

ANBEFALINGER TIL STRATEGI FOR PTX OG CCU

ADVISORY BOARD FOR PTX/CCU OG CCS

Indhold

Forord	3
Medlemmer af Advisory Board	4
Forkortelser	5
Samlede anbefalinger	6
1. Introduktion	10
2. PtX-teknologierne og ressourcer	12
2.1 PtX - Definition og værdikæder	13
2.2 Teknologiske konverteringsløsninger	14
2.3 Tilgængelighed af ressourcer	17
3. Danske styrkepositioner	24
3.1 Energisystem og sektorkobling	25
3.2 Dansk erhvervslivs styrkepositioner	34
4. Markedsmuligheder	36
4.1 Efterspørgsel efter PtX produkter i Danmark	39
4.2 Det internationale marked for PtX produkter	49
5. Forventet prisudvikling	54
6. Regulering og virkemidler	58
6.1 Partnerskaber	60
6.2 Offentlig støtte til innovation	61
6.3 Dansk og international regulering	64
7. Referencer	67

Forord

Udviklingen af bæredygtige brintbaserede brændstoffer (Power-to-X) og anvendelse af kulstof (CCU) har taget til i fart og mange virksomheder i Danmark investerer langsigtet i udviklingen af teknologier til grøn brint, e-methanol og etablering af elektrolyseanlæg. Derfor har DI Energi sammen med Haldor Topsøe samlet en bred kreds af virksomheder i Advisory Board for PtX/CCU og CCS med det formål at give gode råd og anbefalinger til regeringen og Folketinget.

Advisory Board for PtX/CCU og CCS består af 35 virksomheder, som dækker hele værdikæden. Denne rapport indeholder Advisory Boards anbefalinger til regeringens strategi for udvikling af bæredygtige brændstoffer. Anbefalingerne skal ses i forlængelse af de anbefalinger Advisory Board udarbejdede i foråret 2021 vedrørende anvendelse og lagring af karbon.

Vi vil med rapporten gerne pege på de markedsmuligheder og det erhvervspotentiale, der er i at udvikle PtX teknologi og -fremstilling for danske virksomheder og det danske samfund.

Vi ved, at det tager lang tid at etablere den nødvendige infrastruktur til både produktion, anvendelse, transport og anvendelse af PtX, herunder også fangst af CO₂. Derfor er det vigtigt, at danske myndigheder, industri og øvrige aktører hurtigst muligt igangsætter storskalaprojekter, som dækker hele værdikæden. En nødvendig forudsætning herfor er, at regering og myndigheder skaber klarhed om de fremtidige regulatoriske og finansielle rammer.

Mange danske virksomheder arbejder med etablering af PtX-anlæg samt anlæg til fangst og lagring af CO₂. I den sammenhæng er det vigtigt, at strategierne for CCS og PtX sammentænkes for at undgå lock-in effekter, da begge teknologier vil blive industrialiseret i de kommende år.

Kim Grøn Knudsen

Chief Strategy & Innovation Officer
Haldor Topsøe

Troels Ranis

Branchedirektør
DI Energi

Medlemmer af Advisory Board

Navn, titel	Virksomhed
Formand, Kim Grøn Knudsen, Chief Strategy & Innovation Officer	Haldor Topsøe
Christian Tomsen, Managing Direktor, Nordic Countries	Air Liquide
Christian Thomsen, President – Business Unit Welded Heat Exchangers	Alfa Laval
Mogens Røigaard, COO	Ancotrans
Knud Pedersen, Executive Vice President	Andel
Kristian Eriknauer, Vice President, Corporate Responsibility	Arla
Jens Boe Jacobsen, Business Development Direktør	Arriva
Kristina Fløche Juelsgaard, Business Development Director	Ballard Power Systems
Nikolaj Holmer Nissen, CEO	BWSC
Michael Hannibal, Partner	CIP
Klaus Winther Ringgaard, Senior Vice President	COWI
Jakob Fredsted, Senior Vice President	Danfoss
Karl Christian Møller, Director	Danish Crown
Finn Bjørn Schousboe, Business Manager	Crossbridge Energy
Jakob Steffensen, Head of Innovation and Partnerships	DFDS
Thea Larsen, Adm. direktør	DGC – Dansk Gasteknisk Center
Carsten Riisberg Lund, President	FLSmidth
Jens-Ole Aagaard Jensen, CEO	Focus Bioenergy
Jens Roedsted, Markedsdirektør	Force Technology
Sebastian Koks Andreassen, Adm. direktør	Green Hydrogen System
Christopher Sorensen, Adm. direktør	GreenLab Skive
Claus Madsen, Adm. direktør	Hitachi ABB Power Grids
Hans Martin Friis Møller, Adm. direktør	Kalundborg Forsyning
Thomas Woldbye, CEO	Københavns Lufthavne
Ole Hvelplund, Adm. direktør	NGF Nature Energy
Jørgen Wisborg, Adm. direktør	OK a.m.b.a.
Nils Christian Holm, Direktør, Energy Generation	Rambøll
Simon Pauck Hansen, Koncerndirektør	SAS Danmark
Lars Jespersen, Adm. direktør	SDK Shipping
Steen Brødbæk, CEO	Semco Maritime
Peter Weinreich, Adm. direktør	Siemens Energy
Martin Rune Pedersen, Country Chair Denmark	TotalEnergies
Peter Hansen, CEO	Welltec
Ulrik Stridbæk, Vice President	Ørsted
Thomas Uhd, Head of Sustainability & External Relations	Aalborg Portland



Forkortelser

AEC	Alkane elektrolysecelle	EUDP	Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram
ATJ	Alcohol-to-jet	EØS	Det Europæiske Økonomiske samarbejdsområde
Biofuel	Biobrændstof. Biobrændstof er brændstoffer produceret af bioolier (se definition af bioolie herunder)	FAME	Fedtsyre methylether (= biodiesel) (C16-C81 estere)
Biogas	60% metan og 40% CO ₂ baseret på produktion fra biomasse via anaerob fordøjelse	FCEV	Brændselscelleelektrisk køretøj
Biooil	Biooile er olie produceret fra pyrolyse, flydende eller HVO-processen. Biooiler inkluderer også olie fra pyrolyse af plast og dæk, da det antages, at disse med tiden vil blive 100 % biogene.	FQD	Fuel Quality Directive
BNG	Biogas opgraderet til naturgaskvalitet ved at fjerne CO ₂ og andre urenheder og efterlade primært CH ₄	H2	Brint
CAES	Compressed Air Energy Storage	HFO	Heavy fuel oil (typisk C20-C50)
CC	Carbon opsamling	HVO	Hydrogeneret vegetabilsk olie (typisk C15-C18)
CCU	Carbon opsamling og udnyttelse	ICAO	International Civil Aviation Organisation
CCS	Carbon opsamling og lagring i undergrunden	IFU	Investeringsfonden for Udviklingslande
CHP	Kraftvarmeværk (combined heat and power production)	IMO	International Maritime Organization
CNG	Komprimeret naturgas	IPCEI	Important Project of Common European Interest
CO₂	Kuldioxid	Jet-fuel	Meget forgrenet kulbrinte, C10-C13, hovedsageligt petroleum
CO_{2e}	Kuldioxidækvivalenter	LCA	Livscyklusvurderingsanalyse
CORSIA	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation	LH2	Flydende brint
CVRP	Clean Vehicle Rebate Project	LNG	Flydende naturgas (primær CH ₄)
DK	Danmark	LPG	Flydende petroleumsgas (primær C3-C4)
DME	Dimetylæter (C ₂ H ₆ O)	M85	Metanol benzinblanding med 85 vægt% MeOH
EC	Elektrolysecelle	MeOH	Metanol (CH ₃ OngH)
EFTA	Den Europæiske Frihandelssammenslutning	MGO	Marine gasolie (typisk <C35)
EKF	Danmarks Eksportkreditfond	Mt	Megaton (1.000.000.000 kg)
ENDK	Energinet Danmark	NG	Fossil naturgas (primært CH ₄)
EtOH	Ethanol (C ₂ H ₅ OH)	NH₃	Ammoniak
ETS	EU's CO ₂ kvoteordning	PtX	Power-to-X
EU	Den Europæiske Union	RFNBO	Renewable Fuels of Non-Biological Origin
		SOEC	Elektrolysecelle i fast oxid (høj temperatur med høj effektivitet)
		TRL	Teknologiniveauer (technology readiness level)
		TSO	Systemansvarlig transmissionsvirksomhed
		VE	Vedvarende energi
		WtE	Affald til energianlæg

Samlede anbefalinger

Udviklingen af bæredygtige brændstoffer (Power-to-X) samt lagring og anvendelse af karbon (CCS/CCU) kommer til at gå stærkt i de kommende år. Derfor har DI Energi sammen med Haldor Topsøe samlet en bred kreds af virksomheder i et Advisory Board for PtX/CCU og CCS med det formål at give gode råd til regeringen og Folketinget.

I Danmark har vi skabt verdens førende vindmølleindustri. Hvis vi skal have en tilsvarende position på PtX området, skal vi træffe strategiske, finansielle og regulatoriske beslutninger nu.

I det følgende præsenteres Advisory Boards anbefalinger til regeringens strategi for udvikling af PtX.

Anbefalingerne er baseret på en grundig analyse af danske styrkepositioner og af markedsmulighederne og den forventede prisudvikling for PtX. Anbefalingerne bygger på de danske styrkepositioner således, at erhvervspotentialerne til gavn for danske virksomheder og det danske samfund kan udnyttes bedst muligt. For hver anbefaling henvises til konkrete afsnit i rapporten, hvor man kan læse de bagvedliggende analyser og begrundelser for anbefalingerne.

Kapacitet og feedstock:

1. Opstil en målsætning for Danmarks PtX ambitioner.

Det er EU Kommissionens plan at installere mindst 2x40 GW elektrolyse kapacitet i 2030¹. Den danske regering bør opstille en politisk målsætning for elektrolysekapacitet i Danmark, som harmonerer med EU's, og som afspejler Danmarks ressourcepotentiale og behovet for PtX løsninger i de svært omstillbare sektorer. En oversigt over allerede vedtagne/igangsatte projekter i Danmark viser, at disse projekter alene har en målsat elektrolysekapacitet i 2030 på ca. 6,7 GW (Afsnit 2.3.2).

2. Løft målene til installeret VE-kapacitet og fremryk udbygning af havvind.

En af Danmarks væsentligste styrkepositioner er det betragtelige potentiale for havvind. Selvom Danmark har meget ambitiøse, eksisterende planer for udbygning af havvind, er der fortsat et betragteligt uudnyttet potentiale. Havvindsambitionerne bør udvides yderligere. Analyserne viser, at efterspørgslen efter grøn strøm langt overstiger den planlagte kapacitet. Det danske havvinds potentiale skal udnyttes så der sikres tilstrækkelig feedstock i forhold til PtX målsætningen. Potentialet i den danske del af Nord- og Østersøen er mere end 40 GW. Den politiske målsætning bør være at installere kapacitet

¹ Hvoraf 40 GW skal komme fra lande udenfor EU.

til at generere minimum 25-30 GW – og gerne før 2040. Det vil sige 15-20 GW udover det, de vedtagne energioer ved Bornholm og i Nordsøen forventes at levere inden 2040 (Afsnit 4.1.6)

3. Det anbefales, at fremtidig adgang til biogent karbon reserveres til PtX produktion og der kan i den forbindelse blive behov for at importere biogent karbon.

Visse PtX-produkter kræver, at der tilsættes karbon. CO₂ forventes at blive en mangelvare allerede i 2030. Den fremtidige import af biomasse vil afhænge af de nu skærpede nationale certificeringskrav til biomassen, der trådte i kraft d. 30 juni 2021. Det kan derfor også antages at biomassen kun vil være tilgængelig fra nationale kilder i fremtiden. Fortsat adgang til biogen karbon er en forudsætning for at kunne producere bl.a. PtX flybrændstof. Med det afsæt bør koncentrerede kilder til karbon fra eksempelvis husholdningsaffald og restprodukter fra landbrugsproduktion i videst muligt omfang dedikeres til PtX, og det bør undersøges, hvorledes disse kilder udnyttes bedst teknologisk (Afsnit 2.3).

4. Anvendelse af et mellemscenarie frem til 2050.

Omstillingen af transportsektoren og introduktionen af grønne brændstoffer og PtX i transportsektoren kan med fordel inddrage et mellemscenarie med delmål for 2030, der tager højde for, at det vil tage tid at omstille køretøjerne i både den lette og tunge vejtransport til el. Således bør e-brændstof, bio-brændstof og e-bio-brændstof i en overgangsfase muliggøres anvendt også i traditionelle forbrændingsmotorer for derved at minimere klimagas-udledningen mest muligt frem mod 2030 og i de forbrændingsmotorer, der fortsat vil være på vejene også efter 2030. Anvendelsen af et mellemscenarie med delmål for 2030 vil stille krav til udbygningstakten og påvirke mængden af brint, der vil kunne eksporteres (Afsnit 4.1).

Infrastruktur:

5. Det anbefales at etablere en brintlagringsinfrastruktur og at udbygge og retrofite transmissionsinfrastrukturen samtidig med, at elektrolysekapaciteten udvikles.

Udbygningen af infrastrukturen er vigtig for transmission af både brint og for CCS og CCU. Muligheden for at kunne eksportere brint – særligt til nærmarkeder – er en nøgle for etableringen af storskala PtX-produktion i Danmark. Det sker mest udgiftseffektivt igennem en rørinfrastruktur. Udbygning af en brinttransmissionsinfrastruktur er ligeledes en forudsætning for en effektiv integrering og udnyttelse af strømmen fra energioerne. Endelig vil en udbygget brintinfrastruktur bidrage til i øget omfang at tiltrække internationale investeringer. Det er en styrkeposition, at Danmark allerede har en veludbygget energiinfrastruktur, herunder især et nationalt gasnet, der kan indgå i et brintnet på både distributions- og transmissionsniveau. Ved allerede nu at indtænke brintdistribution og -transmission, sikres en bedst mulige langsigtede og strategiske planlægning af Danmarks fremtidig gasinfrastruktur. Tilstedeværelsen af distributionsnet vil supplere transmissionsnettet på to fronter. For det første vil decentrale distributionsnet kunne facilitere en større brintproduktion onshore fra decentrale VE-kilder. For det andet vil en decentral distributionsinfrastruktur kunne facilitere en PtX sektor i Danmark, hvor

industrivirksomheder vil opnå en høj fleksibilitet i forhold til, hvor og hvordan de kan tilkobles. Ligesom det i dag sker på gasdistributionsnettet. Regeringens PtX-strategi bør inkludere en plan for et sammenhængende brinttransmissionsnet i samarbejde med nabolandene, særligt Tyskland, der udnytter potentialet i og er integreret med den nuværende energiinfrastruktur. Således bør en dedikeret brint rørinfrastruktur udvikles. Udbygningen kan tage afsæt i eksisterende strækninger, hvor der er dobbelt rørføring, som f.eks. ved Egtved (Afsnit 3.1), hvor kapacitet, der ikke allerede er dedikeret til biogas, kan udnyttes. Derudover bør en dedikeret brint rørinfrastruktur udvikles.

Økonomiske virkemidler:

6. Optimeret udnyttelse af kapacitet gennem dynamiske el-tariffer.

I dag opkræves der el-tariffer på kabler inden for samme projekt, der forbinder elektrolyseanlæg med vedvarende energianlæg. En omlægning af tarifieringen, matrikelkravet mv. kan være nødvendig, såfremt man ønsker, at produktion af PtX-produkter skal være mere konkurrencedygtig. Det bør derfor undersøges, hvordan direkte linjer og interne net i og mellem en matrikel kan omlægges uden at gå på kompromis med principper om omkostningsægte og ikke-diskriminerende tarifiering. GreenLab Skive og Brande Brint har begge fået en dispensation fra elforsyningsloven som en "frizone". En ny regulering bør inddrage erfaringer fra ovennævnte frizoner, og det kan overvejes at opsamle erfaringer fra andre anlæg (Afsnit 5).

7. Risikominimering i forbindelse med afregningspriser ved PtX.

Markedsdannelsen for bæredygtig brint og afledte produkter er i et gryende marked og derfor forbundet med usikkerhed. Denne usikkerhed bør, hvor muligt, afhjælpes gennem anvendelse af en differencekontrakt (Contract for Difference, CfD), hvor producenten af brint eller andre e-fuels er sikret en mindstepris i lighed med de ordninger, der i dag ligeledes anvendes ved udbud af nye store havvindanlæg i Danmark (Afsnit 6.3). Efterhånden som produkterne bliver konkurrencedygtige bør ordningen udfases, så virksomhederne kan konkurrere på markedsvilkår. I sidste ende skal markedet være drevet af, at der er tilskyndelse til at anvende VE-baseret brint og grønne brændsler på efterspørgselssiden. I en overgangsfase er der dog behov for funding for at få sektoren i gang og afhjælpe investorrisiko, og det kan f.eks. ske via CfD.

8. En offentlig med-finansiering af industriudviklingen, der er tilstrækkelig og gennemskuelig.

For at sikre danske virksomheders konkurrencevilkår bør regeringen styrke de danske offentlige investeringer i industriudvikling inden for PtX-området, herunder også inden for CCS/CCU. Den danske IPCEI-støtte til to udvalgte projekter udgør 850 millioner DKK. En sammenligning af afsatte midler til IPCEI-programmet viser eksempelvis, at der i Tyskland investeres næsten 5 gange så meget per indbygger som i Danmark. En højere andel offentlige investeringer i andre lande giver vanskelige konkurrencevilkår for danske virksomheder på det internationale marked. Der er derfor behov for yderligere midler til flere projekter Danmark. Dertil kommer, at adgangen til danske og internationale offentlige midler til forsknings- og udviklingsaktiviteter inden for PtX er ugenomsigtig. Derfor er det usikkert, om der er afsat midler til udvikling af de nødvendige teknologier på forskellige TRL-niveauer. Den danske strategi bør således sikre, at der er sammen-

hæng i finansieringsmulighederne for teknologier på forskellige TRL-niveauer (Afsnit 6.2).

Gennemsigtighed og samarbejder:

9. Den danske regering bør arbejde for at etablere en ensartet, europæisk certificeringsordning for bæredygtig brint og andre PtX produkter og kemikalier.

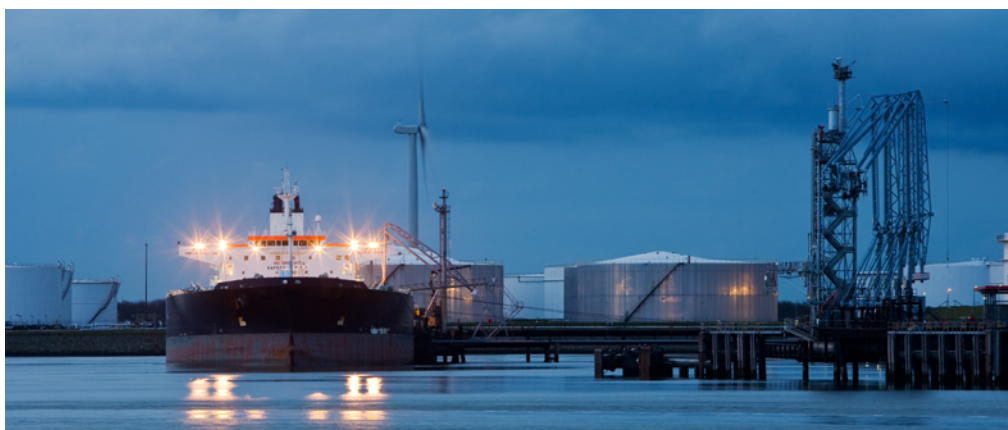
En fælles regulatorisk ramme for brint i den danske lovgivning samt EU-lovgivningen for brint og andre PtX-produkter er nødvendig for at fremme produktion af PtX-produkter, herunder administration af biogen CO₂ i ETS. Der arbejdes i øjeblikket med en fælles-europæisk certificeringsordning for brint. En øget gennemsigtighed omkring oprindelse vil være en fordel for danske virksomheders konkurrenceevne, da vi i Danmark allerede har en dokumenterbar og høj el-andel i nettet, som er baseret på bæredygtige energikilder. Med den nuværende formulering af den fælleseuropæiske certificeringsordning, der grunder i et additionalitetsprincip, vil Danmark ikke kunne drage nytte af de tidlige investeringer i vedvarende energi. En aktiv deltagelse i formuleringen af certificeringsordningen, med inddragelse af industrien, vil bidrage til at sikre danske interesser (Afsnit 6.3).

10. Et styrket internationalt samarbejde omkring udvikling, udbygning og afsætning.

Danmarks økonomiske og klimamæssige påvirkning ved udviklingen af PtX skal ses i et internationalt perspektiv. Det gøres konkret igennem internationalt samarbejde omkring udbygning af produktionskapacitet og infrastruktur samt aftaler omkring afsætning bl.a. med Tyskland. Et udbygget internationalt samarbejde omkring afsætning af produkter vil også sikre skala i forbindelse med produktion og en langsigtet bæredygtighed i den danske erhvervmæssige udvikling på PtX (Afsnit 6.1).

11. Dansk sø- og lufttransports internationale aktiviteter skal med i dansk PtX-strategi.

Danmarks maritime erhverv og lufttransportsektoren vil generelt have stor indflydelse på udviklingen af PtX i Danmark. De væsentlige klimagas udledninger, som reduceres i disse sektorer internationalt af danske virksomheder grundet PtX-teknologi, bør derfor inddrages i overvejelserne omkring opnåelse af Danmarks overordnede klimamålsætninger (Afsnit 4.2).



Introduktion



1. Introduktion

Med Paris-aftalen og Klimaloven er der sat ambitiøse mål for reduktioner i udledninger af klimagasser. En række af disse reduktioner bliver svære at opnå uden egentlige teknologiske nybrud, særligt når det kommer til bl.a. brændstoffer.

En gennemgribende omstilling og elektrificering af samfundet baseret på fornybare energikilder vil være nødvendig. Anvendelse af bæredygtig brint, elektro-brændstoffer samt kemiske produkter baseret på elektrolyse - eller hvad der kort kan defineres som Power-to-X (PtX) – vil blive en uundgåelig del af omstillingen. PtX vil påvirke mange sektorer og industrier: den tunge vej-transport, den maritime sektor og luftfarten er nogle af de væsentligste. Men også den lette vej-transport, industri (plast- og kemikaliefremstilling) og landbrug bliver påvirket. Omstillingen bliver radikal, og den kommer hurtigt.

I Danmark har vi skabt verdens førende vindmølleindustri. Hvis vi skal have en tilsvarende position på PtX-området skal vi træffe strategiske, finansielle og regulatoriske beslutninger nu. Både i regering, hos myndigheder og i landets virksomheder.

Danmark og danske virksomheder står på skuldrene af nogle helt afgørende styrkepositioner. Vi står i en meget gunstig position til at blive førende og etablere et 'nyt vindmølleeventyr'. Dansk industri har allerede væsentlige teknologiske styrkepositioner, og investeringer på PtX-området er allerede besluttet og iværksat i flere af landets førende virksomheder. Hertil kommer en af de væsentligste styrkepositioner, nemlig Danmarks geografiske placering. Adgangen til nogle af verdens bedste vind-ressourcer samt nærheden til Tyskland, der er et af de potentielt største eksportmarkeder for brint, gør, at Danmark har en særdeles gunstig position i forhold til at blive førende indenfor udviklingen af fremtidens PtX-industri. Stor-skala eksport afhænger af at der er en international efterspørgsel til stede og at produktionen af PtX i Danmark er konkurrencedygtig.

Styrkepositionerne hænger sammen i en værdikæde, som er næsten unik internationalt. Den dækker produktion, transport og anvendelse af PtX: Vi har adgang til naturressourcer, som gør, at vi kan producere grøn strøm, vi har transmissionssystemer til både el, gas og fjernvarme, danske virksomheder er førende internationalt, hvad angår centrale teknologier, og endelig er der store aftagere i den maritime- og tunge vej-transport sektor.

I det følgende præsenteres grundlaget fra Advisory Board's anbefalinger baseret på teknologiske overvejelser, danske styrkepositioner, markeds- og prisperspektiver, samt overvejelser omkring regulatoriske virkemidler.

