kombination af energibesparelser, alternative naturgasleverandører, accelereret udbygning af vedvarende energi. Her indgår målet om produktion af 10 mio. ton bæredygtig brint. Derudover har EU sat et mål om at være uafhængige af russiske fossile brændsler før 2030 (EU-Kommissionen, 2022a), hvor produktion og forbrug af grøn brint kommer til at spille en afgørende rolle.

**Energi fra Nordsøen
skal også bruges til
brint**

Offshore vind fra Nordsøen skal også bidrage til øget PtX-produktion. Den samme dag som REPower EU blev offentliggjort, var der Nordsøtopmøde i Esbjerg, hvor statsoverhovederne fra Danmark, Belgien, Holland og Tyskland, samt formanden for EU-Kommissionen, mødtes for at fremlægge en fælles strategi for udbygning af havvind i Nordsøen. Strategien har til formål at bidrage til både uafhængighed af russisk gas og reduktion af CO₂e-udledninger. Udover en ambition om 65 GW havvind i Nordsøen i 2030, er det også en ambition at have 20 GW elektrolysekapacitet i de 4 lande (Statsministeriet, 2022).

Boks 0.1 Tyskernes brintambitioner er tæt koblet til danske ambitioner

Tyskland lancerede en brintstrategi i 2020. Først og fremmest er ambitionen at skabe forbrug af grøn brint. Både i eksisterende og ny industri. Den grønne brint skal både reducere tyskernes egne udledninger og skubbe til udbredelsen af brintbrug i andre lande.

I strategien bliver det anerkendt, at tyskerne ikke er i stand til at producere deres eget forbrug selv. Derfor er en del af strategien også at arbejde på gode aftaler om import. De forventer, at forbruget vil være 90-110 TWh brint (eller ca. 2,5 – 3 mio. ton brint).

Det fremgår ikke direkte af den tyske brint-strategi, at tyskerne ønsker at importere grønt brint fra Danmark. Det fremgår dog, at Tyskland ønsker at styrke samarbejdet om brint med lande, som grænser til Nord- og Østersøen. Derudover ønsker Tyskland også at styrke importen fra lande uden for EU.

Der er dog alligevel indikationer for, at det forventes, at Danmark skal levere en del brint til Tyskland:

- I foråret 2021 blev der igangsat en forundersøgelse af mulighederne for at etablere brint-infrastruktur fra Holstebro til Hamborg mellem den danske netoperatør Energinet og den tyske ækvivalent Gasunie. Det skal laves med henblik på at udnytte danske vindressourcer til at lave brint til det tyske marked.
- Der er også lavet en hensigtserklæring mellem Danmark og Tyskland om *samarbejde om at analysere fælles- og hybride offshore energiprojekter mellem de to lande*. Hensigtserklæringen fastslår, at de to lande vil samarbejde om at udbygge brint-infrastruktur. De skal have fokus på:
 - Regulatoriske rammevilkår
 - Fremrykning af udbygning af brintinfrastruktur
 - Arbejde for sektorkobling, fx til varmesektoren
 - Grøn brint til eksisterende markeder som stål- og ammoniakproduktion
 - Støttepolitik, der øger produktion af grøn brint

Kilder: Bundesregierung (2020), Energinet (2021) og Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2020)

