

POWER-TO-X MULIGHEDER OG ERHVERVSPOTENTIALER

DANSK ENERGI



Project no. 1270007296
Recipient: Dansk Energi
Document type: Final report
Version: 3
Date: 11-10-2021
Prepared by: JRPN, SOPO, VIJU
Checked by: SLC
Approved by Søren Løvstad, slc@ramboll.com

EXECUTIVE SUMMARY

Baggrund og konklusioner

Rambøll har på vegne af Dansk Energi gennemført en analyse af mulige gevinster ved at gå over 70 pct. reduktionsmålsætningen og skærpe ambitionsniveauet for anvendelse af grønne brændsler til skibs og flytrafik. En skærpelse af ambitionsniveauet vil alt andet lige medføre et øget behov for investeringer i produktion af grønne brændsler herunder både elektrolyse til brint og syntese anlæg til ammoniak og metanol produktion. Øgede investeringer indenfor disse sektorer kan medføre en række gevinster for dansk erhverv. Et højere ambitionsniveau for både skibs og luftfarten kan være med til at understøtte yderligere investeringer i PtX i Danmark og derved øge dansk erhvervs kendskab, samt erfaring med udvikling af konkurrencedygtige teknologiske løsninger.

Det globale marked for PtX anlæg forventes at vokse ekspotentielt over de kommende år og desto hurtigere vi reagerer her i Danmark desto bedre muligheder, vil man have i international konkurrence. Med afsæt i IEAs sustainable development og net-zero emission scenarie og erfaringer fra tidligere eksport cases, estimeres eksport gevinster mellem 3 og 36 mia. kr i 2030 afhængigt af den internationale udvikling og de læringseffekter der kan opnås i Danmark.

Realiseres det fulde potentiale, som Danmark har for vedvarende energi produktion i form af vind og sol, er der mulighed for at der med tiden vil være potentiale for eksport af energi i form af brint, ammoniak samt metanol. Størrelsesordenen af værdien af dette afhænger i høj grad af mængden af vedvarende energi, de realiserede priser for de eksporterede produkter, samt infrastrukturen til rådighed. Under antagelse af at bl.a. gas ledningen til Tyskland kan anvendes til eksport af brint estimeres en omsætning af eksport af PtX produkter til på mellem 2 og 9 mia. kr i 2030.

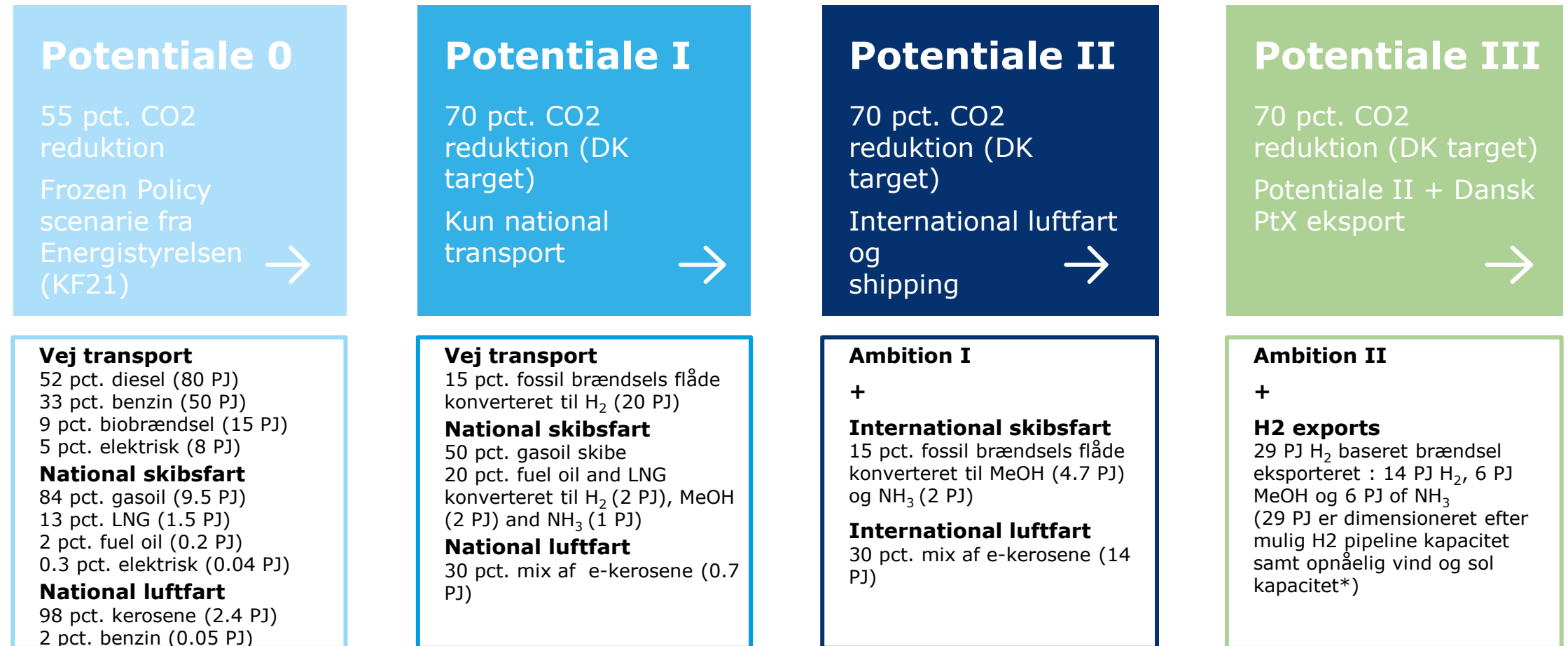
En øget aktivitet i forbindelse med konstruktion samt drift af elektrolyse og PtX anlæg vil desuden øge efterspørgslen efter arbejdskraft i samfundet. Mens konstruktionsfasen kun midlertidigt vil øge efterspørgslen efter arbejdskraft, må det forventes, at driftsfasen vil afstedkomme flere permanente jobs. Under de undersøgte ambitioner estimeres mellem 10.000 – 35.000 fuldtids beskæftigede over anlæggenes levetid.

ERHVERVS OG RESSOURCE POTENTIALER

	Potentiale I 70 pct. CO2 reduktion Kun indenrigstransport	Potentiale II 70 pct. CO2 reduktion Potentiale I + international luftfart og skibsfart	Potentiale III 70 pct. CO2 reduktion Potentiale II + Dansk PtX eksport	
Slutforbrug				
Ressourcebehov				
 Vedvarende energi	11 TWh	22 TWh	33 TWh	[2030]
 PtX kapacitet	2,1 GW	4,4 GW	6,6 GW	[2030]
 CO ₂ fangst	<0,5 Mt	1,5-2 Mt	2-2,5 Mt	[2030]
Erhvervspotentiale				
 Teknologiekспорт	22 mia.kr	29 mia.kr	36 mia.kr	[2030]
 Grønne jobs	10.000 FTE	23.000 FTE	35.000 FTE	[CUMUL]
 Energihandel	2 mia.kr	4 mia.kr	9 mia.kr	[2030]
CO₂ reduktion	1.9 Mt	3.4 Mt	5.4 Mt	[2030]

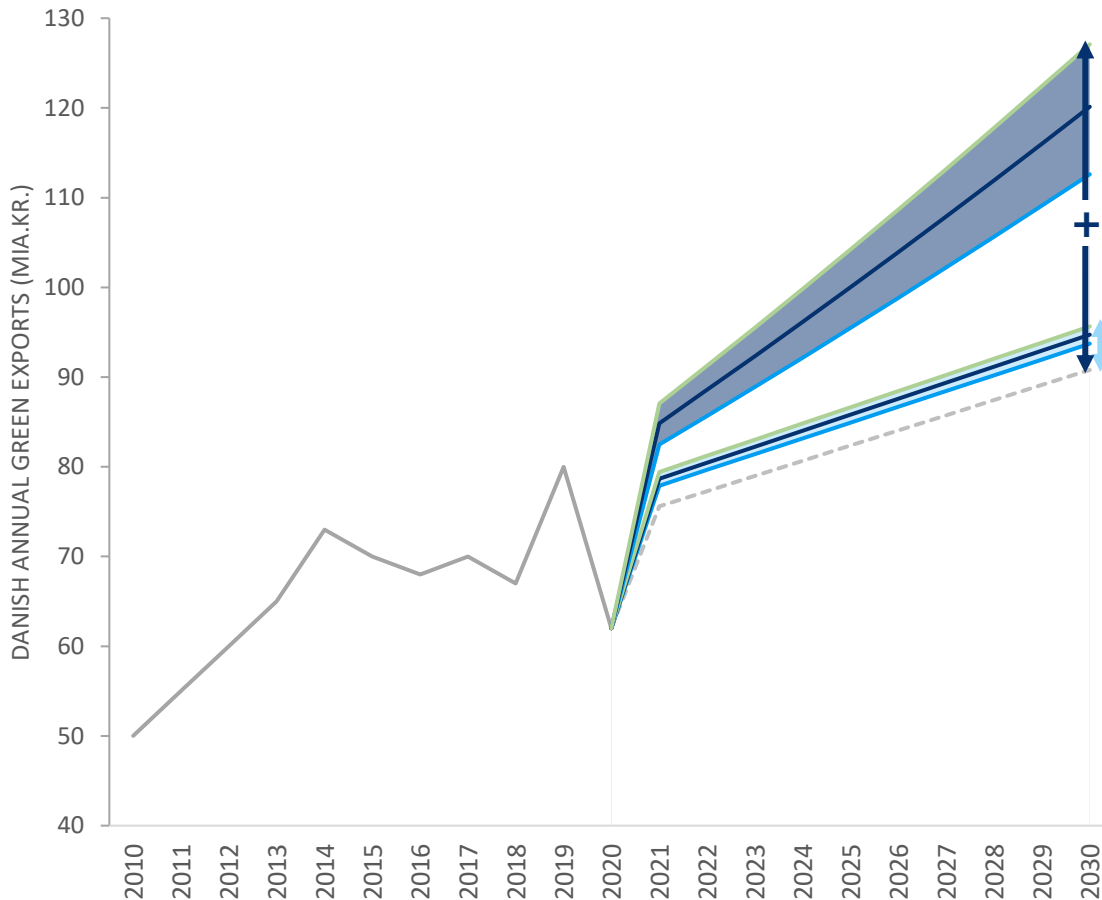
OVERBLIK OVER POTENTIALER

Potentialer for PtX i Danmark i 2030



ANSLÅET PTX -EKSPORT I FORHOLD TIL EKSISTERENDE GRØN ENERGITEKNOLOGI EKSPORT FRA DANMARK

Yderligere eksport i 2030



Potentiale III	+36 mia.kr	+40%	NET ZERO EMISSIONS BY 2050 (NZE)
Potentiale II	+29 mia.kr	+32%	
Potentiale I	+22 mia.kr	+24%	

Potentiale III	+5 mia.kr	+5%	SUSTAINABLE DEVELOPMENT SCENARIO(SDS)
Potentiale II	+4 mia.kr	+4%	
Potentiale I	+3 mia.kr	+3%	

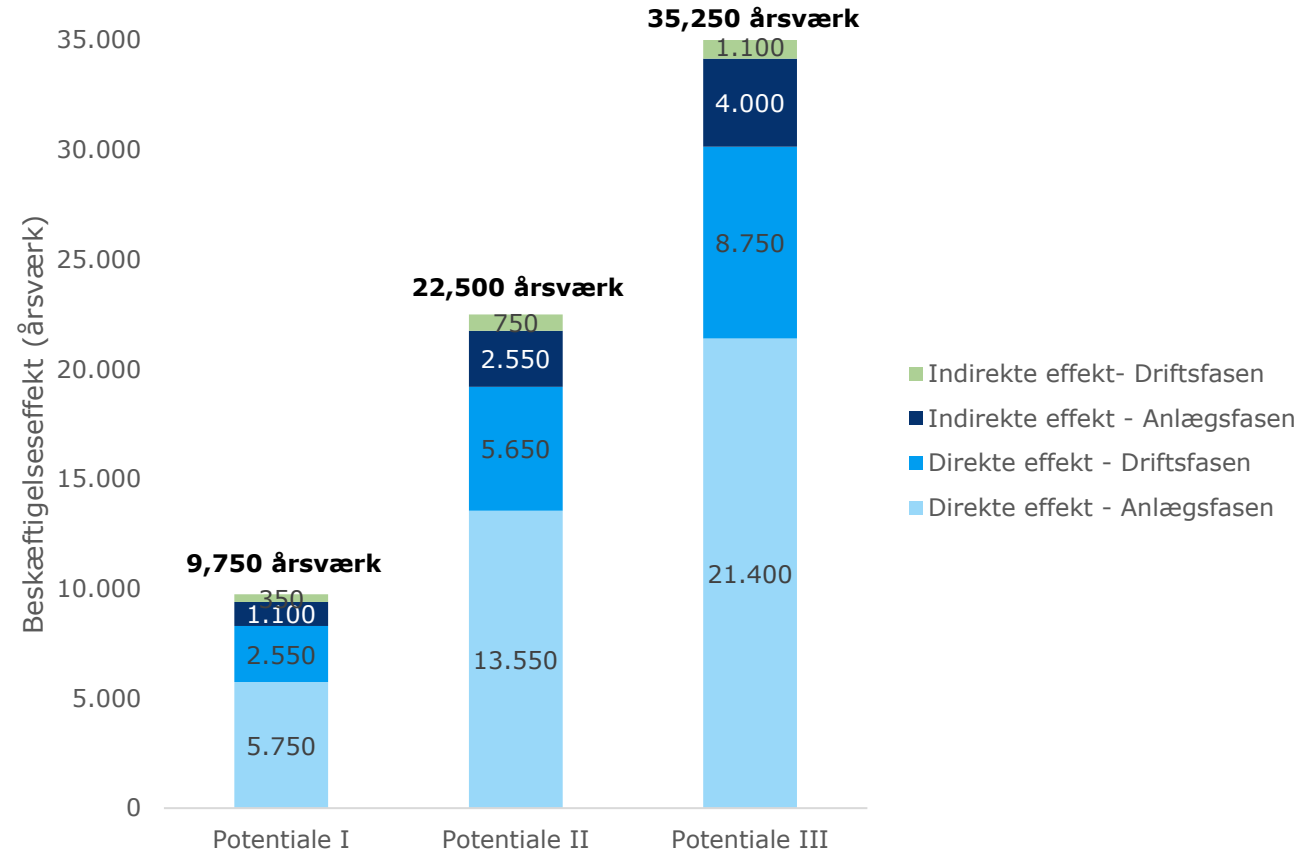
Eksporten af grøn energiteknologi fra Danmark resulterede i omkring 62 mia. kr. i 2020. Antages der en lineær projektion fra den historiske eksport siden 2010, vil grøn teknologiekseport under et business-as-usual (BAU) scenarie svare til 91 mia. kr. I 2030 (se den stiplede grå linje)

Antages det at PtX teknologiekseporten kan være mellem 3-5 pct. af de globale marked, når ambition I til III er opnået i Danmark, under Sustainable Development Scenariet, vil eksporten af PtX-teknologi være mellem 3-5 mia. kr. for Danmark i 2030 (3-5 pct. stigning i grøn eksport ift. BAU). Under et globalt marked som NZE, kan PtX teknologiekseporten opnå mellem 22-36 mia. kr. i 2030 (24-40 pct. stigning i grøn eksport ift. BAU)



Kilde: historisk grøn eksport fra WindDenmark Eksport af energiteknologi og-service 2020, Figur 10: Danmarks eksport af grøn energiteknologi <https://winddenmark.dk/sites/winddenmark.dk/files/media/document/Eksport%20af%20Energi%20og%20Service%202020.pdf>

BESKÆFTIGELSESEFFEKT ALLE AMBITIONER



Delkonklusioner





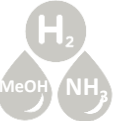

Potentiale I, II og III skønnes at resultere i henholdsvis ~ 9.750, 22.500 og 35.250 akkumuleret årsværk for anlægs- og driftsfasen i hele anlægslevetiden (baseret på både direkte og indirekte beskæftigelseseffekter).