PtX-teknologierne og ressourcer



2. PtX-teknologierne og ressourcer

2.1 PtX – Definition og værdikæder

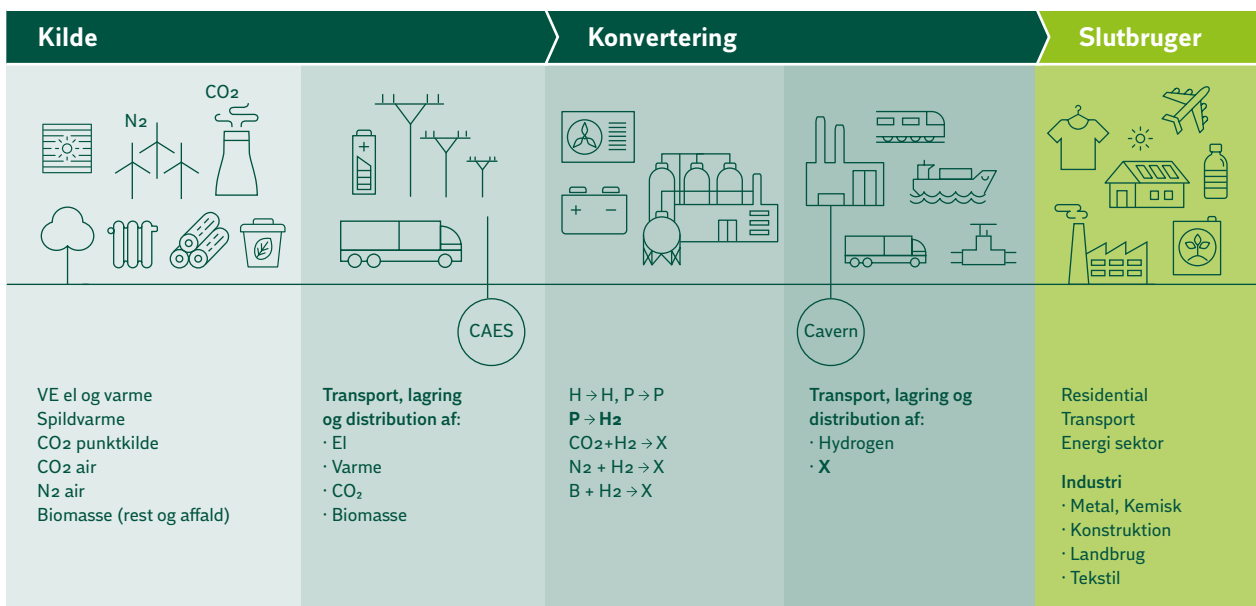
Ved PtX konverteres vedvarende energi (power) til X, hvor X er et energiholdigt stof, som kan erstatte fossilbaserede produkter. X vil typisk være brint (H₂), kvælstofbaserede produkter (gødning) eller kulbrinte-baserede produkter (brændstoffer, plastik, opløsningsmidler, syntetiske tekstiler, etc.).

Formålet med PtX er at erstatte fossile kilder. Værdikæden for PtX fra kilde over konvertering til end-user er vist i Figur 1.

Det centrale i PtX er konvertering af vedvarende energi til energiholdig brint. Brint kan videre konverteres til enten ammoniak eller kulbrinte. Ammoniak kræver nitrogen, som tages fra luften. Kulbrinte kræver karbon, som enten kan komme fra CO₂ eller fra biomasse/affald.

Figur 1 viser ligeledes de energikilder, der kan være med til at udfase fossile kilder, men som ikke direkte er PtX-løsninger. Det kan være biomasse/affalds baseret produktion af brændstoffer/kemikalier og produktion af varme fra varmekilder (f.eks. jordvarme, spildvarme, geotermisk).

Figur 1 Værdikæden for PtX (H=Heat, P=Power, X=energiholdigt produkt)



Ud over at erstatte fossile kilder, er PtX en afgørende brik i sektorkobling. Den vedvarende energikilde fluktuerer uafhængig af forbruget². Med en fortsat udbygning af vedvarende energi, kan PtX løsninger bidrage til balancen i elnettet, da "x-produkterne" er billigere at lagre end strøm.

2.2 Teknologiske konverteringsløsninger

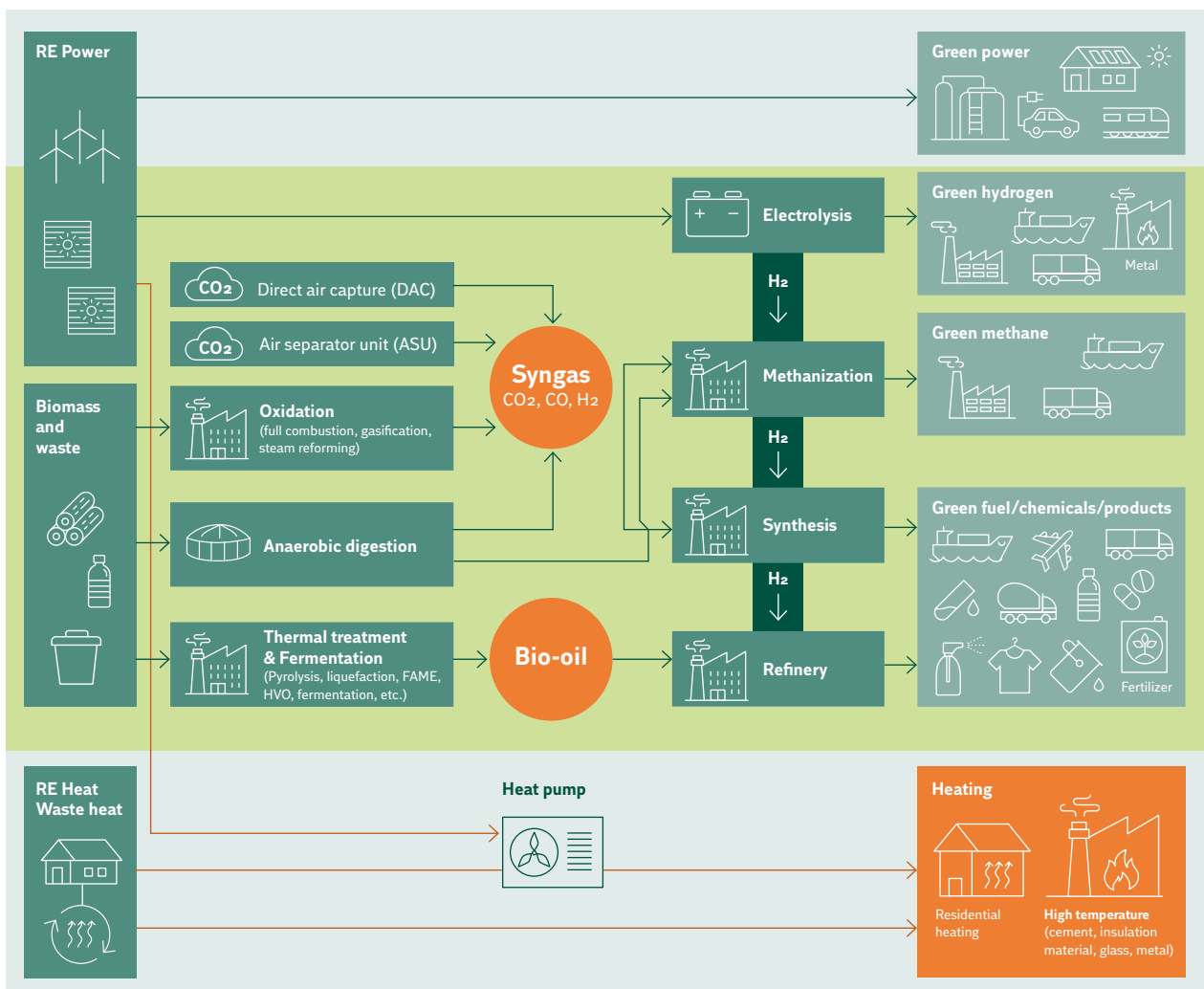
Figur 2 giver et overblik over de forskellige teknologiske veje til fremstilling af fossilfri/grønne brændstoffer, kemikalier og fossilbaserede produkter.

Afhængig af energikilde, kan grønne produkter inddeles i:

1. e-brændstoffer: Al energi i slutproduktet kommer fra vedvarende energi.

For kulbrinter er C-kilden CO₂, mens N-kilden for ammoniak er N₂ i luft.

Figur 2 Teknologiske veje til udfasning af fossil kilde, dvs. opvarmning, elektrificering, fremstilling af fossilfri/grønne brændstoffer, kemikalier og produkter (det lysegrønne område er PtX løsninger)



Figur fremstillet af COWI.

² Undtagelse er Hydro-power.

2. bio-brændstoffer: Al energi i slutproduktet kommer fra biomasse/affald. C-kilden er biomasse/affald.

3. e-bio-brændstoffer: Optimeret produktion, hvor energi delvist kommer fra vedvarende energi og delvist fra biomasse/affald. C-kilden er biomasse/affald, mens brint bliver tilsat, så brint/karbon forhold er optimalt.

Nedenfor beskrives de respektive el- og X-produkter.

2.2.1 Elektrificering

Fossile brændstoffer kan erstattes med elektrificering ved følgende teknologier:

1. Let og kort distance transport: Batterier og elektrisk motor
2. Tung langdistance transport: Elektrificering af tog, Elektrisk vejsystem (ERS) for tung vejtransport³
3. Flytransport
4. Flytransport: På sigt kan der muligvis udvikles brintbaserede fly
5. Lav og mellemtemperatur opvarmning: Direkte eller via varmepumper
6. Høj temperatur processer: Resistens, induktion og mikrobølge opvarmning

2.2.2 Brint

Grøn brint kan produceres ved elektrolyse af vand. Den største udfordring ved grøn brint er produktionsprisen, som hovedsagelig er høj på grund af udgiften til elektricitet, kombineret med høje investeringsomkostninger i elektrolyseanlægget.

Et alternativ til den grønne brint er blå brint, som fremstilles fra en fossil kilde, hvor CO₂ fanges, lagres (CCS) eller anvendes (CCU). Der er usikkerhed omkring klimaeffekten af blå brint, og i et perspektiv om klimaneutralitet fremstår den blå brint derfor mindre attraktiv (Howarth, Robert og Jacobson, Mark, 2021). Advisory Board vurderer, at der ikke er potentiale for produktion af blå brint i Danmark. Af disse årsager vil blå brint ikke blive behandlet yderligere som et alternativ i rapporten.

Der er allerede i dag en meget stor produktion af fossil brint, som primært anvendes til:

1. Produktion af ammoniak
2. Raffinering af fossile brændstoffer
3. Produktion af metanol

Brint kan bruges i transportsektoren via brændselsceller til at drive elektriske motorer. Brint fylder meget. Derfor skal det enten lagres ved højt tryk (500-700 bar) eller konverteres til væske (ved -253 °C) for at opnå acceptable tankstørrelser, når det skal transporteres.

Konvertering af energi fra en form til en anden er forbundet med energitab. Komprimering giver et energitab på 2-5 % per gang, mens konvertering til væske giver op til 20-35 % energitab.

³ For tung langdistance transport er udfordringen, at batterier er meget tunge i forhold til energiindhold, hvilket gør dem uegnet til tung transport over lange distancer.

2.2.3 Metan/bionaturgas

Metan/bionaturgas kan produceres af biomasse i biogasanlæg eller via metanisering af en CO/CO₂ rig syngas. I sidstnævnte kombineres CO/CO₂ med brint.

Bionaturgas kan bruges både til let- og tung landtransport og til skibstransport. Til landtransport bruges CNG (komprimeret naturgas). Til skibe, der kræver store mængder brændstof, anvendes LNG (liquified naturgas).

Fordelen ved bionaturgas er, at det kan anvendes direkte i det eksisterende naturgasnet. Det er dog vigtigt at undgå lækage fra installationerne, da bionaturgas er en meget kraftig drivhusgas. Lækage kan derfor stærkt reducere den ellers positive klimaeffekt ved at benytte bionaturgas (både CNG og LNG).

2.2.4 Metanol/DME (grønt brændstof)

Metanol og DME produceres via syntese af en syngas bestående af brint og CO/CO₂. Metanol bruges til: Brændstof, opløsningsmiddel, antifrostvæske, produktion af biodiesel, råstof i produktion af plastik og andre forskellige kemikalier.

Metanol kan anvendes i benzinmotorer, mens DME kan anvendes i dieselmotorer. Metanol iblandes allerede i dag i benzin i små mængder for at øge oktantallet. Ved en lille justering af motoren kan en benzinbil køre på M85 (85% metanol). Dieselmotorer kan køre på rent DME.

Da Metanol og DME kan bruges i vores eksisterende bil- og lastvognspark, kan det bruges som grønt alternativt i den årrække, hvor vi skifter vores lette køretøjer til elektriske biler og de tunge køretøjer til elektriske eller brint drevne køretøjer.

Til skibsfart betragtes metanol/DME som et godt alternativ. Metanol/DME kan ikke anvendes i fly på kort sigt (dette kan dog vise sig at blive muligt på sigt).

2.2.5 Benzin/diesel (grønt brændstof)

Benzin/diesel kan produceres syntetisk eller via raffinering af bioolie (ethanol-fermentering, FAME (biodiesel), HVO, pyrolyse eller liquidfaction).

Syntetisk benzin og diesel er kemiske efterligninger af de samme produkter produceret på fossilt brændstof. Dermed kan de anvendes direkte i eksisterende motorer.

Bioolie er derimod meget forskellig fra fossile produkter og kan ikke anvendes direkte i motorer til landtransport. Nogle kan iblandes, mens andre kræver mere raffinering. Da bioolie ofte afviger kemisk fra fossile produkter, kan de ikke co-processeres med fossile brændstoffer på eksisterende raffinaderier. Det betyder, at der skal bygges nye anlæg.

Skibs-motorer designet til HFO/MGO kan tage de fleste varianter af bioolie blot syretallet er lavt.

⁴ Er under udvikling.

2.2.6 Flybrændstof (kerosene)

Flybrændstof kan produceres syntetisk på flere måder:

- Syngas via Fischer Tropsch syntese
- Metanol og Metanol-2-Jet syntese (MeOH2Jet⁴)⁵
- Raffinering af bioolie
- Ethanol/iso-butanol og alkohol-2-Jet (ATJ) syntese.

2.2.7 Ammoniak/gødning

Grøn ammoniak produceres ved syntese, hvor nitrogen reagerer med grøn brint fra elektrolyse.

Fordelen ved ammoniak er, at den ikke indeholder karbon, dvs. den udleder ikke CO₂ under forbrænding. Endvidere kræver produktionen kun strøm og vand, hvilket betyder, at ammoniak anlæg kan placeres i ørken eller ude på havet. Ulempen ved ammoniak er, at ammoniak er giftig, brænder langsomt, danner NO_x ved afbrænding, og det har en lav energitæthed.

Den globale produktion af ammoniak anvendes til gødning (80%), kølemiddel, vandrensning og fremstilling af plast, syntetiske polymerer, pesticider, mm.

2.2.8 Plastik, opløsningsmidler, tekstiler, etc.

Fossile brændsler bliver i dag også brugt til produktion af plastik, gummi, syntetiske tekstiler, organiske opløsningsmidler (maling, voks, lak, imprægneringsmidler), tilsætningsstoffer, sprængstoffer og carbon black (bildæk, pigment).

2.3 Tilgængelighed af ressourcer

2.3.1 Brint

Markedet for produktion af brint (inklusive PtX) i Danmark er i hastig forandring. I energistyrelsens klimastatus og fremskrivning for 2020 ses en forventning om 132 MW installeret PtX kapacitet i perioden 2024-2030 (Energistyrelsen, 2021). Tabel 1 viser de største planlagte brintprojekter i Danmark frem mod 2030 (per august 2021).

Som det fremgår af tabellen, er der i dag en forventning om over 6,7 GW installeret brintkapacitet frem mod 2030 og altså langt mere end de 132 MW, som anslået af Energi- styrelsen. I de videre beregninger antages 6,7 GW (92 PJ/år) brintkapacitet i 2030. Frem mod 2050 antages en lineær udbygning af brintkapaciteten, der dermed når ca. 19 GW (277 PJ/år) i 2050.

⁵ Metan skal konverteres til syngas, før det kan konverteres til jetfuel.

Tabel 1 De største brintprojekter i Danmark pr. august 2021

Hydrogenprojekter i Danmark	Kommercielle partnere	H2 cap. (MW)
Green Fuels for Denmark	Ørsted, CPH Lufthavne, Mærsk, DSV, SAS	1300
Høst	CIP, Mærsk, DFDS, Arla, Danish Crown, DLG	1000
H2 Energy Europe Esbjerg	H2 Energy Europe	1300
HySynergy	Shell raffinaderi, Aktive Energi Anlæg (AEA), Trefor Elnet, Energinet, TVIS, EWII, Everfuel	1000
GreenLab Skive	GreenLab, EuroWind, Everfuel, Eniig, E.ON, Energinet, GHS, DGC	400
Green Hydrogen Hub	EuroWind, Corre Energy, Energinet	1000
Green CCU Hub Aalborg	Reintegrate, European Energy, Aalborg Havn	120
Vordingborg Biofuel	Haldor Topsøe, Biofuel Technology, Vordingborg Havn	-
n/a	Aabenraa Havn, Linde Gas A/S	100
n/a	Hirtshals Havn, NXT Green Energy	-
REDDAP	Skovgaard Invest, Haldor Topsøe, Vestas	10
H2RES	Ørsted, Everfuel, NEL Hydrogen, DSV Panalpina, Green Hydrogen Systems, Energinet, Hydrogen Denmark	2,1
HRS Aalborg	Green Hydrogen Systems	0,3
DIOGENES	Danfoss, Green hydrogen, DTU	0,5
LH2 Vessel	Ballard Europe, Dansk Gasteknisk Center A/S, Aalborg Universitet, Erhvershus Fyn, MAN Cryo	-
Brande Hydrogen	Siemens Gamesa, Green Hydrogen Systems	0,45
GreenHyScale	GreenLab, Everfuel, Eurowind Energy, GreenHydrogen, Norlys Holding, RE:Integrate, Energinet, Danish Gas Technology Center, E.on Danmark, DTU Energy	100
HyBalance	Air Liquide, Copenhagen Hydrogen Network, Hydrogenics, Centrica, Hydrogen Valley, LBST, Energinet, Akzo Nobel, Sintex	1,2
Strandmøllen Ejby	Strandmøllen	0,5
InjectMe	Landia A/S, AU, University of Queensland	-
Eurowind Mariagerfjord Kommune	Eurowind, Mariagerfjord Kommune	35
P2G BioCat	Electrochaea, Audi, NEAS Energy, HMN Naturgas, BIOFOS, Insero, Hydrogenics	-
n/a	European Energy, ReIntegrate, Mærsk	-
Blue Seal	Ballard Power Systems	50
Me-fuel	Nature Energy, Biogas Clean	360

Kilde: COWI.

Note: De to IPCEI-projekter er markeret med mørk grøn.

2.3.2 Vedvarende energi

Figur 3 viser en prognose for produktion og forbrug af strøm i Danmark frem mod 2030, baseret på data fra Energistyrelsen samt forudsat en brintproduktion i 2030 på 6,7 GW.

Figuren viser, at der med de nuværende planer for ekspansion af kapacitet for vedvarende energi stadig vil være et markant el-importbehov, også efter etableringen af 5 GW elkapacitet på energiøerne ved Bornholm og i Nordsøen omkring 2030.⁶

Balanceringen af det danske elsystem sker dels via systemydelsespakker samt via en stærk integration med det nordeuropæiske el-marked. Eftersom storskala produktion af PtX før 2030 vil øge behovet for import af elektricitet, vil brændstofferne samlede karbonaftryk afhænge af karbonaftrykket for den importerede elblanding. Ifølge Dansk Energi er 14% af den importerede elektricitet baseret på fossile kilder (Dansk Energi, 2021). Dermed kan det ved import af el ikke garanteres at PtX produkterne er grønne.

Figur 4 viser en prognose for produktion og forbrug af el i Danmark frem mod 2050, baseret på fremskrivninger af data fra Energistyrelsen samt ovenstående antagelser om brintproduktion.⁷

Som figuren viser, vil der også efter 2030 være behov for at importere el, givet at vi fortsætter udbygningen til 12 GW samlet kapacitet for energiøerne (i 2031-39) og i øvrigt udbygger den sædvanlige sol- og vindkapacitet i samme tempo som hidtil.

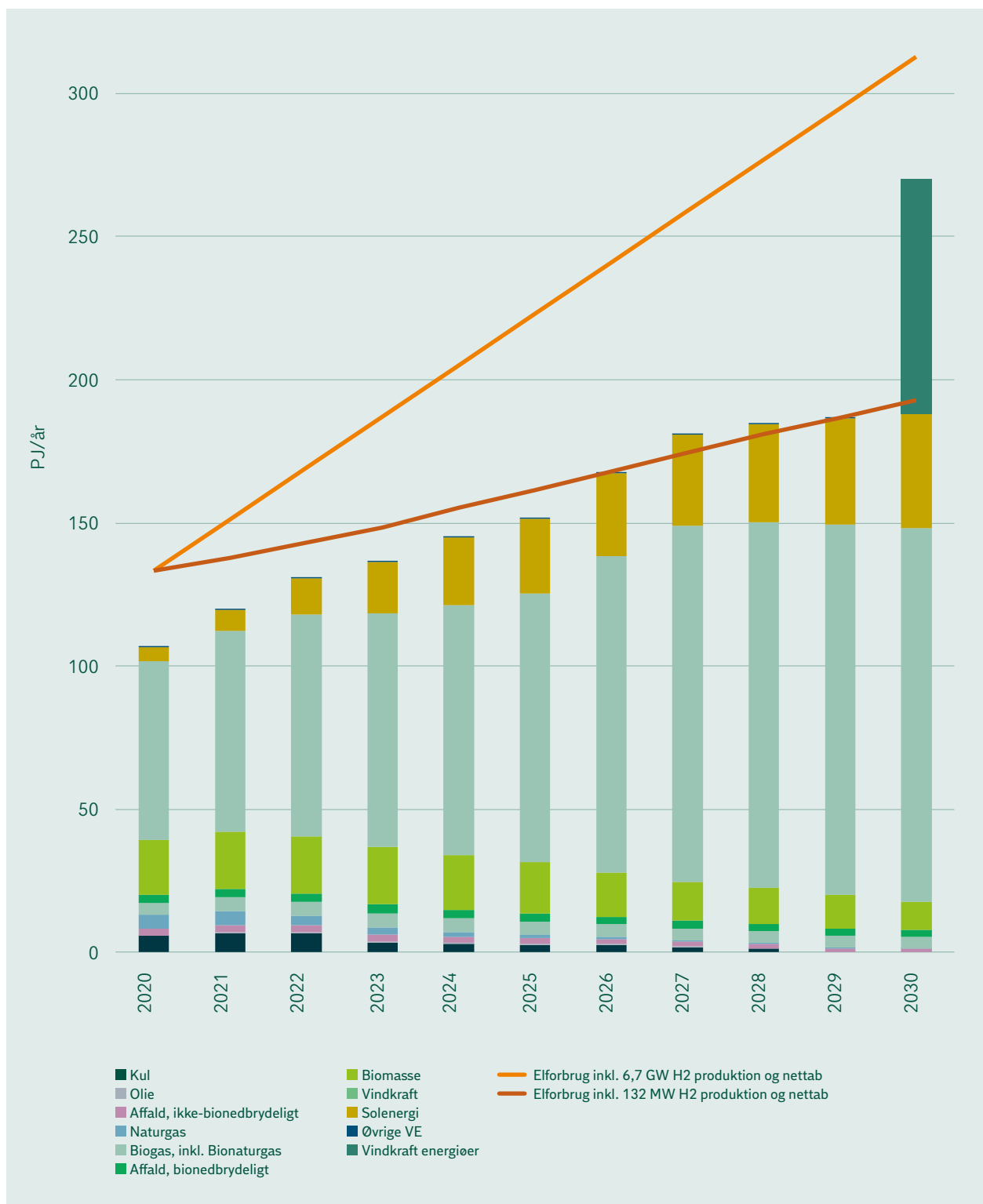
Figur 4 inkluderer ikke omlægning til elektrificering eller PtX i de øvrige sektorer, som også forventes at øge elforbruget. Dette behandles nærmere i afsnit 4.1, hvor energiforbrug og kilder vurderes for den enkelte sektor for at vurdere den samlede efterspørgsel efter brint (herunder PtX) og el i henholdsvis 2030 og 2050.



⁶ Figuren giver et billede af energibalancen på årsbasis, og tager ikke hen-syn til behovet for fleksibilitet og lagring. Periodelise fluktuationer i vind og sol vil betyde, at øjebliksbilledet for energibalancen afviger fra dette.

