



## Efterspørgsel efter Power-to-X-produkter

Dato  
14-12-2021

### Indhold

1	Opsummering .....	2
2	Indledning .....	3
3	Formål med analysen .....	4
4	Potentielle anvendelser af PtX-brændstoffer .....	5
5	Tekniske reduktionspotentialer og elektrificering .....	6
5.1	Elektrificering begrænses af omstillingstakt i 2030 .....	9
6	Konkurrencedygtighed af PtX-brændstoffer ift. biobrændstoffer og kulstoffangst 9	
7	Kategorisering af potentialer for PtX-anvendelse .....	13
8	Resultater – mulige behov for PtX-produkter i 2030 og 2050 .....	15
8.1	Potentielt behov for CO <sub>2</sub> til PtX.....	17
8.2	Fremtidige kilder til kulstof .....	19
9	Kommende national regulering og Fit-for-55.....	19
Bilag 1 – Beskrivelser af segmenter .....		23
1	Indledning .....	23
2	Transportsektoren .....	23
2.1	Personbiler.....	24
2.2	Varebiler .....	25
2.3	Busser.....	26
2.4	Lastbiler .....	27
2.5	Søfart .....	27
2.6	Luffart.....	28
2.7	Industrierhvervene, landbrug, skovbrug og gartneri.....	29
2.8	Direkte fyring i industrien .....	29
2.9	Intern transport .....	30
2.10	Forsvaret.....	30
2.11	Raffinaderier .....	30
2.12	Ammoniak til gødning eller CCU til plastikproduktion.....	31
Bilag 2 – Reduktionsomkostninger baseret på Energistyrelsens prognoser.....		32

#### Energistyrelsen

Carsten Niebuhrs Gade 43  
1577 København V

T: +45 3392 6700  
E: ens@ens.dk

www.ens.dk



## 1 Opsummering

Analysen peger på at PtX-brændstoffer har et langsigtet potentiale til at udgøre et omkostningseffektivt alternativ til biobrændstoffer i segmenter, der ikke kan elektrificeres, herunder hovedparten af luftfarten og søfarten, samt dele af den tunge vejtransport, dele af industriens højtemperatur procesvarme og interne transport og dele af forsvaret. Den mulige anvendelse af bio-ressourcer til energiformål er desuden begrænset, og PtX-brændstoffer vurderes bedre at kunne produceres i de store mængder, der potentielt vil efterspørges. Derfor kan kulstof til syntese af PtX-produkter blive en knap ressource frem mod 2050, hvilket fordrer videst mulig anvendelse brint eller ammoniak.

Der vurderes at være en række potentialer for omkostningseffektive CO<sub>2</sub>-reduktioner inden for transportsektoren og industrien i 2050, som også opgøres i de tilsvarende sektorer i 2030. Der ligger desuden et betydeligt potentiale for PtX-anvendelse, som ikke bliver kvantificeret i denne analyse, i forsvaret, ved brintanvendelse til biobrændstofproduktion ved raffinaderier og ved produktion af kemikalier mv.

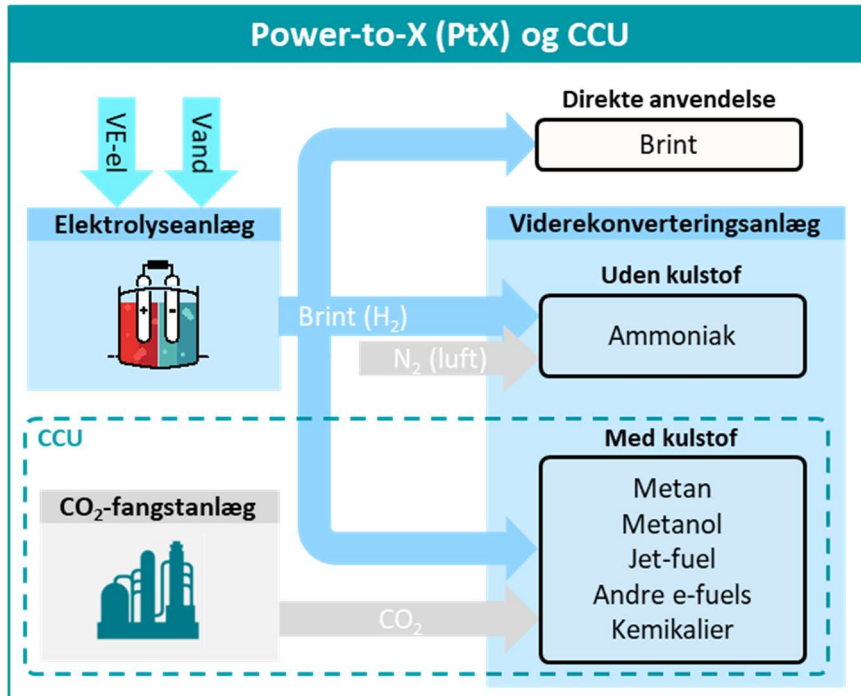
Potentialet for PtX i 2030 udgør et spænd, der svarer til en elektrolysekapacitet på ca. 2 - 8 GW, hvoraf ca. 1 - 3 GW svarer til indenlandsk PtX-forbrug, der indgår i 70 pct. målet. De resterende ca. 1 - 5 GW elektrolysekapacitet i 2030 svarer til en elektrolysekapacitet, der kan dække produktion af e-brændstoffer til udenrigstransport, dvs. udenrigsfly og -skibe, der tankes i Danmark og herefter har en destination uden for Danmark. Spændet i potentialer for PtX i 2050 er ca. 6 - 13 GW elektrolysekapacitet, hvoraf ca. 1,5 - 5 GW svarer til PtX-forbrug der indgår i 70 pct. målet.

Potentialet for PtX i 2030 vurderes at kunne give CO<sub>2</sub>-reduktioner på ca. 1 - 5 mio. ton CO<sub>2</sub>, hvoraf reduktion af ca. ½ - 2 mio. ton CO<sub>2</sub> findes i indenrigssektorer, der indgår i 70 pct. målet. Tilsvarende vurderes potentialet i 2050 at kunne give en reduktion på ca. 4 - 8 mio. ton CO<sub>2</sub> i 2050, hvoraf reduktion af ca. 1 - 3,5 mio. ton findes i indenrigssektorer.

## 2 Indledning

Power-to-X dækker over en række teknologier, som anvender strøm til at producere forskellige typer af brændstoffer, kemikalier eller materialer. Fælles for teknologierne er, at de tager udgangspunkt brintproduktion ved elektrolyse, som er en teknologi, der spalter vand i brint og ilt ved brug af strøm. Brinten kan herefter anvendes direkte som brændstof eller i industrien, eller den kan viderekonverteres, som vist i Figur 1. Brinten kan kombineres med nitrogen ( $N_2$ ) fra luften for at danne ammoniak, eller den kan kombineres med kulstof (typisk  $CO_2$ ) for at danne brændstoffer og kemikalier som metanol, metan (syntetisk naturgas), e-brændstoffer som diesel eller jet-fuel osv. eller andre e-produkter såsom plastik og kemikalier.

I dette notat fokuseres der på anvendelse af PtX-brændstoffer til transport- og industrisektoren. Andre e-produkter behandles mere overfladisk, da der ikke efter Energistyrelsens viden er en betydelig indenlandsk produktion af plastik eller ammoniak, og da anvendelsen af disse produkter typisk ikke er forbundet med udledninger. Dermed vil en substitution med e-produkter ikke lede til  $CO_2$ -reduktioner ift. nationale mål. I det omfang, at produktion af e-produkter substituerer udenlandske produkter på fossil basis, vil det reducere Danmarks globale aftryk.



Figur 1 Vand og VE-el bruges til produktion af brint, som enten kan anvendes direkte, eller viderekonverteres med nitrogen til ammoniak, eller med  $CO_2$  til mere avancerede brændstoffer eller produkter.



Såfremt både strømmen, der anvendes til elektrolyse og viderekonvertering, og evt. kulstof, der anvendes til viderekonvertering, er klimaneutralt, er produktion og anvendelse af PtX-produkterne også klimaneutral. Dermed kan produkterne bidrage til at skabe drivhusgasreduktioner i sektorer, hvor de anvendes, eller ved produktionen af produkter, der ellers var produceret med fossilt råstof.

Erstatter brint eller grønne PtX-brændstoffer fx fossile brændstoffer i luftfarten, bidrager PtX-produkterne altså til reduktioner i luftfarten. Såfremt grøn brint fra PtX anvendes til produktion af ammoniak, som viderekonverteres til kunstgødning, bidrager PtX-brinten til reduktioner i ammoniakproduktionen, som normalt udleder store mængder CO<sub>2</sub>.

PtX kan altså skabe reduktioner i andre sektorer ved at udnytte vedvarende energiressourcer til at producere brændstoffer og materialer til sektorer, der ikke umiddelbart kan elektrificeres direkte. Derfor omtales anvendelse af PtX-brændstoffer også ofte som *indirekte elektrificering*. De største konkurrenter til PtX-brændstoffer er dermed også direkte elektrificering, som ofte er billigere, samt andre VE-baserede brændstoffer som biobrændstoffer og biogas, som oftest i dag er billigere end kulstofholdige PtX-brændstoffer.

Opnåelse af danske CO<sub>2</sub>-reduktioner fra PtX-produkter afhænger dog alene af, om produkterne anvendes i Danmark – hvad enten der er tale om anvendelse af grøn brint til at erstatte sort brint fx på raffinaderierne, eller om der er tale om, at grøn brint, ammoniak eller CCU-brændstoffer erstatter fossile brændstoffer i industri eller transport. Det er ikke afgørende for reduktionerne, om PtX-produkterne er produceret i Danmark. Dog har Danmark store uudnyttede VE-ressourcer, særligt et stort havvindpotentiale i Nordsøen og betydelige vind- og solpotentialer på land, der kan realiseres og skabe yderligere værdi gennem produktion af PtX.

### 3 Formål med analysen

Formålet med denne analyse er at vurdere efterspørgslen efter PtX-brændstoffer i 2030 og i 2050 under hensynstagen til konkurrerende reduktionsmuligheder ved elektrificering og anvendelse af biobrændstoffer i lyset af de nationale klimamålsætninger. Der ses altså i denne analyse bort fra en kvantificering af potentialet for anvendelsen af e-produkter såsom plast eller kunstgødning, da denne anvendelse ikke leder til nationale CO<sub>2</sub>e-udledninger.

Anvendelsespotentialet for e-produkter kan dog være betydeligt.

Der skeles i analysen til tekniske begrænsninger, omstillingstakt for transportmidler og begrænsninger af bioressourcer, herunder CO<sub>2</sub> til syntese af PtX-brændstoffer, samt langsigtede reduktionsomkostninger.

## 4 Potentielle anvendelser af PtX-brændstoffer

PtX-teknologi har potentiale til at bidrage til en stor del af CO<sub>2</sub>-reduktionerne i både transportsektoren og industrien gennem levering af grønne brændstoffer og input-kemikalier, som kan erstatte de nuværende fossile anvendelser.

Tabel 1 herunder viser de segmenter, hvor det er muligt at anvende PtX-produkter. For hvert segment vises også en vurdering af potentialet for direkte elektrificering, de mest relevante typer af PtX-produkter samt mest sandsynlige konkurrerende, grønne brændstoffer. Baggrunden for tabellen gennemgås mere grundigt i Bilag 1 – Beskrivelser af segmenter.

*Tabel 1 Segmenter for anvendelse af PtX-produkter i transport og erhverv.*

Segment	Nuværende brændstof	Potentiale for direkte elektrificering <sup>C</sup>	PtX-produkter	Konkurrerende, grønne brændstoffer <sup>D</sup>
Personbiler	Benzin	Meget stort	E-benzin/ E-metanol <sup>B</sup> < 1,43 pct./ Brint	Biometanol < 1,43 pct.
	Diesel	Meget stort	E-diesel/brint	Biodiesel/HVO
Varebiler	Diesel	Stort	E-diesel/brint	Biodiesel/HVO
Busser	Diesel	Mellem	E-diesel/brint	Biodiesel/HVO
Lastbiler	Diesel	Mellem	E-diesel/brint	Biodiesel/HVO
Søfart og fiskeri <sup>A</sup>	Marine-diesel fuelolie	Lille	Brint/ammoniak/ e-metanol	Biodiesel/HVO
Luffart <sup>A</sup>	Jet fuel	Meget lille	E-jet fuel/brint	Bio-jet fuel < 50 pct.
Industri, direkte fyring	Kul, koks, olie	Lille	E-diesel/brint	Bionaturgas, HVO og fast biomasse
Intern transport	Diesel	Mellem	Brint/e-diesel	Biodiesel/HVO
Forsvaret	Diesel	Meget lille	E-diesel	Biodiesel/HVO
	Fuelolie			
	Jet fuel		E-jet fuel	Bio-jet fuel

Anm.:

A: Indenrigsluffart og -søfart indgår i de nationale opgørelser og derfor i 70 pct.-målsætningen. Udenrigsluffart og søfart har samme karakteristika, men indgår ikke i 70 pct.-målet.