Størstedelen af årsværkene opstår i den 2-årige anlægsfase og er direkte relateret til opførelsen af de forskellige anlæg. Således ~ 5.750, 13.550 og 21.400 årsværk (Ambition I, II og III). Det svarer til at 68 pct. af alle årsværk er midlertidige direkte årsværk.

Henholdsvis 2.900, 6.400 og 9.850 årsværk vil være direkte eller indirekte knyttet til driftsfasen (25 år), afhængigt af den specifikke ambition, og dermed have en langsigtet effekt på beskæftigelsen.

Den primære beskæftigelseseffekt fordelt på sektor i anlægsfasen henfalder til industri (42 pct.) samt viden og rådgivningsservice (39 pct.). I driftsfasen tegner den kemiske industri sig for 74 pct. af beskæftigelsen.

GEVINSTEN VED ENERGI EKSPORT OG UNDGÅET IMPORT FORDELT PÅ DE 3 POTENTIALER (ÅRLIGE I 2030)

	Potentiale I		Potentiale II		Potentiale III	
	Eksport	Undgået Import	Eksport	Undgået Import	Eksport	Undgået Import
Benzin 		0.2 mia. kr.		0.2 mia. kr.		0.2 mia. kr.
Kerosene 		0.8 mia. kr.		1.6 mia. kr.		1.6 mia. kr.
Råolie (for diesel) 		1.6 mio. kr.		1.6 mia. kr.		1.6 mia. kr.
Råolie (for gasoil and fueloil) 				0.4 mia. kr.		0.4 mia. kr.
PtX brændstof 					4.9 mia. kr.	
Samlet gevinst 	1.8 mia. kr.		3.8 mia. kr.		8.7 mia. kr.	

PTX POTENTIALE I DANMARK - SOCIOØKONOMISKE EFFEKTER

01 Globalt outlook og eksport
potentiale

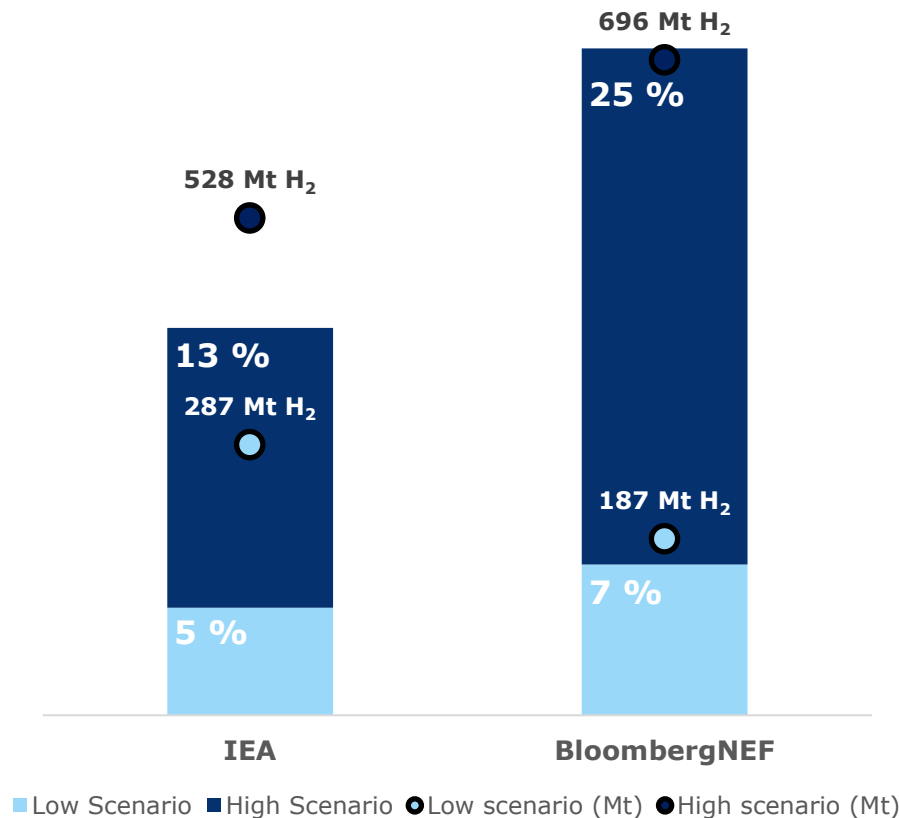
02 Scenarier for PtX potentialer i
Danmark

03 Kvantitativ samfundsøkonomi



BRINT VIL VÆRE EN VIGTIG ENERGIBÆRER I 2050

Der er stor enighed om, at brint vil være en vigtig determinant for den endelige energiefteerspørgsel



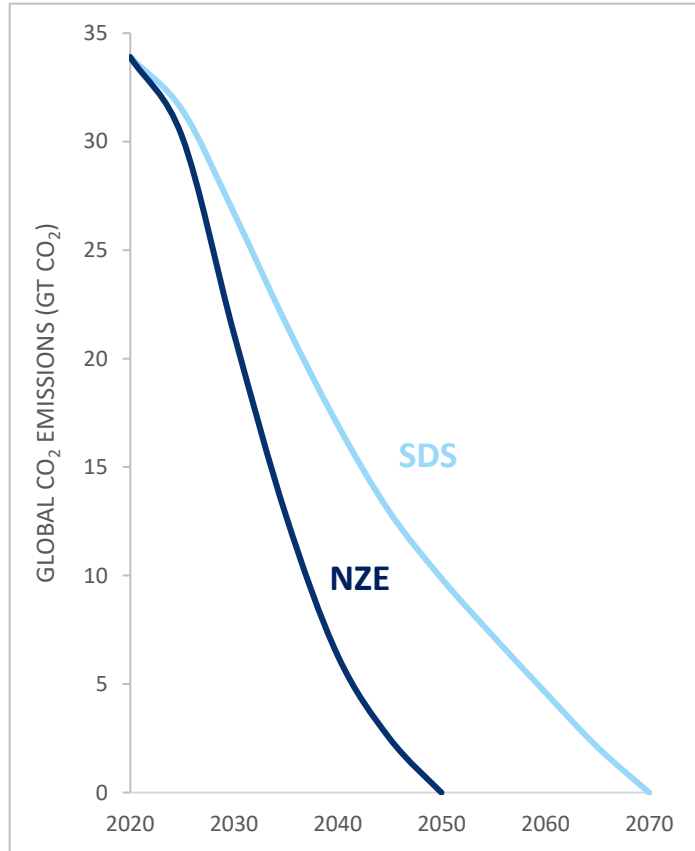
Efterspørgslen efter brint og brintbaserede brændstoffer forventes at ligge inden for følgende intervaller:

- 5 - 25 pct. af den endelige globale energiefteerspørgsel inden 2050.
- 187 til 696 millioner tons H₂ forbruges årligt i 2050.

Note: pct. af H₂ i forhold til den endelige energiefteerspørgsel og tilsvarende Mt H₂ som absolut endelig efterspørgsel. Lave og høje scenarier har muligvis ikke den samme samlede endelige energiefteerspørgsel.

SCENARIER AF INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

IEA-scenarierne "Sustainable Development Scenario" (SDS) og "Net Zero Emissions by 2050" (NZE) antages at være henholdsvis det lave og høje niveau for PtX's globale markedspotentiale



SUSTAINABLE DEVELOPMENT SCENARIO (SDS)



UN SDGs: Starter fra "UN sustainable development goals" og arbejder tilbage på at fastlægge, hvad der ville være nødvendigt for at nå disse mål på en realistisk og omkostningseffektiv måde.



PARIS2015
UN CLIMATE CHANGE CONFERENCE
COP21-CMP11

Paris Agreement: I overensstemmelse med Parisaftalens målsætning om at holde stigningen i den globale gennemsnitstemperatur et godt stykke under 2°C over det førindustrielle niveau. SDS holder temperaturstigningen til 1,8 °C med en 66 pct. sandsynlighed uden afhængighed af globale netto-negative CO₂-emissioner.



Net zero
by 2070

CO₂ emissions: De globale CO₂-emissioner falder fra 35,8 mia. ton i 2019 til under 10 mia. ton i 2050 og er på vej til nettonulemissioner i 2070.

NET ZERO EMISSIONS BY 2050 (NZE)

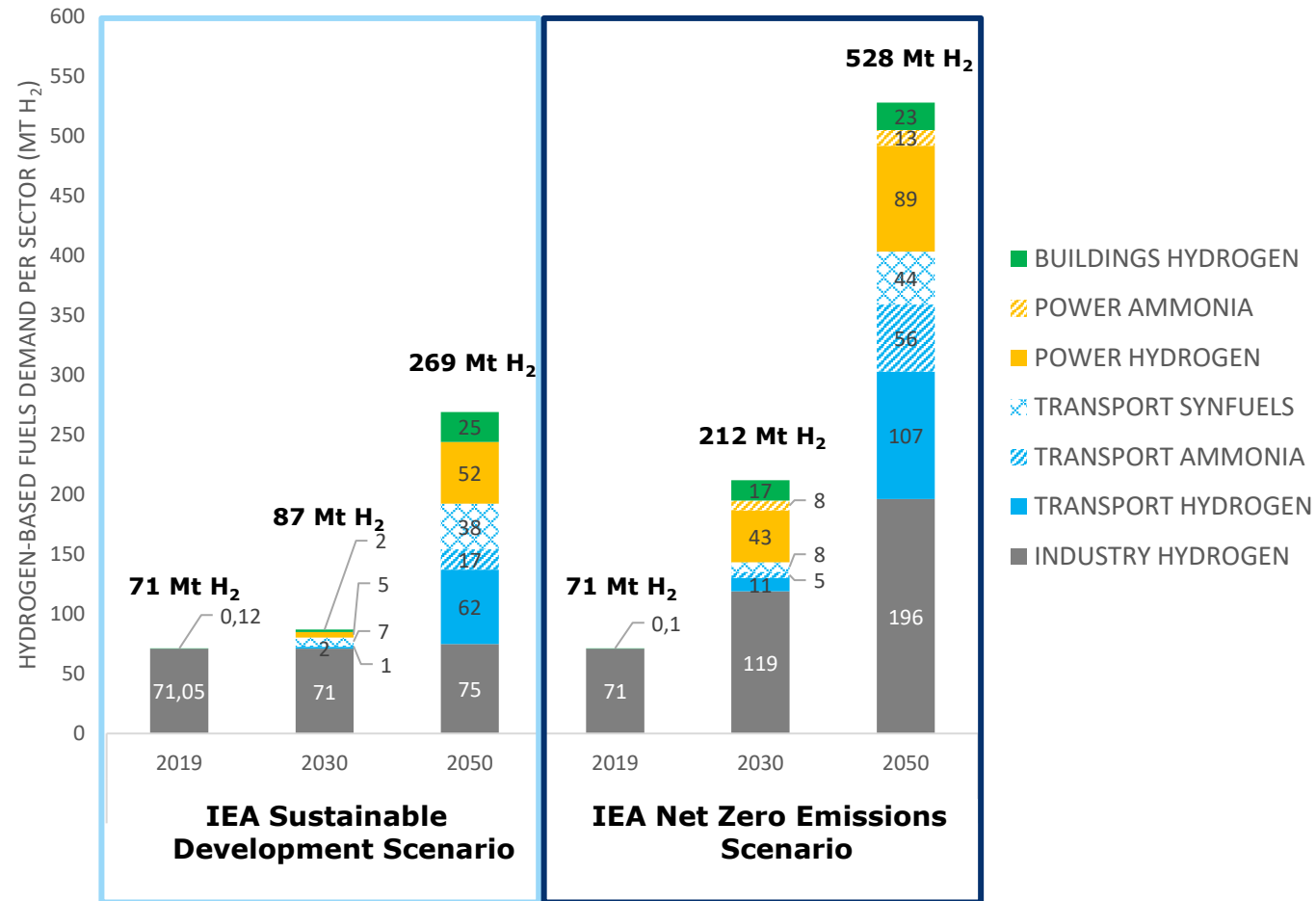


Net zero
by 2050

CO₂ emissions: undersøgelse af, hvordan man kan gå over til et nettoenergisystem på nul inden 2050, samtidig med at der sikres stabile energiforsyninger til en overkommelig pris, der giver universel energiadgang, og muliggør robust økonomisk vækst. Den udstikker en omkostningseffektiv og økonomisk produktiv vej, der resulterer i en ren, dynamisk og modstandsdygtig energiøkonomi domineret af vedvarende energi som sol og vind i stedet for fossile brændstoffer.