4.4 De danske PtX-ambitioner i en international kontekst

Danske PtX-mål skiller sig ud

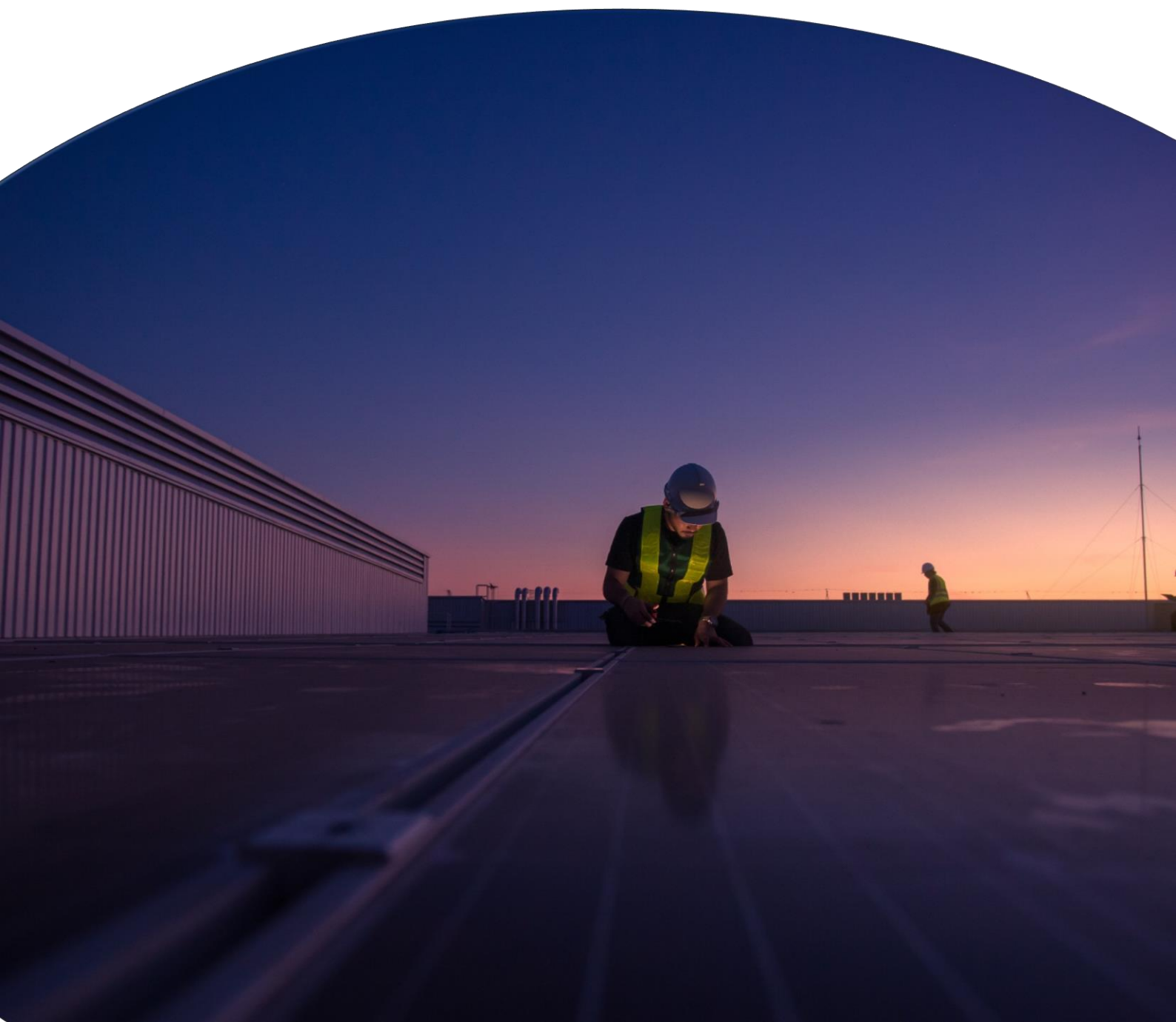
De danske PtX-ambitioner ligger i en yderposition, hvor målet relativt er enormt højt, mens der er afsat meget få midler. Mange lande har fået øjnene op for, hvordan grøn brint kan bidrage til den grønne omstilling. Det kan naturligvis være, at der afsættes flere offentlige midler til PtX på sigt. Men der er også en mulighed for, at PtX-produktion i Danmark vurderes særlig attraktiv på grund af den nemme adgang til grønne strømrressourcer.

Store forventninger til dansk brintproduktion

De europæiske PtX-planer antyder, at Danmark forventes at producere en forholdsvis stor mængde brint. EU-kommissionen lægger op til, at meget af den grønne strøm til PtX skal komme fra havvind fra Nordsøen. Selvom der også er andre lande, der grænser op til Nordsøen, har Danmark forpligtet sig til at udbygge en relativt stor del af den samlede mængde havvind. Ligeledes er der aftaler om brintinfrastruktur fra Danmark rundt til resten af EU, samtidig med at de danske ambitioner for dansk PtX-kapacitet langt overgår et muligt dansk forbrug.

5. Drøftelse af argumenterne i aftalen om Power-to-X

Dette kapitel undersøger de politiske argumenter, der ligger til grund for en stor skalering af Power-to-X. Både i hvor høj grad Power-to-X kan bidrage til danske og internationale reduktionsmål, samt hvilken rolle Danmark spiller som foregangsland og om Power-to-X-produktion fremmer dansk erhvervspotentiale.



Centrale pointer

Den 15. marts 2022 blev der besluttet en politisk aftale om udvikling af grønne Power-to-X-brændstoffer. Denne aftale lægger vægt på tre primære argumenter for, hvorfor Danmark skal investere i Power-to-X-produktion. For det første skal Power-to-X-produktionen bruges til at opnå egne klimamål. For det andet skal Power-to-X-produktionen bruges til at udvikle selve teknologien til gavn for resten af verdenen og bidrage til de internationale CO₂e-reduktioner. For det tredje skal Power-to-X-produktionen i Danmark bruges til at fremme dansk industri og eksport inden for Power-to-X. Vi tester disse tre argumenter og kommer frem til følgende centrale pointer:

Power-to-X-produkters bidrag til danske reduktioner er dyr og begrænset

- Energistyrelsen vurderer, at Power-to-X-produkter i 2030 maksimalt kan reducere 4 pct. af udledningerne fra 2021 og i 2050 maksimalt kan reducere 8 pct. af udledningerne i 2021.
- Power-to-X-produkters bidrag til det danske 2030-mål er dyrere end alternative metoder til at reducere CO₂e-udledningerne, hvormed 2030-målet ikke opnås på en omkostningseffektiv måde.