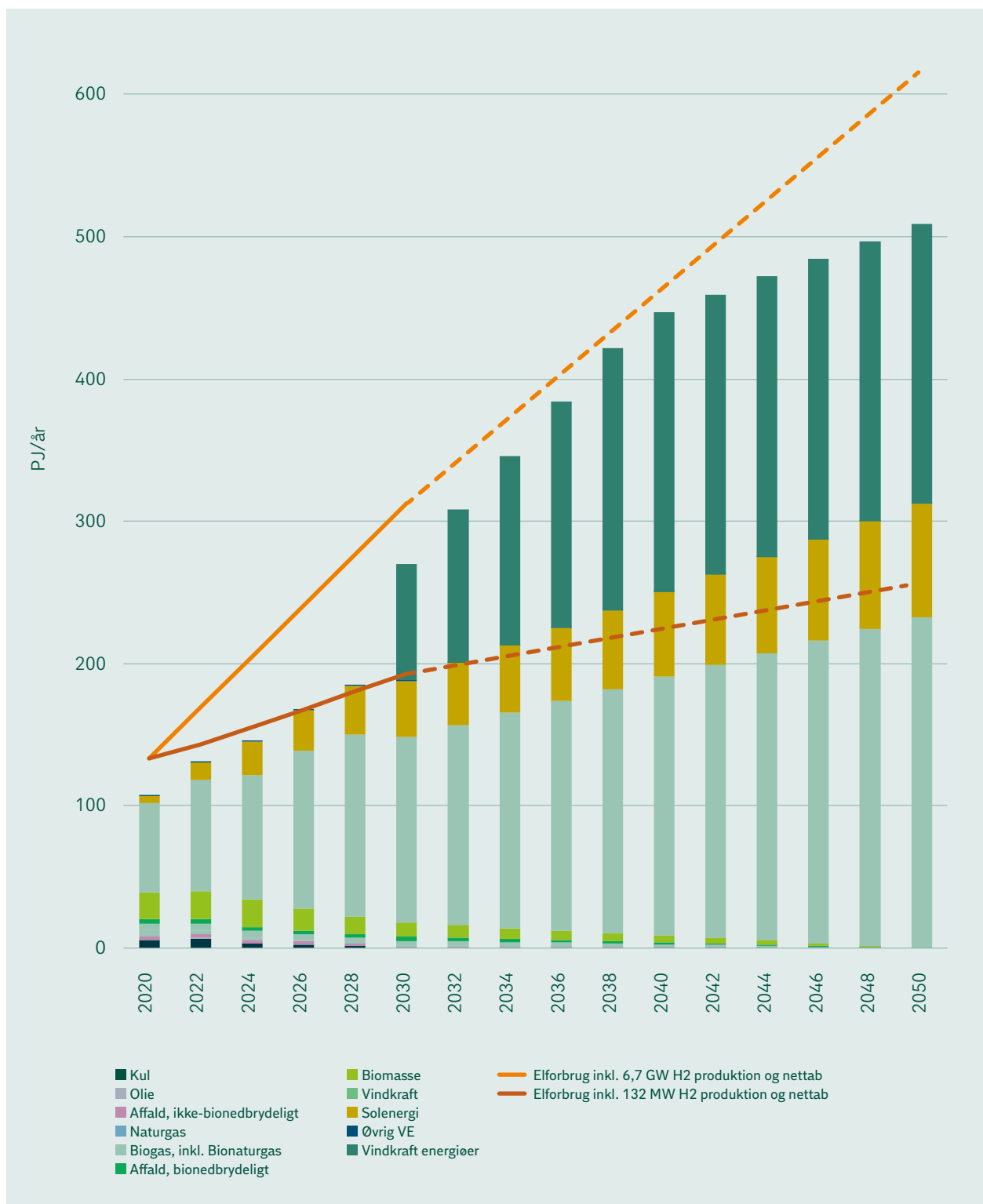
⁷ Mens vindkraft fra energiøerne forventes øget til 12 GW i løbet af 2030-39, er øvrig sol- og vind kapacitet fremskrevet med samme faktor som for perioden 2020-2030. Produktion af strøm fra fossile kilder antages udfaset for at opnå den danske 2050 målsætning om klimaneutralitet. Ligeledes udfases biomateriale i strømproduktionen, da biomassen bør reserveres til produktion af karbonbaserede brændstoffer (se afsnit 4.1.6).

Figur 3 Tilgængelig el og elforbrug i DK frem mod 2030 (PJ/år)



Kilde: Energistyrelsens Klimastatus og -fremskrivning og COWI beregninger.

Note: Søjlerne i figuren viser den forventede, beregnede elproduktion (og fordeling på energikilde) og kurverne viser det forventede, beregnede el-forbrug). Der antages en elektrolyseeffektivitet på 77% samt 5300 timer årlig brintproduktion.

Figur 4 Tilgængelig strøm og strømforbrug i DK frem mod 2050 (PJ/år)

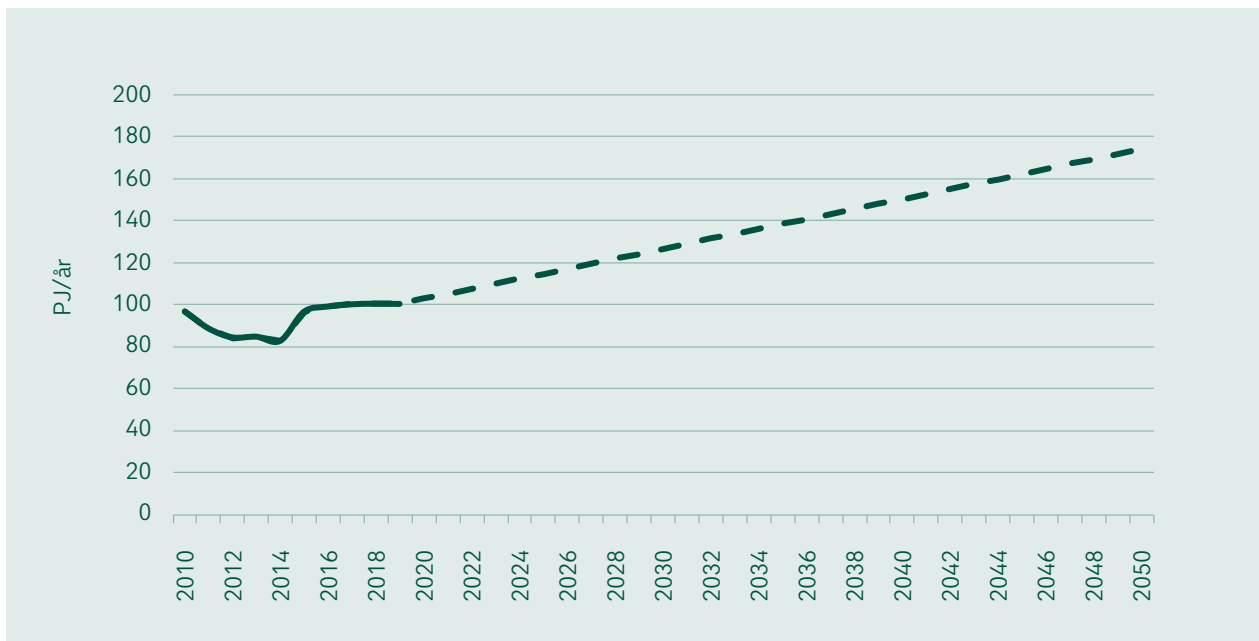
Kilde: Energistyrelsens Klimastatus og -fremskrivningberegninger.

Note: Søjlerne i figuren viser den forventede, beregnede elproduktion (og fordeling på energikilde) og kurverne viser det forventede, beregnede el-forbrug. Der antages en elektrolyseeffektivitet på 77% (HHV-basis) samt 5300 timer årlig brintproduktion.

2.3.3 Biomasse

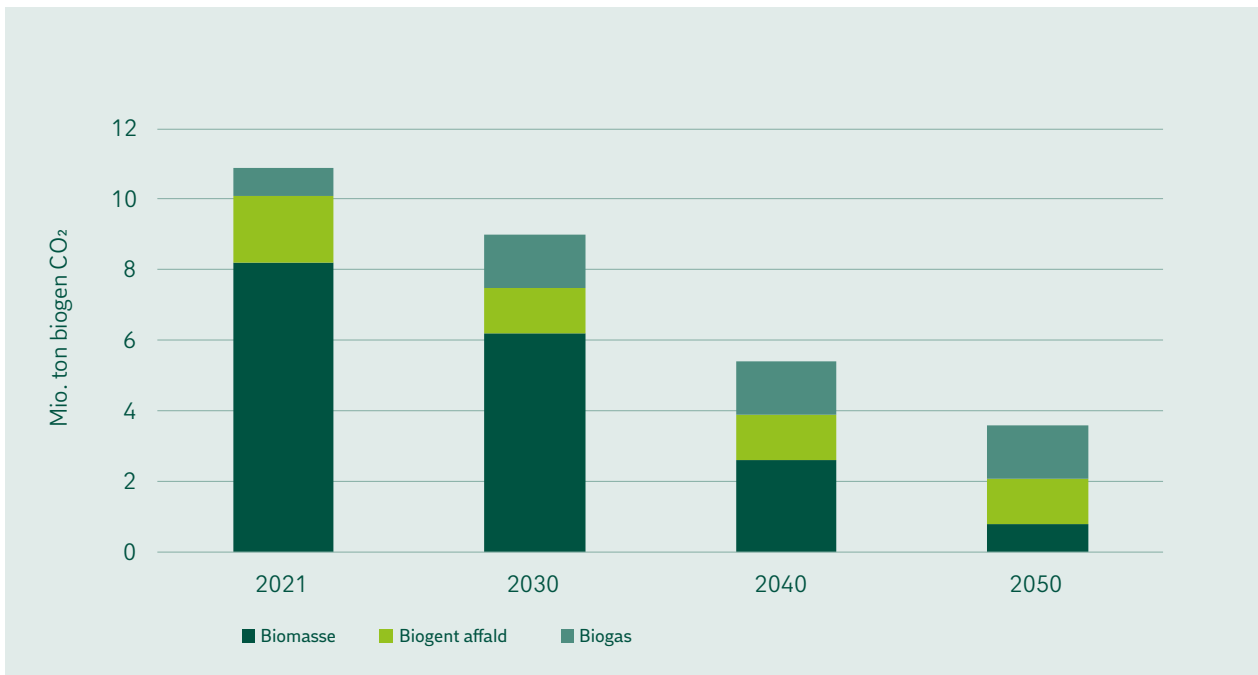
Cirka 50% af biomassen til dansk el- og varmeproduktion importeres, og mængderne er steget støt i løbet af de sidste 30 år. (Energistyrelsen, 2020). Jævnfør aftale om klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi forventes mængden af importeret biomasse i fremtiden at afhænge af den fortsatte diskussion om bæredygtighed (Regeringen m.fl., 2020: De skærpede nationale certificeringskrav til biomassen, der trådte i kraft d. 30 juni 2021 betyder, at det antageligvis primært vil være biomasse fra nationale kilder i fremtiden. Derfor antages det, at der i 2050 kun vil være biomasse tilgængelig fra nationale kilder. Klimakommissionen har i 2010 beregnet det samlede energipotential fra danske landbaserede biomasse-ressourcer til 174 PJ/år frem mod 2050, hvilket bekræftes af øvrige analyser på området (Klima-, Energi- og Forsyningsudvalget, 2021). Baseret på Energistyrelsens energistatistik over produktion af biomasse i dag, er den tilgængelige biomasse fremskrevet til 174 PJ/år frem mod 2050, jf. Figur 5.

Figur 5 Forventet national produktion af biomasse frem mod 2050 (PJ/år)



Kilde: Energistatistik (Energistyrelsen, 2020) og Klimakommissionen (Klima-, Energi- og Forsyningsudvalget, 2021) og COWI-beregninger.

Biogen CO₂-fangst fra punktkilder for afbrænding af biomasse (hovedsageligt kraftvarme, affald, biogas og industriedler) kan være en kilde til produktion af grønne brændstoffer, plastik og kemikalier. Ifølge Dansk Energi har vi næsten 11 mio. ton biogen CO₂ tilgængelig i dag. Efterhånden som importeret biomasse reduceres, forventes det, at der frem mod 2050 kun vil være ca. 3,5 mio. ton biogen CO₂ tilgængeligt, som vist i Figur 6. Den biogene CO₂ vil primært komme fra produktion af biogas og biogent affald, mens biomassen vil udgøre en mindre andel.

Figur 6 Forventede mængder tilgængelig biogen CO₂ fra 2021 til 2050

Kilde: Dansk Energi og EA Energianalyse.

Danske styrkepositioner



3. Danske styrkepositioner

Danmark og dansk industri har en lang række styrkepositioner, der sætter landet i en særdeles gunstig position i forhold til at indtage en førende, international rolle i udviklingen på PtX-området.

Danmark har havvind potentiale i verdensklasse. Potentialet i hele Nordsøen anslås at være ca. 250 GW. I de danske farvande i Nordsøen og Østersøen vurderes potentialet at være over 40 GW (Havvindspotentialet i Danmark, Energistyrelsen, 2019). Danmark er allerede i dag verdens førende vindkraftproducent pr. indbygger. Og også inden for produktionen af biogas indtager Danmark en førende position internationalt.

Ikke alene har Danmark en førende position, når det angår produktion af vedvarende energi. Danmark har ligeledes en lang række styrker, hvad angår landets energisystem og vores erfaringer med sektorkobling. Endelig har dansk industri en række teknologiske styrkepositioner, som placerer Danmark særdeles godt i forhold til udvikling af en PtX-industri. Nedenfor gennemgås udvalgte styrkepositioner.

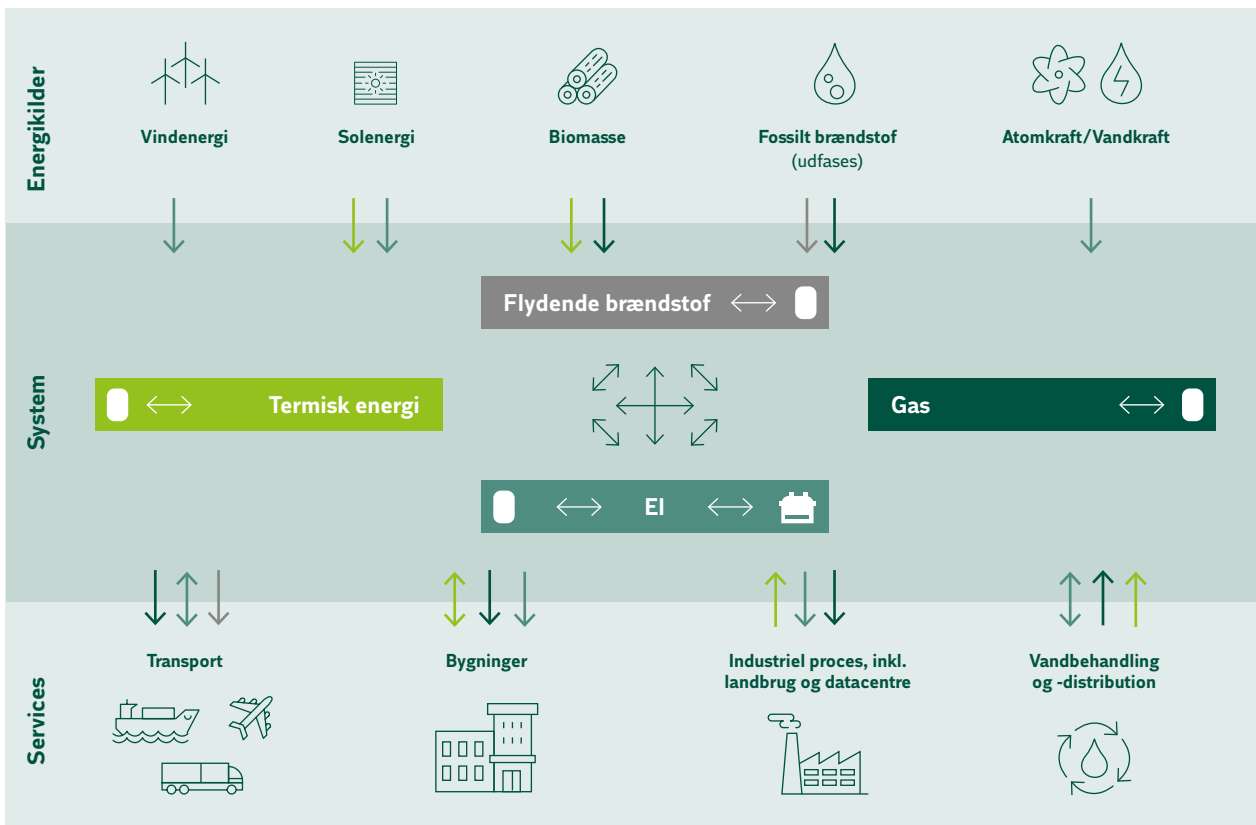
3.1 Energisystem og sektorkobling

World Energy Council har kåret det danske energisystem til at være verdens bedste, baseret på bæredygtighed, forsyningssikkerhed og adgang til energi (World Energy Council, 2018).

I nær fremtid står energisystemet overfor en transformation, da det skal tilpasses til mere vedvarende energi samtidig med, at brint og PtX-brændstoffer skal introduceres til systemet. Det er vigtigt, at denne transformation bygger videre på energisystemets styrker således, at Danmark bibeholder sin konkurrencedygtighed i fremtiden.

Det er især muligheden for optimering af drift via sektorkobling, som kan give Danmark en komparativ fordel, specielt fordi vi har et udbygget fjernvarmesystem og erfaring med optimeret balancering af elektricitetssystemet.

Sektorkoblingsmodellen udviklet af DTU er vist i Figur 7 nedenfor. Figuren viser, hvordan energikilderne (vind, sol, biomasse, fossile brændstoffer og vandkraft) transporteres til forbrugssektorerne via infrastruktursystemer for henholdsvis flydende brændstoffer, termisk energi (fjernvarme), gas-infrastrukturen og el-systemet.

Figur 7 Sektorkoblingsmodel udviklet af DTU

Kilde: DTU, 2020.

Med den udvikling, som foregår indenfor brint og PtX, er et nyt element i energisystemet på vej, nemlig brintsystemet.

Fremtidige energisystemmodeller bør udvikles, så de inkluderer PtX-værdikæden. Det vil bidrage til, at aktører indenfor industrien og offentlige myndigheder kan identificere optimale lokationer for PtX-anlæg, baseret på oplysninger om net-muligheder, markedsprognoser, tilgængelighed af ressourcer samt sektorkoblingsoptimering.

Sektorkobling er historisk set foregået ved systemintegration mellem aktører i de forskellige energisektorer (el, gas og fjernvarme). Det har sikret en økonomisk optimal og stabil drift af energisystemet og udnyttelse af lagermuligheder i de enkelte energisektorer.

I fremtiden bør sektorkobling også ske på slutbrugerniveau for at opnå størst mulig fleksibilitet. Derudover er det vigtigt at sikre, at digitaliseringen af energisystemerne indtænkes i de fremtidige modeller. Digitaliseringen bør inkludere fremskridt indenfor kunstig intelligens og machine-learning i energisystemmodellerne, hvilket kan bidrage til værdifuld dataanalyse, indsigt og prognoser for energimarkedene. Intelligent styring af energi i bygninger, industri og transport, hvor apparater automatisk kan reagere på prissignaler fra energimarkedene og tilpasse sit forbrug tilsvarende, er også nødvendig for at optimere energisystemerne.

Markedsaktører handler bilateralt med hinanden. Med nye produkter og produktionsformer på markedet er der behov for udbygning af centrale markedsplatforme, ikke mindst for PtX-brændstoffer, brint, biomasse og karbon. Udvikling af centrale markedsplatforme vil bidrage til øget gennemsigtighed og effektivitet på markederne og sænke transaktionsomkostningerne for industrien.

I det følgende præsenteres aspekter, som det er nødvendigt at fokusere på for at fremme udbredelsen af PtX i Danmark med udgangspunkt i de enkelte energisystemer (el-, naturgas-, fjernvarme- og brintsystemet) og med særligt fokus på sektorkobling.

3.1.1 Elsystemet

Danmark har et stærkt elsystem med en stor andel af strøm fra CO₂-neutrale kilder. Således har der i 2021 til dato blot været 14% fossil strøm i stikkontakten. Elsystemet er helt fundamentalt for PtX, og strøm er den største omkostning i brintproduktionen.

Industrien (fremstillingsvirksomheder) er den sektor, der har det største forbrug af elektricitet, som vist i Tabel 2. For ikke at underminere industriens internationale konkurrenceevne er det vigtigt, at tiltagene for at fremme PtX ikke øger elpriserne. Forhøjede elpriser vil også i sig selv svække konkurrenceevnen for dansk PtX.

Tabel 2 Elforbrug fordelt på sektorer

Elanvendelse i 2019	Elforbrug PJ	Elforbrug %
Vejtransport	0	0%
Jernbanetransport	1	1%
Landbrug, skovbrug og gartneri	7	6%
Fremstillingsvirksomhed	29	26%
Bygge- og anlægsvirksomhed	1	1%
Engroshandel	5	5%
Detailhandel	5	5%
Privat service	18	16%
Offentlig service	9	8%
Enfamiliehuse	28	25%
Etageboliger	9	8%
I alt	112	100%

Kilde: Energistyrelsens Energistatistik 2019 (Energistyrelsen, 2020).

En af udfordringerne i elsystemer baseret på vedvarende energikilder er, at strøm skal anvendes i samme øjeblik, som det produceres. I fremtiden må vi forvente en stor udbygning af vedvarende energi fra både solparker og fra offshore-vind, bl.a. fra de to planlagte energiøer. Dette vil stille store krav til udbygning af det danske elsystem, som skal kunne håndtere store mængder strøm af fluktuerende omfang.

I dag håndteres balanceringen af el-nettet primært gennem den liberaliserede elmarkedsmodel (hvor markedsaktører frit kan købe og sælge strøm og har et marked for reguleringsydelse) samt ved at markedet er integreret med vores nabolande via kabler til udveksling af el.⁸ I fremtiden vil disse tiltag blive suppleret med:

- Smart-grid og vehicle-to-grid, hvor smarte el-apparater og køretøjer kan reagere på prissignaler fra el-markederne og justere strømforbrug/opladning baseret på priserne.
- Sektorkobling til fjernvarmesystemet, hvor strømmen konverteres til varme med varmepumper, og varmen lagres i fjernvarmesystemet.
- Konvertering af overskudsstrøm til brint (PtX sektorkobling), som enten kan anvendes til e-fuels eller tilbagekonverteres til strøm.

Det er især strategien vedrørende det sidste punkt, som der her er fokus på. Det er vigtigt at skabe incitamenter til at anvende overskudsstrømmen til brintproduktion. Dette kan opnås bl.a. ved at ændre i tarifmodellen således, at der opnås en tarifbesparelse, hvis man bidrager til at balancere elnettet. Rationalet er, at denne balancering netop kan være med til at undgå yderligere kapacitetsinvesteringer i transmissionsnettet, hvormed net-operatørerne opnår en besparelse. Investeringer i el-transmissionsnettet er dog stadig nødvendige, og her bør det samtænkes med etablering af brintrørledninger. Ligeledes bør elektrolyseanlæg, som er opkoblet på egen VE-produktion, og som netto ikke forbruger elektricitet fra det offentlige elnet, have mulighed for at blive fritaget fra el-tariffer. Derfor bør der også forskes i at gøre komponenterne i PtX-værdikæden fleksible, så de hurtigt kan reagere på prissignaler fra elmarkedet og tilpasse strømforbruget tilsvarende.

⁸ Danmark har gennemgående haft stor gavn af at være en del af et stort, nordeuropæisk el-marked. De norske og svenske vandkraftværker genererer strøm, som kan importeres til Danmark, når det blæser mindre kraftigt og vindmøllerne her står stille. Samtidig kan Danmark eksportere overskudsstrøm til Tyskland, Norge og Sverige, når det blæser kraftigt. I takt med, at vores naboer selv får mere vedvarende energi, er der behov for at styrke udlandsforbindelserne yderligere og supplere dem med indenlandsk fleksibilitet.

3.1.2 Naturgasset

Det danske naturgasset forsyner 400.000 danske husstande og virksomheder med naturgas. Gassen anvendes i en række industrier, heriblandt fødevarer, plastik, glas og cement, hvor den typisk anvendes til opvarmning, dampproduktion og til opvarmning i højtemperaturprocesser. Danmark har verdens største andel af biogas i naturgasset, hvor biogas i gennemsnit udgjorde 20% det seneste år⁹.

Tabel 3 Gasforbrug per år fordelt på sektorer

Gasanvendelse 2019	Gasforbrug PJ	Gasforbrug %
El- og varmeprod. anlæg	27	32%
Bygasværker	0	1%
Distributionstab m.v.	0	0%
Endeligt forbrug		
– Transport (primært vejtransport)	0	0%
– Produktionserhverv	27	31%
– Handel og service	8	9%
– Husholdninger (primært enfamiliehuse)	19	23%
– Etageboliger	4	4%
I alt	85	100%

Kilde: Energistyrelsens Energistatistik 2019 (Energistyrelsen, 2020).

Med udfasning af fossil naturgas vil belastningen af naturgasnettet falde. Men pga. den store danske biogas produktion og pga. vores forpligtelser i forhold til Baltic-Pipe vurderes det optimalt at bibeholde store dele af naturgasnettet. Også fordi naturgasnettet udgør en stor lagerkapacitet.