GLOBAL BRINTEFTERSPØRGSEL FORDELT PÅ SEKTOR

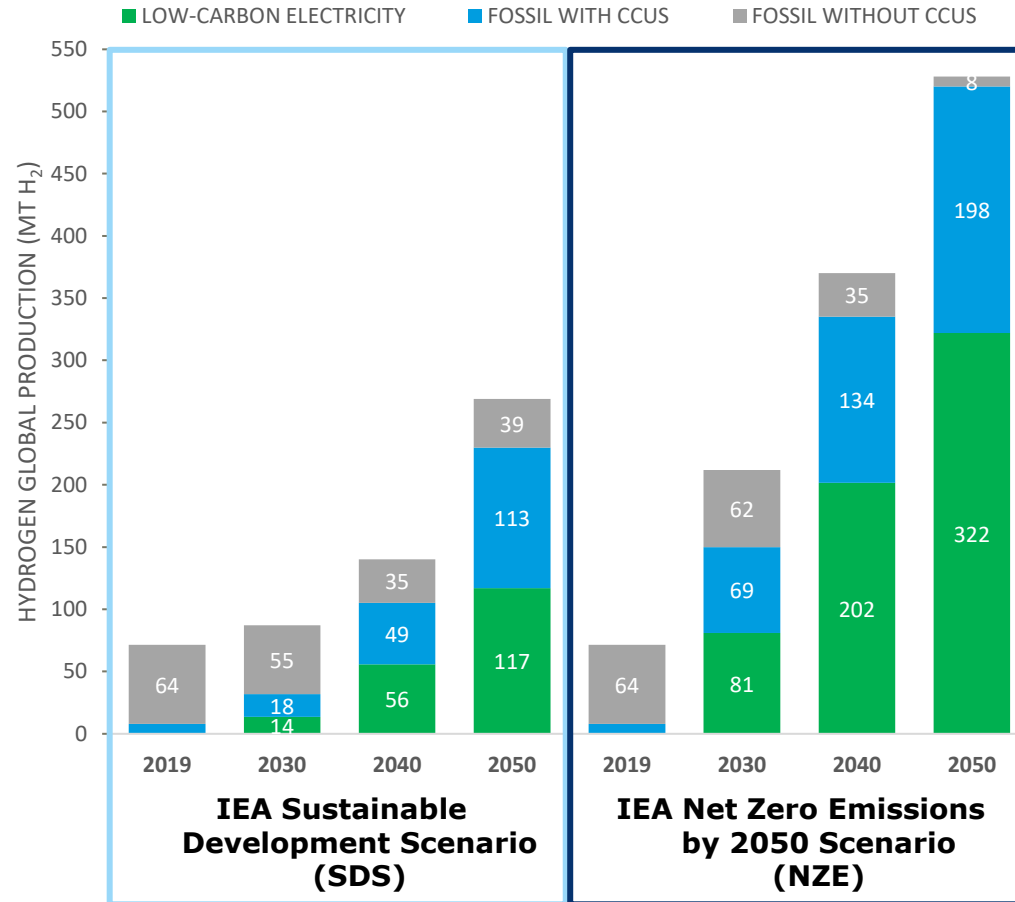
Brint, der skal anvendes i industri, transport, elproduktion og bygningsopvarmning



Offtake sector	2019	SDS		NZE	
		2030	2050	2030	2050
Buildings	0.12 (0.2%)	2 (2%)	25 (9%)	17 (8%)	23 (4%)
Electricity production	0 (0%)	5 (5%)	52 (19%)	51 (24%)	102 (19%)
Transport	0 (0%)	9 (11%)	118 (44%)	24 (11%)	207 (39%)
Industry and Refinery	71.05 (99.8%)	71 (82%)	75 (28%)	119 (56%)	196 (37%)
Total	71.2 (100%)	87 (100%)	269 (100%)	212 (100%)	528 (100%)

GLOBAL BRINTPRODUKTION

Brintproduktionen vil gå fra grå til grøn brint



2030 – Mere blå end grøn H₂ i SDS

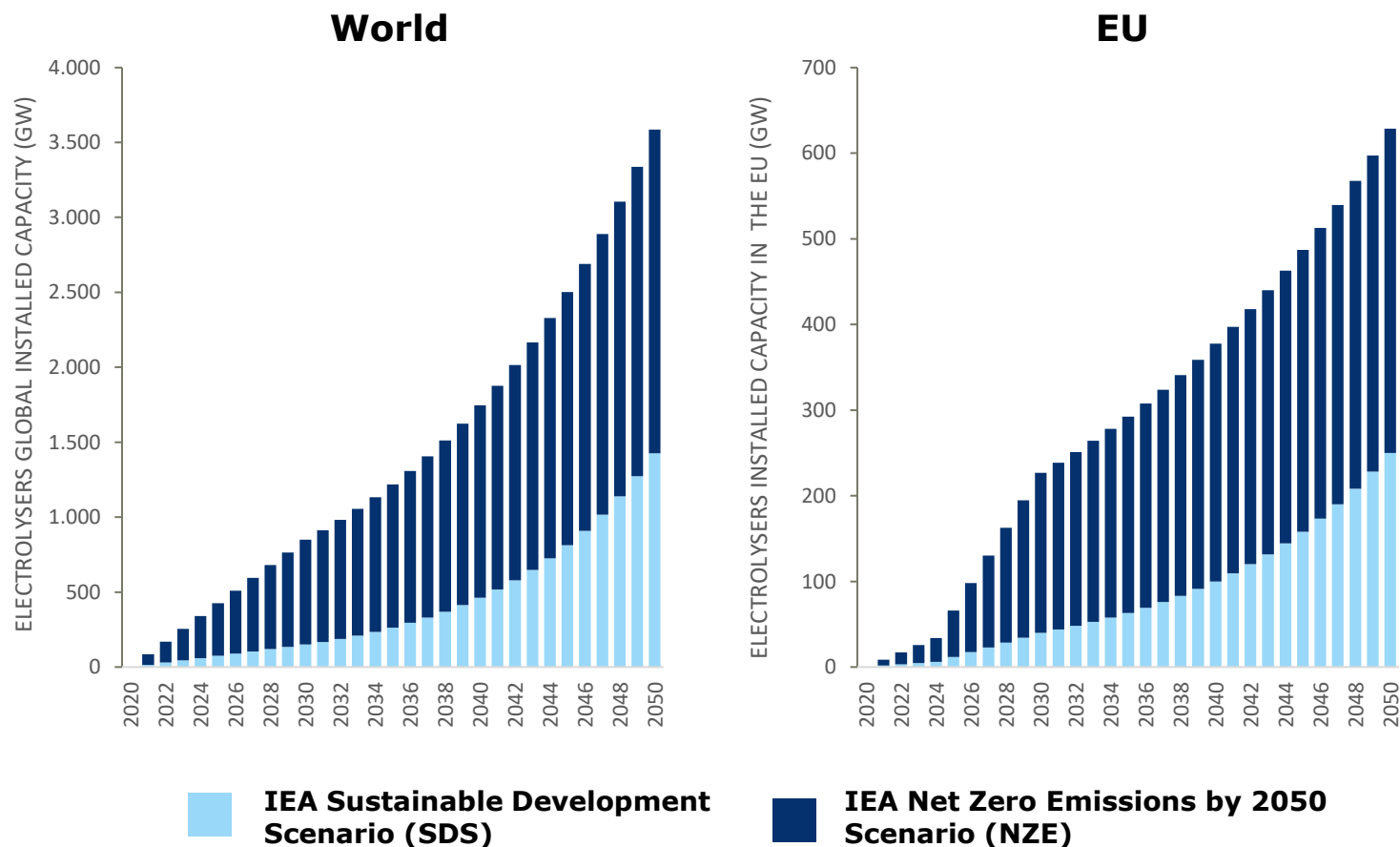
- 14 til 81 Mt H₂ fremstillet af elektrolyse.
- 16 pct. til 38 pct. af den globale H₂-produktion.

2050 – Mere grøn end blå H₂ i SDS og NZE

- 117 til 322 Mt H₂ fremstillet af elektrolyse.
- 44 pct. til 61 pct. af den globale H₂-produktion.

GLOBAL POTENTIAL FOR PTX-ELEKTROLYSEKAPACITET

Global elektrolysekapacitet kontinuerlig årlig vækst frem mod 2050



2030

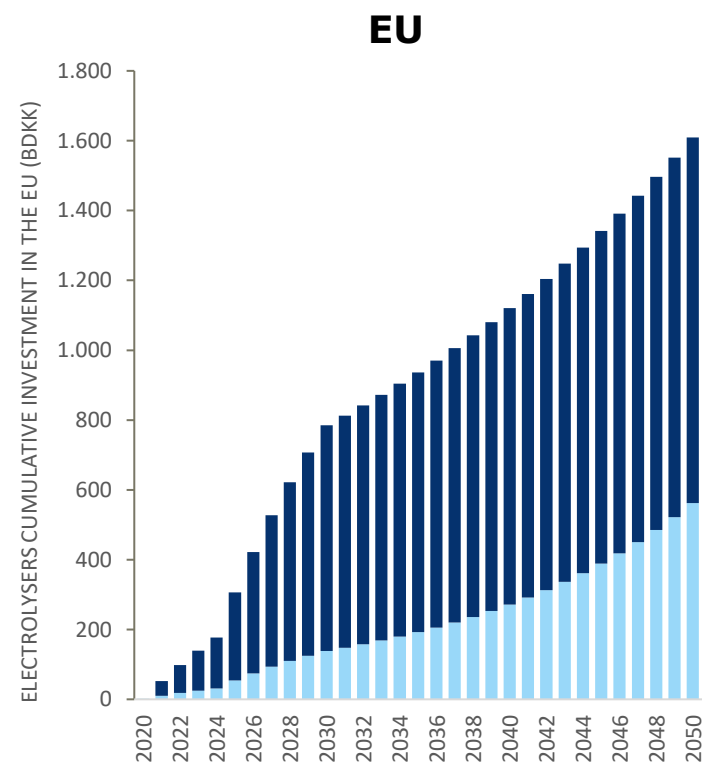
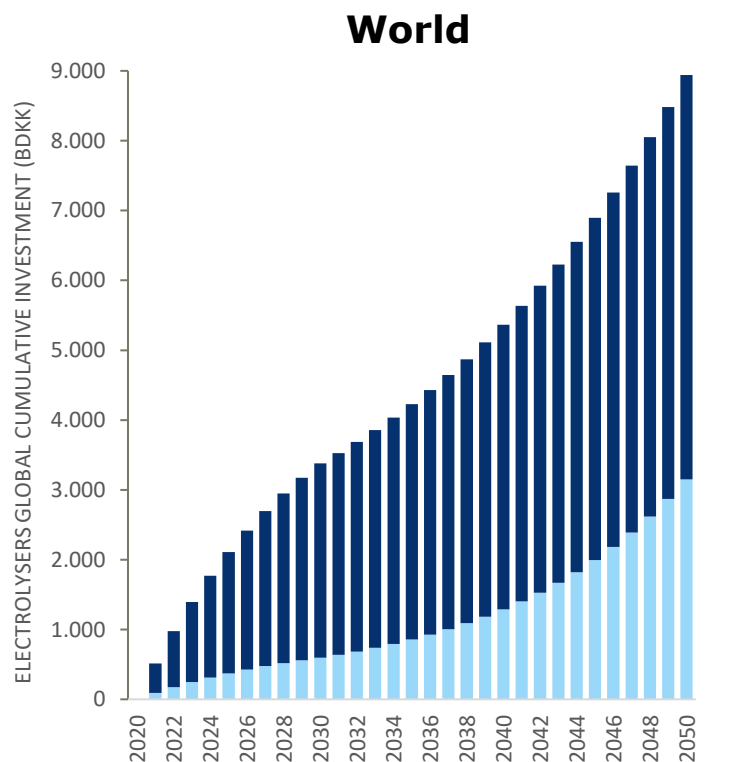
- 150 til 850 GW elektrolysekapacitet i verden.
- 40-227 GW elektrolysekapacitet i EU.

2050

- 1.426 til 3.585 GW elektrolysekapacitet i verden.
- 250-629 GW elektrolysekapacitet i EU.

GLOBALLE INVESTERINGER I ELEKTROLYSE

Der er behov for store investeringer for at opnå målrettet udvikling af elektrolysekapacitet



2030

- 597 til 3.378 BDKK af kumulative investeringer i elektrolyse kapacitet i verden.
- 139 til 785 BDKK af kumulative investeringer i elektrolysekapacitet i EU.

2050

- 3.152 til 8.942 BDKK af kumulative investeringer i elektrolyse kapacitet i verden.
- 563 til 1.609 BDKK af kumulative investeringer i elektrolysekapacitet i EU.

■ IEA Sustainable Development Scenario (SDS)

■ IEA Net Zero Emissions by 2050 Scenario (NZE)

PTX GLOBALT POTENTIALE I 2030

Anslået globalt PtX-markedspotentiale i 2030 efter IEA-scenarierne SDS og NZE

Teknologi	Sustainable Development Scenario (SDS)			Net Zero Emissions by 2050 (NZE)		
	Volume fuel (Mt)	Capacity (GW)	Investment (mia.dkk)	Volume fuel (Mt)	Capacity (GW)	Investment (mia.dkk)
Elektrolyse	14	150	597	81	850	3,378
Methanol syntese	11	7	32	13	8	39
Ammoniak syntese	6	4	39	73	45	462
Kerosene syntese	9	13	51	10	15	61
Total	-	-	719	-	-	3,940

PtX-brændstofmængder

IEA scenarierne SDS og NZE, som danner udgangspunkt for vores lave og høje tilfælde det globale marked af PtX, indeholder fremskrivninger af det årlige forbrug af PTX brændstofmængder frem til 2050. De værdier, der vises i tabellen, svarer til 2030.

PtX-kapaciteter

For at producere disse PtX-brændselsmængder bliver elektrolyse- og brændstofsynteseanlægskapacitet anslået efter energi- og massebalancer for hver teknologi samt antagelser om FLH (4.500 for elektrolyse og 8.000 for brændstofsynteseanlæg).

Globale investeringer

Ved at antage specifikke investeringsomkostninger for PtX-produktionsteknologier bliver de samlede nødvendige investeringer estimeret.