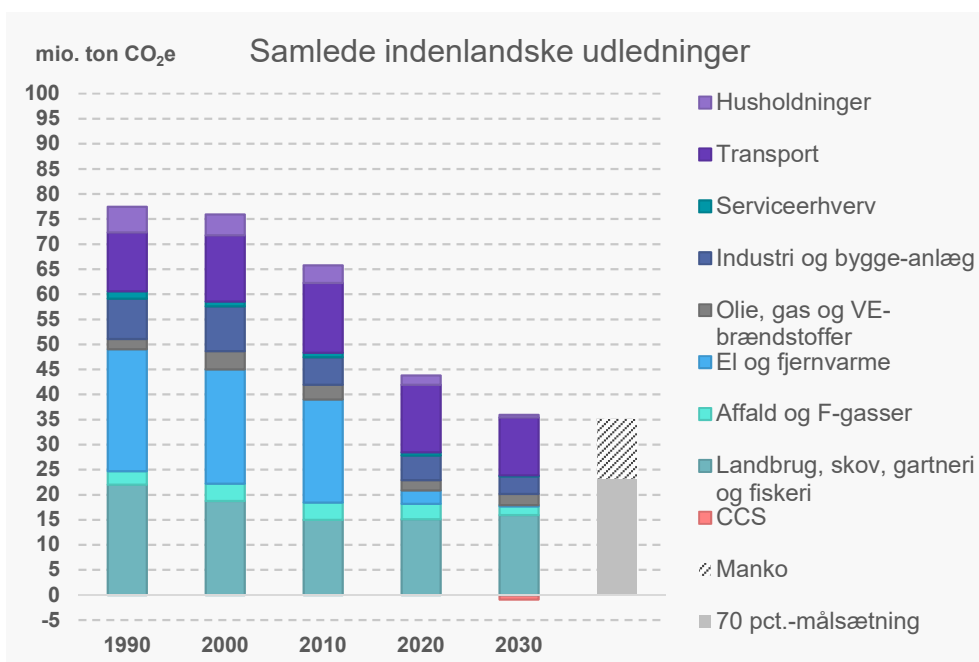
B: Inden for gældende regler i Brændstofs kvalitetsdirektivet. Teknisk er det muligt med højere iblanding, men det kan kræve nye motorer eller ombygning.

C: Angiver et skøn for andelen af segmentet, der frem mod 2050 kan elektrificeres baseret på aktuel viden om udviklingsprojekter for segmenterne.

D: Ikke-udtømmende liste. HVO er diesel baseret på biologisk materiale.

## 5 Tekniske reduktionspotentialer og elektrificering

I Energistyrelsens Klimastatus og Fremskrivning, 2021 (KF21) vurderes det, at de samlede indenlandske udledninger, jf. FN's opgørelsesmetode, vil være ca. 35 mio. ton CO<sub>2</sub>e om året i 2030. Målsætningen om 70 pct. reduktioner af drivhusgasudledningerne i forhold til 1990-niveauet medfører, at de danske nettoudledninger skal sænkes til ca. 23,2 mio. ton CO<sub>2</sub>e i 2030, hvilket giver en manko på ca. 11,8 mio. ton CO<sub>2</sub>e i 2030 under fravær af nye tiltag, jf. Klimastatus og -fremskrivning 2021 (KF21)<sup>1</sup>.



Figur 2 Indenlandske udledninger af drivhusgasser historisk og frem til 2030 ifølge Klimastatus og -fremskrivning 2021 (KF21). Figuren illustrerer fordelingen af udledningerne på sektorer, og søjlen yderst til højre illustrerer 70 pct.-målsætningen og mankoen ift. opfyldelse af målsætningen.

KF21 viser også, at landbrug, skove, gartneri og fiskeri under fravær af nye tiltag udleder ca. 16 mio. ton i 2030 (heraf ca. 15 mio. ton fra landbruget), transportsektoren udleder ca. 11,5 mio. ton og resten – inkl. energisektoren, industri, erhverv og byggeri samt husholdninger og olie- og gasproduktion - tilsammen udleder knap 8 mio. ton.

Transportsektorens udledninger svarer dermed nogenlunde til mankoen i 2030. I fravær af andre tiltag i de øvrige sektorer vil transportsektoren altså skulle omstilles fuldstændigt, hvis 70 pct.-målsætningen skal nås. I fravær af fx elektrificeringstiltag i transportsektoren vil hele reduktionen skulle realiseres med øget anvendelse af PtX- og biobrændstoffer. Disse scenarier er naturligvis ikke realistiske, men billedet

<sup>1</sup> Bemærk at mankoen er reduceret til ca. 10 mio. ton CO<sub>2</sub>e i Regeringens klimaprogram 2021, inkl. regeringsoplæg til grøn omstilling af landbruget.



understreger, at behovet for PtX-brændstoffer påvirkes stærkt af de politiske målsætninger samt af vedtagelsen af andre reduktionstiltag i øvrige sektorer ud over transportsektoren.

I regeringens klimaprogram opgøres de tekniske reduktionspotentialer gennem anvendelse af PtX- og biobrændstoffer til 8 mio. ton CO<sub>2</sub>e i 2030 i transportsektoren og op til 1,3 mio. ton CO<sub>2</sub>e i 2030 til direkte fyring og intern transport i industrien. Opgørelsen er i fravær af nye virkemidler på andre områder og uden hensyn til overlap med det betydelige potentiale for direkte elektrificering, som findes i transportsektoren.

Udledningerne fra hvert segment samt spænd for, hvor stor en andel af segmentet der kan omstilles ved direkte elektrificering (elektrificeringsgrad) i 2030 og 2050, fremgår af Tabel 2. Segmenternes størrelse betragtes som konstante fra 2030 til 2050.

*Tabel 2 Udledninger i 2030 og potentialer for elektrificering i transportsektoren og dele af industrisektoren i 2030 og 2050. Baseret på Regeringens Klimaprogram 2021.*

Segment	Udledning i 2030 (mio. ton CO <sub>2</sub> e per år)	Skønnet elektrificeringsgrad	
		2030	2050
Personbiler	6,2	25 - 50 pct.	80 - 92 pct.
Varebiler	1,6	20 - 45 pct.	70 - 91 pct.
Busser	0,4	30 - 50 pct.	40 - 60 pct.
Lastbiler	1,5	1 - 10 pct.	25 - 75 pct.
Søfart og fiskeri, indenrigs	0,8	2 - 20 pct.	10 - 35 pct.
Søfart, udenrigs (2019)	2,4 <sup>A</sup>	Meget lavt <sup>B</sup>	Meget lavt <sup>B</sup>
Luffart, indenrigs	0,17	0 - 1 pct.	0 - 10 pct.
Luffart, udenrigs (2019)	3,2 <sup>A</sup>	Meget lavt <sup>B</sup>	Meget lavt <sup>B</sup>
Industri, direkte fyring <sup>C</sup>	0,9	Meget lavt <sup>B</sup>	Lavt <sup>B</sup>
Industri mv. intern transport	0,9	5 - 50 pct. <sup>B</sup>	15 - 50 pct. <sup>B</sup>
Forsvar <sup>D</sup>	0,2	Ukendt	Ukendt

*Anm.: Udledninger fremskrevet til 2030 i Regeringens Klimaprogram 2021. Segmenternes energiforbrug fastholdes frem til 2050. Elektrificeringsgrader er baseret på scenarier i Klimaprogrammet.*

*A: Udledning i år 2019 grundet manglende fremskrivning. Fra Energistatistik 2019, Energistyrelsen.*

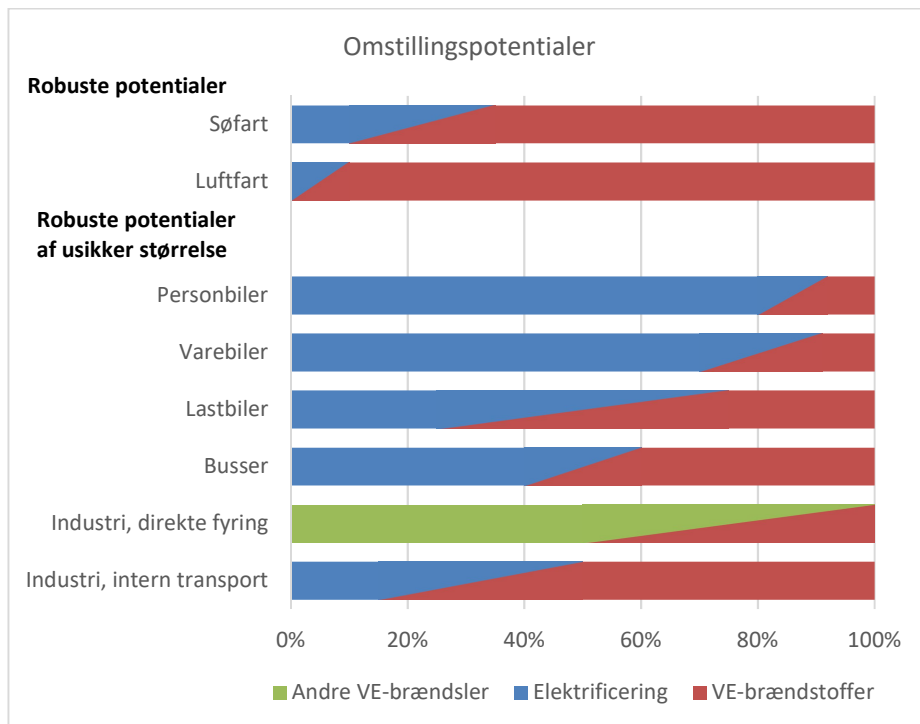
*B: Energistyrelsens vurdering af elektrificeringsgrad.*

*C: Afgrænset til flydende og faste brændsler.*

*D: Ud fra KF21.*

Direkte elektrificering er typisk billigere end anvendelse af brint og andre PtX-brændstoffer, da kun omkring to tredjedele af energien i strømmen ender som energi i brinten, og da videre anvendelse af brint typisk er associeret med et energitab. Ikke alle sektorer vil dog kunne elektrificeres direkte, og de dele af segmenterne der ikke kan elektrificeres, hvor det er for dyrt eller upraktisk, kan omstilles til grønne VE-brændstoffer som PtX-brændstoffer eller bio-brændstoffer.

Figur 3 viser Energistyrelsens vurdering af fordelingen af langsigtede potentialer mellem elektrificering og VE-brændstoffer, herunder PtX- og bio-brændstoffer. Spændet for elektrificering i 2050 fra Klimaprogram 2021 (Tabel 1) vises i blå og den resterende andel af segmentet udgør potentialet for VE-brændstoffer i rød.



Figur 3 Langsigtede omstillingspotentialer af forskellige segmenter, ved enten direkte elektrificering, omstilling til VE-brændstoffer (bio eller PtX) eller ved omstilling til VE-brændsler såsom biogas, biomasse eller bioolier i industriens direkte fyrede højtemperaturprocesser.

I nogle sektorer som søfart og luftfart, forventes flydende eller gasformige brændstoffer også på lang sigt at skulle levere langt hovedparten af energiforbruget, idet kun en mindre andel af energiforbruget i sektorerne kan dækkes med direkte elektrificering. Disse benævnes i figuren som "robuste potentialer". I en række anvendelser i vejtransporten og industrien er det mere uklart, i hvilket omfang VE-brændstoffer bør spille en rolle. Fordelingen mellem elektrificering og VE-brændstoffer vil afhænge af teknologiudviklingen og prissætningen for både direkte elektrificering, PtX- og bio-brændstoffer. Det vurderes dog robust, at PtX kan spille en rolle i at få omstillet alle de nævnte sektorer, da elektrificeringspotentialerne er begrænsede, og da PtX har potentiale til at være et konkurrencedygtigt alternativ til biobrændstoffer, jf. afsnit 6. Disse benævnes "robuste potentialer af usikker størrelse".