Det eksisterende naturgasnet kan håndtere op til 10-20% brint ved skift af enkelte elementer (retrofitting af bl.a. gas analyse udstyr og flow måler), og der er forsøg med højere procentindhold. Gasset giver derved muligheden for at transportere brint i naturgasnettet, hvilket kan give sektorkoblingsfleksibilitet i tilfælde af overproduktion af strøm/brint.¹⁰

⁹ Baseret på markedsdata fra perioden 16-08-2020 – 15-08-2021.

¹⁰ Dette er en relativ dyr løsning, da den producerede brint via elektrolyse har "mistet" energi via konverteringen.

3.1.3 Fjernvarmesystemet

Danmark har historisk haft en stærk sektorkobling mellem varme- og elsektorerne. De danske kraftvarmeværker her gennem de seneste 30 år både leveret fjernvarme og samtidig produceret strøm. Fjernvarmen kan lagres i kortere perioder (flere dage) og således behøves varmeproduktionen modsat elproduktionen ikke følge forbruget. Behovet for fjernvarme er stigende, både til opvarmning af private boliger men også til virksomheder, som i stigende grad kobler sig på fjernvarmesystemet. Tabel 4 viser fjernvarmeforbruget i forskellige forbrugssektorer.

Tabel 4 Anvendelse af fjernvarme i forskellige forbrugssektorer

Fjernvarmeanvendelse i 2019	Fjernvarmeforbrug TJ/år	Fjernvarmeforbrug %
Landbrug, skovbrug og gartneri	1.548	1%
Fremstillingsvirksomhed	3.313	3%
Engroshandel	4.099	4%
Detailhandel	3.164	3%
Privat service	13.784	13%
Offentlig service	10.253	10%
Enfamiliehuse	33.046	32%
Etageboliger	34.663	33%
I alt	103.871	100%

Kilde: Energistyrelsens Energistatistik 2019 (Energistyrelsen, 2020).

Fjernvarmen baseres delvist på fossile brændsler, biomasse og affald. En udfasning af fossile brændsler er allerede planlagt. Affaldsmængden forventes reduceret dels pga. øget genanvendelse og dels som led i, at Danmark går væk fra import af affald. Derfor er der behov for alternative produktionskilder til fjernvarme. Følgende alternativer kan nævnes:

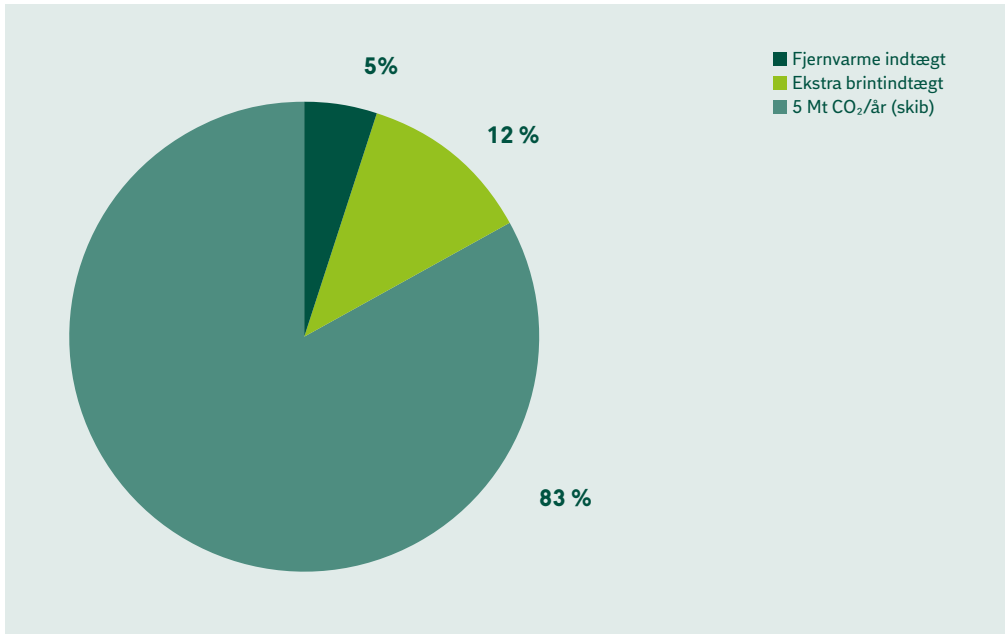
- Solvarme
- Jordvarme/Geotermi
- VE-Strøm – strøm konverteres til varme enten i elkedler eller via varmepumper
- Overskudsvarme (fra industri, datacentre, elektrolyse, PtX anlæg, osv.)

Overskudsvarme fra PtX er specielt interessant, da sektorkobling med fjernvarme vil energioptimere PtX-produktionen. Overskudsvarmen fra PtX udgør mellem 10-25% af det samlede energiforbrug.

Ved en samlet national PtX-kapacitet på 6 GW svarer det til, at 20% af den nuværende fjernvarmeproduktion kan erstattes med PtX genereret overskudsvarme.

En yderligere fordel ved at sektorkoble PtX-anlæg med fjernvarmesystemet vil være, at det vil give ekstra indtægter fra salg af varme til fjernvarmesystemet. Samtidig vil det give flere rentable driftstimer for PtX-anlægget, hvilket øger PtX-produktionen, og dermed opnås en bedre udnyttelse af PtX-anlæggene (se Figur 8).

Figur 8 Ekstra indtægter for 400 MW elektrolyseanlæg ved kobling med fjernvarme



Kilde: Dansk Fjernvarme, 2021.

3.1.4 Brintsystemet

Flere elementer taler for etableringen af en rørinfrastruktur til transmission og distribution af brint. Studier har vist, at rørtransport er den billigste løsning til transmission og distribution af brint, for afstande under 3000 km. Det skyldes, at det kræver forholdsvis meget energi at komprimere og/eller kondensere brint, hvilket er nødvendigt for de øvrige transmissionsformer. Derfor er brint betydeligt dyrere at transportere via skib, tog og lastbiler, som vist i Figur 9.

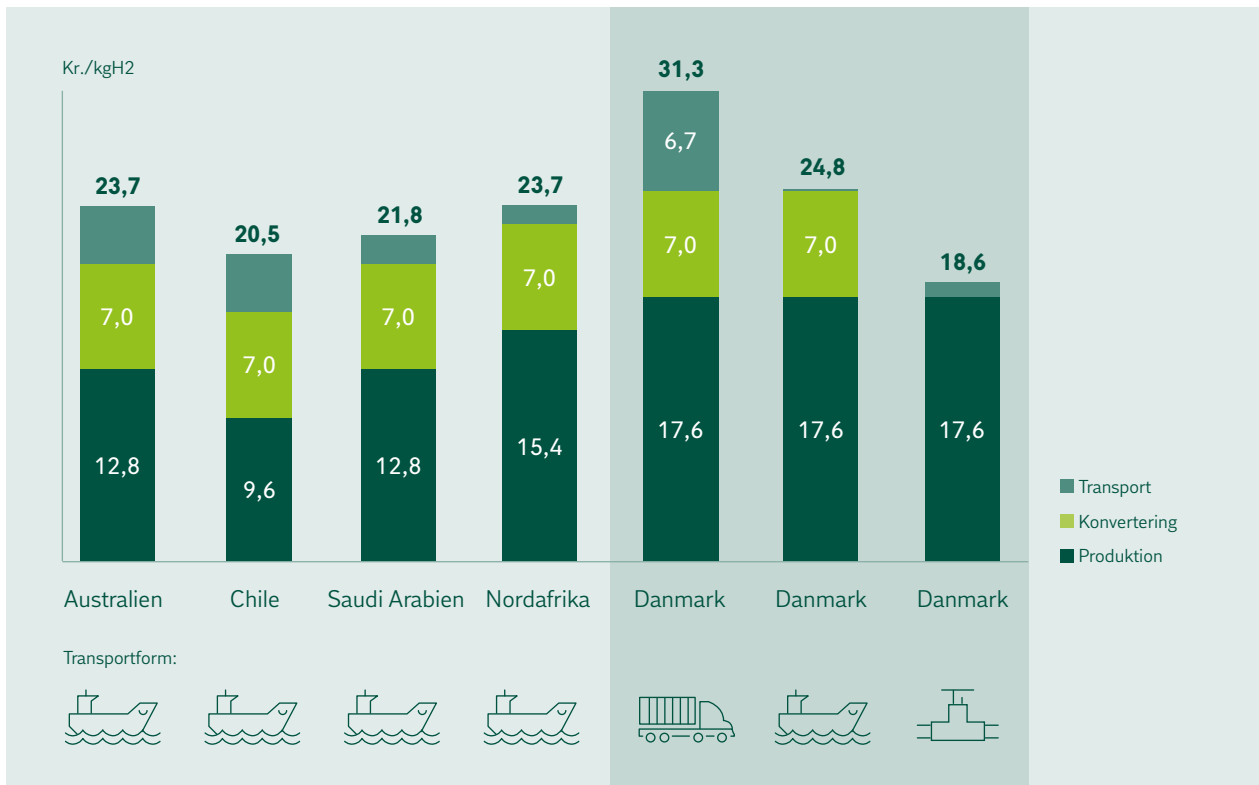
Samtidig er det langt billigere at transportere energi som brint i rør end som strøm i kabler. Endelig vil transport af brint i rør udgøre en mulighed for at lagre energi (Energinet, 2020).

Et brintsystem forventes at give danske virksomheder en konkurrencefordel og vil kunne tiltrække internationale investeringer og sikre Danmarks position som eksportør af PtX og relateret teknologi. Et brintnet vurderes at udgøre en tiltrækningsfaktor, når virksomheder og investeringsfonde skal træffe investeringsbeslutninger om placering af fremtidens PtX anlæg. Som vi har set, udgør Danmarks velfungerende elnet en tiltrækningsfaktor for investeringer i bl.a. datacentre. Analogt hertil forventes tilstede-

værelsen af både centrale og decentrale brintnet at øge tiltrækningskraften for udenlandske investeringer i PtX anlæg, da det giver fleksibilitet i virksomhedernes proces om etablering.

Derfor bør en brintinfrastruktur indtænkes som del af udviklingen for VE-produktion. Etableringen af en rørinfrastruktur til transmissions af brint er afgørende, hvis Danmark skal eksportere konkurrencedygtig brint.

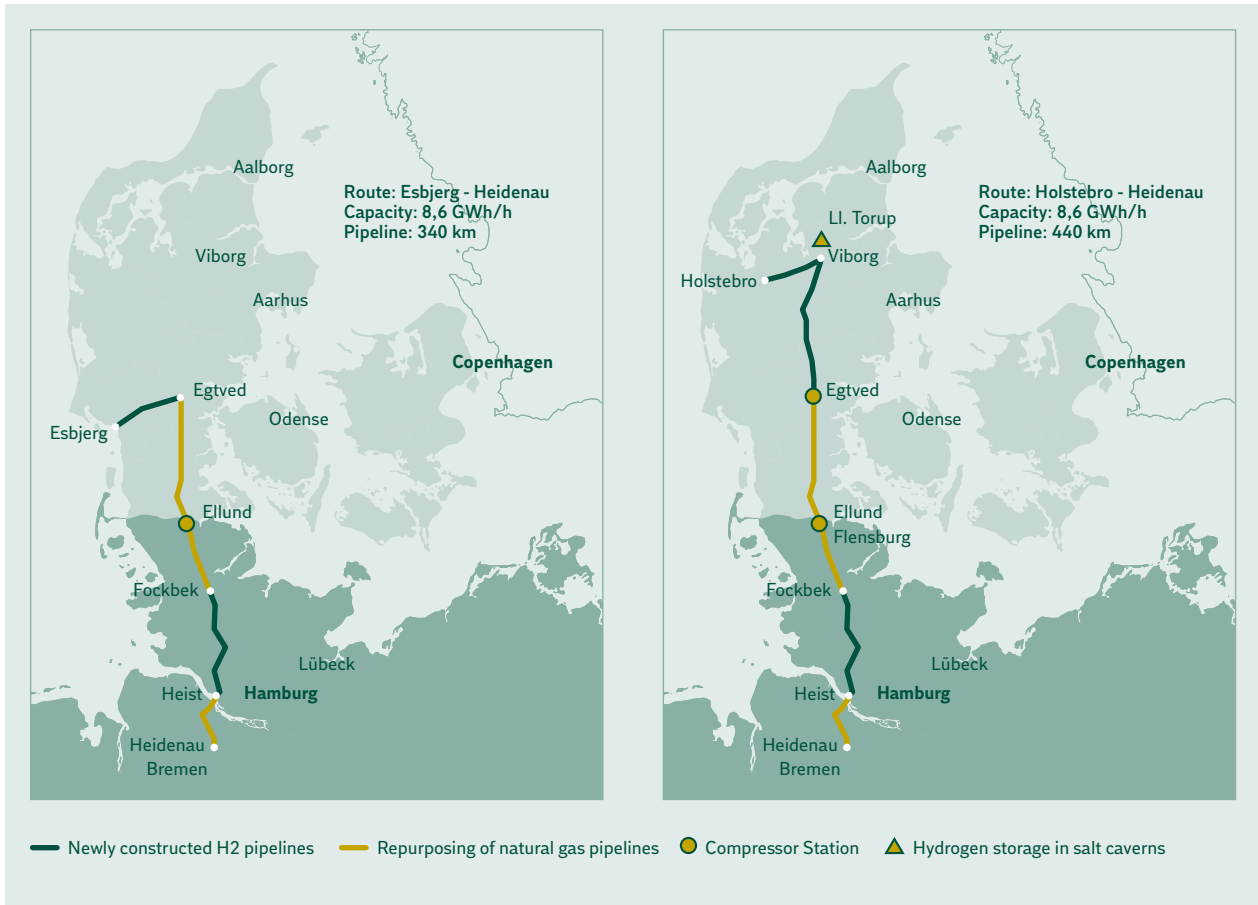
Figur 9 Estimerede omkostninger for eksport af grøn brint til Rotterdam i 2030



Kilde: Dansk Energis anbefalinger til dansk strategi for Power-to-X (Dansk Energi, 2020).

Selve etableringen af et brintnet, fra beslutningen er truffet til nettet står færdigt, vil tage flere år. Hvis markeds kræfterne alene skal drive etableringen af et brintnet, vil det ikke blive bygget før efterspørgslen efter brint er tilstrækkelig stor. Omvendt vil efterspørgslen ikke komme i stor skala før infrastrukturen er på plads. Dette dilemma kan kun løses ved, at der meget snart træffes langsigtede, strategiske investeringsbeslutninger på regeringsniveau og, at etableringen af et brintnet igangsættes umiddelbart herefter.

I første omgang bør mulighederne for at omstille naturgasrør til brintrør indtænkes, specielt hvor nettet er dobbeltstregnet.

Figur 10 Mulig dansk-tysk brinteksportforbindelse

Kilde: Energinet & Gasunie, 2021.

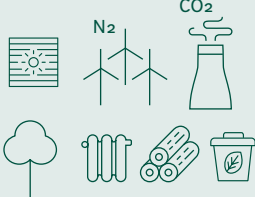
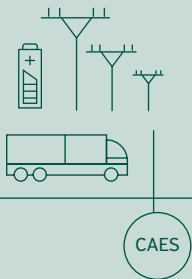


Dernæst bør de danske gaslagre i undergrunden indtænkes som en del af brintnettet. Gaslagrene i saltkavernerne (og aquifer) er en stærk naturressource, som kan indgå til dannelsen af et brintlager, der dels kan balancere store mængder fluktuerende elproduktion samt skabe muligheder for sæsonforskydning af dansk elproduktion.

Endelig bør der i forbindelse med oprettelsen af et brintsystem også oprettes en markedsplatform for handel med brint. Det vil bidrage til at skabe transparens omkring markedet og reducere transaktionsomkostningerne. Som del af markedsplatformen, er det vigtigt, at brint og PtX-brændstoffer inkluderes i certifikatsystemerne og bidrager til de sektorspecifikke CO₂-reduktionsmål.

3.2 Dansk erhvervslivs styrkepositioner

Der er en række internationalt førende danske virksomheder, der leverer produkter, som indgår i PtX-værdikæden.

Figur 11 Danske PtX styrkepositioner – produkter i værdikæden

Kilde	Konvertering		Slutbruger	
				
VE el og varme Spildvarme CO ₂ punktkilde CO ₂ air N ₂ air Biomasse (rest og affald)	Transport, lagring og distribution af: <ul style="list-style-type: none"> · El · Varme · CO₂ · Biomasse 	H → H, P → P P → H ₂ CO ₂ + H ₂ → X ¹ N ₂ + H ₂ → X ¹ B + H ₂ → X ¹	Residential Transport Energisektor Industri: <ul style="list-style-type: none"> · Metal, Kemisk · Konstruktion · Landbrug · Tekstil 	
Produkter Vindmølle ² Sol ³ Bølgeenergi ⁴ Geotermisk ⁵ Fusionsenergi ⁵ CO ₂ -opsamling ⁴ Luftseparationsenhed ⁵ Forbehandling af biomasse og affald ²	Produkter Strømkabler ⁴ El-lagring: <ul style="list-style-type: none"> · Batterier⁴ · Flow batteri³ · CAES⁴, PHES⁵, Solid⁵ · Flywheel⁵, Thermal⁵ · ElectroThermal (ETES)³ Varmelagring ³ Transport og opbevaring af CO ₂ ⁴ Transport og lagring af biomasse ³	Produkter Varmeveksler ² Transformere ⁴ Elektrolyse ³ Fermentering ³ Anaerobe digestion ² Biologisk forgasning ⁴ Bioolieproduktion ⁴ Kemisk syntese ² Raffinaderier ⁴ Equipment ⁵ Analyseapparater ³ Kontrolsystem ³ Byggematerialer ⁴ Sektorkobling ²	Produkter Transport: Rør ³ Lastvogn ² Skib ² Tog ⁴ Lagring: Undergrund ³ Tanke ⁴ Påfyldningsstationer/terminaler: Tankstationer ⁴ Havneterminaler ³ Lufthavnsterminaler ³	Produkter El-forbruger Fjernvarme ² Fjernkøling ² Varmepumpe ² Gasmotor ⁴ Brændselsceller ² Motor (skib) ²

¹ X=Kemikalier med H₂ (H₂, Brændstoffer, Gødning, Plastik, Organiske kemikalier), P=Power, H=Heat

² DK er blandt de bedste i verden

³ DK er i top

⁴ DK har en større produktion

⁵ DK har produktion

Kilde: COWI og DI Energis Advisory Board for PtX og CCUS.

Figur 11 viser PtX-værdikæden, fra kilde over konvertering til end-user. For hvert led i værdikæden viser figuren en række vigtige nøgle-produkter. Den helt store styrke ved dansk industri set under et er, som figuren viser, at set over både værdikæden fra kilde over konvertering til end-user samt over forskellige produktkategorier har danske virksomheder førende positioner. Dette gælder måske ikke i volumen målt som omsætning, men til gengæld gælder det, når man ser det fra et teknologisk perspektiv: Danske virksomheder er ganske enkelt i førerfeltet på en række af de teknologifelter, som bliver centrale, når der skal udvikles en helt ny PtX-industri:

- Ørsted og Vattenfall er blandt globale ledere inden for forvaltning af store vedvarende energiprojekter og infrastrukturer.
- Copenhagen Infrastructure Partners er blandt de førende investorer i vedvarende energi internationalt.
- Danmark har været pioner i udvikling af både land og havvindmøller. Danmark var det første land, der i 1991 opstillede en havvindmøllepark. Danmark har to vindmølleproducenter, der er i top-5 internationalt (Energy Digital, 2015). Siemens Gamesa Renewable Energy er blandt de førende vindmølleproducenter. Dertil kommer et helt økosystem af underleverandører.
- Haldor Topsøe er førende inden for SOEC-elektrolyse og kemisk proces teknologi relateret til PtX.
- Green Hydrogen Systems designer og producerer modulære elektrolyseapparater.
- Siemens Energy, Danfoss og Alfa Laval er udbydere af teknologier til PtX-anlæg.
- Energinet er en offentlig ejet dansk virksomhed i verdensklasse inden for kraft, gas og brint.
- Ballard er en førende udbyder og producent af brændselscelleløsninger.
- Crossbridge Energy ejer og driver det største raffinaderi i Danmark.
- På end-user eller off-taker siden er danske logistikvirksomheder i verdensklasse: Mærsk, SAS, DSV Panalpina, DFDS og MAN Energy Solutions er alle førende indenfor international transport af gods og passagerer og udstyr og leverancer til den maritime sektor – og de arbejder allerede med grøn omstilling.
- Ud over disse virksomheder har Danmark også flere førende universiteter med ekspertise inden for PtX, LCA og forretningsmodellering, herunder DTU, AAU, CBS, AU, KU og SDU.
- PtX åbner også mulighed for produktion af ”grøn” plastic og andre kemikalier. Der findes ikke en produktion af plasticråvarer i Danmark i dag, men kombinationen af PtX og øget genanvendelse af eksisterende plast kan give perspektiver for fremtidig plastproduktion i Danmark.

Markeds- muligheder



4. Markeds- muligheder

I kapitlet gennemgår vi den danske og internationale efterspørgsel efter brint- og brintholdige produkter.

Den nationale del af analysen er baseret på beregninger med udgangspunkt i klimamålsætningerne for 2030 og 2050. Beregningerne viser, at den planlagte brintproduktion i Danmark på ca. 6,7 GW frem mod 2030 næppe vil være tilstrækkeligt til at dække den samlede efterspørgsel. Derudover vil der med en udbygning af brintproduktionskapaciteten til de annoncerede 6,7 GW opstå en betydelig mangel på VE-strøm som omtalt i kapitel 2.3.2 I perioden frem mod 2030 vil Danmark være nettoimportør af betydelige mængder strøm.

Med en antagelse om en lineær vækst i brintproduktionen vil der til gengæld frem mod 2050 være et potentiale for eksport af brint, som i 2050 udgør ca. 100 PJ/år. Kortlægningen af den internationale efterspørgsel viser, at der vil være efterspørgsel efter dansk produceret brint, især fra Tyskland.

Et scenarie med dansk eksport af brint kræver en massiv udbygning af den vedvarende energi. Hvis Danmark skal kunne producere brint nok til eget forbrug og samtidig eksportere ca. 100 PJ/år brint som angivet i det opstillede scenarie, skal der produceres yderligere 240 PJ/år strøm frem mod 2050.

Derfor anbefales det, at regeringen øger ambitionerne til installeret VE-kapacitet og fremrykker udbygning af havvind udover de allerede besluttede energioer.

Endelig viser analysen, at biomasse til produktion af karbonholdige brændstoffer vil blive en mangelvare, især frem mod 2045. Vi bruger allerede i dag mere biomasse, end vi selv har til rådighed, hvorfor en stor del er importeret. Manglen på biomasse som følge af den planlagte nedgang i import bliver et problem i fremtiden – og det bør overvejes at anvende den tilgængelige biomasse til produktion af e-brændstoffer.

Stor-skala eksport afhænger imidlertid af, at der er en international efterspørgsel til stede og at produktionen af PtX i Danmark er konkurrencedygtig.

Tilgang til analysen

Energistyrelsens Klimastatus- og fremskrivning viser, at Danmark mangler at reducere 11,8 mio. ton CO₂e årligt for at leve op til målsætningen om 70% reduktion af CO₂e i 2030, i forhold til 1990-niveauet. Fremskrivningen viser derudover, at hovedparten af udledningerne i 2030 vil komme fra transportsektoren, fremstillingserhverv og landbrug, skovbrug og fiskeri. Basisscenariet for 2030 betegnes i rapporten som "2030".

Gennem anvendelse af PtX produkter på tværs af sektorerne, er det muligt at reducere udledningerne yderligere frem mod 2030 og opnå klimaneutralitet i 2050. Som baggrund for rapporten er der derfor foretaget en vurdering af forventet national efterspørgsel og udbud af PtX produkter med henblik på at opnå en balance mellem efterspørgsel og det forventede udbud af PtX produkter. Forudsætningen for beregningerne er, at sektorerne samlet skal reducere med 70% inden 2030 ift. 1990-niveauet og være klimaneutral i 2050. Scenarierne betegnes i rapporten "2030-PtX" og "2050 PtX". Der vil her kort blive redegjort for de antagelser, der er gjort i forbindelse med de to PtX scenarier.

På efterspørgselssiden er de enkelte sektorer gennemgået med henblik på at erstatte fossile produkter med PtX. Hvilken type PtX der er mest anvendelig, og i hvor høj grad denne kan erstatte fossile brændsler, kommer an på sektorens tekniske egenskaber. I transportsektoren forventes der således i 2030 stadig at være en række køretøjer med en almindelig forbrændingsmotor, hvilket stiller særlige krav til typen af PtX brændsler. Alle sektorer er gennemgået for at finde det mest optimale PtX brændsel. Det er en forudsætning for beregningerne, at sektorernes produktion forbliver de samme, både i 2030 og 2050. For transportsektoren betyder det for eksempel, at mængden af trafik forbliver det samme som i Energistyrelsens fremskrivninger.