Den store værdi af dansk bidrag til Power-to-X ligger i udvikling af teknologi

- Meget af den danske Power-to-X-produktion kan formentlig bidrage til internationale reduktioner – både i sektorer med og uden fastlagte mål.
- Bidraget til internationale reduktioner kan dog medføre lækage, der mindsker klimaeffekten.
- Den store klimagevinst fra de danske investeringer i Power-to-X vil formentlig primært komme fra en udvikling af teknologien, der nedbringer omkostningerne og gør Power-to-X-produktionen konkurrencedygtig internationalt.

Danmark kan have en fordel i Power-to-X-produktionen, men det er uvist om den danske produktion gavner danske virksomheder

- Eksportpotentialet for danskproduceret, grøn brint til det tyske marked er stort, og Danmarks geografiske potentiale giver gode muligheder for at være konkurrencedygtige på det tyske marked.
- Power-to-X-produktion i Danmark gavner dog ikke nødvendigvis danske virksomheder, da produktionen i Danmark lige så vel kan foretages af udenlandske virksomheder, der dermed får forankret viden og knowhow i deres virksomheder

Stor konkurrence om PtX-produktionen

Som vist i afsnit 4.2 er der mange andre lande, der ligesom Danmark har ambitiøse planer for PtX-produktion. De mange landes ambitiøse planer kan resultere i en stor konkurrence på området. Nogle af de lande er bl.a. en række af Danmarks nabolande. Konkurrencen med nabolandene kan specielt komme til udtryk, hvis det grønne brint skal transporteres i rør over kortere afstande fremfor på skibe.²⁷

Hvorfor skal Danmark producere PtX?

Med den store konkurrence in mente, kan der sættes spørgsmålstegn ved, om Danmark overhovedet skal være en del af kapløbet for at udbygge PtX-kapacitet og opskalere PtX-produktionen. PtX-strategien indeholder tre argumenter for, at Danmark skal investere i PtX-produktion (Regeringen, 2022a). For det første skal det hjælpe med opnåelse af de nationale mål. For det andet skal Danmark som foregangsland understøtte den teknologiske udvikling og bidrage til andre landes reduktioner. For det tredje skal PtX-produktionen blive til et eksporteventyr, der fremmer danske erhvervsinteresser. Disse tre argumenter gennemgås i dette kapitel.

5.1 Første argument: PtX skal bidrage til opnåelse af de nationale mål

PtX kan bidrage til nationale mål, men kun begrænset

PtX kan være en del af løsningen på Danmarks nationale mål, men kun i begrænset omfang. figur 2.1 viser, at PtX-produkter i 2030 maksimalt kan forventes at bidrage med en reduktion på 1,9 mio. ton svarende til ca. 4 pct. af udledningerne i 2021 (Energistyrelsen, 2022c). Flere af PtX-produkterne forventes først at spille en afgørende rolle frem mod Danmarks nulemissionsmål i 2050. Energistyrelsen (2021a) forventer, at PtX-produkters potentiale for CO₂e-reduktioner i Danmark i 2050 er på 3,5 mio. ton årligt, svarende til knap 8 pct. af de danske CO₂e-udledninger i 2021 på ca. 45 mio. ton CO₂e (Energistyrelsen, 2022c).

Nationale PtX-reduktioner er dyre

Mange af de danske CO₂e-reduktioner gennem PtX er relativt dyre ift. alternative virkemidler. Skyggepriserne i afsnit 2.2, viser bl.a. at ambitionen om grønne fly i 2030 har en skyggepris på 3.700 kr. /t CO₂e.²⁸ Som vist i afsnit 2.2 svarer det til en statslig meromkostning på ca. 370 mio. kr. om året i 2030 ved at vælge grønne fly som redskab til at reducere Danmarks CO₂e-udledninger i stedet for at hente reduktionerne andre steder i økonomien gennem en CO₂e-afgift, der er det mest omkostningseffektive redskab. De laveste PtX-skyggepriser findes på grøn brint til erstatning af grå brint i den europæiske industri, men den produktion reducerer ikke de danske CO₂e-udledninger.

Produktionen går til mere end eget forbrug

Det relativt begrænsede potentiale for brug af PtX-produkter i Danmark giver sammen med ambitiøse planer for PtX-produktion i Danmark, en forventning om at store dele af produktionen eksporteres. De PtX-produkter, der eksporteres, bidrager således ikke til opfyldelse af danske mål. I stedet bidrager de til andre landes nationale mål eller til reduktioner i international luft- og skibstransport, hvor der endnu ikke er fastlagt centrale reduktionsmål. Hvis eksport af PtX-produkter er målet, kan der som tidligere beskrevet, være stor lækageeffekt, jf. boks 2.1.

²⁷ Når transporten sker gennem rør, er omkostningerne relativt lave over korte distancer, og relativt høje over lange distancer. Det gør, at konkurrencen til Danmark i høj grad stammer fra nabolande (se fx Hampp m.fl. (2021). Omvendt er skibstransport over lange afstand ikke meget dyrere end over korte.