## 5.1 Elektrificering begrænses af omstillingstakt i 2030

Omstilling af en række af segmenterne baseres på et stort antal privat- og selskabsøkonomiske beslutninger, når fx den eksisterende bilflåde skal udskiftes med elbiler. For de segmenter, hvor dette er mest relevant, er det antaget, at køretøjerne udskiftes i sædvanligt tempo, og at alle nye køretøjer fra 2022 er elektriske. Dette er en meget markant antagelse, som vil kræve væsentlige og hurtige politiske tiltag, og de øvre spænd for elektrificeringspotentialerne i 2030 i Tabel 2 skal derfor opfattes som maksimale potentialer.

Udskiftningshastigheden for køretøjer mv. vurderes ikke at være en begrænsende faktor frem mod 2050, idet den forventede gennemsnitslevetid af køretøjer betyder, at langt hovedparten af den nuværende flåde forventes at være udskiftet i 2050 med forbehold for ændringer i den teknologiske udvikling på langt sigt.

Delvis elektrificering af et givent segment i 2030 (fx knap 50 pct. af personbiltransporten) efterlader en resterende mængde udledninger. Disse udledninger kan enten adresseres gennem yderligere elektrificering i årene efter 2030, eller de kan adresseres helt eller delvist gennem iblanding af PtX- eller biobrændstoffer, der kan anvendes direkte i den resterende køretøjsflåde, også inden 2030, typisk til en relativt højere omkostning per ton CO<sub>2</sub> reduceret.

Såfremt det ønskes at sikre markante yderligere reduktioner i 2025 eller 2030 i landtransporten ud over, hvad elektrificeringen kan levere, er det muligt at anvende PtX- eller biobrændstoffer til iblanding i eksisterende flåder af køretøjer som en overgangsløsning, indtil yderligere andele af køretøjerne kan elektrificeres frem mod 2050. PtX-anlæggene, som evt. vil producere PtX til iblanding i denne mellemliggende periode, vil for en væsentlig del kunne omstilles til senere at producere andre e-fuels, eksempelvis til søfart og luftfart. Dermed reduceres de potentielle samfundsøkonomiske *sunk costs* ved at anvende udbredt iblanding som en overgangsløsning.

## 6 Konkurrencedygtighed af PtX-brændstoffer ift. biobrændstoffer og kulstoffangst

Som nævnt i tidligere afsnit betragtes elektrificering som den billigste vej til omstilling, hvor det elektrificerede transportmiddel har den nødvendige rækkevidde og opladningshastighed, hvilket medfører de i Tabel 2 anførte potentialer for elektrificering. De resterende udledninger kan adresseres med VE-brændstoffer, altså PtX-brændstoffer eller biobrændstoffer, som derfor er i indbyrdes konkurrence. Nogle biobrændstoffer kan iblandes de eksisterende fossile brændstoffer<sup>2</sup>, andre kan næsten fuldt ud erstatte dem i eksisterende motorer<sup>3</sup> eller

<sup>2</sup> Såsom metanol eller ethanol til benzin eller FAME til diesel.

<sup>3</sup> Såsom erstatning af diesel med HVO.



procesudstyr<sup>4</sup>, og andre igen kræver udskiftning eller retrofit. Det samme gælder for PtX-brændstoffer. Biobrændstofferne er i dag tilgængelige, men kan kun produceres i begrænset omfang, da de af bæredygtighedshensyn hovedsageligt bør baseres på rest- eller affalds- produkter og derfor ikke frit kan opskaleres. PtX-brændstofferne er derimod mindre tilgængelige i dag, men kan i produktion skaleres til at møde den fremtidige efterspørgsel. Det gælder særligt de PtX-produkter, der ikke indeholder kulstof, altså brint og ammoniak, men på sigt kan også de kulstofholdige skaleres i meget høj grad ved at anvende kulstof fanget direkte fra luften (DAC). Alternativt er der også den mulighed, at man frem for at reducere udledningerne i stedet kompenserer for udledningerne gennem kulstoffangst og lagring (DACCS).

Produktionsomkostninger til PtX-produkter i den nærmere fremtid og på længere sigt efter billiggørelse gennem opskalering a produktion, teknologiudvikling, forbedrede rammevilkår og udbredelse af understøttende infrastruktur analyseres i Energistyrelsens analyse "*PtX-produkter og konkurrence*".

Disse produktionsomkostninger er omregnet til reduktionsomkostninger i kr. per ton CO<sub>2</sub> ved erstatning af fossile brændstoffer med de forskellige VE-brændstoffer, se Boks 1 for beregningsdetaljer. Disse reduktionsomkostninger sammenlignes i Figur 4 med anvendelse af biobrændstoffer samt med kompensation for udledninger gennem fangst og lagring af CO<sub>2</sub> fra luften (DACCS<sup>5</sup>). Omkostningerne er behæftet med stor usikkerhed.

---

<sup>4</sup> Såsom erstatning af naturgas med biogas.

<sup>5</sup> Direct air carbon capture and storage (DACCS)

**Boks 1: Sådan er der regnet**

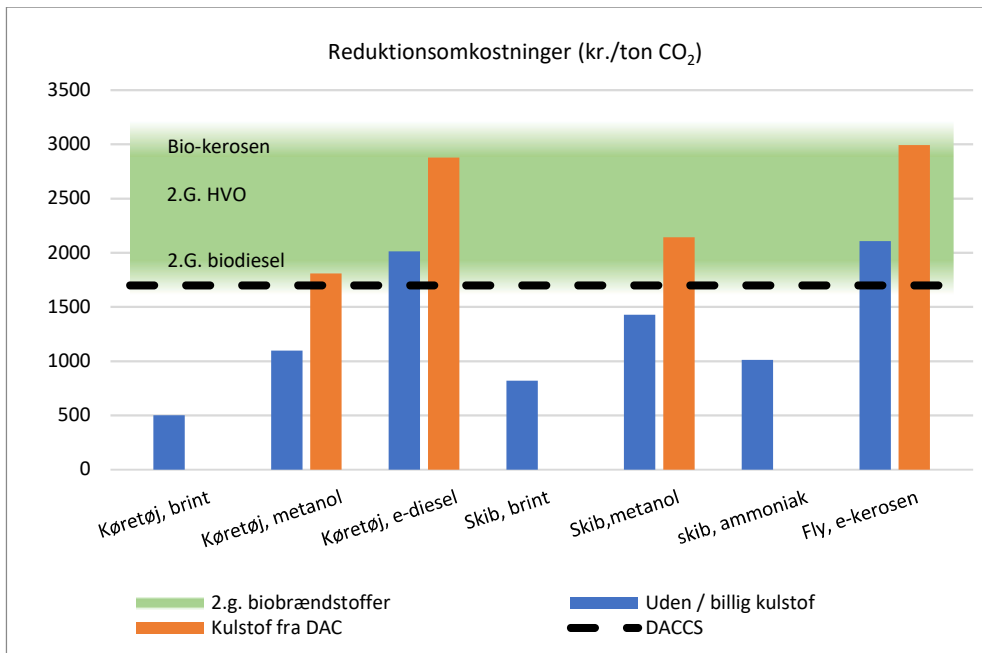
Omkostningen til PtX-brændstoffer og kulstoffangst beregnes bottom-up med udgangspunkt i Teknologikataloget<sup>6</sup> og simulerede elpriser på timeniveau for 2040, mens der for biobrændstoffer tages udgangspunkt i markedspriser<sup>7</sup>. Der ses bort fra omkostning til omstilling af køretøjer fra traditionelle til nye ud fra en antagelse om langsigtet prisparitet for så vidt angår indkøb og vedligeholdelse<sup>8</sup>. Ved beregning af produktionsomkostningerne for PtX benyttes 4600 fuldlasttimer på brintproduktion og 4000 fuldlasttimer på anden PtX-produktion samt en forrentning på 3,5 pct., mens biobrændstofferne formentlig er underlagt højere afkastkrav. Der er stor usikkerhed forbundet med prognoser for fremtidige produktionsomkostninger for PtX-brændstoffer, både for driftsomkostningerne (elpris) og for investeringsomkostningen (teknologiudvikling). Der tages udgangspunkt i et gennemsnit af prognoser for brintproduktionsomkostninger på kortere sigt, hvilket ligger mellem de to prognoser i Energistyrelsens analyse "PtX-produkter og konkurrence". Bilag 2 i nærværende analyse viser de samme beregninger med udgangspunkt i den kortsigtede prognose inden for dette årti og den langsigtede mulige udvikling.

Figur 4 viser reduktionsomkostningen (kr./ton CO<sub>2</sub>) i søjler ved forskellige anvendelser af PtX-brændstoffer. Der vises søjler i blå og i orange. For de kulstoffoldige PtX-brændstoffer, viser den blå søjle omkostningen med anvendelse af billig CO<sub>2</sub> opsamlet fra punktkilder (affaldsforbrænding), og den orange søjle viser omkostningen ved anvendelse af CO<sub>2</sub> opsamlet direkte fra luften (DAC). For anvendelse af brint og ammoniak, der ikke kræver CO<sub>2</sub> til syntese, vises kun en blå søjle. Omkostningerne sammenlignes med reduktionsomkostninger for biobrændstoffer markeret med et spænd på tværs af søjlerne, hvor udvalgte biobrændstoffers omtrentlige placering er markeret med tekst. Der sammenlignes desuden med fangst og lagring af kulstof fra atmosfæren ved DACCS markeret med en linje på tværs af søjlerne. Der medtages ikke emissioner fra værdikæderne i beregningen.

<sup>6</sup> <http://www.ens.dk/teknologikatalog>

<sup>7</sup> Biobrændstofpriserne baseres på nuværende markedspriser fra Drivkraft Danmark og antages at følge udviklingen i oliepriser fra de Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger, <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/samfundsoekonomiske-analysemetoder>.

<sup>8</sup>For det korte sigte omkring år 2030 forventes omkostningen til køretøj at udgøre en betydelig del af den samlede reduktionsomkostning for brintkøretøjer.



Figur 4: Langsigtede reduktionsomkostninger for PtX-brændstoffer sammenholdt med biobrændstoffer og CO<sub>2</sub>-lagring. Udvalgte biobrændstoffers omtrentlige placering i spændet er markeret. Upstream emissioner for fossile brændstoffer er ikke inkluderet. Omkostningerne er behæftet med stor usikkerhed og baseret på nuværende viden om mulige omkostningsreduktioner.

På tværs af segmenter er direkte anvendelse af brint den billigste anvendelse af PtX-brændstoffer til reduktion af CO<sub>2</sub>-udledninger med forbehold for eventuelle tekniske begrænsninger. Det vurderes, at både brint og ammoniak har potentiale til at blive billigere end biobrændstoffer, og det samme gælder e-metanol, der dog er lidt dyrere pga. behovet for kulstof. E-diesel og e-benzin forventes at være dyrere end andre PtX-produkter og 2.G. biodiesel, men på niveau med 2.G. HVO. Af denne grund betragtes e-benzin/e-diesel ikke som langsigtede løsninger til CO<sub>2</sub>-reduktioner, men de kan evt. finde anvendelse som overgangsløsninger grundet begrænset omstillingshastighed af køretøjer og evt. skibe.

E-kerosen (e-jet-fuel) forventes at være på omkostningsniveau med bio-kerosen og muligvis endda konkurrencedygtigt med et omkostningsspænd på ca. 2.000-3.000 kr./ton alt efter kulstofkilden. Frem for at omstille luftfarten til e/bio-kerosen er det også muligt at kompensere for udledningen ved CO<sub>2</sub>-fangst direkte fra atmosfæren med efterfølgende lagring (DACCS) og samtidig fortsætte med anvendelse af fossilt brændstof, hvilket vurderes at koste omkring 1.700 kr./ton. Det kan altså muligvis være økonomisk attraktivt at kompensere luftfarten, men det vil være forbundet med bibeholdelse af anvendelsen af fossile brændstoffer og tilhørende udledninger og miljøpåvirkninger i værdikæden, som ikke medregnes i Danmarks nationale reduktionsmål. Den økonomiske afvejning er underlagt betydelig usikkerhed og afhænger i høj grad af udviklingen i omkostninger til DAC, og



derudover bl.a. af udviklingen i jet-fuel priser, udviklingen i produktionsomkostninger for e-jet fuel og prissætningen af ikke-CO<sub>2</sub>e-udledninger fra luftfarten (medtages ikke her), da disse reduceres ved anvendelse af e-jet fuel.

For søfarten vurderes det mere sikkert, at det ikke vil kunne betale sig at kompensere fortsat fossilt forbrug med kulstoffangst frem for at skifte til PtX.