På udbudssiden for PtX brændstoffer er det medregnet, at visse råstoffer har begrænset tilgængelighed. For eksempel vil den fremtidige begrænsning i adgangen til biomasse betyde, at der er en begrænset mængde karbonbaserede brændstoffer tilgængelig. For at opnå den største klimaeffekt bør disse brændstoftyper reserveres til sektorer, der ikke har mulighed for at overgå til andre typer af brændstoffer. Her kan f.eks. nævnes luftfarten og højtemperaturprocesser indenfor industrien, hvor det vurderes vanskeligt at skifte væk fra karbonbaserede produkter.

PtX scenarierne giver et realistisk bud på, hvordan klimamålsætningerne for 2030 og 2050 kan opnås gennem anvendelse af PtX produkter, der hvor disse giver størst effekt i Danmark, navnlig transportsektoren og industrien. Disse sektorer kan ikke vurderes isoleret fra resten af energisystemet. En vigtig forudsætning for scenariet er for eksempel, at de øvrige sektorer reducerer deres anvendelse af biomateriale. For at få et retvisende billede af den omstilling klimamålsætningerne indebærer under de givne forudsætninger – og det fulde potentiale for anvendelse af PtX – inkluderer analysen en række ændringer i andre sektorer, herunder husholdninger, landbrug, skovbrug og fiskeri og energiproduktion. Endelig antages det, at dansk landbrug anvender e-ammoniak til gødning som erstatning for fossilt baseret ammoniak. Under disse forudsætninger vil Danmark leve op til 70% målsætningen for reduktion af klimagasser i 2030 og være klimaneutral i 2050, i de opstillede PtX scenarier.

4.1 Efterspørgsel efter PtX-produkter i Danmark

I afsnittet gennemgås den potentielle PtX-efterspørgsel fra de primære aftagergrupper i transport- og industrisektorerne i Danmark. Efterspørgslen er beregnet med udgangspunkt i de danske klimamålsætninger for 2030 og 2050 samt begrænsningerne for de forskellige aftagergrupper, i form af f.eks. køretøjernes omstillingsparathed. Det må forventes, at en fremtidig CO₂-beskatning samt højere kvotepriser vil fremme efterspørgslen efter PtX-produkter.

Beregningerne bygger på data fra Energistyrelsens Klimastatus og -fremskrivning for 2021 for alle nationale sektorer samt Energistatistik for 2019 for international skibsfart og luftfart¹¹. Det skal bemærkes, at 2020 i Klimastatus og -fremskrivning for 2021 er modelleret som et normalt fremskrivningsår, da der på tidspunktet for fremskrivningen ikke var tilstrækkelig viden omkring effekterne af COVID-19. Samme tilgang er anvendt for international skibs- og luftfart.

4.1.1 Let landtransport

For let landtransport er direkte elektrificering det mest optimale drivmiddel. Da de fleste biler, der sælges i dag, stadig er benzin-/dieselbaserede, vil det tage flere år, før størstedelen af bilerne er elektrificerede. For at opfylde -70% CO₂-emissionsmålet for 2030 skal der derfor findes et grønt brændstof, der kan bruges i de eksisterende køretøjer. Grønne brændstoffer, der kan anvendes af eksisterende køretøjer, er:

1. Benzinmotor: Benzin, Metanol, Ethanol
2. Diesel motor: Diesel, DME, FAME (= biodiesel), HVO/BioFuel

FAME og Ethanol er i dag primært baseret på første generations biomasse, som ikke betragtes som en mulighed for stor-skala produktion, da den konkurrerer med fødevarerproduktioner.

Metanol/DME er billigere og mindre komplekst at producere end syntetisk benzin¹² og syntetisk diesel, og karbonkilden kan være CO₂ fangst fra punktkilder. Således er der synergi mellem behovet for fangst af CO₂ fra punktkilder og midlertidig brug af grønt syntetisk brændstof i lette køretøjer.

I tillæg til metanol/DME er der en betydelig udvikling inden for HVO/BioFuel, som forventes at blive konkurrencedygtig. Yderligere fordele ved anvendelse af metanol/DME og HVO/BioFuel er:

1. De er lette at transportere og kan transporteres og distribueres af den eksisterende infrastruktur.
2. De kan syntetiseres/forfines yderligere til flybrændstof, når den eksisterende køretøjspakke bliver elektrificeret¹³.

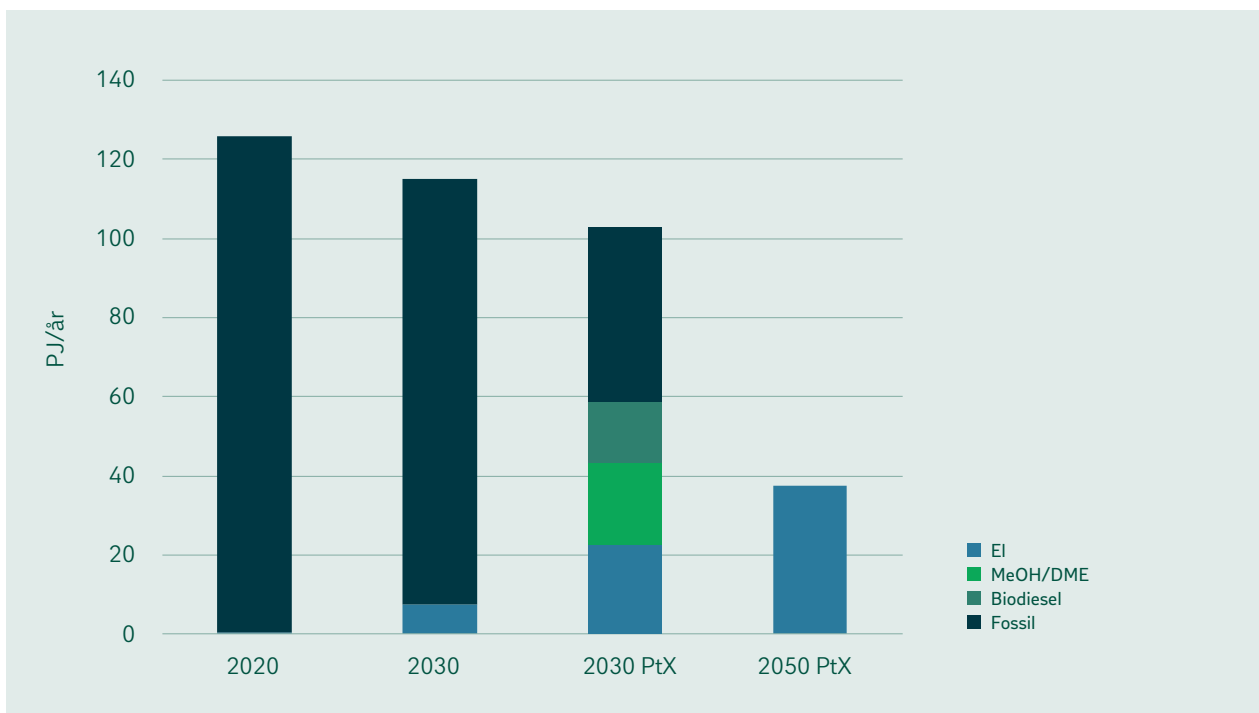
¹¹ Energistatistik for 2020 er stadig i høring og derfor ikke anvendt. Yderligere information om fremskrivninger af forbrugsdata for luftfart og skibsfart findes i afsnit 4.1.3 og 4.1.4.

¹² Der gøres opmærksom på, at en ændring i motorstyringen til M85 benzin næppe vil blive garanteret af bilproducenten. Det er derfor vanskeligt at gennemføre som en ren dansk løsning.

¹³ Konvertering af metanol til flybrændstof og certificering af processen ses som en vigtig brik for fremtidig storskala-produktion af flybrændstof. Fordelen er, at man kan starte med at bygge metanolanlægget med henblik på at producere metanol til benzinbiler i en overgangsfase. I takt med at bilerne bliver konverteret til el-biler, kan metanolanlægget udvides med metanol-to-jet anlæg.

De nuværende og fremtidige forventede energikilder og forbrugsniveauer er angivet i Figur 12. Data for "2020" og "2030" er baseret på Energistyrelsens basisfremskrivning til 2030. Som figuren viser, antages det, at grønt brændstof (MeOH/DME) anvendes i eksisterende køretøjer ("2030 PtX"). Disse brændstoffer udfases frem mod 2050 efterhånden, som bilparken elektrificeres. Reduktionen i energiforbrug, som især gør sig gældende i 2050 scenariet ("2050 PtX"), er et resultat af den højere energieffektivitet i elbiler sammenlignet med traditionelle forbrændingsmotorer.

Figur 12 Let transport i Danmark – prognose for energikilde og forbrug (PJ/år)



Kilde: Energistyrelsens Klimastatus- og Fremskrivning for 2021 (Energistyrelsen, 2021) og COWI.

4.1.2 Tung landtransport

Ligesom for den lette vejtransport er el det mest effektive drivmiddel for den tunge transport, men som angivet i kapitel 2.2.1, skal batterierne være meget store eller oplades hyppigt. Hvor det er acceptabelt med en længerevarende genoplading for hver ~ 500 km, eller hvor man kommer forbi et ERS, vurderes elektrificering optimalt.

Det mest energieffektive drivmiddel efter elektricitet er brint. Volvo og Daimler forventer at have en brintdrevet trækker på markedet i 2027, som kan trække tungt gods over lange distancer.

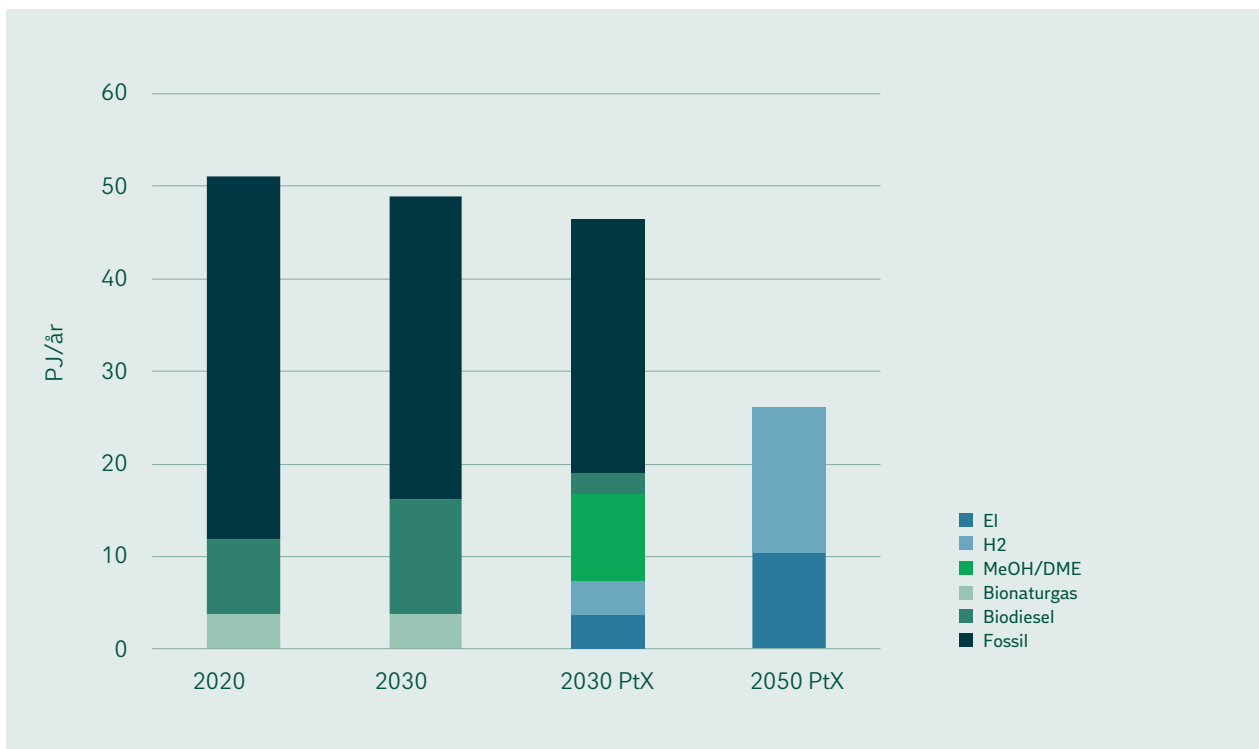
Som med let vejtransport vil der være en overgangsperiode, hvor lastbiler ændres til el eller nye brintbaserede brændselscelle-elektriske (FCEV) drevne køretøjer. Inden for denne overgangsperiode kan grøn dieselalternativer, som angivet ovenfor, anvendes. Det giver følgende forventede kombination af drivmidler til den tunge transport:

1. Elektrificering
2. Brint (FCEV-motor)
3. Bionaturgas
4. DME/Bio-diesel/HVO (overgangs fase)

De nuværende og fremtidige forventede energikilder og forbrugsniveauer er angivet i Figur 13.

Som figuren viser, antages MeOH/DME anvendt i den eksisterende bilpark i en overgangsphase ("2030 PtX"). Frem mod 2050 forventes MeOH/DME udfaset til fordel for brint og el ("2050 PtX"). Den højere energieffektivitet af disse drivmidler indebærer, at det samlede energiforbrug falder.

Figur 13 Tung landtransport i Danmark
– nuværende og fremtidig forventet energikilde og forbrug (PJ/år)



Kilde: Energistyrelsens Klimastatus- og Fremskrivning for 2021 (Energistyrelsen, 2021) og COWI.

4.1.3 Skibsfart (national og international)

Langdistance skibstransport kræver enorme mængder energi. Strøm og brint er kun en mulighed for let skibstransport over kortere distancer.

Ammoniak ser ud til at være et optimalt brændstof til langdistance skibsfart, da ammoniak kan produceres, hvor der er en VE-kilde, men ingen karbonkilde, dvs. i solrig ørken og på vind-rigt hav.

Ulemperne ved ammoniak er, at den har en lav energitæthed på lidt over 40% af det nuværende skibsbrændstof, brænder langsomt og er giftig. At den brænder langsomt betyder, at ammoniak ikke er egnet på mellem- og højhastighedsmotorer (4-takts), mens den er egnet til langsomme store containerskibe (2-takts motor).

Der er i øjeblikket ingen motor på markedet, der opererer på ammoniak. MAN Energy Solutions har en motor under udvikling og forventer, at den vil være klar i 2024.

LNG: Fossilt LNG udleder ~ 28% mindre CO₂ end bunkerbrændstof/HFO/MGO, imidlertid vil der være varierende "boil-off" og emission af u-forbrændt metangas i udstødningen fra LNG-skibe. Ulempen ved LNG er således, at det meget nemt kan eliminere opnåede CO₂ reduktioner, da metan er en meget stærkere drivhusgas end CO₂.¹⁴

Metanol/DME: Metanol/DME er optimale brændstoffer. Mærsk har bestilt 8 metanol-drevne containerskibe, der vil blive søsat i 2023. Stena Line har allerede i flere år drevet et Ro-Pax skib på metanol. På lang sigt kan det dog forventes, at biogen karbon bliver en begrænset ressource, hvilket kan forøge prisen på metanol/DME.

BioFuel: Olie produceret af biomasse/affald/plast/dæk forventes at kunne anvendes i dagens skibsmotorer efter mindre raffinadbearbejdning. Da skibsmotorer normalt er ret robuste, og da de ofte er udstyret med nedstrøms DeNO_x, er kravet til brændstofkvaliteten ofte mindre. Det betyder, at det kan være optimalt at bruge BioFuels i skibsmotorer i overgangsperioden, hvor raffinaderier konverterer fra fossilt brændstof som råstof til bioolier som råstof.

Brint og elektricitet: Hvis der ikke findes/godkendes alternativer til kulbrintebaseret luftfartsbrændstof, vil den maritime sektor skulle konkurrere med luftfarten om at få adgang til de begrænsede mængder kulbrintebaserede brændstoffer. Elektricitet og brint kan anvendes som drivmiddel på små og mellemstore skibe. F.eks. forventer DFDS at idriftsætte en brintdrevet færge på ruten Oslo-København, og Stenaline en batteridrevet færge på ruten Frederikshavn-Gøteborg.

Baseret på analysen viser vi i figuren nedenfor det nuværende og forventede fremtidige forbrug for national og international skibstransport fordelt på energikilder (se Figur 14). Energiforbrug er baseret på bunkerdata fra Energistyrelsens Energistatistik for årene 2015-2019 (Energistyrelsen, 2020).¹⁵

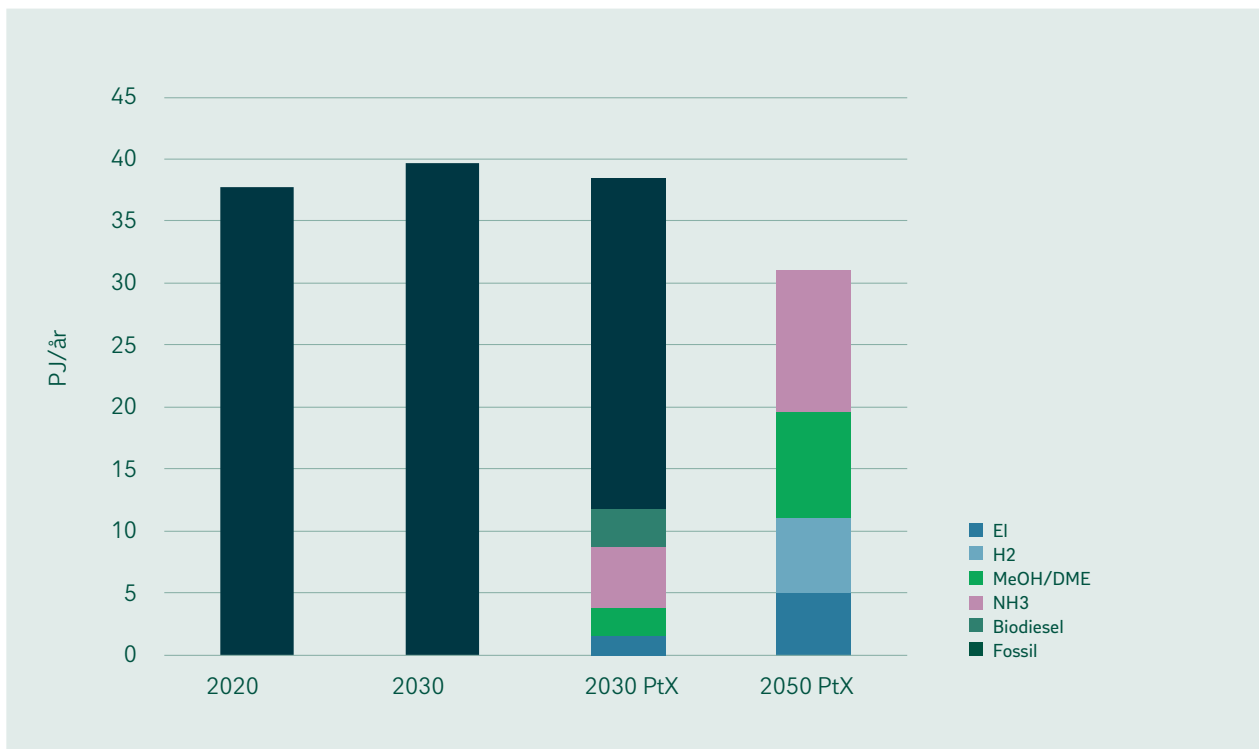
¹⁴ I en indledende overgangsperiode er hydro krakning af tungt maritimt brændstof med grøn brint en billig løsning, der kan hjælpe med til at skabe et brintmarked og gøre det maritime brændstof delvist grønt. Da ingen af de danske raffinaderier har en hydro kracker, vil denne mulighed ikke blive behandlet yderligere.

¹⁵ Baseret på opgørelse af brændstof bunket i danske havne, hvor skibene – danske såvel som udenlandske – efterfølgende sejler ud af landet.

I denne periode stiger energiforbruget til skibsfarten gennemsnitlig med 1% årligt. Denne stigning er fremskrevet til 2030. I 2050 antages samme transportarbejde som i 2030.

Figuren viser, at skibsfarten vil overgå til en række forskellige drivmidler. Frem mod 2050 vil metanol og ammoniak være mest relevant for lange distancer, mens der på korte distancer kan anvendes brint og el (2050 PtX).

Figur 14 Skibstransport (DK og Int.)
–nuværende og fremtidig forventet energikilde og forbrug (PJ/år)



Kilde: Energistyrelsens Klimastatus- og Fremskrivning for 2021 (Energistyrelsen, 2021) og COWI

4.1.4 Luftfart (national og international)

Brændstoffer til luftfart er underlagt streng regulering. Flybrændstof skal:

1. Have høj energitæthed (sikre mindre brændstofvægt og dermed mindre brændstofforbrug)
2. Have lav kold-fluid-egenskaber (så det ikke bliver til is i 10 km højde)
3. Have en lav eksplosionsgrænser (sikkerhed)

Elektrificering af små fly (7 passagerer i dag, 28-30 passagerer inden 2030) er muligt, men på grund af batteriets vægt er det imidlertid usandsynligt, at meget store fly vil blive elektrificeret inden 2050. Tendenser tyder dog på, at hybridfly kan blive vigtige.

Syntetisk luftfartsbrændstof (SAF): Den strenge regulering af brændstoffer til luftfart begrænser luftfartsbrændstof til passagertransport til Jet-A, som er kulbrinter i den

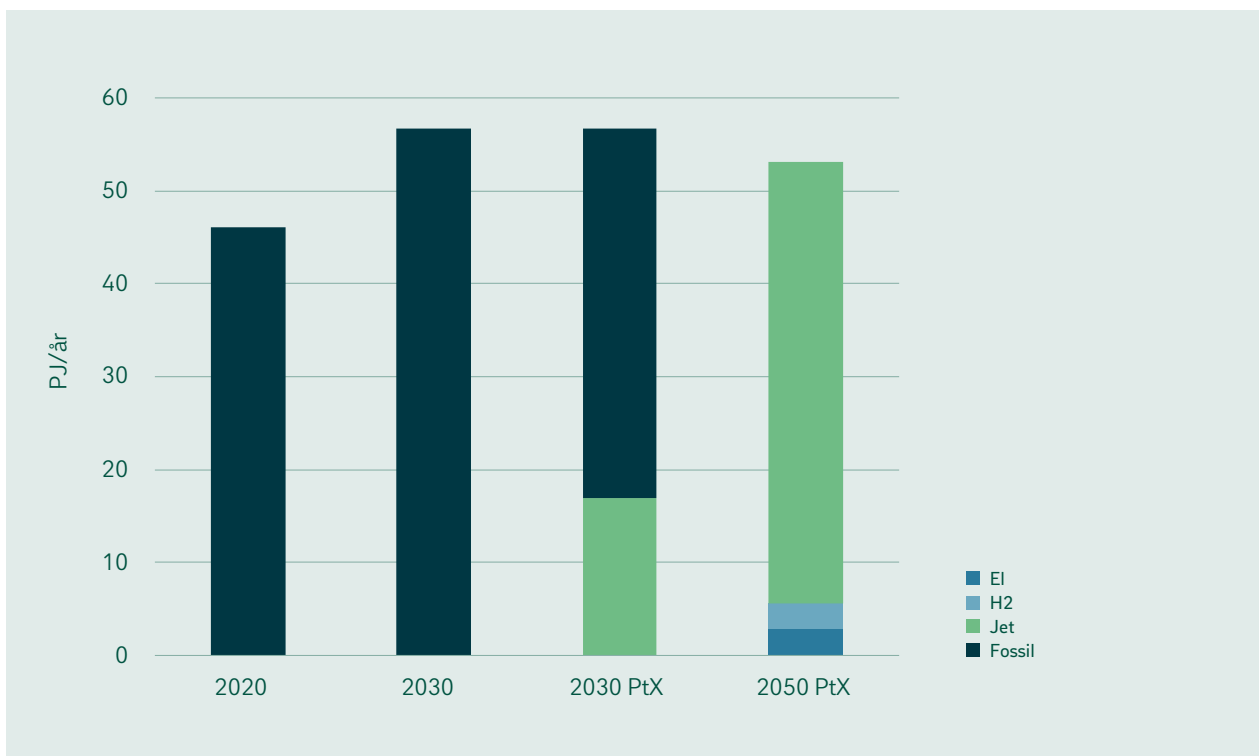
lavt-kogende ende af diesel. For cargo- og militærflyvning er kravet til punkt 3 mindre strengt, hvilket tillader en blanding med 70% benzin (Jet-B).