PTX POTENTIALE I DANMARK - SOCIOØKONOMISKE EFFEKTER

01 Globalt outlook og eksport
potentiale

02 Scenarier for PtX
potentialer i Danmark

03 Kvantitativ samfundsøkonomi



OVERBLIK OVER POTENTIALER

Potentialer for PtX i Danmark i 2030

Potentiale 0

55 pct. CO₂ reduktion

Frozen Policy scenarie fra Energistyrelsen (KF21) →

Vej transport

52 pct. diesel (80 PJ)
33 pct. benzin (50 PJ)
9 pct. biobrændsel (15 PJ)
5 pct. elektrisk (8 PJ)

National skibsfart

84 pct. gasoil (9.5 PJ)
13 pct. LNG (1.5 PJ)
2 pct. fuel oil (0.2 PJ)
0.3 pct. elektrisk (0.04 PJ)

National luftfart

98 pct. kerosene (2.4 PJ)
2 pct. benzin (0.05 PJ)

Potentiale I

70 pct. CO₂ reduktion (DK target)

Kun national transport →

Vej transport

15 pct. fossil brændsels flåde konverteret til H₂ (20 PJ)

National skibsfart

50 pct. gasoil skibe
20 pct. fuel oil and LNG konverteret til H₂ (2 PJ), MeOH (2 PJ) and NH₃ (1 PJ)

National luftfart

30 pct. mix af e-kerosene (0.7 PJ)

Potentiale II

70 pct. CO₂ reduktion (DK target)

International luftfart og shipping →

Ambition I

+

International skibsfart

15 pct. fossil brændsels flåde konverteret til MeOH (4.7 PJ) og NH₃ (2 PJ)

International luftfart

30 pct. mix af e-kerosene (14 PJ)

Potentiale III

70 pct. CO₂ reduktion (DK target)
Dansk eksport af PtX produkter →

Ambition II

+

H₂ exports

29 PJ H₂ baseret brændsel eksporteret : 14 PJ H₂, 6 PJ MeOH og 6 PJ of NH₃ (29 PJ er dimensioneret efter mulig H₂ pipeline kapacitet samt opnåelig vind og sol kapacitet*)

POTENTIALE 0 – FROZEN POLICY

Frozen policy tager udgangspunkt i DEA "Klimastatus og – fremskrivning 2021" (KF21)

Potentiale 0

55 pct. CO2
reduktion

Frozen Policy
scenarie fra
Energistyrelsen
(KF21)

Vej transport

52 pct. diesel (80 PJ)
33 pct. benzin (50 PJ)
9 pct. biobrændsel (15 PJ)
5 pct. elektrisk (8 PJ)

National shipping

84 pct. gasoil (9.5 PJ)
13 pct. LNG (1.5 PJ)
2 pct. fuel oil (0.2 PJ)
0.3 pct. elektrisk (0.04 PJ)

National luftfart

98 pct. kerosene (2.4 PJ)
2 pct. benzin (0.05 PJ)

Status for basisscenarie – Frozen policy (KF21)

- Elektrolysekapacitet: 132 MW installeret
- Vedvarende energikilder
 - Landvind: 5,8 GW, 15 TWh
 - Havvind: 4,8 GW, 21 TWh
 - Solceller: 8,5 GW, 11 TWh
- Vejtransport: 52 pct. diesel (80 PJ), 33 pct. benzine (50 PJ), 7 pct. biodiesel (11 PJ), 2 pct. bioethanol (3.6 PJ), 5 pct. elektrisk (7.7 PJ), 0,03 pct. H₂ (0.05 PJ)
- Indenlandsk skibsfart: 84 pct. gasolie (9.5 PJ), 13 pct. LNG (1.5 PJ), 2 pct. fueloil (0.2 PJ), 0.3 pct. elektrisk (0.04 PJ), ingen H₂
- International skibsfart: Brændstofforbruget anslås med lignende andele som indenlandsk skibsfart, udvidet med en faktor på 4 (kt gods transporteret med skib i international trafik fra/til større danske havne, divideret med gods transporteret med skib i national trafik mellem danske havne).
- Indenrigsflyvning: 98 pct. kerosene (2.4 PJ), 2 pct. benzin (0.05 PJ)
- International luftfart: 100 pct. kerosene (46.5 PJ)
- Brændstofimport: 27 pct. råolie (79 PJ), 15 pct. kerosene (43.7 PJ), 5 pct. biodiesel (13.5 PJ), 1 pct. benzin (1.5 PJ), 1 pct. bioethanol (3.6 PJ)
- Brændstofeksport: 21 pct. naturgas (62.6 PJ), 14 pct. benzin (41.7 PJ), 10 pct. fueloil (30.3 PJ), 5 pct. diesel (15.6 PJ)

POTENTIALE I – PTX-BRÆNDSTOFFER TIL INDENLANDSK TRANSPORT

Potentiale I introducerer omstilling fra konventionelle til PtX-brændstoffer i indenrigstransport

Potentiale I

70 pct. CO₂ reduktion (DK target)

Kun national transport



Vej transport

15 pct. fossil brændsels flåde konverteret til H₂ (20 PJ)

National shipping

50 pct. gasoil skibe
20 pct. fuel oil and LNG konverteret til H₂ (2 PJ), MeOH (2 PJ) and NH₃ (1 PJ)

National luftfart

30 pct. mix af e-kerosene (0.7 PJ)

Direkte ændringer fra basisscenariet

- Vejtransport: 15 pct. af det konventionelle brændstofforbrug konverteres til H₂ (20 PJ).
- Indenlandsk skibsfart: 50 pct. af gasolie og 20 pct. af brændselsolie og LNG omdannes til H₂-baserede brændstoffer. Vi antager 40 pct. køre på H₂ (2 PJ), 40 pct. på methanol (2 PJ) og 10 pct. på ammoniak (1 PJ).
- Indenrigsflyvning: 30 pct. af e-petroleum fra PtX er blandet ind i petroleum forbrug af alle indenrigsflyvninger (0.7 PJ).

Effekter (fra basisscenarie)

- Elektrolysekapacitet: stigning til 2.2 GW
- Vedvarende energikilder
 - Landvind: stigning til 7.0 GW, 19 TWh
 - Havvind: stigning til 5.9 GW, 25 TWh
 - Solceller: stigning til 10.4 GW, 13 TWh
- Import af brændstof: 100 pct. for benzin (1,5 PJ), 1,7 pct. for kerosene (0,7 PJ) og 29 pct. for råolie (23 PJ)
- Eksport af brændstof: stigning på 0,5 pct. for naturgas (0.3 PJ)

POTENTIALE II – PtX INTERNATIONAL LUFTFART OG SKIBSFART

Potentiale II introducerer omstilling fra konventionelle til PtX-brændstoffer i international transport

Potentiale II

70 pct. CO₂ reduktion (DK target)

International luftfart og shipping



Potentiale I

+

International skibsfart

15 pct. fossil brændsels flåde konverteret til MeOH (4,7 PJ) og NH₃ (2 PJ)

International luftfart

30 pct. mix af e-kerosene (14 PJ)

Direkte ændringer fra Potentiale I

- International skibsfart: 15 pct. af fueloil, gasolie og LNG omdannes til PtX H₂-baserede brændstoffer. Vi antager, at 70 pct. af ombyggede skibe kører på methanol (4,7 PJ) og 30 pct. på ammoniak (2 PJ).
- International luftfart: 30 pct. e-kerosene fra PtX blandes i kerosensforbrug af alle internationale flyvninger fra/til Danmark (14 PJ).

Effekter (fra basisscenarie)

- Elektrolysekapacitet: stigning til 4.4 GW
- Vedvarende energikilder
 - Landvind: stigning til 8.5 GW, 23 TWh
 - Havvind: stigning til 7.1 GW, 30 TWh
 - Solceller: stigning til 12.5 GW, 16 TWh
- Import af brændstof: fald med 100 pct. for benzin (1,5 PJ), 34 pct. for kerosene (14,7 PJ) og 36 pct. for råolie (28,7 PJ)
- Eksport af brændstof: stigning på 2 pct. for naturgas (1.2 PJ)

POTENTIALE III – PTX FUELS FOR EXPORT

Potentiale III introduces additional PtX potential for exporting PtX H₂ and derived fuels

Potentiale III

70 pct. CO₂ reduktion (DK target)

Dansk eksport af PtX produkter →

Potentiale II

+

H₂ eksport

29 PJ H₂ baseret brændsel eksporteret : 14 PJ H₂, 6 PJ MeOH og 6 PJ of NH₃ (29 PJ er dimensioneret efter mulig H₂ pipeline kapacitet samt opnåelig vind og sol kapacitet)

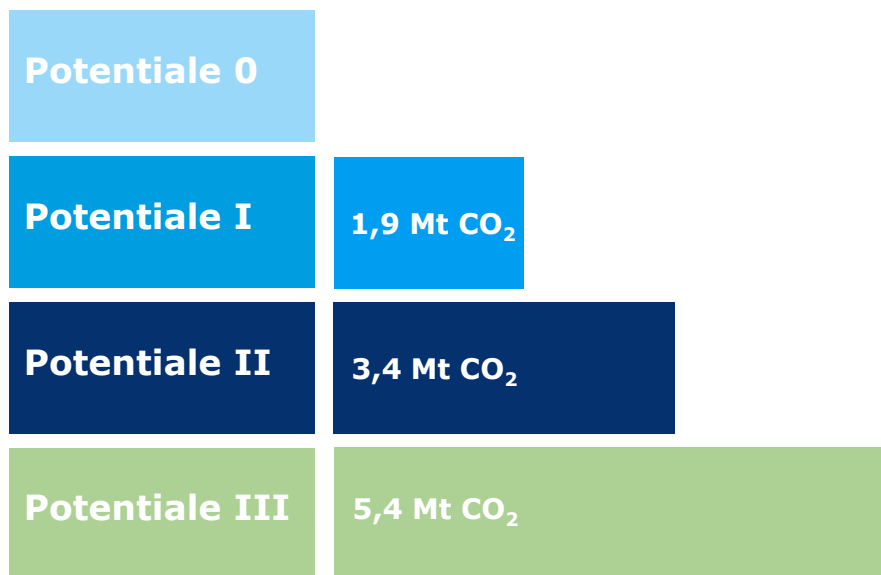
Direkte ændringer fra Potentiale II

- Eksport: 29 PJ H₂-baserede brændstoffer for at respektere en eksportkapacitet på H₂ gennem en rørledning på 2,5 GWh/h samt et realistisk vind- og solpotentiale på henholdsvis 18 og 17 GW. Værdien af 29 EJ blev nået ved at tilpasse sig tærsklen for RES-kapacitet. Det blev antaget, at eksporterende PtX-brændstoffer er 50 pct. H₂ (14 PJ), 25 pct. methanol (6 PJ) og 25 pct. ammoniak (6 PJ).

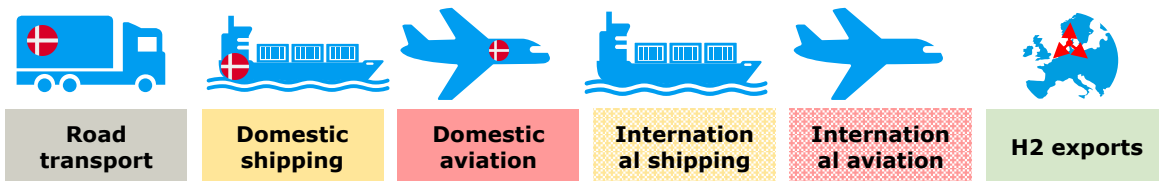
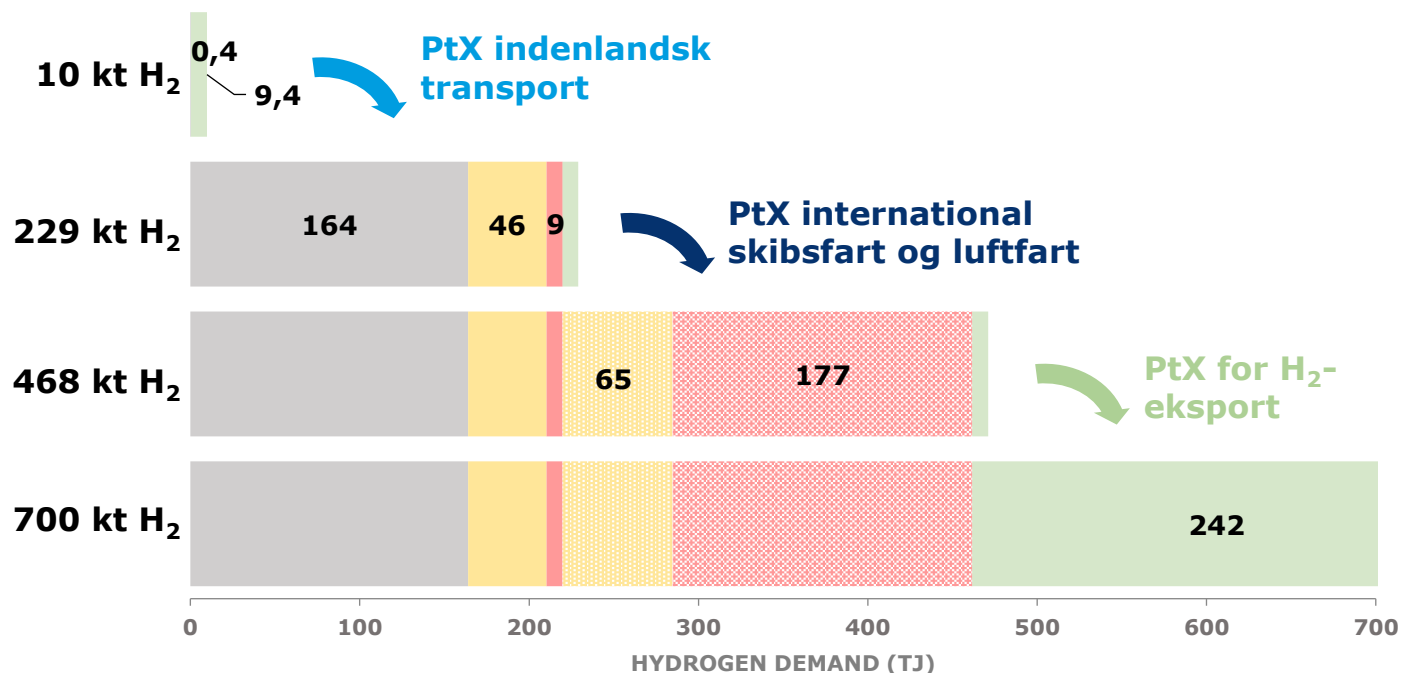
Effekter (fra basisscenarie)

- Elektrolysekapacitet: stigning til 6.6 GW
- Vedvarende energikilder
 - Landvind: stigning til 9.8 GW, 26 TWh
 - Havvind: stigning til 8.2 GW, 35 TWh
 - Solceller: stigning til 14.5 GW, 19 TWh
- Import af brændstof: fald med 100 pct. for benzin (1,5 PJ), 34 pct. for kerosene (14,7 PJ) og 36 pct. for råolie (28,7 PJ)
- Eksport af brændstof: stigning på 2 pct. for naturgas (1,2 PJ) og eksport af grøn H₂ (14 PJ, 116 kt), methanol (6 PJ, 303 kt) og ammoniak (6 PJ, 323 kt).