De ovenstående konklusioner drages ud fra økonomiske analyser, som afspejles i Figur 4, samt dialog med branchen og litteraturstudier. De relative konkurrenceforhold forudsætter en markedsmodning af PtX med tilhørende reduktion i teknologiomkostninger samt udbygning af påkrævet VE-kapacitet. Frem mod at disse forudsætninger indtræffer, vil produktionsomkostningerne for PtX-brændstoffer ikke være lige så konkurrencedygtige. Der bemærkes dog et betydeligt kort- og langsigtet fokus på området i EU og globalt relativt til teknologiernes aktuelle markedsstatus, hvilket kan medføre, at udviklingen kan ske væsentligt hurtigere, end det er set inden for andre VE-teknologier såsom solceller, vindmøller og elbiler. I vurderingen af konkurrencen mellem PtX- og bio-brændstoffer, tages der her ikke højde for en potentiel prisstigning af biobrændstoffer pga. øget efterspørgsel efter VE-brændstoffer og konkurrerende anvendelser af biomasse og arealer til dyrkning, se Boks 2 nedenfor.

**Boks 2: Anvendelsen af PtX kan afhjælpe begrænsninger og bæredygtighedsproblematikker forbundet ved anvendelse af bioressourcer til energiformål**

I Energistyrelsens analyse, *"Biomassens rolle ift. Power-to-X"*, vurderes der ikke at være grundlag for en øget anvendelse af bio-ressourcer til energiformål i Danmark i forhold til det nuværende niveau, idet bio-ressourcen nationalt og globalt er begrænset. Derudover giver anvendelse af bio-ressourcen til energiformål risiko for merudledning af CO<sub>2</sub> samt anledning til øvrige bæredygtighedsproblematikker såsom fødevarerikkerhed og beskyttelse af biodiversitet.

Ved anvendelse af brint og ammoniak undgås ovenstående problematikker. Det samme gælder for kulstoffoldig PtX, når det baseres på DAC. Flere brændstoffer har desuden potentiale til at blive konkurrencedygtige med bio-brændstoffer, jf Figur 4.

## 7 Kategorisering af potentialer for PtX-anvendelse

Elektrificeringsgraden inden for forskellige segmenter og konkurrencesituationen mellem PtX- og bio-brændstoffer samt fangst og lagring af CO<sub>2</sub>, er belyst i de ovenstående afsnit. Det konkluderes, at der er segmenter, hvor der er stor sandsynlighed for næsten fuldstændig elektrificering, andre segmenter bliver næsten ikke elektrificeret, og for andre igen er der usikkerhed om



elektrificeringsgraden. Det giver anledning til forskellige anvendelsespotentialer for VE-brændstoffer i de forskellige segmenter.

Det forventes på lang sigt, at PtX-brændstoffer bliver konkurrencedygtige med biobrændstoffer, mens der på kort sigt formentlig vil være et mix af PtX- og biobrændstoffer. Der er stor forskel på reduktionsomkostningerne mellem PtX-brændstoffer, hvor de billigste løsninger kræver udskift af motorer, og de dyreste er brændstoffer, der kan anvendes i eksisterende fartøjer.

Disse betragtninger giver anledning til en kategorisering af potentialerne for PtX-brændstoffer i tre grupper, som anvendes i Tabel 3 nedenfor.

**Robuste potentialer** dækker over segmenter, hvor PtX-brændstoffer på sigt vurderes at være det mest omkostningseffektive virkemiddel for stort set hele segmentet. Det drejer sig om luftfart og søfart, hvor direkte elektrificering kun kan være billigere i mindre dele af segmenterne. Samtidig vurderes det, at anvendelsen af PtX-brændstoffer kan blive billigere end anvendelsen af biobrændstoffer i disse segmenter på trods af, at biobrændstoffer formentlig er billigere i dag. Se Figur 4 for vurdering af langsigtede reduktionsomkostninger.

**Robuste potentialer af usikker størrelse** udgøres af segmenter med betydelige elektrificeringspotentialer, eksempelvis landtransport og intern transport, men hvor anvendelse af PtX-brændstoffer vil være mest omkostningseffektivt og praktisk i dele af segmentet.

Alle de forskellige anvendelser inden for et segment udgør et spektrum. I den ene ende af spektret er PtX billigst, og i den anden ende er direkte elektrificering billigst, hvilket illustreres i Figur 3. Præcis hvor på skalaen, grænsen ligger, afgøres af den kommende teknologiske udvikling og afhænger derfor ikke kun af omkostninger til produktion af brint og batterier, men eksempelvis også af batterikapacitet, udvikling af køretøjer, lade-/tankningsteknologi og udbredelse af infrastruktur.

Nogle anvendelser af lastbiler kan være billigst at elektrificere, fx distributionskørsel i byer med jævne kørselsmønstre, mens andre anvendelser kan være billigst at omstille til brint, fx tunge lastbiler med lange ruter eller lastbiler i næsten kontinuerlig drift. For den interne transport i erhverv vurderes det fx også at være en robust konklusion, at mejetærskere og store entreprenørmaskiner kommer til at køre på PtX-brændstoffer på lang sigt, mens f.eks. gaffeltrucks formentlig er billigst at elektrificere.

**Potentialer for overgangsløsninger**, er potentialer der ikke vurderes at være omkostningseffektive på lang sigt, men kan fremmes hvis der ønskes yderligere reduktioner, før elektrificeringen kan nå at slå igennem. Det kunne være anvendelsen af e-benzin eller e-diesel i persontransporten, hvor elektrificeringen er



begrænset af omstillingshastigheden, men i øvrigt vurderes at udgøre langt hovedparten af segmentets omstilling på sigt.

## 8 Resultater – mulige behov for PtX-produkter i 2030 og 2050

På baggrund af scenarierne i Klimaprogram 2021 identificeres spænd for behovet for PtX-brændstoffer i de forskellige segmenter, som vises i Tabel 3.

Reduktionspotentialer for PtX er opgjort uden overlap med direkte elektrificering, hvilket vil sige, at potentialerne er opnåelige selv med de angivne elektrificeringsgrader i Tabel 2. For detaljer vedr. potentialevurderinger for de enkelte segmenter se Bilag 1 – Beskrivelser af segmenter. Der tages hensyn til begrænsninger af omstillingshastighed for transportmidler og procesudstyr for PtX, og til konkurrencen mellem PtX- og bio-brændstoffer.

Tabel 3 viser spændet i potentialerne for forskellige PtX-anvendelser i Danmark. For de segmenter, der vedrører iblanding af PtX-brændstoffer i eksisterende køretøjer (under overgangsløsninger), følger potentialespændet det tilsvarende spænd i elektrificeringsgrad i Tabel 2. For de resterende potentialer afspejler spændet konkurrencen mellem biobrændstoffer og PtX-brændstoffer. Spændets nedre grænse reflekterer en høj andel af biobrændstoffer og den øvre grænse en høj andel af PtX-brændstoffer.

Det er forventningen, at produktionsomkostningerne for PtX-brændstoffer vil falde frem mod 2050, og at avancerede biobrændstoffer vil stige i priser grundet øget efterspørgsel og stigende pres på bio-ressourcer. Derfor vil et skøn for et centralt bud på PtX-efterspørgslen ligge i den høje ende af spændene.



*Tabel 3 Potentialer for anvendelse af PtX-brændstoffer i Danmark. Potentialet for elektrificering er fratrukket, jf. Tabel 2. Spændende afspejler hovedsageligt spænd i elektrificeringspotentialer og konkurrence med biobrændstoffer, jf. Bilag 1 – Beskrivelser af segmenter. For kategorierne ”robuste potentialer” og ”robuste potentialer af usikker størrelse” vurderes potentialerne i 2050 at være omkostningseffektive, mens potentialerne i 2030 skal opfattes som tekniske potentialer.*

Anvendelse	Potentiel CO <sub>2</sub> -reduktion (mio. ton)		Tilsvarende elektrolysekapacitet (GW)		Brændstofmængde (PJ)	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050
<b>Robuste potentialer</b>						
PtX til søfart	0,6 - 1,2	1,9 - 2,6	0,8 - 1,6	2,6 - 3,5	7,6 - 14,6	24,2 - 32,2
- Heraf indenrigs-transport	0,1 - 0,4	0,4 - 0,7	0,1 - 0,5	0,5 - 0,9	1,0 - 4,5	5,0 - 9,1
PtX til luftfart	0,3 - 2,5	1,5 - 3,0	0,6 - 4,6	2,7 - 5,5	4,6 - 35,1	21,1 - 42,1
- Heraf indenrigs-transport	0,02 - 0,13	0,08 - 0,15	0,03 - 0,23	0,14 - 0,28	0,2 - 1,8	1,1 - 2,1
<b>Robuste potentialer af usikker størrelse</b>						
Brint til let vejtransport, herunder varebiler	0,0 - 0,1	0,0 - 0,4	0,0 - 0,1	0,0 - 0,5	0,0 - 1,4	0,0 - 5,9
Brint til lastbiler og busser	0,02 - 0,4	0,4 - 1,2	0,02 - 0,5	0,5 - 1,5	0,3 - 5,9	5,3 - 16,6
Brint eller e-diesel til industri, direkte fyring <sup>3</sup>	0,0 - 0,1	0,0 - 0,5	0,0 - 0,1	0,0 - 0,6	0,0 - 1,0	0,0 - 5,0
Brint eller e-diesel til industri, intern transport <sup>4</sup>	0,0 - 0,2	0,2 - 0,5	0,0 - 0,4	0,4 - 0,8	0,0 - 3,0	3,0 - 6,1
E-brændstof til forsvaret (Fly, skibe, køretøjer) <sup>1</sup>	Ukendt	Ukendt	Ukendt	Ukendt	Ukendt	Ukendt
Brint til biobrændstofproduktion mm. på raffinaderier	Ukendt	Ukendt	Ukendt	Ukendt	Ukendt	Ukendt
Produktion af kemikalier mv. (gødning, plast mv)	Ukendt	Ukendt	Ukendt	Ukendt	Ukendt	Ukendt
<b>Potentialer for overgangsløsninger, der ikke er omkostningseffektive på lang sigt</b>						
Metanol iblandet benzin	0,03 - 0,05	0,00 - 0,01	0,05 - 0,08	0,00 - 0,02	0,4 - 0,7	0,0 - 0,2
Evt. iblanding af e-brændstof i diesel/benzin <sup>2</sup>	0,3 - 0,5	0,0 - 0,1	0,5 - 0,8	0,0 - 0,2	4,2 - 6,5	0,3 - 1,6
<b>Sum</b>	<b>1,3 - 5,1</b>	<b>4,1 - 8,2</b>	<b>2,0 - 8,2</b>	<b>6,2 - 12,7</b>	<b>17,1 - 68,2</b>	<b>53,9-109,7</b>
<b>Heraf potentielt bidrag til 70 pct.-målet</b>	<b>0,5 - 1,9</b>	<b>1,1 - 3,5</b>	<b>0,8 - 2,8</b>	<b>1,6 - 4,9</b>	<b>6,2 - 24,8</b>	<b>14,8 - 46,5</b>

Kilde: Energistyrelsen

Anm.: Reduktionspotentialerne er baseret på regeringens Klimaprogram 2021 samt videre analyser. Se bilag 1 for beskrivelse af potentialerne.

Anm 1: Udledninger fra forsvaret udgør i KF21 ca. 0,2 mio. ton, hvoraf hovedparten vurderes at stamme fra brændstofforbrug, der ikke vil kunne elektrificeres direkte. Evt. potentialer i forsvaret skal udbores yderligere.

Anm 2: Potentiale forbundet med en relativt høj reduktionsomkostning.

Anm 3: Konkurrence med biogas.

Anm 4: Antaget primært e-diesel.

Potentialerne i Tabel 3 vurderes at være omkostningseffektive i 2050. Af tabellen fremgår også opgørelser af potentialerne i de tilsvarende sektorer i 2030. Hvorvidt de tilhørende reduktioner er omkostningseffektive i 2030 afhænger af målsætninger, beregningspriser, regulering mv. og særligt af udviklingen på PtX-området, herunder hvilke rammevilkår produktion og anvendelse af PtX-brændstoffer underlægges.

Tabel 3 viser, at der frem mod 2050 er stor sikkerhed for, at PtX vil få en væsentlig rolle i omstillingen af luftfarten og hovedparten af søfarten. Hertil kommer, at PtX kan få en væsentlig rolle i industriens tungere, interne transport og





højtemperaturprocesser, dele af den tunge vejtransport, raffinaderierne samt dele af forsvarets brændstofanvendelse.