Brint: De store luftfartsproducenter arbejder på udvikling af brintfly, som anvender flydende brint, der har en meget lav volumetrisk energitæthed og kræver ekstremt kryogen lagringsfaciliteter. Brintfly vil således omfatte store udviklingsomkostninger, ny infrastruktur, godkendelse og test, inden de kan godkendes i forbindelse med persontransport. Airbus arbejder på et brintdrevet fly til regional/kortdistance flyvninger (max 200 passagerer og max 1.5-2 timer), og det forventes på markedet i 2035.

Baseret på ovenstående er nuværende og fremtidige forventede energikilder og forbrugsniveauer for national og international luftfart angivet i Figur 15.¹⁶

For energiforbrug til national luftfart anvendes data fra Energistyrelsens Klimastatus- og fremskrivning, der er fremskrevet frem til og med 2030 (Energistyrelsen, 2021). For energiforbrug til international luftfart frem mod 2030 er historiske data for perioden 2000-2019 fra Energistyrelsens Energistatistik 2019 anvendt til at finde en årlig fremskrivningsprocent på 2,2% (Energistyrelsen, 2020). Frem mod 2050 er både nationalt og internationalt transportarbejde antaget lig med 2030. Figuren viser, at dele af luftfarten forventes at gå over til grøn jetfuel i 2030 ("2030 PtX"). Frem mod 2050 vil den primære del blive dækket af grøn jetfuel, mens kortdistancefly overgår til el og brint ("2050 PtX").

Figur 15 National og international luftfart:
Nuværende og fremtidig forventede energiforbrug og kilde (PJ/år)



Kilde: Energistyrelsens Klimastatus- og Fremskrivning for 2021 (Energistyrelsen, 2021) (national data), Energistyrelsens energistatistik 2019 (Energistyrelsen, 2020) (international data) og COWI. Note: 2020 er modelleret som et normalt fremskrivningsår på baggrund af Energistatistik 2020.

¹⁶ Baseret på opgørelse af flybrændstof tanket i danske lufthavne, hvor flye-ne – danske såvel som udenlandske – efterfølgende flyver ud af landet.

4.1.5 Industri

Industrien kan anvende PtX-produkter som erstatning for fossilt brændsel samt til fremstilling af brinholdige kemikalier og produkter.

Graden af anvendelsen af PtX i industrien afhænger af de forskellige industriprocesser. Tabel 5 viser fremstillingsindustriens nuværende og fremtidige energiforbrug for basis-scenarierne i 2020 og 2030, brudt ned på procesniveau.

Tabel 5 Energi brugt i industri inddelt efter sektor

PJ/år	2020	2030
Intern transport	1.4	0.7
Elmotorer og ventilation/køling	21.4	23.1
Lys og elektronik	3.0	3.3
Opvarmning	12.9	9.1
Procesvarme - høj temperatur	19.8	21.9
Procesvarme - medium temperatur	34.2	28.6
El- og fjernvarmeproduktion	2.6	2.6
Total	95.3	89.4

Kilde: Energistyrelsens Klimastatus- og -fremskrivning 2020 og COWI-beregninger.

Industriens forbrug af energi. Ifølge Klimapartnerskabet for Industri- og Forsyningssektoren vil industrien sigte mod øget effektivitet, CO₂-fangst og elektrificering (Energi og Forsyningssektoren, 2020). Det sidste dog med undtagelse af høj temperatur processer, hvor der kræves en betydelig reduktion i strømprisen for, at elektrificering kan finde sted på en økonomisk attraktiv måde. Indtil da vil industrien gerne løse sit 70%-CO₂-reduktionsmål ved at bruge gas fra naturgasnettet, som forventes at blive fossilfrit i 2035 (Energistyrelsen, 2021).

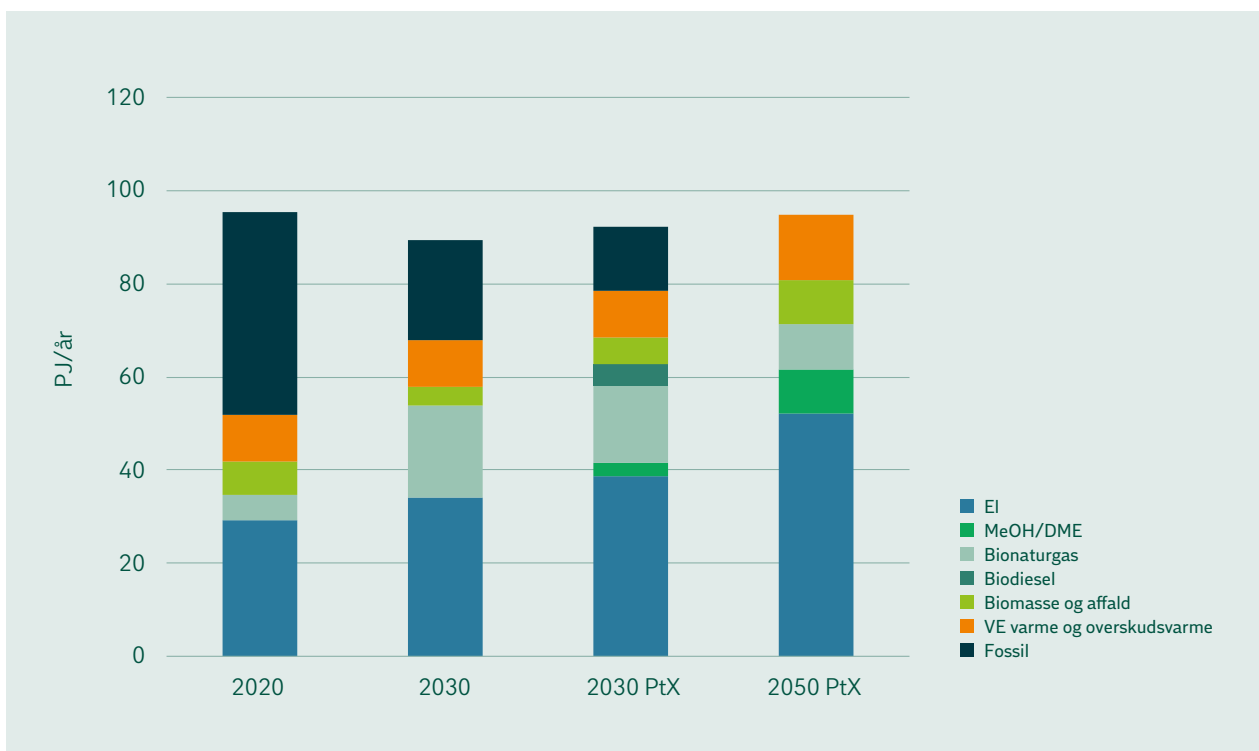
Det meste af industrien, der kræver høje forarbejdnings temperaturer, er forbundet med det eksisterende naturgasnet. Således betragtes konvertering af høje temperatur-applikationer til biogen naturgas som en omkostningseffektiv måde at reducere CO₂-udledningen på.

Da biomasse sandsynligvis vil blive en begrænset ressource, og da direkte elektrificering er den mest energieffektive vej, er det ønskeligt, at industrien fokuserer på at elektrificere sine processer, især ved idriftsættelse af nye enheder.

Lovgivning bør sikre, at elektrificering i de fleste tilfælde er økonomisk gunstig.

I Figur 16 viser vi fremstillingsindustriens nuværende og fremtidige forventede energiforbrug baseret på ovenstående antagelser. Figuren viser, at branchen forventes at overgå til en række forskellige energikilder. Frem mod 2050 forventes især en høj grad af elektrificering, mens en andel bionaturgas vil blive anvendt til højtemperaturprocesser. Scenariet antager derudover, at der vil være et øget energiforbrug, i form af metanol samt biomasse og affald, til en national plast- og kemikalieproduktion. Af denne grund stiger det samlede energiforbrug for sektoren til trods for, at en række processer forventes elektrificeret og dermed opnår højere energieffektivitet.

Figur 16 Fremstillingsindustrien – nuværende for fremtidig forventet energiforbrug og -kilde (PJ/år)



Kilde: Energistyrelsens Klimastatus- og Fremskrivning for 2021 (Energistyrelsen, 2021) (national data) og COWI.

4.1.6 Total nationalt forbrug

Baseret på forventet forbrug for hver aftager opstillet i PtX-scenarierne for 2030 og 2050, samt yderligere forventninger til omlægning af forbrug i øvrige sektorer (herunder husholdninger, landbrug, skovbrug og fiskeri, serviceerhverv og energiproduktion) er der beregnet en samlet national efterspørgsel efter PtX-produkter. Som beskrevet ovenfor er forudsætningen for disse beregninger, at Danmark indfrir klimamålsætninger for henholdsvis 2030 og 2050 samt, at den enkelte aftagergruppe har mulighed for at anvende PtX-produkter.

Baseret på efterspørgslen fra sektorerne er der beregnet en afledt efterspørgsel efter primære energikilder og brint (herunder PtX). Denne fremgår af Figur 17.

Figur 17 Total efterspørgsel efter primære energikilder og brint fra 2020 til 2050, baseret på COWIs scenarieanalyse



Kilde: COWI baseret på data fra Energistyrelsens klimastatus- og fremskrivningen for 2021.

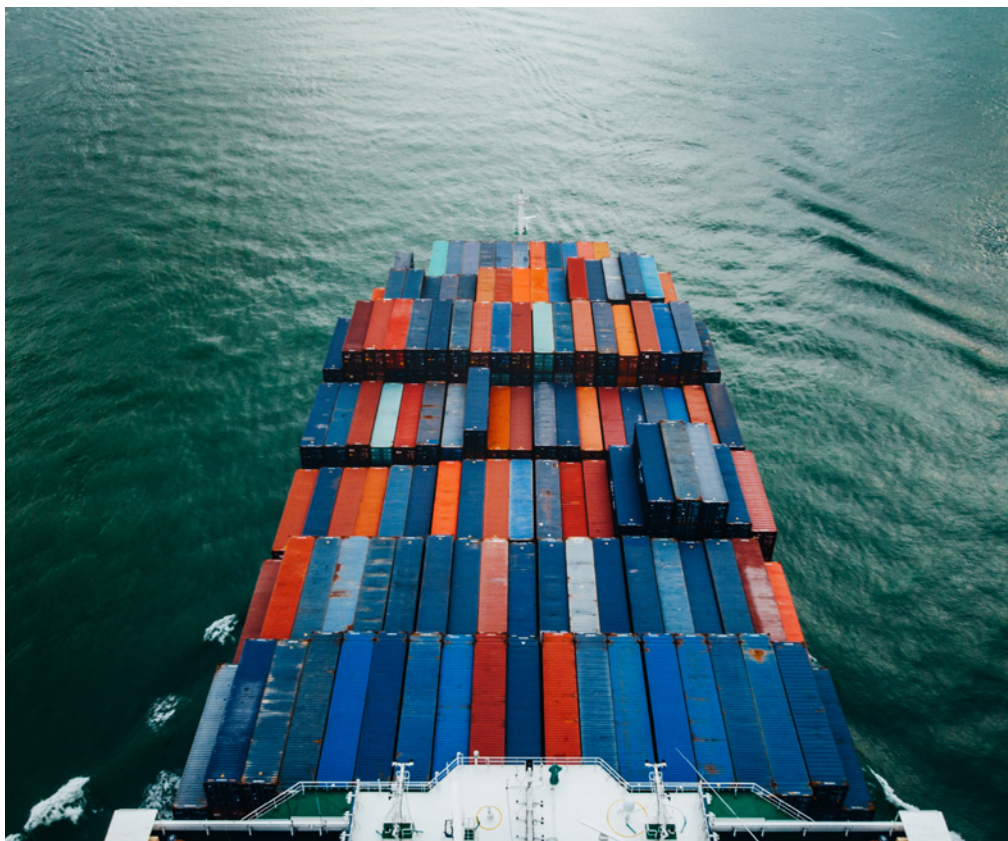
Figur 17 og beregningerne bag viser følgende:

Brint: Den planlagte produktion af brint (herunder PtX) vil ikke være tilstrækkelig til at dække den samlede nationale efterspørgsel frem mod 2030. Det afleder to anbefalinger. For det første anbefales det så vidt muligt at understøtte den nuværende planlagte produktion. Dernæst anbefales det at etablere et højere ambitionsniveau for brint- og PtX-produktion frem mod 2030 end de nuværende planlagte projekter summerer op til. Efter 2030 knækker efterspørgselskurven for brint til trods for, at flere sektorer overgår til brintbaserede brændsler. Det skyldes, at uudnyttet nationalt biomateriale i perioden 2030 til 2050 forventes at få en betydelig rolle i produktion af e-biobrændstoffer, som kræver mindre brint end rene e-fuels. Dermed kræves mindre brint fra elektrolyse. Frem til 2050 er stigningen i brintproduktionen lineært fremskrevet baseret på en forventning om, at udviklingen vil fortsætte i samme tempo som i dag. Det vil give mulighed for eksport af brint, som i 2050 kan udgøre ca. 100 PJ/år.

Biomasse: Det er antaget, at al forbrug af karbon-baseret brændstof er baseret på biomasse. Danmark bruger i dag (meget) mere biomasse, end vi selv har til rådighed. Forbruget af biomasse forventes at stige frem mod 2030, primært fordi højtemperatur industri skifter fra fossile brændstoffer til bionaturgas. Med øget elektrificering af industri (også højtemperatur industri) og med udfasning af kraftvarmeanlæggene vil forbruget af biomasse falde efter 2030 og frem mod 2050. Omkring 2045 vil der i dette scenarie igen være national biomasse til rådighed til produktion af PtX. Manglen på national biomasse frem mod 2045 bør overvejes i forbindelse med den planlagte udfasning af import af biomasse og i regeringens vurdering af anvendelse af ikke-biogen karbon i en overgangsfase frem mod 2045.

Strøm: Beregningerne viser, at det samlede elforbrug, såfremt Danmark satser på et eksportscenarie, ligger betydeligt over den planlagte produktion af el (inklusive energioverførelser). Dette gælder for 2030 og især fra 2030 til 2050. Af denne grund anbefales det at løfte ambitionerne for tilgængelig vedvarende energi inden 2030, så PtX produktion inden da kan baseres på grøn el. Desuden anbefales det at løfte ambitionerne for installeret kapacitet for vedvarende energi frem mod 2050 med 240 PJ/år, svarende til omkring 16 GW yderligere kapacitet.

Ovennævnte beregning inkluderer brændstof til internationale fly og skibe, der bunker i DK.



4.2 Det internationale marked for PtX produkter

Brint er allerede et veletableret produkt indenfor europæisk industri. Brintbrug i ammoniakproduktion, raffinering og produktion af metanol aftager tilsammen 91% af den nuværende brintproduktion.

Der er bred enighed om, at det fremtidige internationale marked for brint og brintbaserede produkter er meget stort, selv om der hersker betydelig usikkerhed omkring størrelsen af markedet. Mens nogle aktører, så som IRENA, forudser, at brint og brintbaserede produkter vil stå for 6-7% af energibehovet på verdensplan¹⁷, vurderer andre aktører, at markedet vil blive helt op mod 24% (Energy Transitions Commission, 2021). Usikkerhed omkring markedsandele påvirker den forventede omsætning i markedet. Nogle mere konservative markedsundersøgelser tyder på, at brint kan være en industri på +120 milliarder Euro i Europa i 2050 (Aurora Energy Research, 2020). Til sammenligning blev verdens vindenergimarked anslået til at være omkring 105 mia. EUR i 2000 (Global Market Insights, 2021). Samtidig viser de mere optimistiske estimater, at det globale marked for brint har potentiale til at nå 2,2 billioner Euro alene i Europa i 2050 ud af en industri på 10 billioner Euro på verdensplan (yderligere 2,9 billioner euro i USA og 4,4 billioner euro i Asien) (Goldman Sachs, 2020).

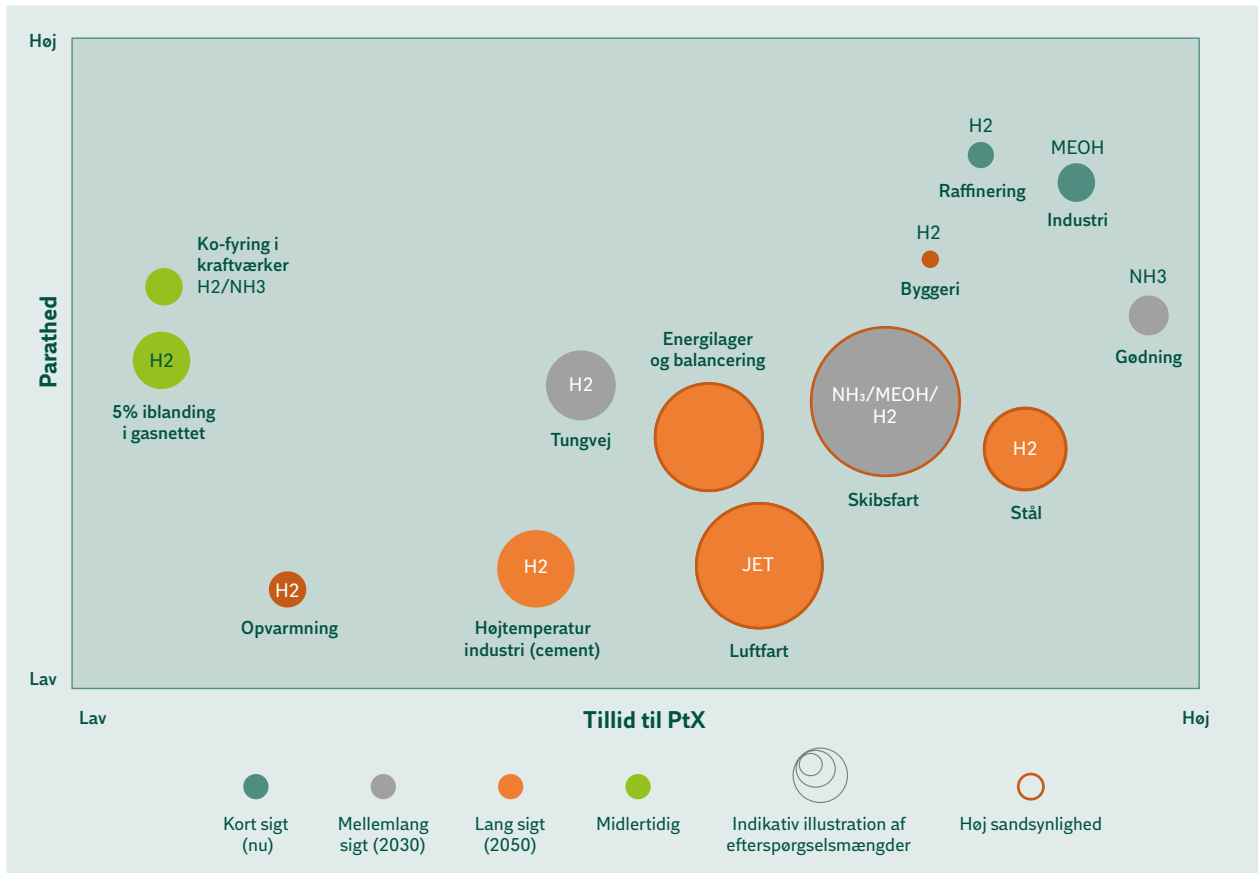
Givet usikkerheden omkring markedstørrelser fokuserer vi nedenfor på

- en beskrivelse af komparative størrelser af de forskellige anvendelsesmuligheder for brint- og brintbaserede produkter;
- en vurdering af, hvornår produkterne for alvor vil finde indpas på det internationale marked, samt
- en beskrivelse af, i hvilke lande der forventes størst aftag af de respektive produkter.

Formålet med denne beskrivelse er dels at forstå det internationale marked og dels at vurdere, hvilken anvendelse og hvilke lande der vil blive mest relevante for dansk eksport.

Nedenstående figur er en forsimplet illustration af det forventede fremtidige internationale marked for brint til PtX-produkter. Figuren er oprindeligt udarbejdet af Energi Transition Kommission og derefter bearbejdet yderligere i en workshop med DI's PtX Advisory Board. Figuren giver et præliminært bud på den internationale efterspørgsel efter brint til PtX-produkter. "Parathed", som benævner Y-aksen, skal forstås som en kombination af de tekniske muligheder for at anvende PtX-løsningen og løsningens økonomiske potentiale (konkurrencedygtighed). "Tillid" skal afspejle aftageres og politikeres holdninger til, om PtX er en relevant løsning for sektoren.

¹⁷ Hvis udledningen på verdensplan skal være CO₂-neutral, vil dette scenarie kræve, at biomasse-løsninger dækker de resterende 15-20%, der er vanskelige at elektrificere. Dette vurderes usandsynligt den tilgængelige biomasse og anvendelse, f.eks. i fødevarerindustrien, taget i betragtning.

Figur 18 Skitsering af det internationale marked for brint til PtX-produkter

Kilde: Energi Transition Kommission (Energy Transitions Commission, 2021) og workshop med DI's PtX styregruppe.

Som Figur 18 viser, kan industrier øverst i højre hjørne, hvor der allerede i dag anvendes brint, relativt nemt overgå til grøn brint.

- **Raffinaderier** er i øjeblikket de største forbrugere af brint i Europa og tegner sig for 45% af det nuværende brintbehov (Energy Transitions Commission, 2021). Grøn brint kan anvendes til raffinering af olie på kort sigt, men raffinaderierne laver selv det meste af deres egen brint (især i deres katalytiske reformeringsproces), så det vil først og fremmest være det ekstra brint, der produceres udenfor hegn og sælges ind til raffinaderierne, som vil blive erstattet. Selv om dette er en stor potentiel aftager i dag, forventes behovet for brint til raffinering på sigt at reduceres i takt med udfasningen af olie som energibærer.
- **Ammoniakproduktion**, primært til gødning, er den næststørste aftager af brint i dag. Her er 54% af EU's produktionskapacitet koncentreret i fire lande: Tyskland, Polen, Holland og Frankrig. Der produceres 180 Mt/y ammoniak på internationalt plan, hvoraf 80% anvendes til gødning (Energy Transitions Commission, 2021). Til trods for, at ammoniakproduktionen også nemt kan overgå til anvendelse af grøn brint, anses dette for mindre sandsynligt på kort sigt, da landbruget for nuværende ikke har et finansielt incitament til at udskifte fossil baserede gødningsprodukter, da de ikke inkluderes i ETS kvotesystemet eller er underlagt andre CO₂ skatter. Af denne grund anses ammoniakproduktion til gødning først som relevant i et mellemlangt perspektiv

(men ammoniak kan blive stort til andre applikationer, herunder øvrige produkter til kemikalieindustrien samt til skibstransporten, hvor motorerne vil stå klar allerede fra 2024, så omkring 2027 vil man forventeligt begynde at sejle på ammoniak). Der vil initialt også blive produceret ammoniak i Mellemøsten og Nordafrika, hvor strømmen er meget billig, og derfor kan ammoniak også produceres billigt. Herfra kan man så afskibe ammoniak til Europa, hvor man så vil kunne krakke ammoniak tilbage til brint, hvis der er kommet et brint-forbrug med tilhørende lagring i Europa. Der tænkes samme scenarie i Australien, hvor ammoniakken sendes til Japan og Sydkorea, da det er meget billigere at transportere ammoniak end flydende brint eller høj-komprimeret brint.

- **Metanolindustrien** er den tredjestørste aftager af brint i Europa. Produktionen er koncentreret i Tyskland, Holland og Norge. Metanol kan på kort sigt anvendes i industrien til bl.a. produktion af opløsningsmidler, maling og plastik. Der produceres i dag 100 Mt/y metanol på verdensplan, hvilket forventes at øges, efterhånden som plastikproduktion skifter væk fra fossil produktion. (Energy Transitions Commission, 2021).

Indenfor transportsektoren forventes PtX at spille en nøglerolle, enten via direkte brug af brint i brændscelledrevne biler, mindre skibe, lastbiler, busser, tog og skibe eller gennem produktion af brintbaserede syntetiske flydende brændstoffer til skibs- og luftfartssektoren. Følgende udvikling forventes indenfor transportsektoren:

- Der forventes et betydeligt internationalt marked for **brint til tung vejtransport** på mellemlang sigt.
- Der er relativt stor tillid fra aktørerne til, at **luftfart** på lang sigt vil blive et stort marked for PtX-produkter i form af power-to-jet. Den tekniske parathed er relativ høj. Når luftfarten alligevel er placeret lavt på 'parathedsskalaen', skyldes det betydelig usikkerhed om priserne.
- Den **internationale skibssektor** er en betydelig aftager, der i dag er stærkt afhængig af fossile brændsler. Til trods for at skibsfarten ikke er inkluderet under nationale klimaaftaler, virker sektoren til at have stor tillid til løsningen, eksemplificeret ved Mærskes bestilling af otte nye skibe med mulighed for at sejle på metanol. Ligesom for luftfarten er skibsfartens parathed hæmmet af den manglende motorteknologi. For skibsfarten forventes den største efterspørgsel at være efter ammoniak, mens der forventes en mindre efterspørgsel efter metanol og ganske lidt brint.