²⁸ Skyggepriserne angiver de samfundsøkonomiske nettoomkostninger for at reducere ét ton CO₂e.

5.2 Andet argument: Danmark skal være et foregangsland

Der er mange måder at være et foregangsland på

Danmark kan med sin PtX-produktion være et foregangsland på mange måder. For det første kan den danske PtX-produktion bidrage til at udvikle teknologien, så den kan blive brugbar i større skala. For det andet kan den danske PtX-produktion medvirke til at reducere omkostningerne, hvilket kan gøre PtX-produkter konkurrencedygtige og understøtte industrialisering af markedet. For det tredje kan den danske PtX-produktion bruges til direkte at reducere de globale CO₂e-udledninger. Disse tre typer bidrag er uddybet nedenfor.

Foregangsland måde 1: Udvikle teknologien

PtX-produkter kan blive en fremtidig grøn løsning de steder, hvor elektrificering er svær. Udvikling af PtX-teknologien kan derfor blive helt afgørende for at Danmark og resten af verden i fremtiden kan opnå et nulemissionssamfund. Her kan Danmark som foregangsland gå forrest i udvikling af PtX-teknologien og demonstrere skalering, som gør det muligt at bruge teknologien både nationalt og internationalt.

Foregangsland måde 2: Reducere omkostningerne

Hvis Danmark går forrest i udvikling af teknologien, kan det også bidrage til at reducere omkostningerne og gøre PtX til et omkostningseffektivt virkemiddel i den grønne omstilling i hele verden. De danske udledninger er relativt begrænsede ift. resten af verden, og den største globale klimaeffekt kan derfor komme ved, at danske projekter bruges til at reducere omkostningerne ved PtX-produktionen og understøtte industrialiseringen af markedet.

Foregangsland 3: Nedbringe andres emission

Den danske PtX-produktion kan både hjælpe med at nedbringe andre landes CO₂e-udledninger og hjælpe med at nedbringe CO₂e-udledningen på markeder, hvor der lige nu ikke er sat nogle mål. Det kunne fx være i international skibs- og lufttrafik, der på nuværende tidspunkt ikke er underlagt nogle centralt fastsatte reduktionsmål, men som stadig skal omstilles, hvis vi skal nå et nulemissionssamfund. Her forventes PtX-produkter at spille en essentiel rolle i fremtiden, og Danmark kan bidrage med reduktioner på det marked. Planen om at hjælpe andre lande med reduktioner kan dog potentielt give lækage, som beskrevet i boks 2.1.

Foregangslande kan gavne klimaet

Teknologiudvikling, omkostningsreduktion og bidrag til internationale reduktioner er de primære grunde til, at det fra et klimamæssigt synspunkt kan give mening, at Danmark er et af de lande, der går foran i PtX-produktionen. Disse grunde kan alle tre hjælpe på den grønne omstilling internationalt og derigennem gavne klimaet. Det er uklart, hvor store de globale klimaeffekter bliver, og det afhænger også af, hvordan PtX-produkterne bruges. Om den gavnlige, globale klimaeffekt står mål med de nationale ekstraomkostninger ved at være foregangsland, er en politisk afvejning.

5.3 Tredje argument: Det fremmer Danmarks erhvervs- og eksportpotentiale.

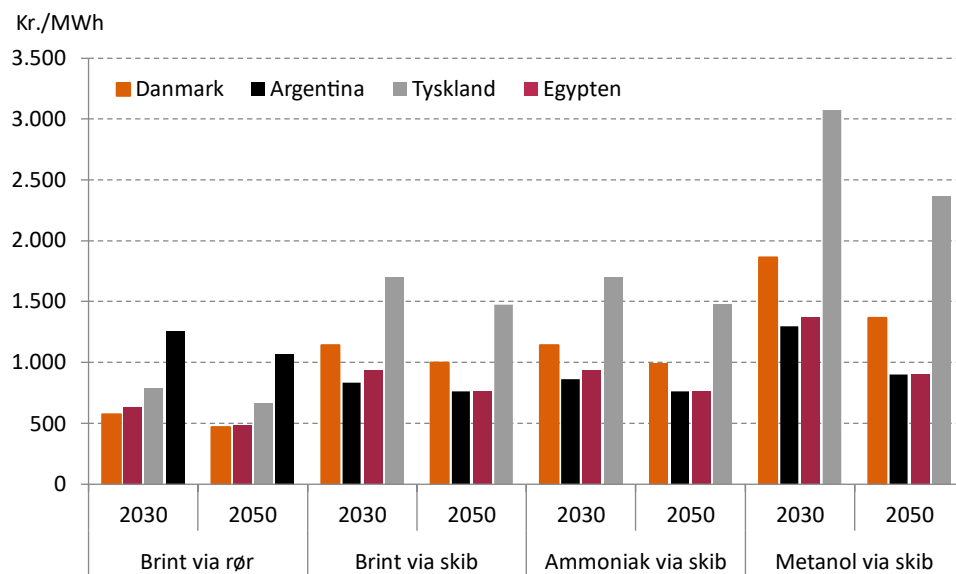
Fremme dansk eksport og danske virksomheder