Hertil vil der være væsentlige potentialer for anvendelse af PtX-produkter inden for produktion af materialer og kemikalier, såsom e-plast og e-kunstgødning, der kan erstatte fossile alternativer. Produktionen af sådanne produkter foregår dog i overvejende grad uden for Danmark i dag. Hvis produktionen skal omlægges til PtX baseret produktion i Danmark, vil det ikke bidrage til Danmarks nationale reduktioner, men vil i stedet til at sænke Danmarks globale aftryk og de globale CO<sub>2</sub>-udledninger generelt.

Allerede i 2030 har PtX teknisk potentiale til at bidrage med CO<sub>2</sub>-reduktioner i de samme sektorer, hvor PtX på sigt vurderes at være omkostningseffektive, på op til ca. 4,5 mio. ton CO<sub>2</sub>. Dette dækker både reduktioner, som tæller med i Danmarks nationale CO<sub>2</sub>-regnskab, og reduktioner fra internationale skibe og fly, der tankes i Danmark med destination uden for Danmark og derfor ikke tæller med i Danmarks nationale CO<sub>2</sub>-regnskab. I Danmarks nationale CO<sub>2</sub>-regnskab kan anvendelse af PtX-produkter, inklusiv overgangspotentialer, bidrage med CO<sub>2</sub>-reduktioner på op mod 2 mio. ton CO<sub>2</sub> i 2030, der tæller med i 70 pct.-målet.

Frem mod 2050 har PtX potentiale til at bidrage med omkostningseffektive CO<sub>2</sub>-reduktioner inden for specifikke sektorer på op til ca. 8 mio. ton CO<sub>2</sub>. Det nationale reduktionspotentiale i 2050 er op mod ca. 3,5 mio. ton CO<sub>2</sub>, mens resten af reduktionspotentialet er fra omstilling af internationale skibe og fly, der tankes i danske havne med destination uden for Danmark.

Der er også potentialer for øget iblanding af PtX-brændstoffer som metanol, e-benzin og e-diesel i tilbageværende biler med forbrændingsmotorer, frem til de elektrificeres. Dette kan evt. være billigere end at forcere elektrificeringen af person- og varebiler, men skal opfattes som en mulig overgangsløsning, som ikke er omkostningseffektiv på lang sigt.

## 8.1 Potentielt behov for CO<sub>2</sub> til PtX

Potentialerne for PtX-anvendelse giver en potentiel efterspørgsel efter CO<sub>2</sub> til syntese af de kulstofholdige brændstoffer, dvs. metanol og e-benzin/diesel/jet, jf Tabel 4. Det fremgår heraf, at behovet for CO<sub>2</sub> til hhv. indenrigs PtX-anvendelse og total (inkl. bunkering til udenrigstransport) PtX-anvendelse er 0,4-1,3 og 0,7-4,5 mio. ton CO<sub>2</sub> i 2030 og 0,1-1,9 og 1,5-6,6 mio. ton CO<sub>2</sub> i 2050. Spænd udgøres af potentialevurdering for anvendelse af PtX-brændstoffer i Danmark, samt udfaldsrum for kulstofholdige/ikke-kulstofholdige PtX-brændstoffer til anvendelsen.

Tabel 4: Behov for CO<sub>2</sub> til PtX ved realisering af potentialerne angivet i Tabel 3.

Anvendelse	CO <sub>2</sub> -behov, mio. tons per år	
	2030	2050
<b>Robuste potentialer</b>		
PtX til søfart	0,0 - 1,2	0,0 - 2,6
- Heraf indenrigs-transport	0,0 - 0,4	0,0 - 0,7
PtX til luftfart	0,3 - 2,5	1,5 - 3,0
- Heraf indenrigs-transport	0,02 - 0,13	0,08 - 0,15
<b>Robuste potentialer af usikker størrelse</b>		
Brint til let vejtransport, herunder varebiler	0	0
Brint til lastbiler og busser	0	0
Brint eller e-diesel til industri, direkte fyring	0,0 - 0,1	0,0 - 0,5
Brint eller e-diesel til industri, intern transport	0,0 - 0,2	0,0 - 0,5
E-brændstof til forsvaret (Fly, skibe, køretøjer)	Ukendt	Ukendt
Brint til biobrændstofproduktion mm. på raffinaderier	0	0
Produktion af kemikalier mv. (gødning, plast mv) <sup>A</sup>	Ukendt	Ukendt
<b>Potentialer for overgangsløsninger</b>		
Metanol iblandet benzin	0,03 - 0,05	0,00 - 0,01
Evt. iblanding af e-brændstof i diesel/benzin	0,3 - 0,5	0,0 - 0,1
<b>I alt (indenrigs)</b>	<b>0,4 - 1,3</b>	<b>0,1 - 1,9</b>
<b>I alt (samlet)</b>	<b>0,7 - 4,5</b>	<b>1,5 - 6,6</b>

Anm: Spændene udgøres af potentialer vurderingen for anvendelse af PtX-brændstoffer i Danmark, samt udfaldsrum for kulstoffoldige/ikke-kulstoffoldige PtX-brændstoffer til anvendelsen. Her antages det samme behov for CO<sub>2</sub> til syntese som den resulterende CO<sub>2</sub>-reduktion for anvendelsen. Kulstofbehovet til syntese kan være højere (op til 20 pct.) eller lavere ved forskellige synteseveje og produkter.

A: Produktion af ammoniak til gødning kræver ikke CO<sub>2</sub>.

En fuld realisering af potentialerne forudsætter anvendelse af klimaneutralt kulstof svarende til ca. 0,7-4,5 mio. ton CO<sub>2</sub> i 2030 og omkring 1,5-6,6 mio. ton CO<sub>2</sub> i 2050.

Til sammenligning vurderes det i Energistyrelsens analyse, "Punktkilder til CO<sub>2</sub> – potentialer for CCS og CCU"<sup>9</sup>, at der er omkring 4,5-10 mio. ton CO<sub>2</sub> til rådighed fra danske punktkilder i 2030, hvoraf ca. 4-7 mio. ton stammer fra biogene kilder. Med nuværende politiske beslutninger ventes op mod 1,4 mio. ton CO<sub>2</sub> anvendt til lagring i 2030.

Biogent og bæredygtigt CO<sub>2</sub> fra punktkilder kan dermed blive en begrænset ressource på lang sigt, selvom det vurderes, at der vil være tilstrækkeligt til at dække nationale behov frem mod 2030.

<sup>9</sup> Punktkilder til CO<sub>2</sub> – potentialer for CCS og CCU, *Energistyrelsen 2021*, [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/CCS/punktkildeanalyse\\_-\\_potentialer\\_for\\_ccs\\_og\\_ccu.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/CCS/punktkildeanalyse_-_potentialer_for_ccs_og_ccu.pdf)



## 8.2 Fremtidige kilder til kulstof

I fremtiden vil pyrolyse af fx halm kunne levere yderligere kulstof-input gennem produktion af biokul til negative udledninger og kulstofholdig gas eller olie til biobrændstoffer og PtX-brændstoffer. Inputtet til pyrolyse vil dog også være af biogen oprindelse og dermed være underlagt begrænsninger på sigt, jf. Energistyrelsens analyse, "*Biomassens rolle i Power-to-X*"

På sigt kan udvikling af kulstoffangst fra luften, såkaldt *direct air capture* (DAC), bidrage til at løse udfordringen med de begrænsede mængder. Selv om denne teknologi er omkostningstung, bl.a. som følge af et relativt højt energiforbrug, vurderes de begrænsede biomassepotentialer at betyde, at DAC på sigt vil komme til at levere de resterende mængder kulstof ud over, hvad der kan komme fra biogene kilder.

Overvejelserne om både bæredygtighed, tilgængelighed af kulstof og økonomi tyder på, at kulstoffri brændstoffer vil være en mere fremtidssikret løsning for de sektorer, som ikke behøver kulstofholdige brændstoffer, herunder særligt søfart og tung transport. Brint og særligt ammoniak er dog underlagt en række skærpede sikkerhedsregler ift. andre brændstoffer, bl.a. fordi ammoniak er giftigt selv i relativt små koncentrationer. Derudover er ammoniakmotorer stadig under udvikling. Såfremt ammoniak skal slå igennem som det billigste brændstof i shippingsektoren, er der behov for at disse forhold adresseres. Derfor kan der på kort sigt være anvendelser for kulstofholdige brændstoffer også i søfarten.

## 9 Kommende national regulering og Fit-for-55

Ovenstående analyse viser et forholdsvis bredt spænd på en potentiel efterspørgsel efter PtX-brændstoffer svarende til elektrolysekapacitet i 2030 på ca. 2 - 8 GW og i 2050 på ca. 6 - 12 GW. Analysen af omkostninger og konkurrencesituation viser dog også, at anvendelse af PtX-brændstoffer formentlig vil kræve regulering eller lignende tiltag. Der er pt. udspil til forhandling af EU's Fit for 55-pakke, der i den nuværende form vil fremme efterspørgslen efter PtX-brændstoffer fra 2030 stigende mod 2050. I Danmark behandles der desuden et forslag om et drivhusgasreduktionskrav på 7 pct. i 2030 og om fra 2025 at inkludere ILUC-effekter i biobrændstoffernes virkning.

Fit-for-55-pakken indeholder forslag til revision af VE II-direktivet, et CO<sub>2</sub>-fortrængningskrav til søfarten og et iblandingskrav af VE-brændstoffer til luftfarten. Pakkens forslag til revision af VE II-direktivet indeholder et CO<sub>2</sub>-fortrængningskrav på 13 pct. i 2030 generelt for transportsektoren (både vej, bane, luftfart og søfart). Der kan medregnes VE-brændstoffer og elbaseret transport i opfyldelsen af målet. Derudover lægges op til specifikke iblandingskrav for hhv. avanceret biobrændstof (forhøjelse til 2,2 pct. i 2030) og for PtX-brændstoffer (punktmaal på 2,6 pct. i 2030). Medlemsstaterne skal pålægge brændstofleverandører at sikre, at forpligtelserne



opfyldes. Kravet er et minimumskrav, men kan øges nationalt og evt. indføres frem mod 2030.

For søfarten (både indenrigssøfart og udenrigssøfart tanket i Danmark) lægges der i Fuel EU Maritime initiativet op til en ny forordning indeholdende et specifikt krav om CO<sub>2</sub>-fortrængning, som stiger til 6 pct. frem mod 2030 og øges til 75 pct. i 2050, hvor opfyldelsen kan ske med VE-brændstoffer, dog ikke traditionelle 1G-biobrændstoffer. Forslaget vil indebære en totalharmonisering på EU-niveau, dvs. at der som udgangspunkt ikke kan stilles skærpede nationale krav.

På luftfartsområdet (både indenrigsluftfart og udenrigsluftfart tanket i Danmark) foreslås der i ReFuel EU Aviation initiativet et generelt krav om iblanding på 5 pct. i 2030, hvor 1G-biobrændstoffer ikke kan bidrage, og samtidigt lægges op til et specifikt krav for PtX-brændstoffer på 0,7 pct. i 2030. Forslaget vil indebære en totalharmonisering på EU-niveau, dvs. at der som udgangspunkt ikke kan stilles skærpede nationale krav. Forslaget indebærer en stigning i iblandingskravet til 63 pct. og PtX-kravet til 28 pct. i 2050.

PtX forventes på lang sigt at blive konkurrencedygtigt med biobrændstoffer, og derfor forventes hovedparten af reduktionskravet for søfarten og iblandingskravet for luftfarten at blive opfyldt af PtX-brændstoffer i 2050.

Tabel 5 viser konsekvensen af forslagene i Fit-for-55-pakken med udgangspunkt i energiforbrug i 2030 som fremskrevet i Klimafremskrivningen 2021. Det er endnu ikke klargjort, hvad den nationale konsekvens af det overordnede CO<sub>2</sub>-fortrængningskrav på 13 pct. kommer til at være.



Tabel 5: Dansk efterspørgsel efter VE-brændstoffer med Fit-for-55-pakken og potentiale for opfyldelse ved PtX.

Tiltag i 2030 i udspillet til Fit for 55.	Resulterende efterspørgsel efter brændstof (PJ)	Reduktioner ved fortrængning af fossil brændstof (Mio. ton CO <sub>2</sub> )	Elektrolyse-kapacitet v. 100 pct. opfyldelse m. PtX (GW)
Transportsektoren (inklusive skibs- og luftfart), iblandingskrav på 2,6 pct. (PtX)	6,5	0,5	0,7
Skibsfart, fortrængningskrav på 6 pct. (VE-brændstoffer inkl. PtX)	2,3	0,2	0,3
Luftfart, 5 pct. iblanding (SAF inkl. PtX)	2,4	0,2	0,3
Særskilt iblandingskrav for PtX til luftfarten på 0,7 pct. til delopfyldelse af iblandingskravet på 5 pct.	0,3	<0,05	<0,05

Anm. Elektrolysekapaciteten svarende til den resulterende efterspørgsel efter brændstof forudsætter, at tiltaget opfyldes udelukkende med PtX.