SCENARIER – CO2-EMISSIONER OG H2 EFTERSPØRGSEL

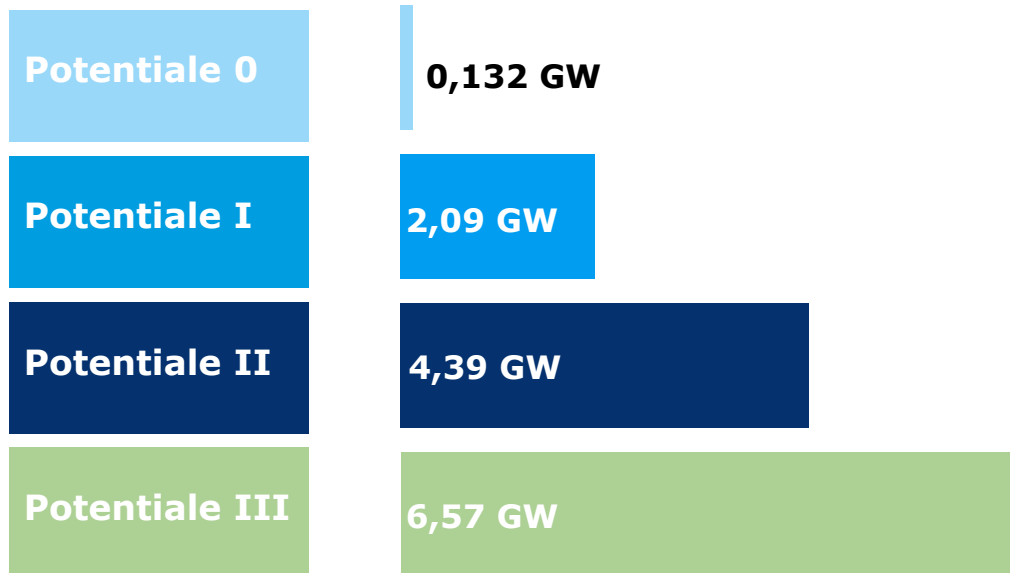


CO2 EMISSION REDUCTIONS FROM ADDITIONAL PTX TO FROZEN POLICY (MT)

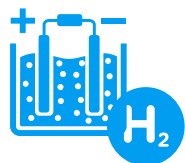


SCENARIER – INSTALLERET KAPACITET TIL PTX ELEKTROLYSE

Scenarie fremskrivninger

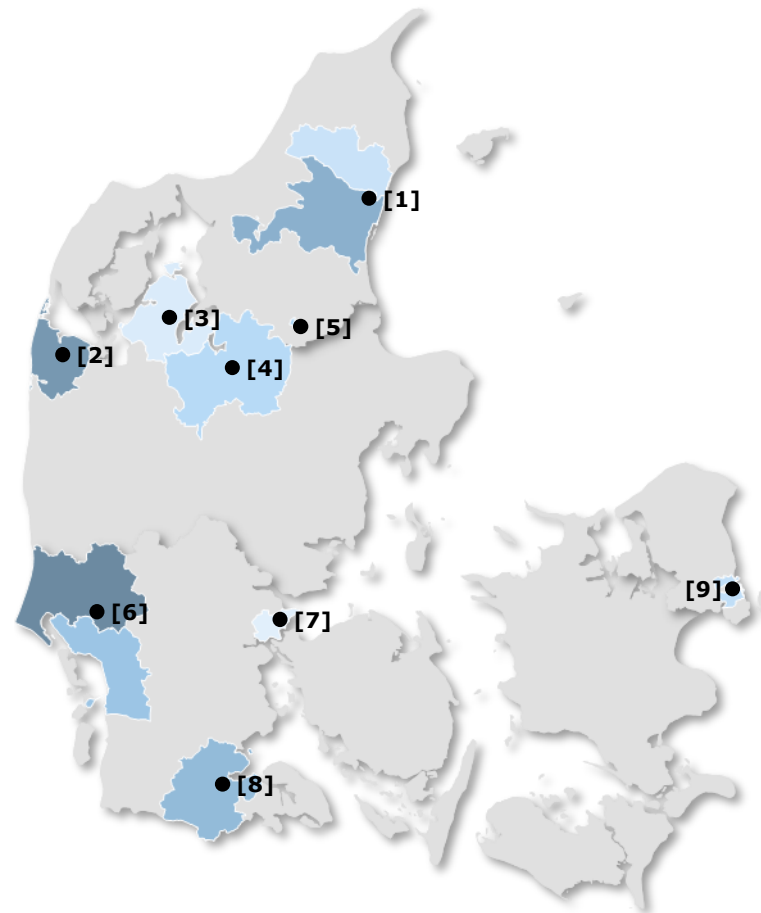


PTX ELECTROLYSIS CAPACITY REQUIRED (GW)



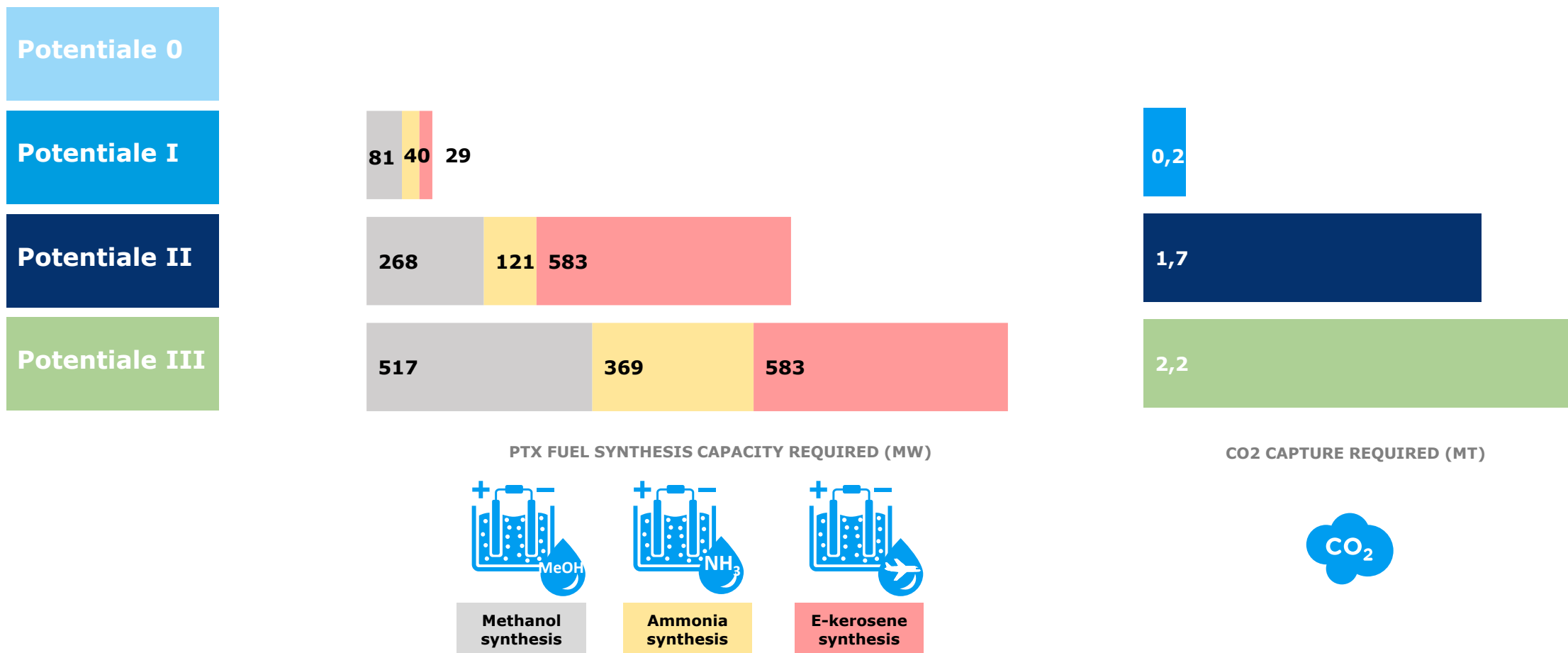
Electrolysis

Planlagte PtX projekter (5-6 GW)

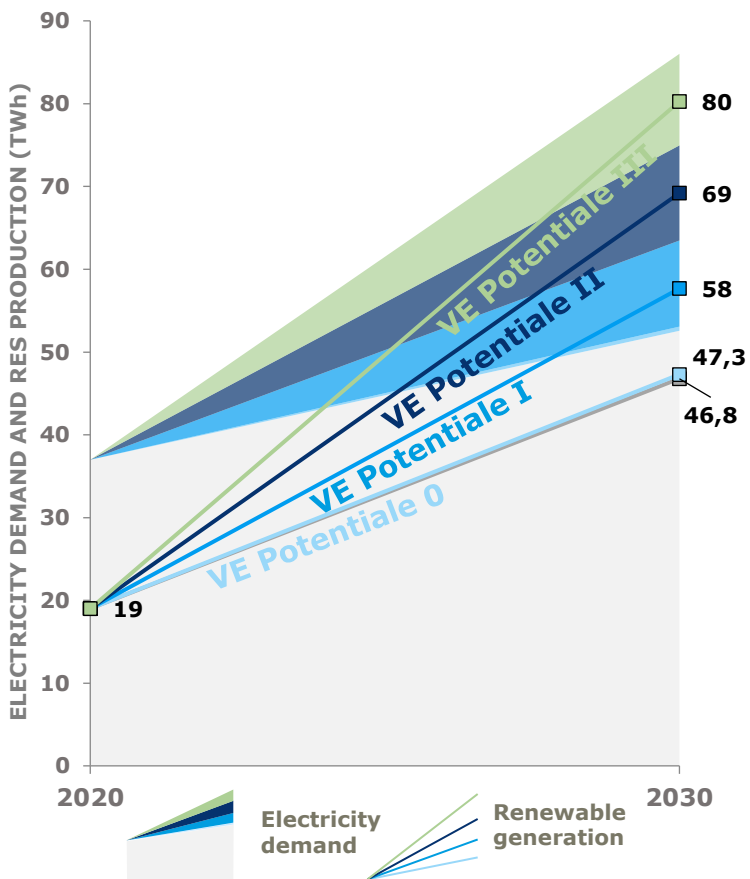


- [1] ReIntegrate / 15 kt CH₃OH / 2022
Power2Met / 300 kl CH₃OH/ 2022
- [2] REDDAP / 5 kt NH₃ / 2026
- [3] GreenLab PtX / 250 MW / 2026
GreenHyscale / 100 MW / 2030
- [4] Green H₂ Hub / 350 MW / 2025
- [5] Blue Seal / 50 MW / 2030
HyBalance / 500 kg H₂/day / 2018
EuroWind 1 / 35 MW / Unknown
Eurowind 2 / 50 MW / Unknown
- [6] CIP (HØST) / 1 GW / 2026
H₂ENERGY / 1 GW / 2024
- [7] HySynergy / 0.02-1 GW / 2021-2024
Sludge2Fuel / Unknown / 2023
- [8] Linde&Aabenraa Havn / Unknown
- [9] GreenFuels DK / 1.3 GW / 2023-2030
DFDS H₂ ferry / 23 MW / 2027
- [10] Bornholm bunker hub / Unknown

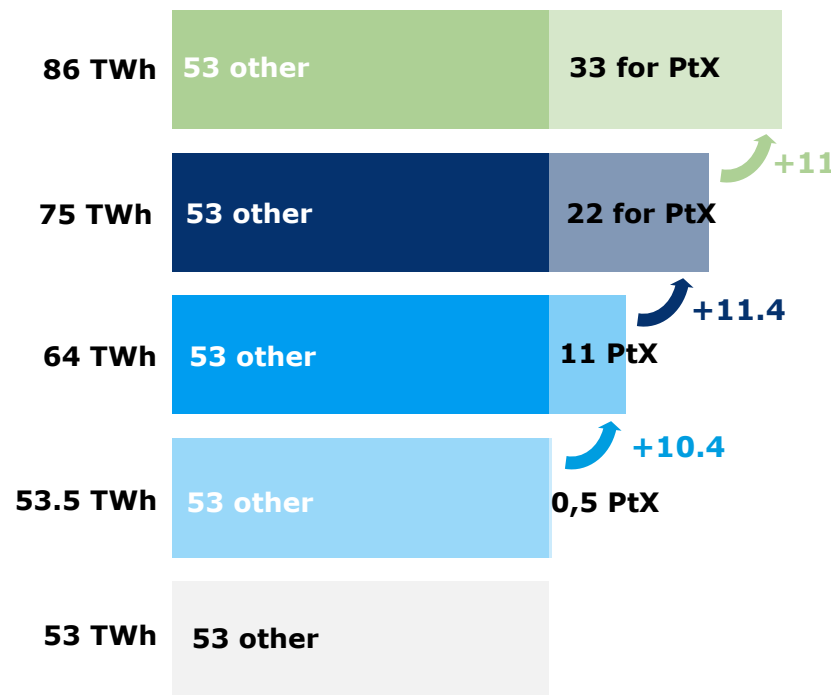
POTENTIALER – INSTALLERET KAPACITET TIL SYNTSE AF PTX-BRÆNDSTOF



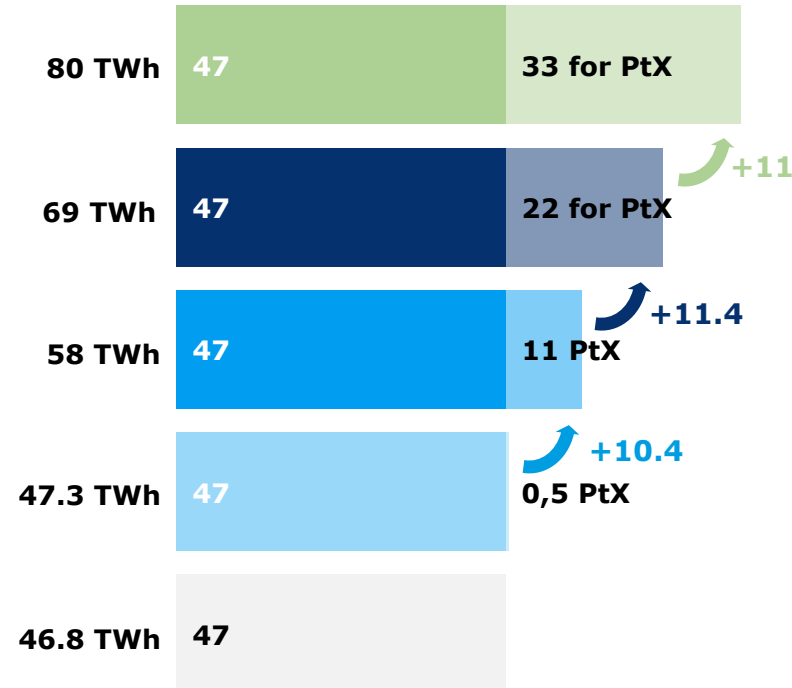
POTENTIALER – EFTERSPØRGSEL EFTER ELEKTRICITET OG VEDVARENDE ENERGI PÅKRÆVET



Elforbrug 2030



Vedvarende energi 2030



ELECTRICITY DEMAND (TWH)