Det sidste argument handler om at fremme danske erhvervsinteresser og sikre dansk eksport. Argumentet hænger sammen med ambitionen om en stor skalering af PtX-kapaciteten på 4-6 GW, der langt overstiger den danske efterspørgsel. Om Danmark kan blive et stort eksportland, der på sigt kan eksportere på markedsmæssige vilkår uden offentlig støtte, afhænger bl.a. af, om Danmark har nogle fordele i produktionen frem for andre lande.

Danmark kan have en fordel på det tyske brintmarked

Danmark har nogle omkostningsfordele i produktion og transport af grøn brint til det tyske marked, jf. figur 5.1. Figuren viser, at Danmark kan producere og levere brint til det tyske marked med lavere omkostning end mange andre lande.²⁹ Omkostningen for danskproduceret brint forventes at være 575 kr./MWh i 2030 og 470 kr./MWh i 2050, hvis det leveres gennem en rørforbindelse. Det er betydeligt billigere, end hvis Tyskland selv skal producere den grønne brint, eller hvis andre lande, fx Argentina eller Egypten, skal eksportere det til Tyskland enten gennem rør eller ved shipping.³⁰

Figur 5.1 Omkostninger til eksport af PtX-produkter til Tyskland for udvalgte lande



Anm.: Figuren viser omkostninger ved eksport af PtX-produkter til Tyskland for Danmark (DK), Argentina (AR), Egypten (EG) og hvis Tyskland (DE) selv producerer produktet. Beregningerne er lavet med Greenfield-metoden, hvilket betyder, at der ikke er taget eksisterende infrastruktur med i beregningerne, men at hele infrastrukturen skal bygges fra bunden. Der er antaget en weighted average cost of capital (WACC) på 10 pct. p.a.

Kilde: Egne beregninger på baggrund af Hampp m.fl. (2021)

Danmark er dyrere ved skibstransport af PtX-produkter

Når PtX-produkter skal transporteres med skib til Tyskland, mister Danmark derimod sin omkostningsmæssige fordel over de andre lande, jf. figur 5.1. Det er uanset om PtX-produktet er brint, ammoniak eller metanol. Her er det Argentina, der har de laveste omkostninger.

Ingen sikkerhed for at det bliver danske producenter

Selvom figur 5.1 indikerer, at dansk brintproduktion til det tyske marked, kan være omkostningseffektivt, giver dansk produktion dog ingen sikkerhed for, at det er danske virksomheder, der producerer brinten. Hvis det er udenlandske virksomheder, der producerer brint i Danmark, kan det potentielt sikre statsindtægter fra eksport af brint, hvis altså produktionen sker uden statsstøtte. Ligeledes kan produktionen i Danmark bidrage med vidensdeling, der kan gavne Danmark. Hvis det er en udenlandsk virksomhed, der producerer, vil det dog ikke forankre viden fra forskning og udvikling i en dansk virksomhed, der kan eksportere koncept og skalering til udlandet.

²⁹ Bundesregierung (2020) forventer en brintefterspørgsel i Tyskland på 90-110 TWh i 2030. Til sammenligning forventer de, at de 5 GW elektrolysekapacitet i Tyskland giver 14 TWh brint i 2030. Til at producere den fulde efterspørgsel kræver det derfor 30-40 GW PtX-kapacitet med en produktion svarende til den tyske. Den tyske efterspørgsel overstiger dermed med længder, hvad der er muligt at producere af brint i Danmark i 2030.

³⁰ Hampp m.fl. (2021) beregner omkostningerne for landene Argentina, Australien, Tyskland, Danmark, Egypten, Spanien, Marokko og Saudi Arabien. Vi vælger, at fokusere på Tyskland, Danmark, Argentina og Egypten, da det er de lande med de laveste omkostninger på tværs af PtX-produkterne.

Selv med en omkostningsfordel kræver det støtte

På trods af at Danmark forventeligt har en omkostningsmæssig fordel ved produktion af grøn brint, ventes den danske produktion stadig at kræve statsstøtte i 2030, jf. tabel 2.1, der viser en positiv skyggepris på brintproduktion. Den støtte kan være nødvendig til at hjælpe industrien i gang. For at brintproduktion på sigt skal være en god investering for den danske statskasse, er det essentielt, at branchen bliver profitabel over tid og klarer sig uden statsstøtte.

PtX-ambition bryder med neutralitet

Flere aktører bl.a. Klimarådet (2022) og De Økonomiske Råd (2012) peger på, at statsstøtte og tilskudsordninger skal gøres på en teknologineutral måde, og at der derfor skal undgås en "pick the winner-strategi". Beslutningen om en PtX-kapacitet på 4-6 GW i 2030, bryder med princippet om teknologineutralitet og kan være u hensigtsmæssig, da PtX-støtten favoriserer PtX-producenter over andre grønne virksomheder. Det kan ende med at koste mere statsstøtte end nødvendigt.