De potentielle CO<sub>2</sub>-reduktioner i luftfarten og skibsfarten udgøres også af udenrigstransport, der ikke medtælles i nationale målsætninger

Det specifikke iblandingskrav for PtX i VE-direktivet forventes at medføre en efterspørgsel på knap 6,5 PJ brændstof i 2030 for hele transportsektoren (inkl. internationalt sø- og luftfart). Denne brændstofmængde vil udover at opfylde det specifikke krav også indgå i opfyldelsen af det generelle CO<sub>2</sub>-fortrængningskrav på 13 pct. i 2030. Grundet udformning af VE-direktivets fortrængningskrav vil dette medføre, at de introducerede PtX-brændstoffer muligvis fortrænger anvendelsen af 1.G biobrændstoffer frem for fossile brændstoffer. Den samlede nettoeffekt vil formentlig være, at udledningen af drivhusgasser reduceres med 0-0,5 mio. ton, hvoraf en andel ikke vil have en effekt på 70 pct.-målet. I 70 pct.-målet anses alle VE-brændstoffer for at være CO<sub>2</sub>-neutrale ved anvendelsen, hvorfor der ikke er forskel på 1.g. biobrændstoffer og f.eks. PtX-brændstoffer. En stor del af CO<sub>2</sub>-effekten kan således tilskrives dels en øget anvendelse af VE-brændstoffer i sø- og luftfart, indenrigs eller udenrigs, der ikke indgår i 70 pct.-målet, og dels reduceret forbrug af enten 1.g. biobrændstoffer eller fossile brændstoffer. Hvis PtX-brændstofferne alene fortrænger fossile brændstoffer kan det medføre en reduktion på op til 0,5 mio. ton CO<sub>2</sub>e/år i 2030.

Det er altså ikke givet, hvilke segmenter der vil bidrage til opfyldelse af iblandingskravet. Det kan både opfyldes i segmenter med langsigtet robust anvendelse, som fx søfart og luftfart eller nogle brintlastbiler, og i segmenter, hvor

det i højere grad vil udgøre en overgangsløsning, eksempelvis ved iblanding i benzin og diesel.

Endeligt vil Fit-for-55-tiltagene øge efterspørgslen efter PtX i EU bredt, hvilket – forudsat de nødvendige understøttende rammevilkår indføres – vil kunne føre til en betydelig produktion af PtX i Danmark, som eksporteres og anvendes i andre lande.



## Bilag 1 – Beskrivelser af segmenter

### 1 Indledning

I dette bilag gennemgås de forskellige segmenter inden for transport og fremstillingserhverv, hvor PtX-produkter potentielt kan finde anvendelse. Der tages i beskrivelserne udgangspunkt i udledningerne i 2030, og det antages, at potentialet for elektrificering gennemføres.

Spænd for elektrificering tager udgangspunkt i scenarierne i KP21 og vises i Tabel 2. Spænd for PtX-anvendelse opgøres i udgangspunkt på baggrund af udfaldsrum af scenarierne i Klimaprogram 2021 samt ud fra eventuelle segment-specifikke overvejelser og vises i Tabel 3.

### 2 Transportsektoren

Udledningerne fra transportsektoren forventes ifølge KF21 at udgøre ca. 11,5 mio. ton CO<sub>2e</sub> i 2030 fordelt på hovedsageligt vejtransport, men også banetransport og indenrigssøfart og indenrigsluftfart. Tankning af skibe og fly på internationale ruter regnes ikke med i de nationale udledninger og dermed heller ikke ift. 70 pct.-målsætningen. De indeholdes i forslag til kommende EU-regulering og beskrives her, da de udgør et væsentligt potentiale for PtX. I 2019 udgør udenrigstransport for fly og skibe ca. 5,6 mio. ton CO<sub>2e</sub>. For jernbanen er der allerede en elektrificering undervejs, som inden 2030 vil reducere anvendelsen af diesel til tog med op mod 75 pct. Dermed er udledningerne allerede blevet reduceret til 0,1 mio. ton i 2030.

Realisering af reduktioner i transportsektoren kan fx ske gennem erstatning af fossile brændstoffer med VE-baserede drivmidler, fx el, brint, biobrændstoffer eller kulstofholdige PtX-brændstoffer. Nogle af disse drivmidler, herunder el og brint, kræver nye køretøjer eller retrofit (ombygning/eftermontering) af motorer, mens andre, herunder flere bio- og PtX-brændstoffer, kan iblandes eller helt erstatte fossile brændstoffer. For lette køretøjer som personbiler og varebiler er en elektrificering af de enkelte køretøjer allerede i dag en mulighed, mens den tunge transport som søfart og luftfart kun forventes at kunne elektrificeres delvist og kun på længere sigt. For busser og lastbiler er der et vist potentiale, men ikke alle segmenter kan dækkes inden 2030.

På længere sigt frem mod 2050 forventes potentialet for elektrificering af den tunge vejtransport at stige markant.

Potentialerne for elektrificering i 2030 begrænses således af, hvor hurtigt biler eller skibe i den nationale flåde bliver udskiftet. Det skyldes, at en omstilling afhænger af, hvornår forbrugere og virksomheder vælger at udskifte deres køretøjer, og om



de vælger at skifte til fx elbiler. Med en teknisk levetid for personbiler på over 15 år i gennemsnit, kan en fuld omstilling tage over 20 år.

Neden for følger afsnit for hvert segment, hvor den potentielle efterspørgsel efter PtX vurderes.

## 2.1 Personbiler

Med forventede knap 60 pct. af vejtransportens udledninger og ca. 54 pct. af transportsektorens samlede udledninger, forventes personbiler i KF21 at være kilde til 6,2 mio. ton CO<sub>2</sub>e-udledninger i 2030.

Afhængig af den teknologiske udvikling forventes elbiler at ville kunne levere det fornødne transportarbejde i fremtiden, og hele dette segment vurderes dermed i udgangspunktet at kunne elektrificeres direkte.

Elektrificering vurderes også at være billigere end alternativerne som omstilling til brintbiler eller anvendelse af biobrændstoffer eller kulstofholdige PtX-brændstoffer i konventionelle biler. Brintbiler kan dog muligvis finde indpas ved bestemte segmenter eksempelvis inden for bestemte erhverv, hvor der kræves større fleksibilitet i kørselsmønstret.

Der er i dag godt 2,7 mio. personbiler i Danmark, heraf er godt 1 pct. rene elbiler. Den gennemsnitlige levetid for nye personbiler er 15-17 år og den gennemsnitlige danske bil er ca. 9 år gammel. De sidste år er der solgt godt 220.000 nye biler årligt, men salget forventes at stige. Med den gældende regulering og forventninger til markedet for elbiler (priser, antal modeller mv.) forventes der i Klimafremskrivning 21 at være knap 750.000 elbiler (inkl. plug-in hybridbiler) i 2030. Hvis alle nye biler fra 2022 er rene elbiler, forventes det, at der i 2030 vil være godt 1,8 mio. elbiler i bestanden svarende til en CO<sub>2</sub>e-reduktion på ca. 3 mio. ton ift. KF21. Det bemærkes, at dette vil kræve betydelige politiske tiltag.

Dette efterlader et potentiale på ca. 3,2 mio. ton i 2030, som enten kan søges delvist elektrificeret gennem en forcering af udskiftningen af den eksisterende bilpark eller kan reduceres gennem øget iblanding af PtX- eller biobrændstoffer. Omkring 65 pct. af den eksisterende bilflåde udgøres af benzinbiler, hvor den maksimale iblanding af metanol vurderes at være op til 1,43 pct. ift. energiindhold for de fleste eksisterende biler. Højere iblandinger end dette vurderes at ville kræve retrofit af motorerne, hvilket ikke vurderes at være rentabelt ift. at erstatte bilerne med elbiler.

Det bemærkes, at iblanding vil være en relativt dyr overgangsløsning (se Figur 4), indtil bilerne erstattes med elbiler på længere sigt. Det skyldes, at HVO (diesel baseret på biologisk materiale) og PtX-baseret diesel og benzin er relativt dyre brændstoffer. Bioetanol og e-metanol er relativt billigere løsninger, men disse kan





kun iblandes i begrænset omfang og vurderes stadig dyrere end direkte elektrificering. Øget iblanding i den eksisterende bilpark som overgangsløsning bør derfor kun vælges, såfremt iblanding er billigere end andre tiltag, der er nødvendige for at opfylde 2025- eller 70 pct.-målsætningen.

På baggrund af scenarier i KP21 vurderes det, at ca. 25-50 pct. af bilparken vil kunne direkte elektrificeres i 2030 og ca. 80-92 pct. i 2050, samt at 0-5 pct. af bilparken kan udgøres af brintbiler i 2030 og i 2050. På samme baggrund vurderes det også, at 7,5 pct. af dieselforbruget kan erstattes med e-diesel. Produktionen af e-diesel vil kunne medføre en bi-produktion af e-benzin på 30 pct. ift. energi af dieselproduktionen. I 2030 vil det udgøre en anseelig mængde og i 2050 en forsvindende mængde.

Metanol kan ud fra gældende regulering blandes i benzin med op til 3 volumenprocent, hvilket svarer til 1,43 pct. i forhold til energi. Det forventes at udgøre en forsvindende mængde metanol i 2050.

## 2.2 Varebiler

Med forventede ca. 15 pct. af vejtransportens udledninger og ca. 14 pct. af transportsektorens samlede udledninger forventes varebiler at være kilde til 1,6 mio. ton CO<sub>2</sub>e-udledninger i 2030.

Ligesom for personbilerne vurderes varebilerne at kunne omstilles fuldstændigt til eldrift på længere sigt, og elektrificering vurderes i vid udstrækning at være billigere end omstilling til brintvarevogne eller anvendelse af PtX- eller biobrændstoffer. Der kan være segmenter, hvor brintvarevogne både på kort og lang sigt vil være relevante. Det kan skyldes kørsel med meget lange afstande, tung last eller kontinuerlig drift, hvor opladningstid kan være et problem. Dette vurderes dog at udgøre et mindre segment, og omstilling til brint kræver indkøb af nye varebiler ligesom omstilling til el. Derfor vurderes en satsning på brintvarebiler ikke at kunne bidrage betydeligt til omstillingshastigheden eller reduktioner i 2030.

Der er ca. 380.000 varebiler i Danmark, men tallet er stigende. Levetiden er ca. den samme som for personbiler, og det årlige nysalg er på godt 30.000 stk.

Hvis alle nye varebiler er eldrevne fra 2022, vurderes det, at bestanden af eldrevne varebiler er omkring 220.000 stk. i 2030 mod knap 100.000 i KF21 svarende til en yderligere CO<sub>2</sub>e-reduktion på 0,6-0,8 mio. ton i 2030. Det bemærkes, at dette vil kræve betydelige politiske tiltag.

Det efterlader et potentiale på 0,8-1 mio. ton i 2030, som enten kan søges delvist elektrificeret gennem en forcering af udskiftningen af den eksisterende flåde af varebiler eller kan sænkes gennem øget anvendelse af PtX- eller biobrændstoffer. Varebiler kører i dag stort set udelukkende på diesel, som kan erstattes fuldstændigt med enten PtX-diesel eller HVO (diesel baseret på biologisk materiale).



Det bemærkes, at iblanding vil være en relativt dyr overgangsløsning, indtil bilerne erstattes med elbiler på længere sigt. Det kommer af, at PtX-baseret diesel og HVO er relativt dyre brændstoffer. Øget iblanding for den eksisterende bilpark som overgangsløsning bør derfor kun vælges, såfremt iblanding er billigere end andre tiltag, der er nødvendige for at opfylde 2025- eller 70 pct.-målsætningen.

På baggrund af scenarier i KP21 vurderes det, at ca. 20-50 pct. af varebilsflåden vil kunne direkte elektrificeres i 2030 og ca. 70-91 pct. i 2050, samt at 0-2 pct. af varebilsflåden kan udgøres af brintvarebiler i 2030 og tilsvarende 0-5 pct. 2050. På samme baggrund vurderes det også, at 7,5 pct. af dieselforbruget kan erstattes med e-diesel. Produktionen af e-diesel vil kunne medføre en bi-produktion af e-benzin på 30 pct. ift. energi af dieselproduktionen, som vil kunne bruges i personbilssegmentet. I 2030 vil det udgøre en anseelig mængde, og i 2050 en forsvindende mængde.