Udover de nuværende anvendelsesmuligheder samt forskellige anvendelsesmuligheder indenfor transport, forventes også et internationalt marked i andre sektorer. I energisektoren forventes PtX at spille en rolle i:

- **Energilager og balancering**, som er en mere omkostningseffektiv og praktisk måde at opbevare store energimængder (og derved udligne forskelle i energiproduktion f.eks. som resultat af skifte i årstider) end el. Der vurderes middel tillid og parathed til denne anvendelse af brint. Selv om konvertering/rekonvertering mellem elektricitet og brint indebærer signifikante energitab, er brint (og især ammoniak) en potentiel anvendelsesform for energien.

- **Ko-fyring i kraftvarmeværker:** Brint kan fremover anvendes frem for naturgas i gaskraftværker, da gasturbinerne kan ombygges til brint. Dette understøttes af gasturbineleverandørerne, som leverer de nødvendige ændringer i brænderne. Den tekniske parathed er derfor høj, men det kræver tilvejebringelse af tilstrækkelige mængder brint og på konkurrencedygtige vilkår for at øge den kommercielle parathed.

Endelig forventes varmforsyningen og stålindustrien at kunne anvende den grønne brint:

- **I varmforsyningen** kan brint være en mulighed for dekarbonisering af byområder forbundet til gasnettet gennem iblanding af brint i nettet. Dette kan f.eks. være relevant for bygninger, hvor det ikke er muligt at overgå til varmepumper, fordi bygningsmassen er gammel, og opgraderinger af eksisterende bygninger er vanskelige eller meget dyre. Potentialet i byggeriet synes dog at være lille.
- **Stålindustrien** står i dag for 7% (3 Gt) af de globale CO₂ udledninger fra energi- og industrisektoren, og grøn brint forventes at erstatte kul i produktionen. En række stålproducenter har sat sig nul-emissionsmål i 2050, (herunder Arcelor Mittal, BaoWum, Steel, SSAB, og ThyssenKrupp). Småskala brintprojekter i stålindustrien er startet i Tyskland, Sverige og Østrig.

4.2.1. International efterspørgsel efter dansk brint og PtX-produkter

Danmark har en lang tradition for at eksportere energiråvarer, primært baseret på olie og naturgas. Fra slutningen af 1990'erne og frem steg eksporten af energiråvarer markant og toppede i 2008 med ca. 76 milliarder kroner i eksportindtægter (Energistyrelsen, 2021). Potentialet for eksport af PtX-produkter er afhængig af sammensætningen og egenskaberne ved produktet. PtX-produkter, der er vanskelige at transportere over lange afstande, eller som består af geografisk begrænsede råvarer, vil have et bedre eksportpotentiale end andre produkter. Derfor vil nitrogen baserede produkter formentlig se en højere international konkurrence end karbon-baserede produkter, da nitrogen er tilgængelig overalt.

Givet de høje omkostninger ved at transportere brint over længere distancer kan eksportmarkedet for brint forventes at ligne markedet for gas. Værdien af den danske eksport af strøm til Tyskland udgjorde i 2020 næsten 796 mio. kr., mens eksporten til Sverige på andenpladsen og Norge på tredjepladsen udgjorde henholdsvis 131 mio. kr. og 47 mio. kr. (Danmarks Statistik). Ingen andre lande modtog strøm fra Danmark.

Det tyske eksportmarked for brint ligger fordelagtigt placeret i forhold til den danske produktion med mulighed for forbindelser over både Syddanmark og via EnergiØ Bornholm. Udover nærhed og den historiske import af dansk energi er der også andre hensyn, der taler for, at Tyskland bliver den største importør af dansk brint. Tyskland har i dag det højeste forbrug af brint i Europa (mere end en femtedel af det samlede europæiske forbrug), og dette billede forventes også at være gældende i fremtiden, understøttet af en ambitiøs tysk brintstrategi. Brint, som produceres fra hovedsageligt vind i Nordeuropa kommer til at være i skarp konkurrence med brint fra f.eks. sol i Sydeuropa". Derfor gælder det om, at Danmark kommer godt i gang og får en first-mover fordel.

Konkret regner Energinet og den tyske TSO Gasunie med et eksportpotentiale på 0-3 GW i 2030, 1-4 GW i 2035 og 1-6 GW i 2040 (Energinet, 2021). Til sammenligning viser COWIs fremskrivning et potentiale for eksport af dansk brint i 2050 på 100 PJ/y (=3 GW).

Ved etablering af et europæisk brintnet vil den danske brint kunne eksporteres over længere distancer. Udover det tyske marked kan der forventes betydelige markeder i Holland og Storbritannien. For den bornholmske energiø er Energinet for nuværende i gang med at undersøge aftagemulighederne i Tyskland. Derudover er Sverige og Polen mulige aftagerlande for en eventuel brintproduktion fra Bornholm.

På mellemlangt sigt kan eksport af metanol også at være en mulighed. Grundet den betydelige import af biomasse har Danmark p.t. en unik adgang til karbon til anvendelse i metanolproduktionen. I takt med at adgangen til karbon reduceres, og flysektoren i højere grad vil anvende grønne brændstoffer og derved optage en del af biomasse-ressourcerne, vil eksportpotentialet for metanol blive mindre.

4.2.2 International efterspørgsel efter udstyr, teknologi og viden

Mange års aktiv dansk energi- og klimapolitik har sikret et godt forretningsmæssigt udgangspunkt for udviklingen af grøn teknologi i Danmark (Energi og Forsyningssektoren, 2020). Danmark har også allerede en række eksisterende eksportintensive virksomheder inden for udstyr, teknologi og viden til energi og transport. I dag arbejder mere end 32.000 personer i vindenergiindustrien, og vindteknologi og services udgør ca. 5% af Danmarks samlede eksport, svarende til mere end 66 mia. kr. (Dansk Energi, 2020). Samtidig beskæftiger den maritime industri 60.880 personer direkte og eksporterer varer og tjenester for godt 287 mia. kr., hvilket tegner sig for 26,5% af den samlede danske eksport. Hertil kommer, at mere end 25.000 personer er beskæftiget inden for landtransport i Danmark.

Branchen vurderer, at der er markant potentiale for eksport af udstyr, teknologi og viden. I denne sammenhæng spiller dansk produktion af PtX-brændstoffer en vigtig rolle i udvikling af udstyr, teknologi og viden som kan eksporteres udover, at det sikrer tilgængelighed af PtX-produkter til det danske hjemmemarked. Således kan 70%-målet i 2030 bruges som løftestang for danske virksomheder til at udvikle energieffektive og kommercielle teknologiløsninger, der vil blive efterspurgt på verdensmarkedet.

Denne eksport kommer i tillæg til den forventede øgede eksport af vindmølleteknologi fra Danmark, som en konsekvens af, at den grønne omstilling kræver mere vedvarende energi på global skala i de kommende årtier. Med udsigt til et stort eksportpotentiale indenfor energiteknologier bør rammebetingelserne for den videre udvikling indenfor udstyr, teknologi og viden prioriteres højt i regeringens PtX-strategi blandt andet gennem styrket understøttelse af produktionen af produkter herunder også for projekter, der rækker ud over de to succesfulde IPCEI-ansøgninger.

Forventet prisudvikling



5. Forventet prisudvikling

På grund af den hurtige teknologiske udvikling og den hastige forøgelse i planlagt PtX-produktion er der i dag betydelig usikkerhed om den fremtidige markedspris for grøn brint. Aktørerne forventer et fald i produktionsomkostningerne, af tre primære årsager. For det første forventes højere effektivitet og lavere priser på elektrolyseanlæggene grundet masseproduktion og deraf følgende standardisering. For det andet forventes muligheden for sektorkobling at reducere omkostninger ved produktion. For det tredje forventes lavere elpriser som resultat af fortsat faldende priser på strøm fra vind og sol og optimeret udnyttelse af fluktuationer i strømproduktionen. På længere sigt forventes en øget konkurrence på brintmarkedet at give faldende marginer på brint.

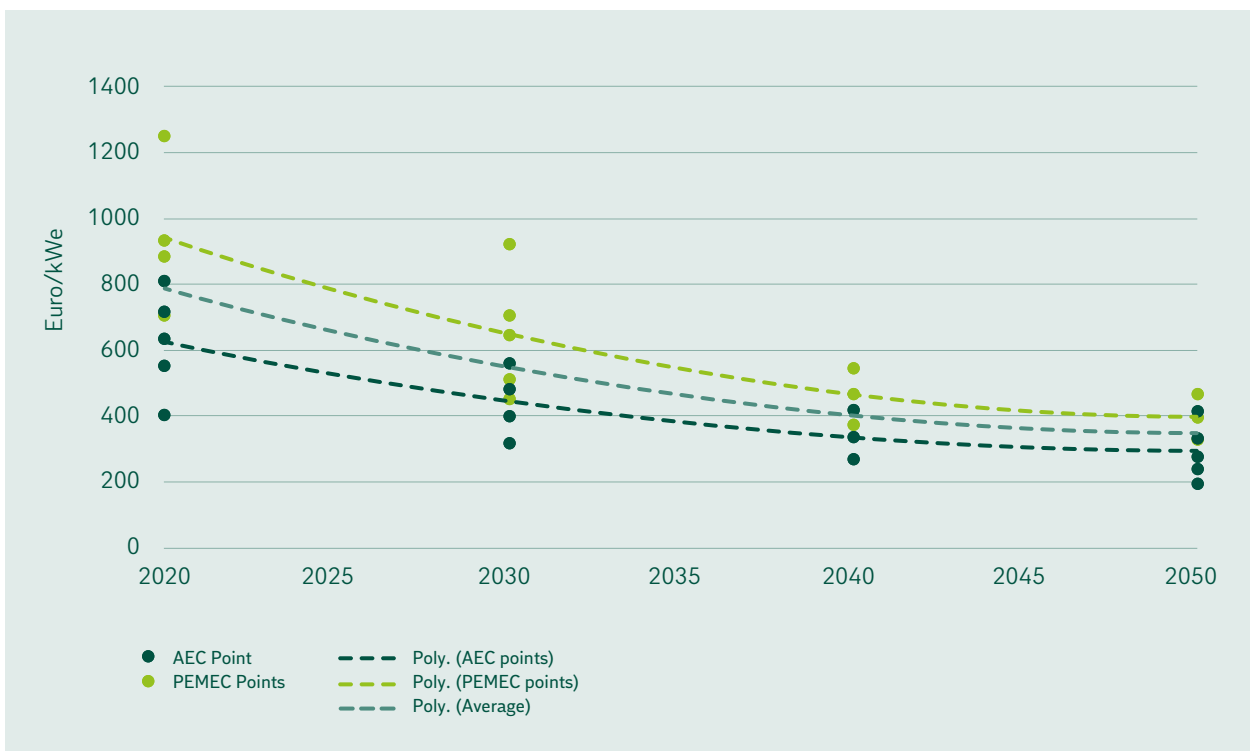
Den nødvendige kapitalinvestering (CAPEX) i elektrolyseapparaterne bidrager betydeligt til de samlede produktionsomkostninger. Omkostningerne ved CAPEX-investeringer afhænger af teknologispør, og selv inden for det samme spor kan de forventede omkostninger variere meget. Figur 19 viser den forventede udvikling i CAPEX-investeringer for elektrolyseanlæg frem mod 2050, for elektrolyseprocesserne AEC og PEMEC.

Prisen for denne investering forventes i fremtiden at blive reduceret gennem masseproduktion eller ny og forbedret teknologi. Figuren, der er hentet fra Energistyrelsens teknologikatalog for grønne brændsler, er udarbejdet på baggrund af rapporter fra førende organisationer (IEA, HyEurope og IRENA) og kvalificeret i dialog med aktører i branchen. Figuren viser et prisspænd mellem den orange (PEMEC) og blå (AEC) linje og et beregnet gennemsnit på den grønne linje. Som figuren viser, forventes næsten en halvering af CAPEX-omkostningerne for begge teknologispør, og omkostningerne nærmer sig hinanden frem mod 2050.

Billig grøn strøm er det vigtigste input til produktion af konkurrencedygtig grøn brint, da strømmen udgør over halvdelen af produktionsprisen. Eftersom grøn brint er den primære energikilde i alle teknologispør, har prisen på grøn strøm også stor betydning for produktprisen for metanol og ammoniak.

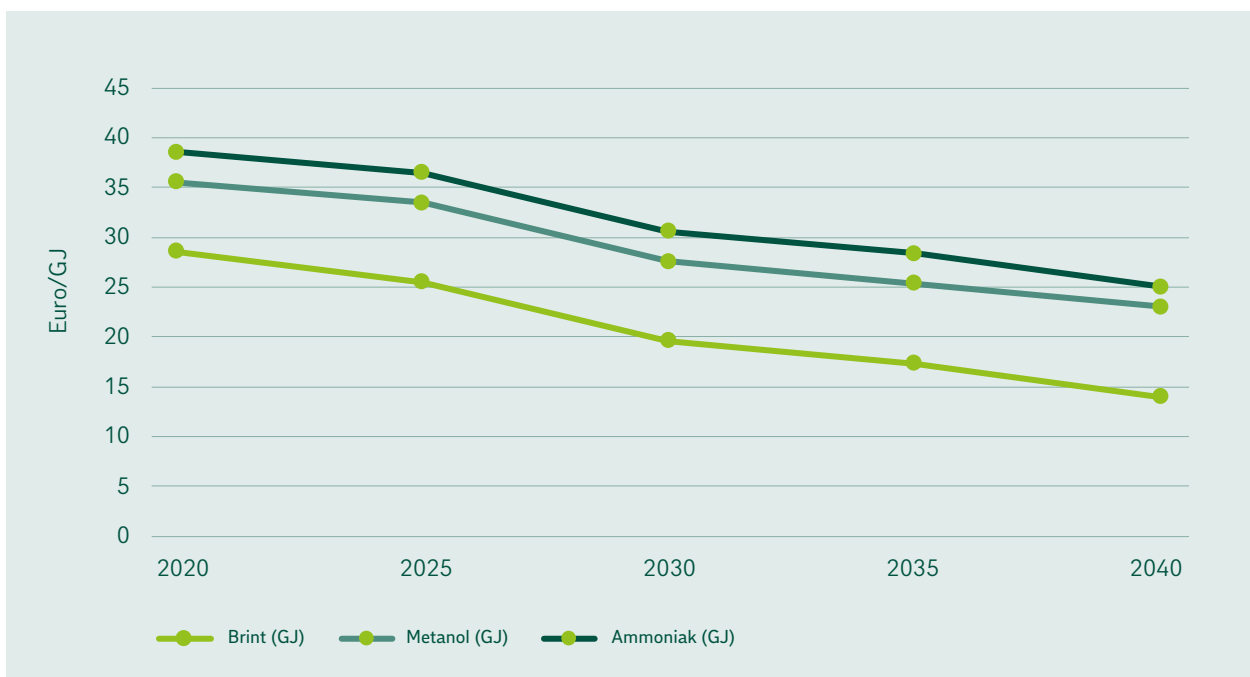
Figur 20 viser produktionspriser for henholdsvis brint, metanol og ammoniak frem mod 2040. Som figuren viser, forventer branchen en reduktion i produktionspriser frem mod 2040. Industrialisering af elektrolyse kan komme til at gøre VE brint konkurrencedygtig inden 2030, forudsat at der er en længere række af forudsætninger opfyldt om for eksempel forsyningen af VE, en hensigtsmæssig regulering med videre.

Figur 19 CAPEX-omkostninger (Euro/kWe) for brint produceret ved AEC og PEMEC (100 MW)



Kilde: Energistyrelsens teknologikatalog for grønne brændsler (Energistyrelsen, 2020) og COWI-beregninger.
 Note: Kilowatt electric (KWe) måler udelukkende den elektriske kapacitet af installationen, og inkluderer dermed ikke øvrig energi (f.eks. varme), der dannes i processen.

Figur 20 Produktionspriser (Euro/GJ) for brint, metanol og ammoniak (CAPEX og OPEX)



Kilde: Dansk Energi (Dansk Energi, 2020) og COWI-beregninger.

Udfordringen ligger derfor i, at regeringens klimamålsætninger fordrer, at teknologien er konkurrencedygtig allerede før 2030.¹⁸

For at dette skal blive muligt vil det i en periode være nødvendigt at justere sektorens finansielle rammevilkår. Blandt andet har el-tariffer stor betydning for rentabiliteten i et elektrolyseanlæg. Det bør derfor undersøges, hvordan tarifferne kan tilpasses, så de ikke udgør en barriere for etableringen af elektrolyseanlæg og udviklingen af ny teknologi. En ny tarifiering kan tilgodese det fleksibilitetspotentiale, der er i et stort energiforbrugende produktionsanlæg i situationer med høj spidslastning. I dag opkræves der el-tariffer på kabler inden for samme projekt, der forbinder elektrolyseanlæg med vedvarende energianlæg. En omlægning af tarifieringen, matrikelkravet mv. kan være nødvendigt, såfremt man ønsker, at produktion af PtX-produkter skal være mere konkurrencedygtig. Det bør derfor undersøges, hvordan direkte linjer og interne net i og mellem en matrikel kan omlægges uden at gå på kompromis med principper om omkostningsægte og ikke-diskriminerende tarifiering. Greenlab Skive og Brande Brint har begge fået en dispensation fra elforsyningsloven som en "frizone". En ny regulering bør inddrage erfaringer fra ovennævnte frizoner, og det kan overvejes at opsamle erfaringer fra andre anlæg.



¹⁸ I den danske virksomhed Haldor Topsøe, som er førende internationalt på elektrolyse-området, forventer man, at SOEC teknologien, som er mere effektiv, vil kunne generere billigere grøn brint, hvis strøm-prisen er lav nok. Samtidig mener man således, at ammoniak og methanol kan produceres billigere. Med den angivne brint pris forventer man en pris på ca. 20 Euro/GJ for både methanol og ammoniak.

Regulering og virkemidler



6. Regulering og virkemidler

Der er i de seneste år truffet en række markante politiske beslutninger, der indikerer regeringens og Folketingets opbakning til den grønne dagsorden på energiområdet. Som eksempel herpå kan nævnes beslutningen om at etablere to energiøer, henholdsvis ved Bornholm og i Nordsøen, med direkte henvisning til mulighederne for fremtidig PtX-produktion. Også den danske tilslutning til IPCEI-programmet kan ses som et udtryk for den politiske prioritering af området.

Det er dog fortsat en central udfordring for industrien, at der på nuværende tidspunkt mangler en klar dansk strategi, der opstiller konkrete mål for forventet tilgængelig, vedvarende energi og brint til PtX-produktion. Strategien bør desuden indgå som en integreret del af planlægningen for produktion af vedvarende energi og omfatte en plan for udvidelse af infrastrukturen for grønne brændstoffer. Herved kan udfordringer vedrørende transmissionsforbindelser og -kapacitet løses i tide, og den vedvarende energi kan udnyttes mere optimalt, blandt andet til PtX-produktion.

I kapitlet gennemgår vi en række reguleringer og virkemidler, der bør indtænkes i strategiarbejdet. Disse inkluderer muligheden for at indgå i partnerskaber på tværs af værdikæden og på tværs af landegrænser, offentlig støtte til innovation både nationalt og fra EU og dansk og international regulering, der påvirker produktion og aftag af PtX. Samtidig er det vigtigt at nævne at målet om 70 procents reduktion er uhensigtsmæssig i forhold til de ptx-brændsler, der vil blive anvendt til international skibs- og flytransport, fordi de som udgangspunkt ikke indgår i målet.

6.1 Partnerskaber

PtX er en ny teknologi, der spænder på tværs af mange sektorer, og som har stort internationalt potentiale. For at høste det fulde potentiale af PtX-teknologierne bør regeringens strategi fokusere på at tilrettelægge rammevilkårene så aktørerne nemt kan indgå i partnerskaber på tværs af PtX-værdikæden og på tværs af landegrænser. Gennem partnerskaberne er det muligt på forhånd at identificere udfordringer, reducere risici og dermed løse problemer ved op-skalering.

Partnerskaber på tværs af værdikæden, f.eks. gennem demonstrationsprojekter, er især vigtige for at styrke sammenhængskraften i værdikæden. Desuden er demonstrationsprojekter en god mulighed for at fremvise dansk teknologisk knowhow og illustrere den kommercielle levedygtighed i industriel skala og dermed understøtte fremtidige eksportpotentialer.

Teknologierne kan f.eks. demonstreres i partnerskab med offentlige institutioner, blandt andet via fokuserede offentlige indkøbsaftaler. Som et godt eksempel på dette er der nyligt afsat 235 mio. kr. til en pulje til fremme af den grønne omstilling af indenrigsfærger (Transportministeriet, 2021).

Nogle private virksomheder har sat meget ambitiøse bæredygtighedsmål (f.eks. Novo Nordisk), hvilket betyder, at de muligvis accepterer at betale en præmie for lavemissionsenergibærere. Disse virksomheder kan også indtænkes som partnere i PtX demonstrationsprojekter på tværs af værdikæden.

Partnerskaber på tværs af landegrænser har stor værdi for virksomheder i branchen. Det kan blandt andet være med til at sikre efterspørgsel og aftag af produkter. En konkret aftale med Holland er allerede på plads, der sikrer en investering på 1 mia. kr. i storskala Power-to-X-anlæg på 100 MW i Danmark (Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, 2020). Givet de høje omkostninger ved transmission af brint vil det derudover være særligt relevant at indgå i partnerskab med nabolandene Tyskland og Sverige.

Indholdet af et partnerskab kan inkludere foreløbige bilaterale aftaler omkring teknologiernes kvalitet, herunder f.eks. standarder og oprindelsesgarantier, der gør det muligt for virksomhederne at handle på tværs af landegrænser, selv inden EU-lovgivningen er på plads. Her bør regeringen vurdere, om det vil være en fordel at kopiere dele af de tyske rammevilkår i dansk regulering, idet der i Tyskland allerede er etableret en række standarder for brint, der kan have betydning for de danske eksportmuligheder (German BMVI, 2020).

Et partnerskab på tværs af landegrænser bør også indeholde en plan for infrastrukturudvikling til transmission af energiprodukter på tværs af landegrænser. Som nævnt ovenfor er Energinet allerede involveret i en række feasibility studier med tyske TSO'er om mulighederne for aftag af dansk brint på det tyske marked. Disse studier kan indgå som udgangspunkt for mere omfattende partnerskaber landene imellem.

¹⁹ 717 kr. per indbygger i Tyskland mod 146 kr. per indbygger i Danmark.

6.2 Offentlig støtte til innovation

En hurtig beregning viser, at den tyske nationale IPCEI-støtte på næsten 60 mia. kr. (8 mia. Euro) ligger væsentlig over den danske støtte på 850 mio. kr. målt per indbygger. Faktisk investeres der i Tyskland næsten 5 gange så meget i IPCEI-projekter per indbygger sammenlignet med Danmark.¹⁹

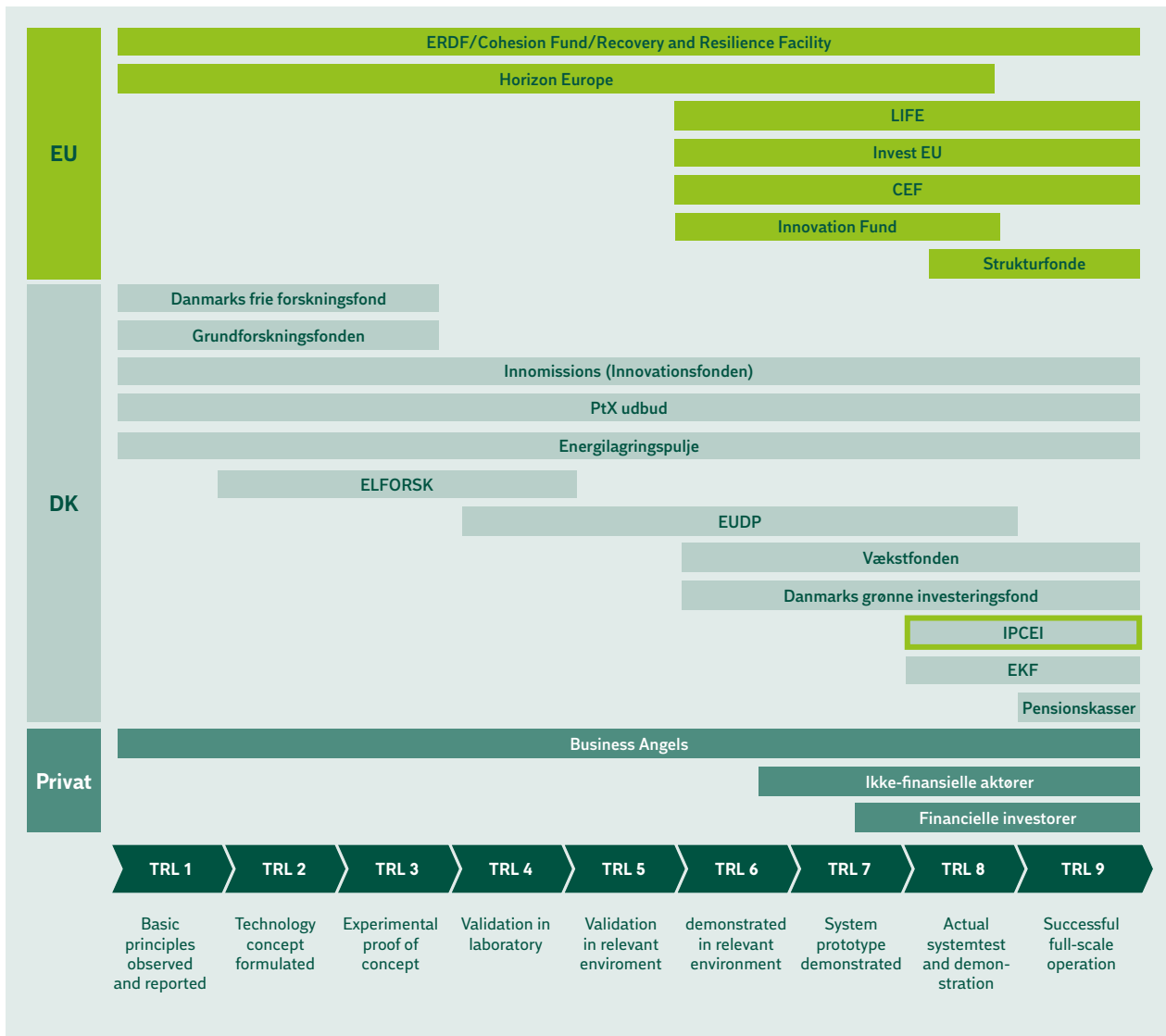
Dette er bemærkelsesværdigt, idet danske virksomheder skal konkurrere med tyske virksomheder, når markedet modnes i tilstrækkelig grad til at tillade udenrigshandel. Derfor er der behov for en vurdering af, hvordan danske investeringer kan sammenlignes med øvrige – især EU- landes investeringer, som danske virksomheder skal konkurrere med inden for en kort årrække. Den danske konkurrenceevne har direkte betydning for eksportpotentiale, teknologiudvikling i dansk industri, omsætning og beskæftigelse.