Vigtigt at overveje om støtten bliver en god investering

Når der gives statsstøtte til den danske brintproduktion, er det vigtigt at have en diskussion af, om støtten kan skabe fundamentet for, at branchen bliver profitabel på sigt. Hvis branchen grundet den danske statsstøtte forventes at blive profitabel i et voksende marked, kan dansk statsstøtte blive en god investering for Danmark. Hvis der omvendt er en forventning om, at dansk brintproduktion ikke bliver konkurrencedygtig i fremtiden, kan statsstøtten bruges bedre andre steder. Ligeledes kunne pengene fra statsstøtte være brugt bedre, hvis branchen alligevel var udset til at blive profitabel uden den danske statsstøtte.



6. Litteraturliste

Altinget (02/02 2022). *Så er det officielt: EU-Kommissionen grønstempler naturgas og atomkraft.*

<https://www.alinget.dk/energi/artikel/saa-det-det-officielt-eu-kommissionen-groenstempler-naturgas-og-atomkraft>

Beck, U. og Kruse-Andersen, P. K. (2020). *Endogenizing the Cap in a Cap-and-Trade System: Assessing the Agreement on EU ETS Phase 4.* Environmental and Resource Economics (2020) 77:781–811.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10640-020-00518-w>

Brintbranchen (2022). *Danske brintprojekter: Projektpartnere og forventet elektrolysekapacitet i 2030.*

<https://brintbranchen.dk/danske-brintprojekter> (08/09 2022)

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022). *Letter of Intent: Cooperation on jointly analyzing joint and hybrid offshore renewable energy projects between the countries.*

<https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/J-L/letter-of-intent-between-german-minister-denmark-minister-hybrid-offshore.html>

Bundesregierung (2020). *Die Nationale Wasserstoffstrategie.*

https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile.

COWI (2020). *Analyse af grøn omstilling for de regionale busser.*

https://www.rm.dk/api/NewESDHBlock/DownloadFile?agendaPath=%5C%5CRMAPPS0221.onerm.dk%5CCMS01-EXT%5CESDH%20Data%5CRM_Internet%5Cdagsordener%5CUdvalg_for_regional_%202020%5C10-08-2020%5CAaben_dagsorden&appendixId=277920

Danmarks Statistik (2022). *Forbrugerindeks, (PRIS111).*

<https://www.dst.dk/da/Statistik/emner/oekonomi/prisindeks/forbrugerprisindeks>

Dansk Energi (2020). *Anbefalinger til en dansk strategi for Power-to-X.*

<https://www.danskeenergi.dk/sites/danskeenergi.dk/files/media/dokumenter/2020-11/Anbefalinger-til-en-dansk-strategi-for-Power-to-X.pdf>

De Økonomiske Råd (2012). *Økonomi og Miljø 2012*

<https://dors.dk/vismandsrapporter/okonomi-miljo-2012>

De Økonomiske Råd (2019), *Økonomi og Miljø 2019, Lækage af drivhusgasudledninger og dansk klimapolitik*

https://dors.dk/files/media/rapporter/2019/m19/Kapitel_2/m19_kap_ii_laekage_af_drivhusgasudledninger_og_dansk_klimapolitik.pdf

Dechema (2022). *Perspective Europe 2030 Technology options for CO₂- emission reduction of hydrogen feedstock in ammonia production*

https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/Studie+Ammoniak.pdf

DI Energi (2021). *Anbefalinger til en PtX til strategi for PtX og CCU.*

<https://www.danskindustri.dk/brancher/di-energi/analysearkiv/branceanalyser/2021/anbefalinger--til-strategi--for-ptx-og-ccu/>

DTU (2020). *Optimal placement of P2X facility in conjunction with Bornholm energy island.*

https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/235161506/WP_P2X_Analysisv4.pdf

DTU (2022). *Overview of the Power-to-X potential integration within the Danish energy system.*

Energinet og Dansk Energi (2020). *Gamechangere for PtX og PtX-infrastruktur i Danmark.*

Energinet (2021). *Energinet og Gasunie offentliggør forundersøgelse af brininfrastruktur.*

<https://energinet.dk/Gas/Groen-gas-nyheder/GUD-rapport>

Energistyrelsen (2019). *Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for energipriser og emissioner.*

https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/samfundsoekonomiske_beregningsforudsætninger_for_energipriser_og_emissioner_2019.pdf

Energistyrelsen (2021a) *Efterspørgsel efter PtX-produkter.*

https://ens.dk/sites/ens.dk/files/ptx/efterspoergsel_efter_power-to-x-produkter.pdf