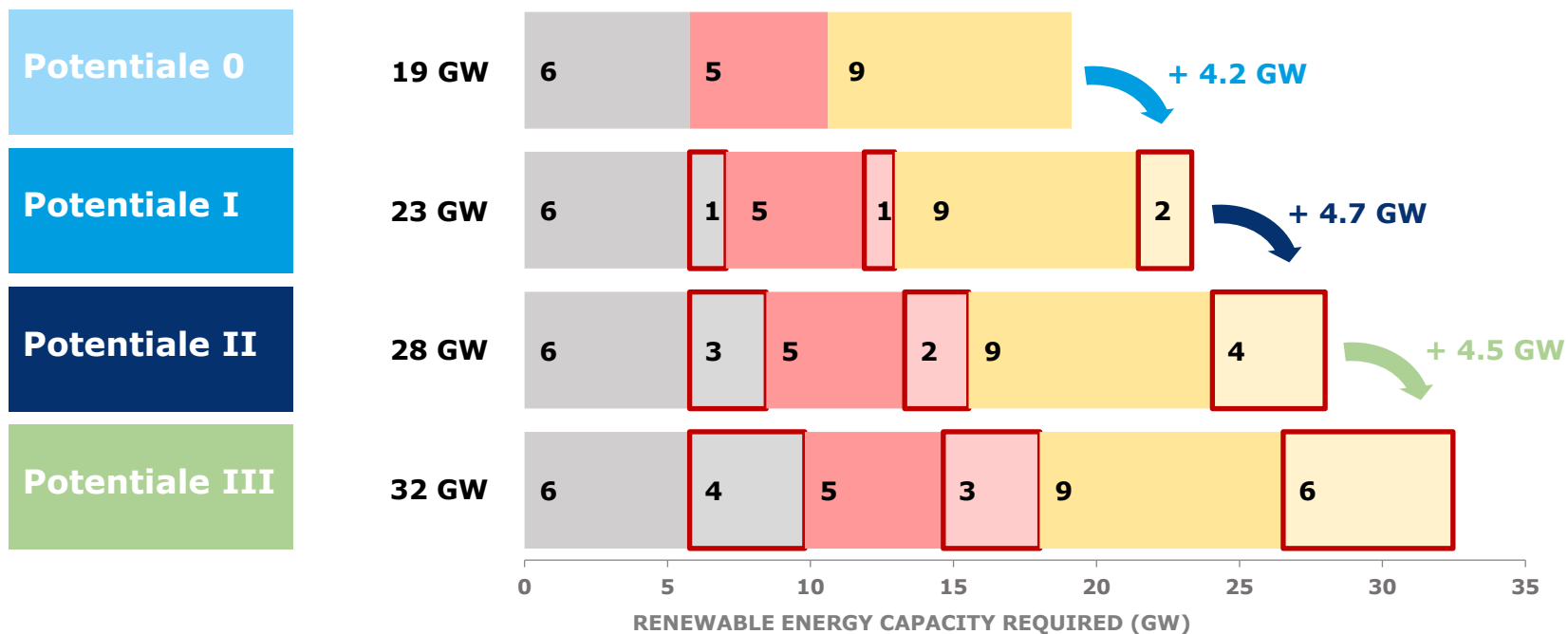
RENEWABLE ENERGY REQUIRED (TWH)

Analyseforudsætninger til Energinet (AF21) →

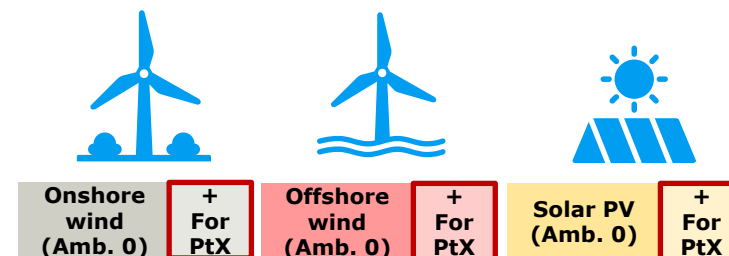


RAMBOLL

INSTALLERET KAPACITET FOR VEDVARENDE ENERGI

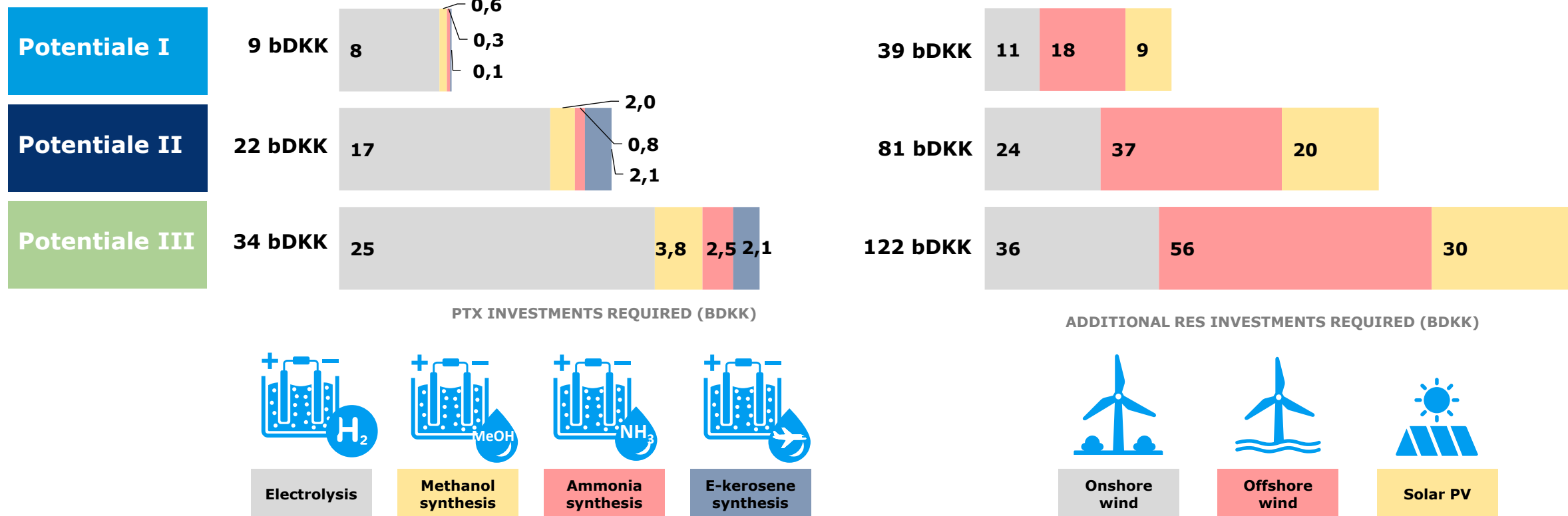


Analyseforudsætninger Energinet (AF21) → 20 GW

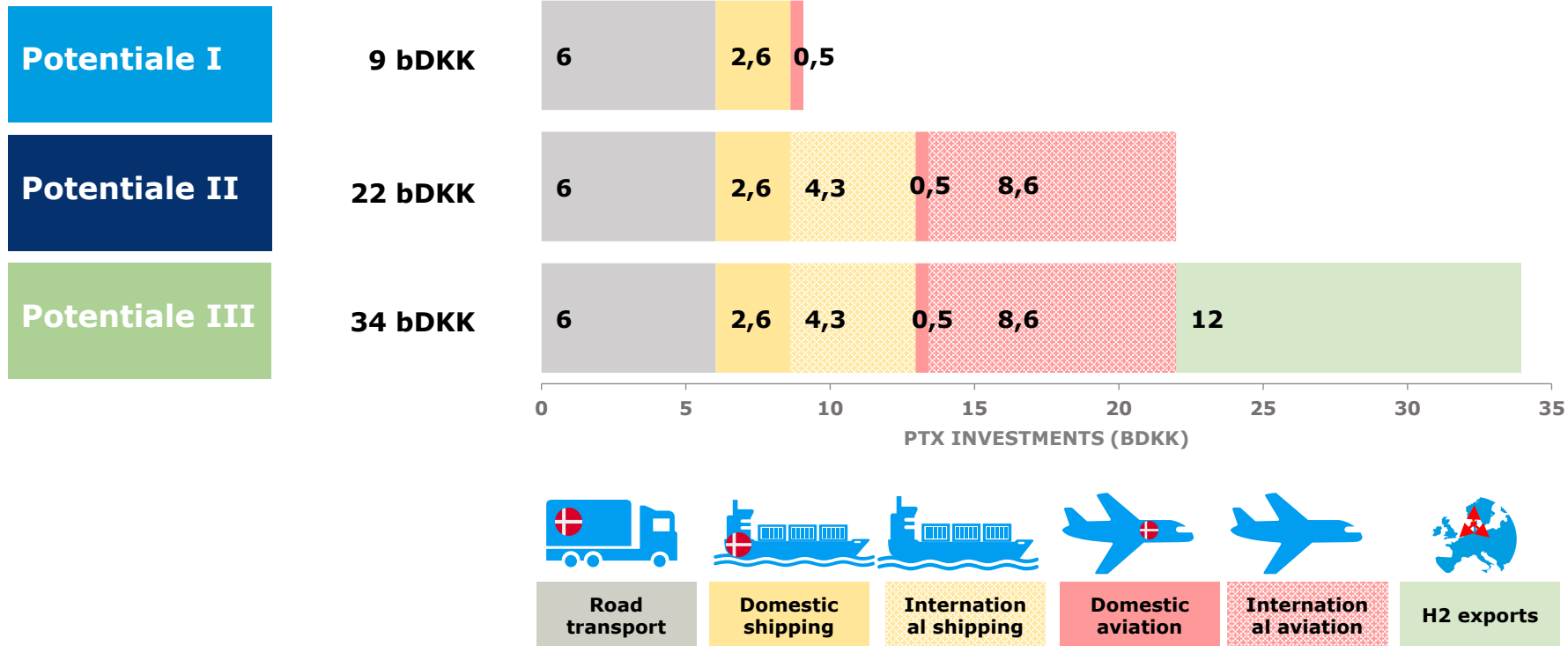


POTENTIALER - INVESTERINGER EFTER TEKNOLOGI

Den nødvendige investering i vedvarende energi til PtX er 3 til 4 gange højere end PtX-investeringen.



NØDVENDIG PTX PRODUKTION PER POTENTIALE OG SEKTOR.



PTX POTENTIALE I DANMARK - SOCIOØKONOMISKE EFFEKTER

01 Globalt Outlook og eksport
potentiale

02 Scenarier for PtX potentialer i
Danmark

03 Kvantitativ
samfundsøkonomi



METODE: BESKÆFTIGELSESEFFEKTER

BASERET PÅ INSTALLERET KAPACITET UDLEDES BESKÆFTIGELSESEFFEKTER

DELELEMENTER I BEREGNINGEN AF BESKÆFTIGELSESEFFEKTER

1 Anlægs- og driftsomkostninger

Beregningerne tager udgangspunkt i CAPEX (anlægsomkostninger) og OPEX (driftsomkostninger) for hver PtX teknologi. Midlertidig beskæftigelse i anlægsfasen (3 år) anvender CAPEX, mens langvarig beskæftigelse i drifts- og vedligeholdelsesfasen (20 år) anvender OPEX.

2 Input-output model (Danmarks Statistik)

Modellen tager højde for arbejdskraft til selve investeringen, f.eks. produktionen af et hydrogen-anlæg (direkte effekt), men også arbejdskraft til indirekte produktion, f.eks. produktionen af metal til anlægget (indirekte effekt).

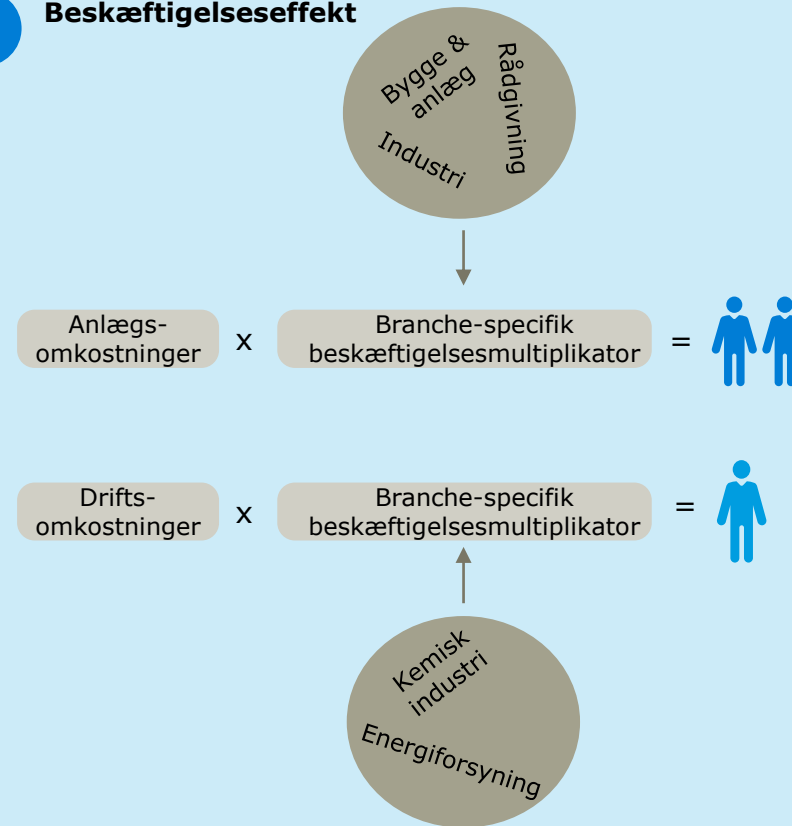
Direkte beskæftigelseseffekter beregnes ved:

$$\text{Investeringsomkostninger} \times \text{Beskæftigelsesmultiplikator}^1$$

Indirekte beskæftigelseseffekter beregnes ved:

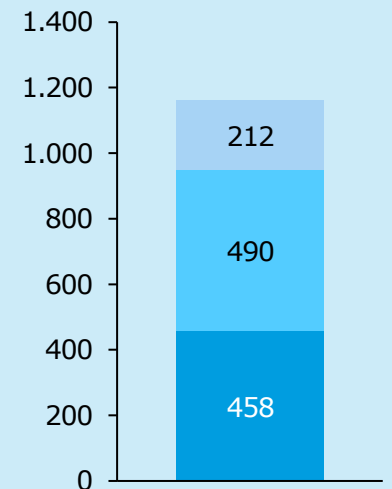
$$\text{Investeringsomkostninger} \times \text{Simpel multiplikator}^2$$

3 Beskæftigelseseffekt



4 Opgørelse af årsværk

Eksempel

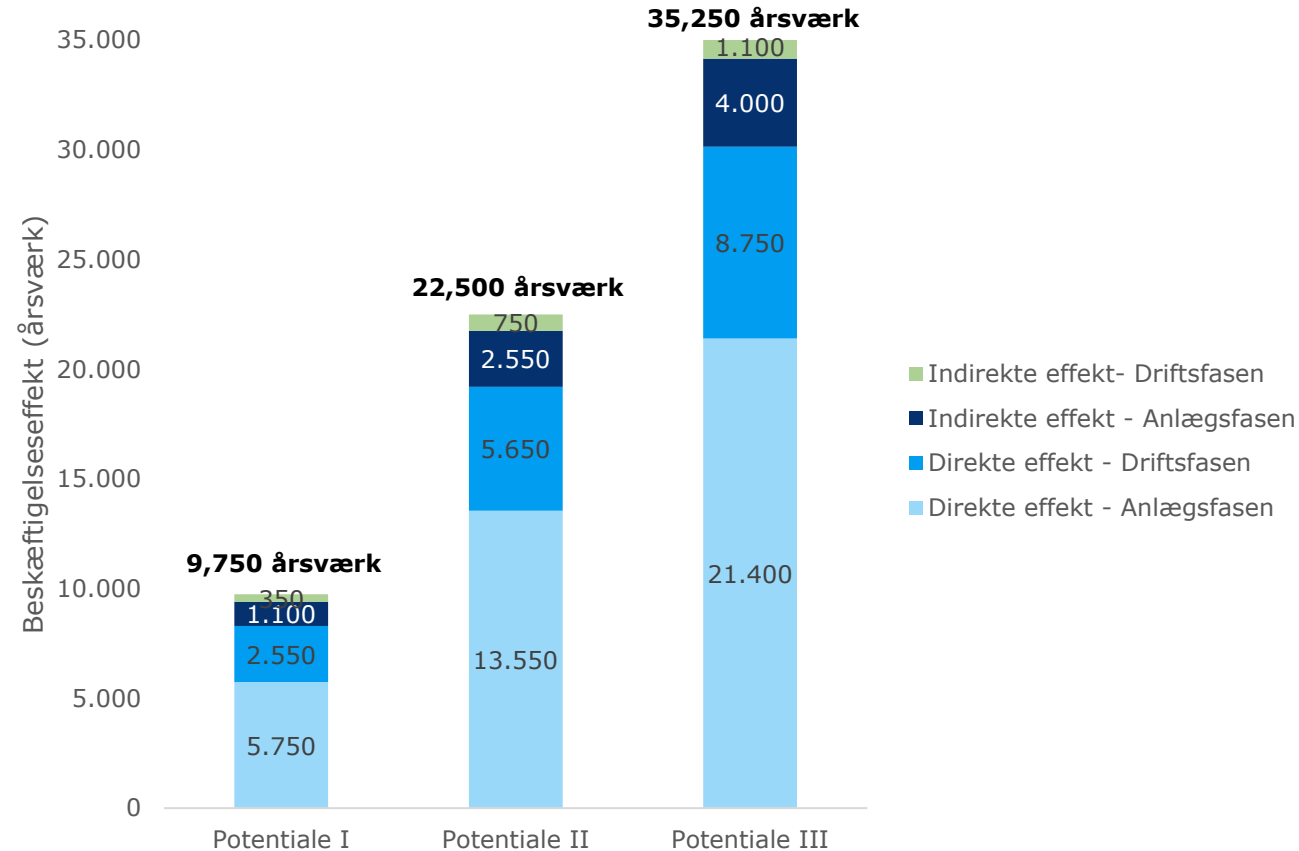


Bygge & anlæg
Industri
Videns- & rådgivningsservice

RAMBØLL

Kilder: ¹Direkte effekt: Antal årsværk (fuldtidsansatte) medført af en 1. mio. kr. investering i en given branche. ²Simpel multiplikator: Traditionel multiplikator, som også tager indirekte effekter med. ³Brancheudvælgelsen er baseret på Danmarks Statistik, en rapport af Arbejderbevægelsens Erhvervsråd (2020), *Power-to-X-teknologier kan skabe 22.000 job over ti år*, samt dialog med eksperter fra Rambøll

BESKÆFTIGELSESEFFEKT ALLE POTENTIALER



Delkonklusioner

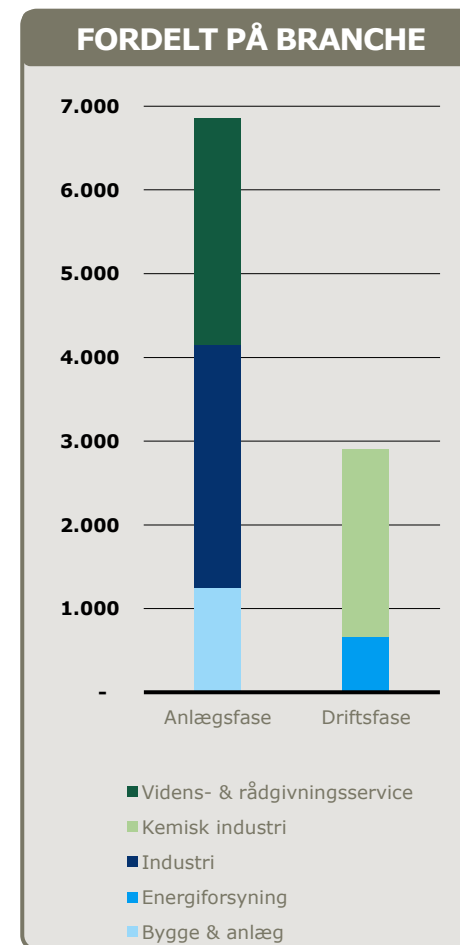
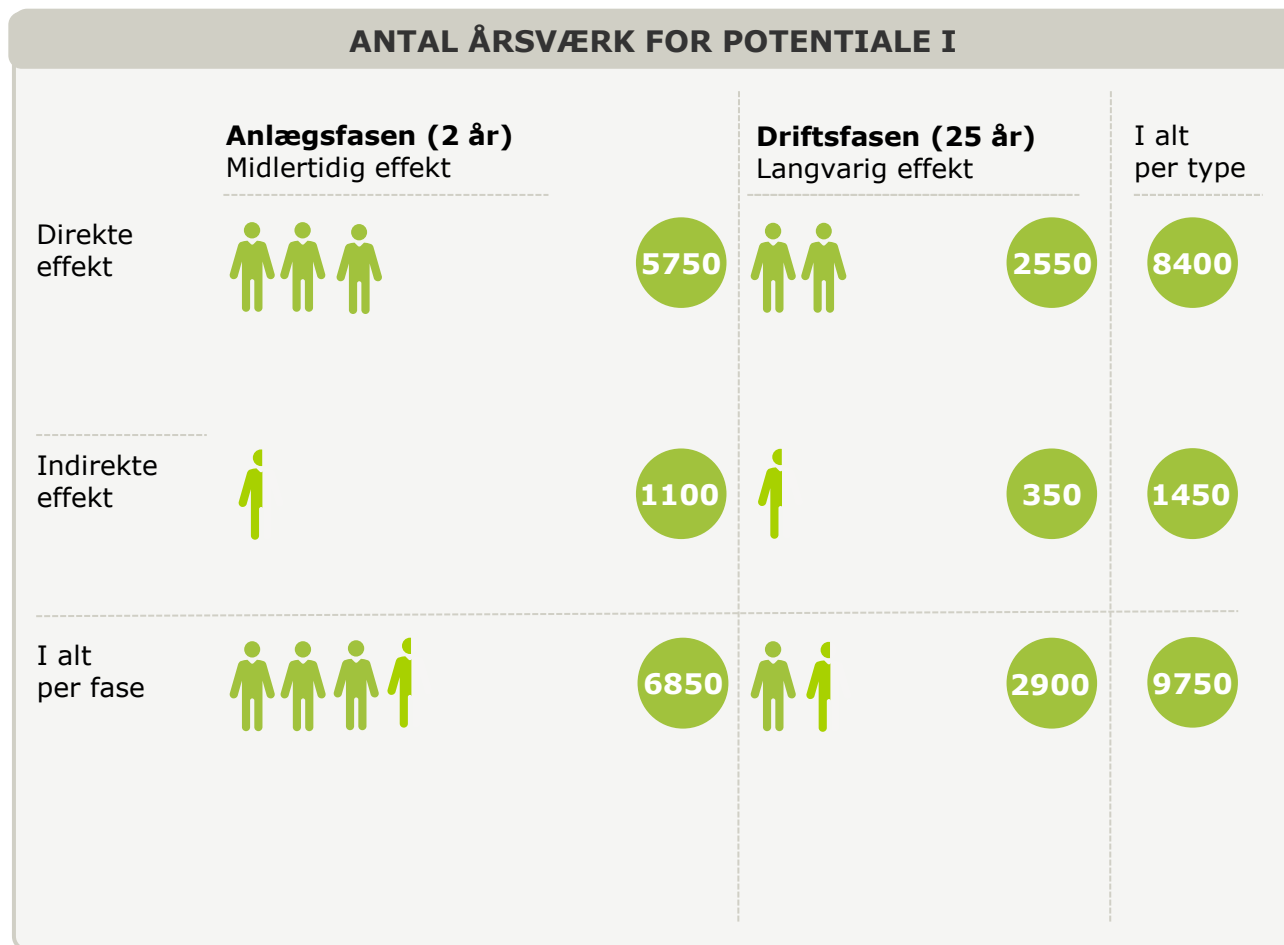
Potentiale I, II og III skønnes at resultere i henholdsvis ~ 9.750, 22.500 og 35.250 akkumuleret årsværk for anlægs- og driftsfasen i hele anlægslevetiden (baseret på både direkte og indirekte beskæftigelseseffekter).

Størstedelen af årsværkene opstår i den 2-årige anlægsfase og er direkte relateret til opførelsen af de forskellige anlæg. Således ~ 5.750, 13.550 og 21.400 årsværk (Potentiale I, II og III). Det svarer til at 68 pct. af alle årsværk er midlertidige direkte årsværk.

Henholdsvis 2.900, 6.400 og 9.850 årsværk vil være direkte eller indirekte knyttet til driftsfasen (25 år), afhængigt af det specifikke potentiale, og dermed have en langsigtet effekt på beskæftigelsen.

Den primære beskæftigelseseffekt fordelt på sektor i anlægsfasen henfalder til industri (42 pct.) samt viden og rådgivningsservice (39. pct.). I driftsfasen tegner den kemiske industri sig for 74 pct. af beskæftigelsen.

BESKÆFTIGELSESEFFEKT POTENTIALE I



Delkonklusioner

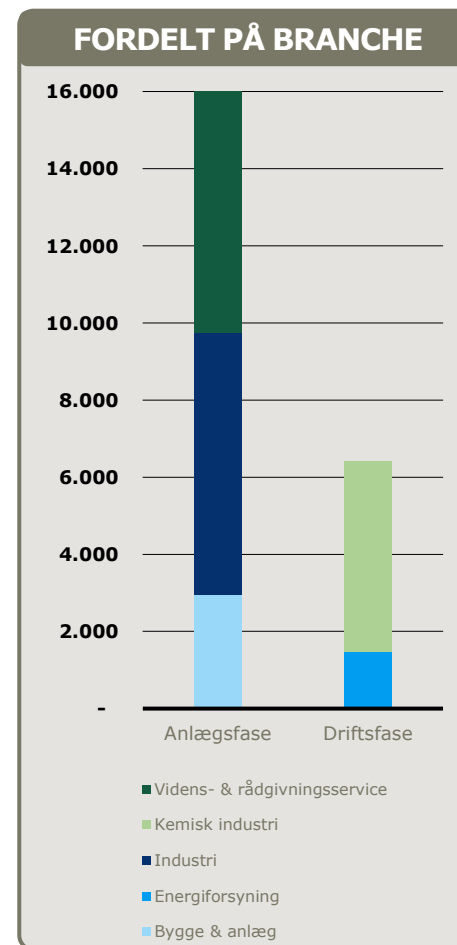
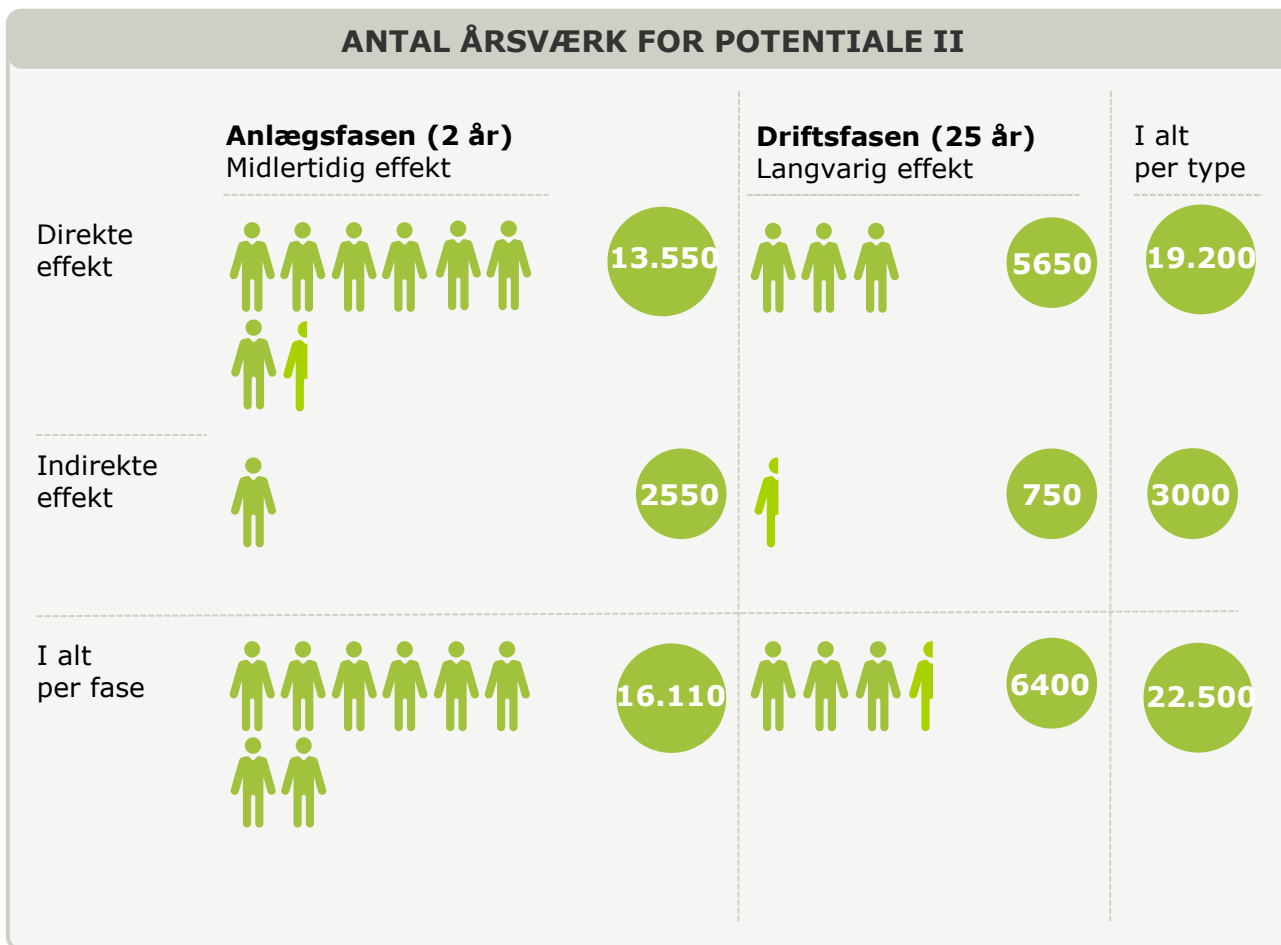
Gennemførelsen af potentiale I estimeres til (i alt) at kunne lede til ~9750 årsværk i anlægs- og driftsfasen (baseret på både direkte og indirekte beskæftigelseseffekter)