### 2.3 Busser

Med forventede ca. 4 pct. af vejtransportens udledninger og ca. 3 pct. af transportsektorens samlede udledninger forventes busser at være kilde til 0,4 mio. ton CO<sub>2e</sub>-udledninger i 2030.

Busser i rute udgør ca. halvdelen af alle busser i Danmark og vurderes umiddelbart relativt enkle og billige at elektrificere. En del af en sådan udskiftning indgår allerede i KF21, så det ekstra potentiale er begrænset. Det forventes derfor, at reduktionspotentialet er på ca. 0,2 mio. ton CO<sub>2e</sub> årligt. Udskiftning af busser er i højere grad baseret på beslutninger i kommunerne end på privatøkonomiske overvejelser og vurderes derfor i højere grad realistisk at nå i mål med frem mod 2030.

For øvrige busser, herunder turistbusser, vurderes elektrificeringspotentialet begrænset, og der udestår derfor omkring 0,2 mio. ton CO<sub>2e</sub> baseret på diesel, som vil kunne erstattes helt eller delvist gennem øget anvendelse af PtX-diesel eller HVO.

På baggrund af scenarier i KP21 vurderes det, at ca. 30-50 pct. af alle busser vil kunne direkte elektrificeres i 2030 og ca. 40-60 pct. i 2050, samt at 5-15 pct. af alle busser kan omstilles til brint i 2030 og tilsvarende 5-25 pct. 2050. På samme baggrund vurderes det også, at 7,5 pct. af dieselforbruget kan erstattes med e-diesel. Produktionen af e-diesel vil kunne medføre en bi-produktion af e-benzin på 30 pct. ift. energi af dieselproduktionen, som vil kunne bruges i personbilssegmentet.



## 2.4 Lastbiler

Med forventede ca. 14 pct. af vejtransportens udledninger og ca. 13 pct. af transportsektorens samlede udledninger forventes lastbiler i 2030 at være kilde til 1,5 mio. ton CO<sub>2</sub>e-udledninger i 2030 i KF21.

Der er ca. 45.000 lastbiler (sættevogne, sololastbiler mv.) i Danmark med levetider typisk mellem 6 og 10 år, dog med stor spredning hvor de små lastbiler typisk har en relativt lang levetid. For de mindste distributionskøretøjer med nogenlunde fast kørselsmønster vurderes direkte elektrificering at være billigere end alternative brændstoffer frem mod 2030. Større lastbiler vil dog fortsat have behov for flydende drivmidler. Dog vurderes anvendelse af brint og evt. el på lang sigt at være billigere end PtX-diesel eller HVO.

Ud fra scenarierne i KP21 vurderes det, at 1-10 pct. af lastbilerne vil kunne elektrificeres inden 2030. De resterende ca. 1,4 mio. ton CO<sub>2</sub>e vil kunne adresseres gennem hel eller delvis erstatning med PtX-brændstof eller HVO. Frem mod 2050 vurderes det, at 25-75 pct. vil kunne elektrificeres.

Disse skøn er dog behæftet med stor usikkerhed, da udbredelsen af el- og brint-lastbiler i høj grad vil afhænge fordelingen af kørselsmønstre og lastbilstørrelser indenfor segmentet, samt af den fremtidige udvikling bl.a. i den tilgængelige infrastruktur. Flere kommercielle aktører har givet udmelder om ambitiøse projekter for brintlastbiler i Danmark (se bilag 9 i strategien). Dette kombineret med usikkerheden om udviklingen i segmentet betyder at den potentielle udbredelse af brintlastbiler vurderes til op til 25 pct. i 2030 og 25-75 pct. i 2050.

På baggrund af scenarierne i KP21 vurderes det, at 7,5 pct. af dieselforbruget kan erstattes med e-diesel. Produktionen af e-diesel vil kunne medføre en bi-produktion af e-benzin på 30 pct. ift. energi af dieselproduktionen, som vil kunne bruges i personbilssegmentet.

## 2.5 Søfart

Indenrigssøfart ventes ifølge KF21 at give anledning til en årlig udledning på ca. 0,6 mio. ton CO<sub>2</sub>e i 2030. Heraf stammer knap 0,2 mio. ton fra ruter mellem Danmark og hhv. Grønland og Færøerne, og omkring 0,25 mio. ton stammer fra færger. De resterende ca. 0,25 mio. ton stammer fra godstransport og andre fartøjer som uddybningsfartøjer, slæbebåde mv. Oven i de 0,6 mio. ton fra søfart kommer yderligere godt 0,2 mio. ton fra fiskerflåden.

Transporten til Grønland og Færøerne samt fiskerflåden vurderes ikke at kunne elektrificeres i praksis pga. lange afstande og driftstider. Her vil anvendelse af PtX- eller biobrændstoffer være eneste tekniske mulighed for at erstatte fossile brændsler.



For færgernes vedkommende vurderes en mindre andel af udledningerne på ca. 0,03 mio. ton at stamme fra ruter, som det vurderes teknisk fordelagtigt at elektrificere, mens skibe på de resterende ruter vurderes at have behov for anvendelse af brændstof. Under stor usikkerhed vurderes en tilsvarende andel af gruppen godstransport og andre fartøjer at kunne elektrificeres.

For de fartøjer, der ikke umiddelbart vil kunne elektrificeres, vurderes omstilling til brint, ammoniak eller metanol at være mere realistisk på lang sigt, hvilket dog er forbundet med opbygning af anlæg til produktion, transport og tankning samt investeringer i nye skibe eller ombygninger. På kort sigt er anvendelse af HVO en mulighed, om end det vil være forbundet med høje omkostninger. De større danske operatører er i gang med forskellige projekter for skift af brændsler, og det vurderes derfor teknisk muligt at omstille hovedparten af sektoren til enten eldrift, brint eller ammoniak inden 2030. Der må dog forventes udfordringer i nogle tilfælde, særligt i forbindelse med specialfartøjer med lang levetid eller lign.

Det vurderes altså, at ca. 2-20 pct. af brændstofforbruget for skibe vil kunne direkte elektrificeres i 2030 og ca. 10-35 pct. i 2050.

Ud fra scenarier i KP21 vurderes det muligt at omstille 10-45 pct. af søfarten til PtX-brændstoffer i 2030. I 2050 vurderes det under stor usikkerhed muligt at omstille mellem 50 og 90 pct. af brændstofforbruget til PtX- eller biobrændstoffer. Dette er på linje med udspillet i Fit for 55 om et reduktionskrav på 75 pct. i 2050.

Bunkering af brændstof til udenrigssøfart gav ifølge Energistatistikken 2019 anledning til en udledning på ca. 2,4 mio. ton CO<sub>2e</sub> i 2019. Denne udledning benyttes her simpelt som en proxy for de fremtidige udledninger i 2030 og 2050. Det vurderes ikke muligt at elektrificere de fartøjer, der tankes til udenrigstransport i Danmark. Her vurderes omstilling til PtX- eller bio-brændstoffer at være mere realistisk. Der skønnes de samme muligheder for omstilling til VE-brændstoffer som for indenrigssøfarten, da sammensætningen af udenrigssøfart ikke er undersøgt nærmere.

## 2.6 Luftfart

Indenrigsluffarten ventes ifølge KF21 at give anledning til en årlig udledning på ca. 0,17 mio. ton CO<sub>2e</sub> i 2030.

Baseret på teknologiernes udviklingsstadiet vurderes det ikke teknisk muligt på kort sigt at omstille nogen væsentlig andel af ruterne til brint eller el, selvom flere store flyproducenter overvejer disse drivmidler til luftfarten i fremtiden.

I den nærmeste fremtid vil elektrificering alene være muligt for mindre fly. Derfor vurderes det, at der i 2030 kun vil være 0-1 pct. eldrevne fly og 0-10 pct. i 2050. Alternativet er derfor anvendelse af bio- eller PtX-baseret flybrændstof – jettfuel – til anvendelse i luftfarten. VE-brændstoffer kan afvige fra fossile flybrændstoffer på en række tekniske parametre som vandindhold, frostegenskaber mv., og flere



standarder (bl.a. fra IATA og ASTM) tillader op til 50 pct. iblanding afhængig af typen. Det er dog muligt – typisk med øgede omkostninger til følge – at tilpasse brændstoffernes egenskaber, ligesom standarderne evt. kan ændres over tid. Det antages derfor under stor usikkerhed, at op til 10-75 pct. af flybrændstoffer kan omlægges til PtX- eller biobrændstoffer i 2030 og op til 50-90 pct. i 2050.

Bunkering af brændstof til udenrigsluffart gav i følge Energistatistikken 2019 anledning til en udledning på ca. 3,2 mio. ton CO<sub>2e</sub> i 2019. Denne udledning benyttes som en proxy for de fremtidige udledninger i 2030 og 2050. Der skønnes samme omstillingsmuligheder for udenrigsluffart som indenrigsluffart, da sammensætningen af udenrigsluffart ikke er undersøgt nærmere.

## 2.7 Industrierhvervene, landbrug, skovbrug og gartneri

Følgende sektorer medregnes i denne opgørelse:

- Industri (fremstillingshverv)
- Bygge og anlæg
- Landbrug, skovbrug og gartneri

For så vidt angår bygge og anlæg samt landbrug, skovbrug og gartneri, vurderes PtX-produkter hovedsageligt at kunne finde anvendelse som brændstof til såkaldt intern transport, som her dækker over entreprenørmaskiner (gravemaskiner, kraner mv.) og landbrugsmaskiner (mejetærskere, traktorer mv.). For så vidt angår industri, vurderes PtX-produkter hovedsageligt at kunne finde anvendelse ved *direkte fyring* i højtemperaturprocesser fx i forbindelse med produktion af tegl, glas, cement osv. Øvrig procesvarme ved lav, mellem eller høj temperatur vurderes at være mere fordelagtig at elektrificere eller omstille til/supplere med biogas, bionaturgas eller biomasse.

## 2.8 Direkte fyring i industrien

Ved direkte fyring forbrændes brændstoffer direkte i ovne, digler eller reaktorer for at skabe meget høje temperaturer i modsætning til øvrige højtemperaturprocesser, hvor brændstofferne anvendes i kedler til at opvarme damp, olie eller lign, som derefter anvendes som medie til at lede varmen frem til de processer, hvor den anvendes. Direkte fyring kræver ofte flydende eller gasformige brændstoffer, men fx i cementindustrien anvendes også faste brændsler som kul og petrokoks samt industriaffald.

Udledninger fra flydende og faste brændsler til direkte fyring i højtemperaturprocesser i 2030 forventes at være kilde til ca. 0,9 mio. ton CO<sub>2e</sub>-udledninger i 2030<sup>10</sup>.

For disse processer vurderes et mindre elektrificeringspotentiale.

---

<sup>10</sup> En mindre andel af disse er ikke karakteriseret ved højtemperaturproces, men har samme udfordringer ift. elektrificering.



Udledninger fra gasformige brændsler til direkte fyring i højtemperaturprocesser i 2030 forventes at være kilde til ca. 0,5 mio. ton CO<sub>2</sub>e-udledninger i 2030<sup>11</sup>. For disse processer vurderes et mindre elektrificeringspotentiale.

Hovedparten af disse segmenter vil kunne omstilles til anvendelse af bionaturgas eller biogas, såfremt potentialet for biogasproduktion er tilstrækkeligt, eller fast biomasse. Der forventes dog at være pres på bæredygtige bioressourcer, og derfor kan betalingsvilligheden på sigt være høj for biogas i andre sektorer. I tilfælde, hvor industrivirksomheder ikke kan skaffe de fornødne mængder biogas eller bionaturgas, og hvor fast biomasse ikke kan finde anvendelse, vurderes brint eller andre PtX-brændstoffer at kunne anvendes.

Samlet vurderes det, at 0-10 pct. af den direkte fyring med faste og flydende brændsler kan omstilles i 2030, og 0-50 pct. i 2050 til PtX- eller bio-brændstoffer. Potentialet for omstilling af gasformige brændsler til PtX er usikkert grundet konkurrence fra omstilling til biogas og kræver nærmere udboring.

## 2.9 Intern transport

Intern transport i bygge- og anlægssektoren, landbrug, skovbrug og gartneri samt industri vurderes i KF21 at give anledning til udledning af ca. 0,9 mio. ton CO<sub>2</sub>e i 2030 fordelt med knap 40 pct. fra bygge og anlæg, knap 60 pct. fra landbrug, skovbrug og gartneri og ca. 3 pct. fra industrien.