Energistyrelsen (2021b) *Analyseforudsætninger til Energinet 2021 – Power-to-X (PtX) og Direct Air Capture (DAC).*

https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Hoeringer/baggrundsnotat_-_power-to-x_og_direct_air_capture.pdf

Energistyrelsen (2021c). *Power-to-X-produkter og konkurrence.*

https://ens.dk/sites/ens.dk/files/ptx/efterspoergsel_efter_power-to-x-produkter.pdf

Energistyrelsen (2021d). *Analyseforudsætninger til Energinet.*

<https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/analyseforudsætninger-til-energinet>

Energistyrelsen (2021e). *Analyse af fremtidssikret elnet.*

https://ens.dk/sites/ens.dk/files/El/hovedrapport_-_fremtidssikret_elnet.pdf

Energistyrelsen (2022a). *Global Afrapportering 2022.*

https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/8._baggrundsnotat_-_eludveksling.pdf

Energistyrelsen (2022b) *Teknologikatalog for fornybare brændstoffer.*

https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/technology_data_for_renewable_fuels.pdf

Energistyrelsen (2022c). *Klimastatus og -fremskrivning 2022.*

<https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/klimastatus-og-fremskrivning-2022>

Energistyrelsen (2022d). *Månedlig og årlig energistatistik.*

<https://ens.dk/service/statistik-data-noegletal-og-kort/maanedlig-og-aarlig-energistatistik>

Energistyrelsen (2022e). *Baggrundsnotat: international transport.*

https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Basisfremskrivning/7._baggrundsnotat_-_international_transport.pdf

Europakommissionen (EU-kommissionen) (2020). *Start of phase 4 of the EU ETS in 2021: adaption of the cap and start of auctions.*

https://ec.europa.eu/clima/news-your-voice/news/start-phase-4-eu-ets2021-adoption-cap-and-start-auctions-2020-11-17_en

Europakommissionen (EU-kommissionen) (2022a). *REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition.*

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_3131

Europakommissionen (EU-kommissionen) (2022b). *EU taxonomy: Complementary Climate Delegated Act to accelerate decarbonization.*

https://ec.europa.eu/info/publications/220202-sustainable-finance-taxonomy-complementary-climate-delegated-act_en

FDM (2021). *Brintbiler gør stærkt comeback.*

<https://fdm.dk/nyheder/nyt-om-biler/2021-11-brintbiler-goer-staerkt-comeback> (17/06 2022)

Finansministeriet (2020). *Klimaaf tale for energi og industri mv.*

<https://fm.dk/media/18085/klimaaf tale-for-energi-og-industri-mv-2020.pdf>

Finansministeriet (2022). *Grøn skattereform for industri mv.*

<https://fm.dk/media/26070/af tale-om-groen-skattereform-for-industri-mv-a.pdf>

Goldman Sachs (2022). *Carbonomics – The clean hydrogen revolution*

<https://www.goldmansachs.com/insights/pages/gs-research/carbonomics-the-clean-hydrogen-revolution/carbonomics-the-clean-hydrogen-revolution.pdf>

Hampp, J., Düren, M., Brown, T. (2021). *Import options for chemical energy carriers from renewable sources to Germany.*

<https://arxiv.org/pdf/2107.01092.pdf>

International Energy Agency (2019). *The Future of Hydrogen.*

https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf

International Energy Agency (2021a). *Ammonia Technology Roadmap - Towards more sustainable nitrogen fertiliser production.*

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/6ee41bb9-8e81-4b64-8701-2acc064ff6e4/AmmoniaTechnologyRoadmap.pdf>

International Energy Agency (2021b). *Hydrogen projects Database.*

<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/hydrogen-projects-database> (16/06 2022)

International Energy Agency (2021c). *Global Hydrogen Review 2021*.

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/5bd46d7b-906a-4429-abda-e9c507a62341/GlobalHydrogenReview2021.pdf>

IPCC (2022). *Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change*.

https://report.ipcc.ch/ar6wg3/pdf/IPCC_AR6_WGIII_FinalDraft_FullReport.pdf

IRENA (2020). *Green Hydrogen Cost Reduction*.

https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Green_hydrogen_cost_2020.pdf

Innovationsfonden. *Dansk konsortium ledet af MAN Energy Solutions vil udvikle ammoniakmotor til skibe*.

<https://innovationsfonden.dk/da/investeringer/investeringshistorier/dansk-konsortium-ledet-af-man-energy-solutions-vil-udvikle> (07/06 2022)

Kruse-Andersen, P. K., Beck, U. og Stewart, L. B., *Carbon Leakage in a Small Open Economy: The Importance of International Climate Policies* (2021). Tilgængelig på SSRN:

<https://ssrn.com/abstract=3972986>

Klima-, Energi, og Forsyningsministeriet (2019). *Aftale om klimalov*.

<https://kefm.dk/Media/1/D/aftale-om-klimalov-af-6-december-2019%20FINAL-a-web-tilg%C3%A6ngelig.pdf>

Klima- Energi og Forsyningsministeriet (2021a). *Regeringens strategi for Power-to-X*.