Ifølge branchen er der et presserende behov for indledende støtte til op-skalering i demonstrationsprojekter, der repræsenterer hele værdikæden, fra energileverandører, over brændstofproduktion til distribution og forbrug (se afsnit 2.2.2 for danske flagskibsprojekter, som også omfatter end-to-end demonstrationsprojekter).

Udover finansiering af indledende op-skalering og fuldskala demonstrationsprojekter har offentlig støtte også en vigtig funktion i forbindelse med udvikling af teknologi, der antages efterspurgt frem mod 2050. Her identificerer branchen følgende nøgleteknologier som nødvendige for den fremtidige udvikling:

- Udvikling af ammoniakmotorer og retrofit af dieselmotorer til anvendelse af flere brændstoftyper
- Forbedring af pyrolyse og liquifaction processer og efterfølgende raffinering af bioolie
- Metanol-til-flybrændstof (eller godkendelse af jet-B som flybrændstof for passagerfly)
- Brintvindmøller (hvis de er blevet konkurrencedygtige ift. almindelige større anlæg)
- Lagring af brint i danske saltkaverner og potentielt i aquifer
- Forbedre elektrolyseprocessen – effektivitet, levetid og forhøjet operationstryk
- Forbedre forgasning inkl. rensning af varm flue/syngas

De mest centrale danske og europæiske muligheder for støtte til forskning, innovation og demonstration er opsummeret i Figur 21.

Figur 21 Overblik over danske og europæiske finansieringsmuligheder (ikke udtømmende)

Kilde: COWI.

Klimaafspraken om energi og industri fra juni 2020 indeholder flere finansieringsmuligheder, herunder en CCUS-pulje på 16 mia. kr. i støtte til fangst og lagring eller anvendelse af CO₂ over de næste 20 år og et PtX-udbud for 750 mio. kr. Derudover er der i den grønne forskningsstrategi af 28. september 2020 afsat 700 mio. kr. til grønne forsknings- og innovationspartnerskaber, herunder en PtX og en CCUS-mission. Midlerne administreres af innovationsfonden. Endeligt er der afsat 850 mio. kr. som national støtte til de danske IPCEI-projekter. Det forventes, at der også kommer en PtX-pulje svarende til CCUS-puljen.

I 2020 oprettedes desuden Danmarks Grønne Fremtidsfond. Fonden vil bidrage til forskning i bl.a. omstilling af energisystemer til vedvarende energi, lagring og effektiv anvendelse af energi og fremme af global eksport af grønne teknologier. Fonden er inddelt i fire hovedkategorier. Således er 4 mia. kr., afsat til risikovillig kapital til grønne løsninger

(Vækstfonden), 6 mia. kr. er afsat til investeringer i grønne projekter (Danmarks Grønne Investeringsfond), 14 mia. kr. er afsat til eksport af grøn, dansk teknologi (EKF), mens 1 mia. kr. er nøglemærket investeringer i grønne projekter i udviklingslande (IFU).

Et andet vigtigt redskab er den offentlige støtteordning Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram (EUDP), som yder støtte til ny teknologi i energisektoren, der kan være med til at nå Danmarks energi- og klimamål – med særligt fokus på elektrobrændsel og CCUS. I 2021 er EUDP-puljen på 543 mio. kr., hvoraf 250 millioner kr. er afsat til energiteknologier, der generelt understøtter de energipolitiske målsætninger, 8 mio. kr. er afsat specifikt til PtX- teknologier, under beskrivelsen ”viderebearbejdelse af brint til X”, og henholdsvis 68,7 mio. kr. og 19,4 mio. kr. er afsat til klimaløsninger for industri og maritimt erhverv.

De danske finansieringsmuligheder suppleres med tilsvarende muligheder på EU-niveau. De mest centrale muligheder er:

- Horizon Europe med et budget på 15 mia. EUR til klima, energi og mobilitet. Under HorizonEurope er Clean Hydrogen Partnership etableret som et offentlig-privat partnerskab, der understøtter udrulning af teknologier i stor skala.
- Innovation Fund, der tildeler tilskud af en pulje på 10 mia. EUR i perioden 2020-2030 til demonstration eller op-skalering af innovative teknologier, herunder PtX-teknologier.
- Invest EU med et budget på 9 mia. EUR til garantier for rentable investeringer i bæredygtig infrastruktur.
- LIFE med 1 mia. EUR til demonstrationsprojekter indenfor grøn energiomstilling, der er implementeringsklar og nærmer sig industriel skala.

Støtte til finansiering af brintinvesteringer kan også forventes gennem genopretningsinstrumentet Next Generation og EU's bæredygtige finansieringsstrategi og taxonomien. Derudover bør EU-finansierede programmer implementeret på medlemsstatsniveau nævnes, herunder ERDF, Cohesion Fund og Recovery and Resilience Facility. Af særlig interesse er også IPCEI, der giver udvalgte projekter undtagelser fra statsstøttereglerne og i øjeblikket anvendes til brintprojekter i hele Europa. To danske projekter er gået videre i relation til danske IPCEI-midler.

Til trods for at der er flere igangsatte danske finansieringsmuligheder med fokus på PtX og CCU, er det vanskeligt at få et fyldestgørende overblik over de tilgængelige initiativer og ressourcer. Ofte er initiativernes målsætninger overlappende, og perioderne er ikke fast defineret. Dette kompliceres yderligere ved, at de danske initiativer skal ses i sammenhæng med EU-initiativer. Det anbefales, at regeringen søger at skabe overblik over de tilgængelige ressourcer for branchen ved at kortlægge, hvilke puljer og søgemuligheder der findes tilgængelige for virksomheder på forskellige TRL-niveauer. På den måde vil det også være muligt at vurdere om dele af branchen forfordeles.

6.3 Dansk og international regulering

Reguleringen af markedet for PtX-produkter er komplekst. I denne sammenhæng forstås markedet for PtX-produkter som hele værdikæden, fra produktion af vedvarende energi, over produktion af PtX, til anvendelse i de relevante aftagersektorer så som industri og transport.

Internationalt samarbejde, særligt indenfor Europa, om køb og salg af energi og PtX er vigtigt og understøtter potentialet for eksport af dansk teknologi. Området reguleres fra internationalt hold af en række EU-direktiver, der udmøntes i den nationale lovgivning, samt af yderligere national særlovgivning. En række af disse direktiver er for nuværende under revision som en del af den såkaldte "fit-for-55" pakke. Med fit-for-55 skal EU-reguleringen sikre 55% reduktion af klimagasser indenfor EU inden 2030. Derudover reguleres international skibsfart og luftfart af særlige internationale konventioner.

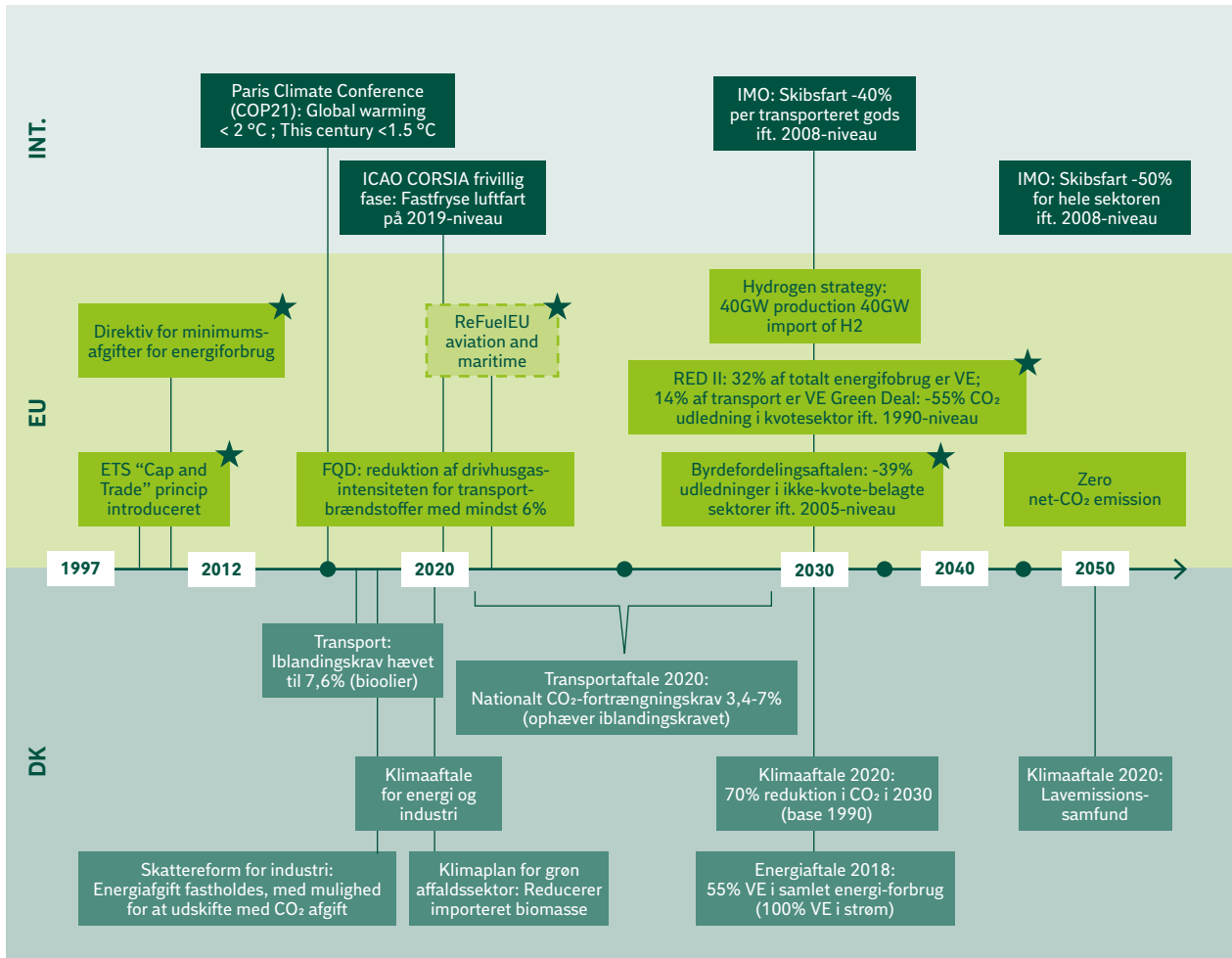
FIT-FOR-55

Europa-Kommissionen har fremlagt en lang række forslag til at revidere flere af de mest vidtgående EU-retsakter indenfor blandt andet klima-, energi-, transport- og skattepolitik. Disse forslag omtales samlet som "fit-for-55" pakken. Formålet med pakken er at tilpasse EU-retsakterne til ambitionen om at reducere drivhusgasemissioner med mindst 55% inden 2030, sammenlignet med 1990-niveauet. Ambitionen er vedtaget af Europa-Kommissionen i 2019 som en del af European Green Deal.

Forhandlingerne omkring fit-for-55 pakken bør følges tæt af regeringen med inddragelse af industrien. Et centralt element for den fremtidige produktion af PtX i Danmark ligger for eksempel i revisionen af REDII, hvor definitionen og metoden for vurdering af renewable fuels of non-biological origin (RFNBO'er) er under behandling. Der er andre centrale elementer vedrørende aftagersiden for eksempel REfuel EU Aviation, der stiller krav til PtX i flybrændstoffer. Det har væsentlig betydning for en effektiv grøn omstilling med langsigtede løsninger, at der laves tydelige og ambitiøse grænser for, hvornår energibærere vurderes at være grønne. Derfor bør regeringen lægge et fortsat internationalt pres for at fremme principperne bag grønne oprindelsesgarantier. En lækkeret version af retsaktens om Renewable Fuels of Non-Biological Origin (RFNBO) en række formuleringer, der kan vanskeliggøre udbygningen af en grøn ptx produktion i Danmark. Blandt andet er der i retsaktens nuværende formulering et krav om samtidighed og additionalitet, som på kort og mellemlangt sigt vil give store udfordringer for etablering af grøn brintproduktion, og Danmark mister i den sammenhæng fordelene af, at vi i forvejen har et overvejende grønt elnet.

Figur 22 viser et overblik over centrale mål og reguleringer for PtX-området. Direktiver der indgår i fit-for-55 pakken er markeret med stjerne.

Figur 22 Centrale mål og reguleringer for PtX-produktion og aftag (ikke udtømmende)



Kilde: COWI.

Note: Grøn=globale aftaler, blå=EU-regulering (stjernemarkerede bokse under revision som en del af fit-for-55 pakken, stiplede bokse under udarbejdelse), rød=dansk regulering. Bemærk: Tidsaksen er ikke proportionel.

Der eksisterer ikke ét regulatorisk greb, der fyldestgørende kan skabe en tilfredsstillende incitamentsstruktur. Derimod skal en række regulatoriske greb spille sammen. Det er vigtigt for aktørerne i den forbindelse, at der er fuld gennemsigtighed om reguleringen, at reguleringen er teknologineutral og, at den sikrer prissammenlignelighed mellem grønne og fossile brændstoffer inden for alle de berørte sektorer. Her kan der især peges på tre reguleringsmekanismer:

- For at sikre reduktion af emissioner ser flere aktører en CO₂-afgift som et effektivt værktøj. Ved en øgning af CO₂ afgiften i Danmark kan der med fordel skeles til Sverige og Tyskland, der begge har betydeligt højere CO₂ afgifter – for dermed også at undgå grænsehandel med benzin og diesel.²⁰
- For at fremme produktion og aftag i markedet anbefales en såkaldt statslig fastsat Contract for Difference (CfD) model. Modellen går ud på, at der på forhånd fastsættes en afregningspris pr. megawatt-time (MWh) for brint, der afsættes på auktioner. Hvis brintprisen på markedet viser sig at være lavere end den aftalte pris, betaler staten forskellen til ejerne mens, hvis den er højere end aftalt, betaler ejerne prisforskellen tilbage til staten. Dermed får aktørerne tillid til markedet og vil blandt andet have bedre mulighed for at udarbejde en retvisende business case og indgå i værdikædepartnerskaber. Efterhånden som produkterne bliver konkurrencedygtige bør en sådan ordning udfases, så virksomhederne kan konkurrere på markedsvilkår.
- Luftfartens Klimapartnerskab foreslår konkret at etablere en klimafond baseret på et klimabidrag fra afrejsende passagerer, for at finansiere hovedparten af luftfartens omstilling frem til 2030 (Klimapartnerskab for Luftfarten, 2020). Fonden skal stimulere udbud og efterspørgsel efter bæredygtige brændstoffer, som er dyrere end fossile brændstoffer. Klimabidraget er i praksis en beskatning, som vil påvirke efterspørgslen negativt, men kan medvirke til at opfylde luftfartens klimamål.

Ligeledes er det vigtigt for aktørerne, at der etableres en certificeringsordning, der er knyttet til livscyklusvurderinger. Dette skal bidrage med at sikre sporbarhed af produkter og give markedet mulighed for at belønne CO₂-reduktioner på en sammenlignelig og ensartet måde på tværs af industrier og landegrænser.

Endelig bør Dansk landbrugs benyttelse af input-faktorer med i en dansk PtX-strategi. Danmarks landbrug importerer omkring 600.000 tons kvælstofholdig gødning. Produktionen medfører en betydelig udledning af drivhusgasser, og produktionen af gødning ved hjælp af PtX kan bidrage til at reducere udledningerne.

Egenproduktion heraf ved hjælp af PtX-baseret ammoniak bør derfor inddrages i overvejelserne omkring Danmarks bidrag til klimaproblemerne.

²⁰ En CO₂-afgift vil ydermere have den fordel, at det vil generere et provenu som kan tilbageføres i den videre finansiering af den grønne omstilling.

Referencer



7. Referencer

Aurora Energy Research, 2020.
Hydrogen could be a 120 billion euro + industry in Europe by 2050.

California Air Resources Board, 2021. **California electric vehicle rebate demand exceeds Clean Vehicle Rebate Project funding.** [Online].

Clean Vehicle Rebate Project, 2021. **Vehicles and eligibility.** [Online].

Climate Policy Info Hub, u.d. **The EU Emissions Trading System: an Introduction.** [Online].

COWI, Dansk Fjernvarme, Grøn Energi, TVIS, 2021. **Power-to-X og Fjernvarme, s.l.: s.n.**

Danmarks Statistik, u.d. **Udenrigshandel med varer.** [Online].

Dansk Energi, 2020. **Anbefalinger til en dansk strategi for Power-to-X, s.l.: s.n.**

Dansk Energi, 2021. **Potentialet for CO₂-fangst i Danmark til den grønne omstilling, s.l.: s.n.**

Dansk Energi, 2021. **Rekordår: Strømmen har aldrig været grønnere, s.l.: s.n.**

Dansk Fjernvarme, 2021. **Power-to-X og fjernvarme, s.l.: s.n.**

Dansk Luftfart, 2020. **Regeringens klimapartnerskaber, klimapartnerskab for luftfart, s.l.: s.n.**

DTU, 2020. **Sektorudviklingsprojekt om Smarte Energisystemer, s.l.: s.n.**

Energi og Forsyningssektoren, 2020. **I mål med den grønne omstilling 2030, Sektorkøreplan for energi og forsyningssektoren, s.l.: s.n.**

Energinet, 2020. **Introduktion til systemydelse, s.l.: s.n.**

Energinet, 2020. **NYE VINDE TIL BRINT: PtX strategisk handleplan, s.l.: s.n.**

Energinet, 2021. **Pre-feasibility Study for a Danish-German Hydrogen Network, s.l.: s.n.**

Energinet & Gasunie, 2021. **Pre-feasibility study for a Danish-German Hydrogen Network, s.l.: s.n.**

Energistyrelsen, 2018. **Perspektiver for produktion og anvendelse af biogas i Danmark, s.l.: s.n.**

Energistyrelsen, 2020. **Biomasseanalyse, s.l.: s.n.**

Energistyrelsen, 2020. **Energistatistik 2019, s.l.: s.n.**

Energistyrelsen, 2020. **Technology Data: Renewable fuels, s.l.: s.n.**

Energistyrelsen, 2021. **Analyseforudsætninger til Energinet 2021 (AF21), s.l.: s.n.**

Energistyrelsen, 2021. **Global afrapportering 2021, baggrundsnotat for international transport, s.l.: s.n.**

Energistyrelsen, 2021. **Klimastatus og -fremskrivning, s.l.: Energistyrelsen.**

Energy Digital, 2015. **Top 10 Wind Turbine Suppliers.** [Online].

Energy Supply, 2021. **Vestas giver myndighederne det gule kort: Giv os bedre rammevilkår eller vi flytter.** [Online].

Energy Transitions Commission, 2021. **Making the Hydrogen Economy Possible: Accelerating Clean Hydrogen in an Electrified Economy.**

Europa-Kommissionen, 2019. **Market Stability Reserve.** [Online].

Europa-Kommissionen, u.d. **Reducing CO₂ emissions from heavy-duty vehicles.** [Online].

Europa-Kommissionen, 2020. **A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, Brussels: s.n.**

Europa-Kommissionen, 2020. **Sustainable aviation fuels – ReFuelEU Aviation.** [Online].

Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EU) 2019/1242, 2019. **om fastsættelse af præstationsnormer for nye tunge køretøjers CO₂-emissioner og om ændring af Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EF) nr. 595/2009 og (EU) 2018/956 og Rådets direktiv 96/53/EF. s.l., s.n.**

Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EU) 2019/631, 2019. **om fastsættelse af CO₂-emissionsstandarder for nye personbiler og for nye lette erhvervskøretøjer og om ophævelse af forordning (EF) nr..** [Online].

Finansministeriet, 2020. **Bred aftale om grøn skattereform baner vej for grøn omstilling i erhvervslivet.** [Online].

German BMVI, 2020. **The German hydrogen regulation, codes and standards roadmap.** [Online].

Global Market Insights, 2021. **Wind Energy Market Share Analysis, Growth Forecasts 2027, s.l.: s.n.**

Goldman Sachs, 2020.

Green Hydrogen - The next transformational driver of the Utilities industry, s.l.: s.n.

Howarth, Robert og Jacobson, Mark, 2021. **How green is blue hydrogen?**, s.l.: Energy Science and Engineering.

Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, 2018.

Energiaftale, s.l.: s.n.

Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, 2020.

Regeringen sikrer massiv investering i Power-to-X, s.l.: s.n.

Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, u.d.

Udspil CCS, s.l.: s.n.

Klima-, Energi- og Forsyningsudvalget, 2021.

Endeligt svar på spørgsmål 149 til Klima-, Energi- og Forsyningsudvalget. s.l., s.n.

Klimapartnerskab for Luftfarten, 2020.

Regeringen klimapartnerskaber: Partnerskab for Luftfart, s.l.: s.n.

Klimapartnerskaber for Energi og Forsyning, 2020.

I mål med den grønne omstilling 2030, s.l.: s.n.

Klimarådet, 2017. **Det oppustede CO2-kvotesystem**, s.l.: s.n.

Maersk, 2021.

A.P. Moller - Maersk accelerates fleet decarbonisation with 8 large ocean-going vessels to operate on carbon neutral methanol. [Online].

Methanex Corp. & ADI Analytics, u.d. **Small-scale methanol technologies offer flexibility, cost effectiveness**. [Online].

Miljøministeriet, 2019.

Plastik i tal. [Online].

Mobility Watch, 2021.

Transportlobby ser grøn omstilling som "umåneligt dyr". [Online].

Regeringen m.fl., 2020.

Klimaplan for en grøn affaldssektor og cirkulær økonomi, s.l.: s.n.

Regeringen, m.fl., 2020.

Aftale mellem regeringen, Radikale Venstre, Socialistisk folkeparti og Enhedslisten om grøn omstilling af vejtransporten, s.l.: s.n.

Rådets direktiv (EU)

2018/2001, u.d. s.l.: s.n.

Rådets direktiv 2009/30/EC, 2009. **amending Directive 98/70/EC as regards the specification of petrol, diesel and gas-oil and introducing a mechanism to monitor and reduce greenhouse gas emissions and amending Council Directive 1999/32/EC as regards the specification of fuel used by inland**. [Online].

Stena Line, 2021. **The world's first methanol ferry**. 31 3.

Teknologiudvikling, u.d. **Støtteordninger inden for: Energi miljø og klima**. [Online].

Transportministeriet, 2021.

Få rådgivning om færgepuljen. [Online].

Videnskab, 2020.

Trods klimakrisen: Derfor køber danskerne ikke elbiler. [Online].

World Energy Council, 2018.

World Energy Trilemma Index, London: World Energy Council in partnership with Oliver Wyman.

World Steel Association, 2019.

World Steel in Figures, s.l.: s.n.