Den interne transport udgøres som nævnt hovedsageligt af entreprenør- og landbrugsmaskiner, og en væsentlig andel på omkring 0-50 pct. vurderes at kunne elektrificeres fremover. De resterende dele af den interne transport vil kunne adresseres gennem hel eller delvis erstatning med PtX-diesel eller HVO samt en overgang til brintbaserede maskiner frem mod 2050. Under hensyn til begrænset omstillingshastighed vurderes det, at 0-25 pct. kan omstilles til PtX-brændstoffer i 2030 og 25-50 pct. i 2050.

## 2.10 Forsvaret

Forsvaret ventes i KF21 at give anledning til en årlig udledning på ca. 0,2 mio. ton CO<sub>2</sub>e i 2030 fordelt nogenlunde ligeligt på diesel og flybrændstof. Hovedparten af brændstofforbruget vurderes ikke at kunne elektrificeres direkte. Evt. potentialer i forsvaret skal undersøges yderligere.

## 2.11 Raffinaderier

Raffinering af olie- og naturgasprodukter udledte 1,0 mio. CO<sub>2</sub>e i 2019 og forventes i KF21 at udlede 1,0 mio. ton CO<sub>2</sub>e i 2030. Årsager til udledning i forbindelse med raffinering er primært egetforbrug af fossile brændsler og en mindre andel udledninger forbundet med flaring.

---

<sup>11</sup> En mindre andel af disse er ikke karakteriseret ved højtemperaturproces, men har samme udfordringer ift. elektrificering.



Raffinaderier forventes i fremtiden i stigende grad at omstille fra at behandle råolie til at benytte et biobaseret feedstock. Det vil kræve tilføjelse af brint til mange af processerne, og derfor forventes en betydelig efterspørgsel på brint til produktion af eksempelvis biobaserede brændstoffer til landtransport, skibe og fly og til kemi. Den fremtidige udvikling for raffinaderierne kan ikke konkret vurderes, og derfor opgøres der ikke et specifikt potentiale for PtX-anvendelse eller for CO<sub>2</sub>-reduktioner herfor.

Selve PtX-områdets udvikling indebærer dog en række forretningsmæssige muligheder for raffinaderierne. Begge de danske raffinaderier er således p.t. engagerede i overvejelser om storskala PtX-produktion on-site eller er allerede ved at opføre PtX-anlæg med henblik på opskalering over de kommende år.

## 2.12 Ammoniak til gødning eller CCU til plastikproduktion

Der er i dag kun meget lille egentlig produktion af industrikemikalier i Danmark. Størrelsen af en fremtidig produktion og den medfølgende efterspørgsel efter grøn brint afhænger derfor af graden af ny produktion, der etableres i Danmark. Dette er ikke estimeret.

Fremtidig produktion kunne dreje sig om ammoniak til gødning eller CCU til plastikproduktion. Da anvendelsen af produkter typisk ikke er forbundet med udledninger, vil en substitution med e-produkter ikke lede til en direkte reduktion af CO<sub>2</sub>-udledninger. I det omfang, at anvendelsen af e-produkter substituerer importerede produkter på fossil basis, vil det reducere Danmarks globale aftryk. Ammoniak til gødning udgør et stort globalt marked, det er muligt at omstille ved at udskifte sort brint i produktionen med grøn brint. På samme måde er plastproduktion også en stor industri, der i dag er baseret på olie, men kunne omstilles ad forskellige CCU-veje baseret på genanvendt eller biogen kulstof eller på grøn brint.

Begge disse globale industrier udgør altså store og robuste potentialer, som ved omstilling gennem ny dansk produktion primært vil reducere Danmarks globale aftryk.

## Bilag 2 – Reduktionsomkostninger baseret på Energistyrelsens prognoser

I analysen af reduktionsomkostninger ved anvendelse af PtX-produkter, tages der udgangspunkt i en gennemsnitlig brintproduktionsomkostning i løbet af indeværende årti på ca. 100 kr./GJ. Dette ligger mellem de prognoser for produktionsomkostninger, der præsenteres i analysen "PtX-produkter og konkurrence".

Den ene af de to prognoser udgør Energistyrelsens hovedskøn for omkostninger til brintproduktion inden for dette årti under forudsætning af fleksibel drift af elektrolyseanlæg, men før øvrige rammevilkår tilpasses mv. Den anden udgør en mulig udvikling af omkostningerne på længere sigte efter væsentlig opskalering og industrialisering af produktion samt forbedrede rammevilkår og udbredelse af understøttende infrastruktur. Derudover er det en forudsætning, at rammevilkårene for produktion, transport, lagring og anvendelse af brint og andre PtX-produkter indrettes hensigtsmæssigt, og at den grønne værdi af PtX-produkter kan dokumenteres og afspejles i markedsprisen. Disse prognoser opsummeres i Tabel 6.

*Tabel 6 Prognose for produktionsomkostninger for hhv. i løbet af dette årti (den nærmere fremtid) og på længere sigt efter opskalering af produktion, teknologiudvikling, forbedrede rammevilkår og udbredelse af understøttende infrastruktur for hver af PtX-brændstofferne.*

PtX-brændstof, kr./GJ	Nærmere fremtid, inden for dette	Mulig udvikling på længere
	årti	sigte
Brint	125	75
Ammoniak	215	145
Metanol <sup>A</sup>	245	175
Flybrændstof <sup>A</sup>	345	240
E-diesel <sup>A</sup>	345	240

Anm.:

A: Der tages udgangspunkt i omkostninger til kulstof i form af CO<sub>2</sub> fra en punktkilde.

Kilde: Energistyrelsens analyse "PtX-produkter og konkurrence".

I tillæg til den gennemsnitlige vurdering, der præsenteres i analysen, viser dette bilag reduktionsomkostninger beregnet med udgangspunkt i produktionsomkostningerne for de to prognoser som bekræftet ovenfor. Der er anvendt samme beregningsmetode som i grundanalysen.

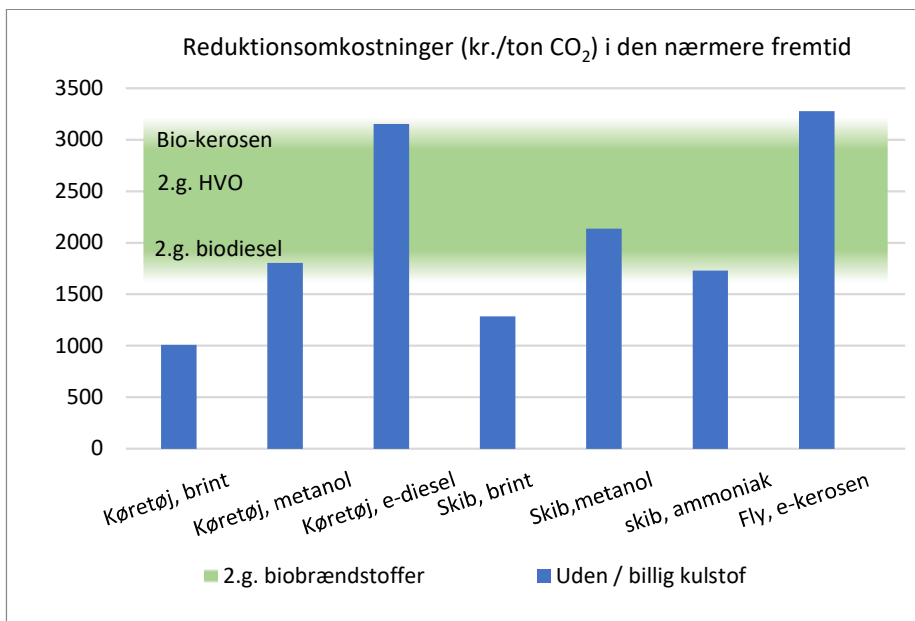
Forudsætningen om prisparitet mellem nye og gamle transportmidler vurderes at være en god antagelse på lang sigt, mens den for den nærmere fremtid, er mere tvivlsom. Der er ikke taget højde for dette i de nedenstående beregninger, selvom dette kan udgøre en betydelig del af reduktionsomkostningen for anvendelse af



brint, ammoniak og metanol. Flybrændstof og e-diesel kan benyttes i eksisterende transportmidler, og der skal altså ikke medregnes udskiftning af køretøj i reduktionsomkostningen.

Reduktionsomkostninger for den nærmere fremtid og på længere sigt vises i hhv. Figur 5 og Figur 6 nedenfor.

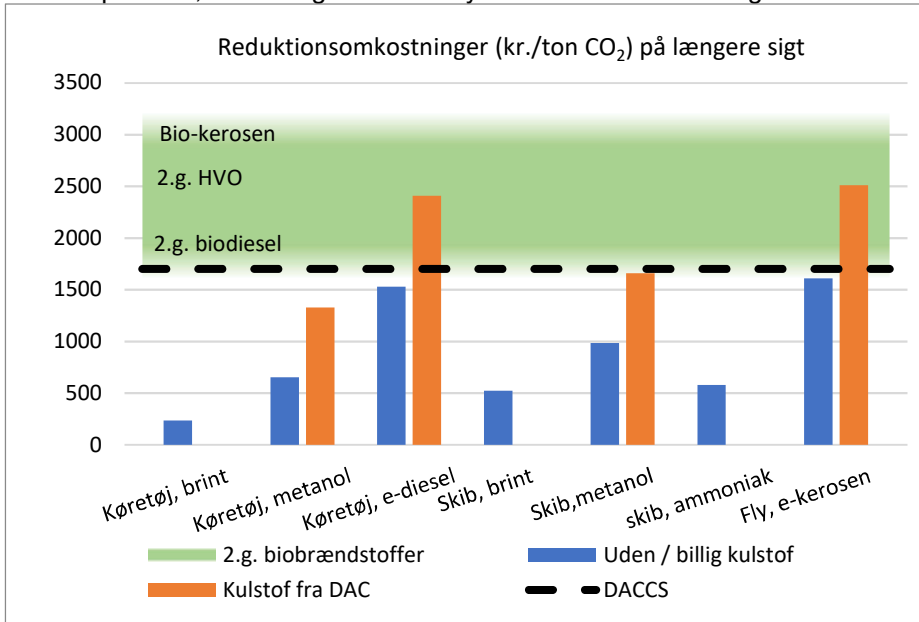
I Figur 5 for den nærmere fremtid fremstår PtX-brændstofferne brint, ammoniak og metanol som konkurrencedygtige alternativer til 2.g. biobrændstoffer. Det er dog vigtigt at huske på at omkostning til udskiftning af transportmiddel ikke inkluderes her, hvilket forventes at udgøre en større andel. Der er dog stadig stor forskel mellem brintkøretøjer, eksempelvis brintlastbil, på ca. 1000 kr./ton og op til 2.g. biodiesel omkring 1700 kr./ton. Det ses at hverken iblanding af e-diesel eller e-kerosen er konkurrencedygtigt på dette tidspunkt, selv med brug af en billigere kulstofkilde end ved DAC. Søfart ved metanol eller ammoniak ligger på niveau med 2.g. biodiesel, uden udskiftning/retrofit af skib medregnet, og må derfor forventes heller ikke at være konkurrencedygtigt.



Figur 5 Reduktionsomkostninger for anvendelse af PtX-brændstoffer baseret på Energistyrelsens prognose for brintproduktionsomkostninger i den nærmere fremtid, jf. Tabel 1. Det bemærkes, at der beregningsteknisk er antaget prisparitet mellem fartøjer med konventionelle drivmidler og VE-brændstoffer, selvom dette næppe vil være tilfældet inden for dette årti.

I Figur 6 vises reduktionsomkostninger for brændstoffer produceret med udgangspunkt i både billig kulstof i form af CO<sub>2</sub> opsamlet fra en punktkilde og ved kulstof fra DAC. På længere sigt forventes prisparitet mellem nye og gamle transportmidler at indtræffe, og det ses, at alle PtX-brændstoffer vurderes at blive

konkurrencedygtige med 2.g. biobrændstoffer. Den eneste undtagelse er e-diesel baseret på DAC, der stadig medfører dyrere reduktioner end 2.g. biodiesel.



Figur 6 Reduktionsomkostninger for anvendelse af PtX-brændstoffer baseret på Energistyrelsens prognose for brintproduktionsomkostninger på det længere sigt under forudsætning af betydelig opskalering af produktion, teknologiudvikling, forbedrede rammevilkår og udbredelse af understøttende infrastruktur, jf. Tabel 1.