<https://kefm.dk/Media/637751860733099677/Regeringens%20strategi%20for%20Power-to-X.pdf>

Klima-, Energi og forsyningsministeriet (2021b). *Klimaprogram 2021*.

<https://www.regeringen.dk/aktuelt/publikationer-og-aftaletekster/klimaprogram-2021/>

Klima-, Energi, og Forsyningsministeriet (2021c). *KEF Alm.del - endeligt svar på spørgsmål 127*.

<https://www.ft.dk/samling/20201/almdel/kef/spm/127/svar/1738038/2322210.pdf>

Klima-, Energi og Forsyningsministeriet (2021d). *Udbudsforberedende delaftale om langsigtede rammer for udbud og ejerskab af energiøen i Nordsøen*.

<https://kefm.dk/Media/637661840231461613/Udbudsforberedende%20delaf-tale%20om%20langsigtede%20rammer%20-%20energi%C3%B8%20Nords%C3%B8.pdf>

Klimarådet (2018). *Biomassens betydning for grøn omstilling*.

https://klimaraadet.dk/sites/default/files/downloads/klimaraadet_biomassens_rapportno4_digi_01.pdf

Klimarådet (2020). *Kendte veje og nye sport til 70 procent reduktion*.

<https://klimaraadet.dk/node/39>

Klimarådet (2021) *Veje til klimaneutral lastbiltransport*

<https://klimaraadet.dk/da/analyser/veje-til-klimaneutral-lastbiltransport>

Klimarådet (2022). *Statusrapport 2022*.

<https://www.klimaraadet.dk/da/rapporter/statusrapport-2022>

Kraka Advisory (2022). *Energiøen i Nordsøen – Argumenterne, udbuddet og betydningen for klimaet.*

https://kraka-advisory.com/sites/default/files/2022-04/Energi%C3%B8en%20i%20Nords%C3%B8en_Rapport2_figurer_byttet.pdf

Moultak, M., Lutsey, N., Hall, D. (2017). *Transitioning to zero-emission heavy-duty freight vehicles.*

https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Zero-emission-freight-trucks_ICCT-white-paper_26092017_vF.pdf

Nordlys. *Hvor meget strøm bruger en familie?*

<https://norlys.dk/el/bliv-klogere/hvor-meget-stroem-bruger-en-familie/> (16/06 2022)

Regeringen (2021). *Delaftale mellem regeringen og Socialistisk Folkeparti, Radikale Venstre, Enhedslisten, Alternativet og Kristendemokraterne om: Investeringer i et fortsat grønere Danmark.*

<https://www.regeringen.dk/media/10930/delaftale-om-investeringer-i-et-fortsat-groenere-danmark.pdf>

Regeringen (2022a). *Udvikling og fremme af brint og grønne brændstoffer (Power-to-X strategi).*

[https://kefm.dk/Media/637829286469861536/Aftale;%20Udvikling%20og%20fremme%20af%20brint%20og%20gr%C3%B8nne%20br%C3%A6ndstoffer%20\(Power-to-X%20strategi\).pdf](https://kefm.dk/Media/637829286469861536/Aftale;%20Udvikling%20og%20fremme%20af%20brint%20og%20gr%C3%B8nne%20br%C3%A6ndstoffer%20(Power-to-X%20strategi).pdf)

Regeringen (2022b). *Aftale om et mere grønt og sikkert Danmark*

<https://www.regeringen.dk/nyheder/2022/aftale-om-et-mere-groent-og-sikkert-danmark/#:~:text=Fire%20dobling%20af%20vedvarende%20energi%20p%C3%A5%20land&text=De%20danske%20farvande%20har%20potentiale,havvind%20inden%20udgangen%20af%202030> (08/09 2022)

Statsministeriet (2022). *The Esbjerg Declaration.*

<https://www.stm.dk/statsministeriet/publikationer/the-esbjerg-declaration/>

The Royal Society (2020). *Ammonia: zero-carbon fertiliser, fuel and energy store - POLICY BRIEFING.*

<https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/green-ammonia/green-ammonia-policy-briefing.pdf>

Tværministeriel arbejdsgruppe (2013). *Beregningsmetode til samfundsøkonomiske omkostninger ved virkemidler i klimaplan.*

https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/samfundssoek_metode_klimaplan_14_aug_2013.pdf

Umwelt Bundesamt (2021). *Germany's greenhouse gas emissions down 8.7 percent in 2020.*

<https://www.umweltbundesamt.de/en/press/pressinformation/germanys-greenhouse-gas-emissions-down-87-percent> (09/06 2022)

Wismann, S. T., Engbæk, S. B., Vendelbo, F. B., Eriksen, W. L., Aasberg-Petersen, K., Frandsen, C., Chorkendorff I. og Mortensen, P. M. (2019). *Electrified methane reforming: A compact approach to greener industrial hydrogen production.* Science, Vol 364, Issue 6442, s.

756-759.

<https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.aaw8775>