Hovedparten af årsværkene findes i den 2-årige anlægsfase og er direkte forbundet med opførelsen af de forskellige anlæg. Dermed er ~5750 årsværk, svarende til 68 pct. af alle årsværk, midlertidig direkte beskæftigelse.

2900 årsværk vil være direkte eller indirekte forbundet med driftsfasen og dermed have en længerevarende effekt på beskæftigelsen.

Den primære beskæftigelseseffekt i anlægsfasen fordelt på branche forventes i industri samt videns- og rådgivningsservice med henholdsvis 42 pct. og 39 pct. af totale årsværk i anlægsfasen. I driftsfasen står kemisk industri for 74 pct. af beskæftigelsen.

BESKÆFTIGELSESEFFEKT POTENTIALE II



Delkonklusioner

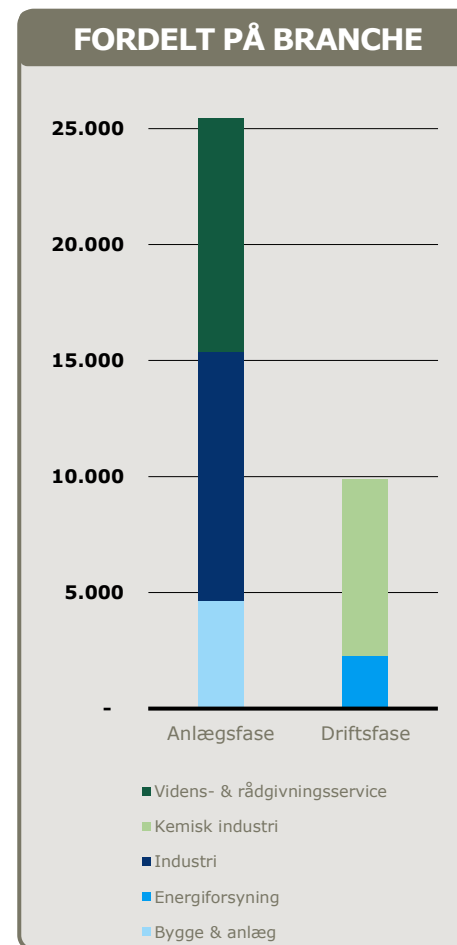
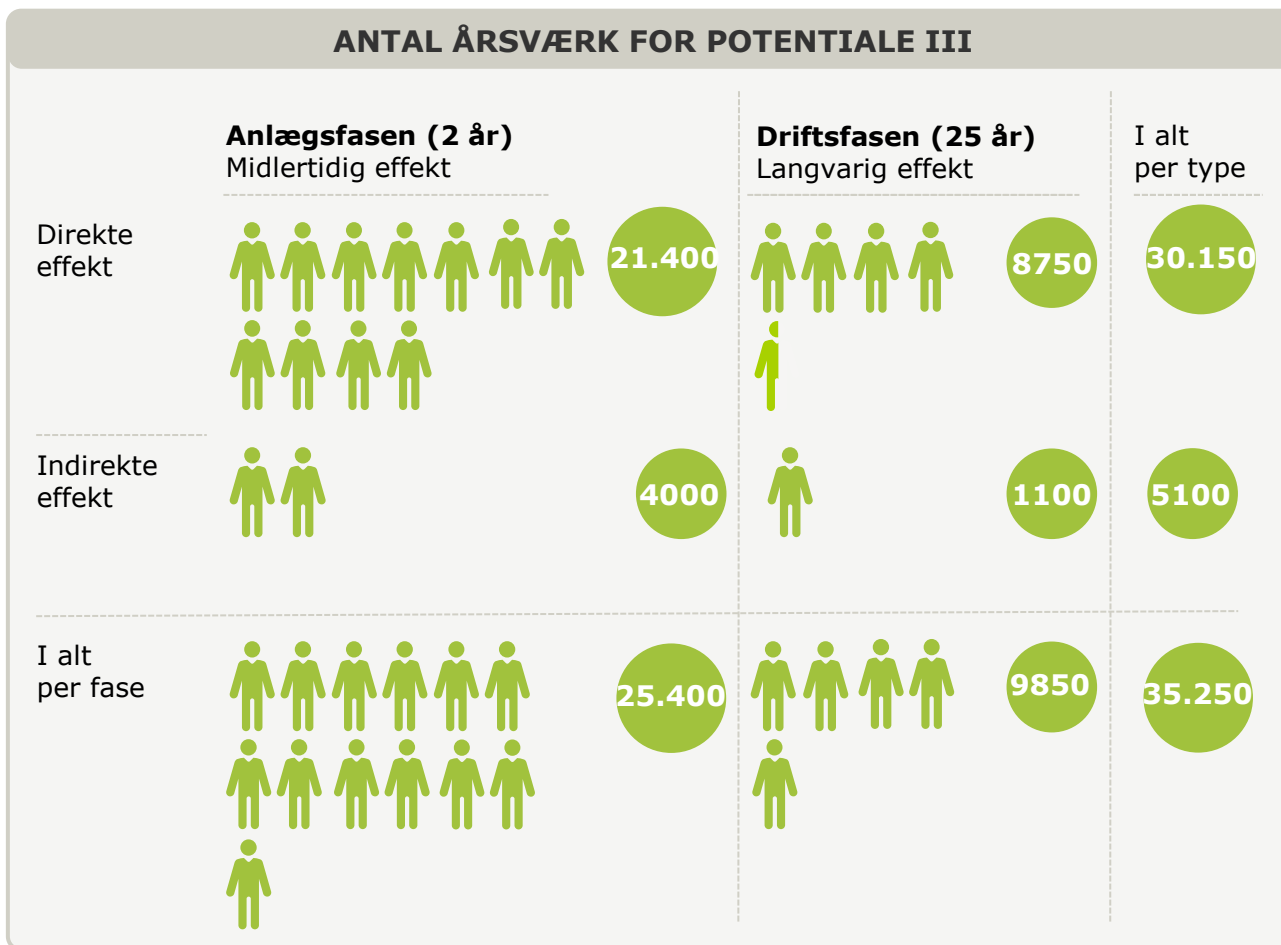
Gennemførelsen af **potentiale II** estimeres til (i alt) at kunne lede til **~22.500 årsværk i anlægs- og driftsfasen** (baseret på både direkte og indirekte beskæftigelseseffekter)

Hovedparten af årsværkene findes i den 2-årige anlægsfase og er direkte forbundet med opførelsen af de forskellige anlæg. Dermed er ~13550 årsværk, svarende til 68 pct. af totale årsværk, midlertidig direkte beskæftigelse.

Hele 5650 årsværk vil enten være direkte eller indirekte forbundet med driftsfasen og dermed have en længerevarende effekt på beskæftigelsen

Den primære beskæftigelses-effekt i anlægsfasen fordelt på branche forventes i industri samt videns- og rådgivningsservice med henholdsvis 42 pct. og 39 pct. af totale årsværk i anlægsfasen. I driftsfasen står kemisk industri for 74 pct. af beskæftigelsen.

BESKÆFTIGELSESEFFEKT POTENTIALE III



Delkonklusioner

Gennemførelsen af **potentiale III** estimeres til (i alt) at kunne lede til **~35.250 årsværk i anlægs- og driftsfasen** (baseret på både direkte og indirekte beskæftigelseseffekter)

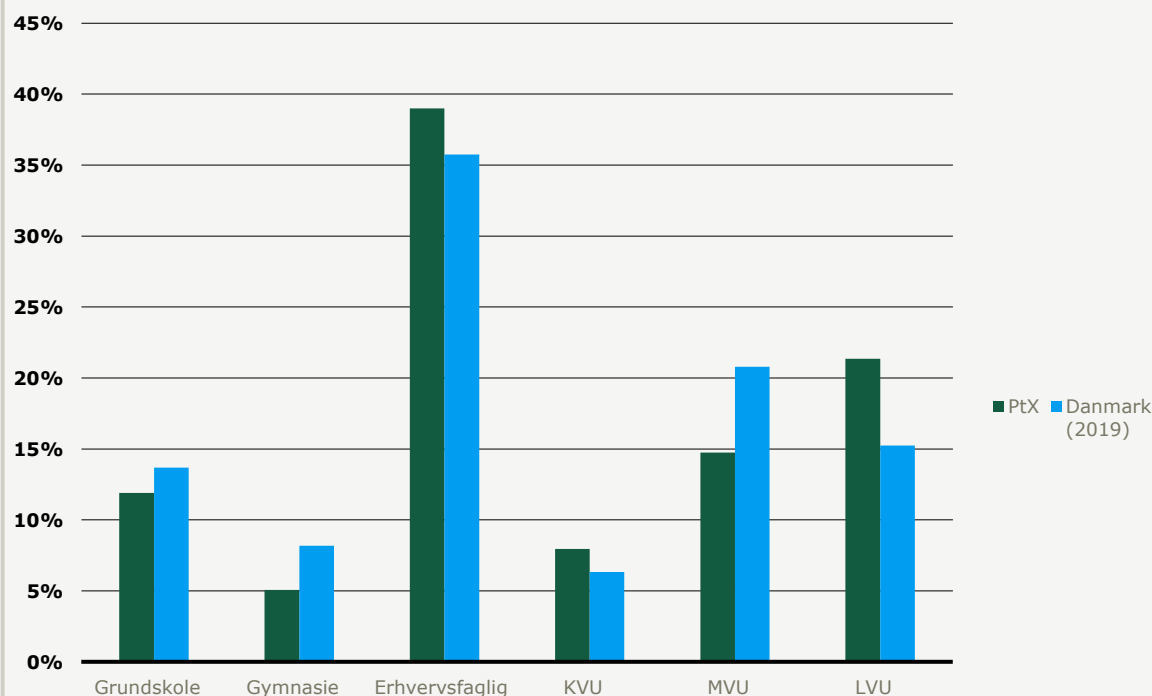
Hovedparten af årsværkene findes i den 2-årige anlægsfase og er direkte forbundet med opførelsen af de forskellige anlæg. Dermed er **~21.400 årsværk**, svarende til 68 pct. af de direkte totale årsværk, midlertidig direkte beskæftigelse.

Hele **9850 årsværk** i scenarie 3 vil være forbundet med driftsfasen og dermed have en **længerevarende effekt på beskæftigelsen**

Den primære beskæftigelses-effekt i anlægsfasen fordelt på branche forventes i industri samt videns- og rådgivningsservice med henholdsvis 42 pct. og 39 pct. af totale årsværk i anlægsfasen. I driftsfasen står kemisk industri for 74 pct. af beskæftigelsen.

UDBUDDET AF UDDANNET ARBEJDSKRAFT ER AFGØRENDE FOR BESKÆFTIGELSESGEVINST

EFFEKT FORDELT PÅ UDDANNELSESNIVEAU



Konklusioner

Den danske beskæftigelsesgevinst afhænger af samfundets og de danske virksomheders evne til at imødekomme den øget arbejdsmarkeds efterspørgsel, der relaterer sig til etablering, drift og vedligeholdelse af de mange PtX-anlæg.

Danmark har en høj andel af borgere med erhvervsuddannelser (36 pct.), hvilket er i god overensstemmelse med det, der vil blive efterspurgt ved opførelsen og vedligeholdelsen af PtX-anlæg (39 pct.).

Modsat ses det, at der vil være et gap mellem den efterspurgte og eksisterende arbejdskraft af arbejdere med en lang videregående uddannelse (LVU). Kun 15 pct. af den eksisterende arbejdsstyrke i Danmark (2019) har en LVU. 21 pct. af den nye beskæftigelse i opførelsen og vedligeholdelsen af PtX-anlæg, kræver kompetencer svarende til en LVU.

Den nuværende beskæftigelsesfordeling i Danmark er dog relativt i overensstemmelse med den fordeling af kompetencer, der vil blive efterspurgt ved etablering, drift og vedligeholdelse af PtX-anlæg.

Dette siger dog ikke noget om, hvorvidt det danske arbejdsmarked i absolutte værdier kan imødekomme behovet for arbejdskraft. I fremtiden kan der være mangel på arbejdskraft især på erhvervsuddannelses- og de specialerede områder. Derfor kan det blive en udfordring for Danmark, hvis ikke arbejdsmarkedsefterspørgslen kan imødekommes.

METODE TIL KVANTIFICERING AF VÆRDI AF ÆNDRET ENERGI EKSPORT / IMPORT

UDREGNINGER AF BALANCE ÆNDRINGER I ENERGI EKSPORT/IMPORT

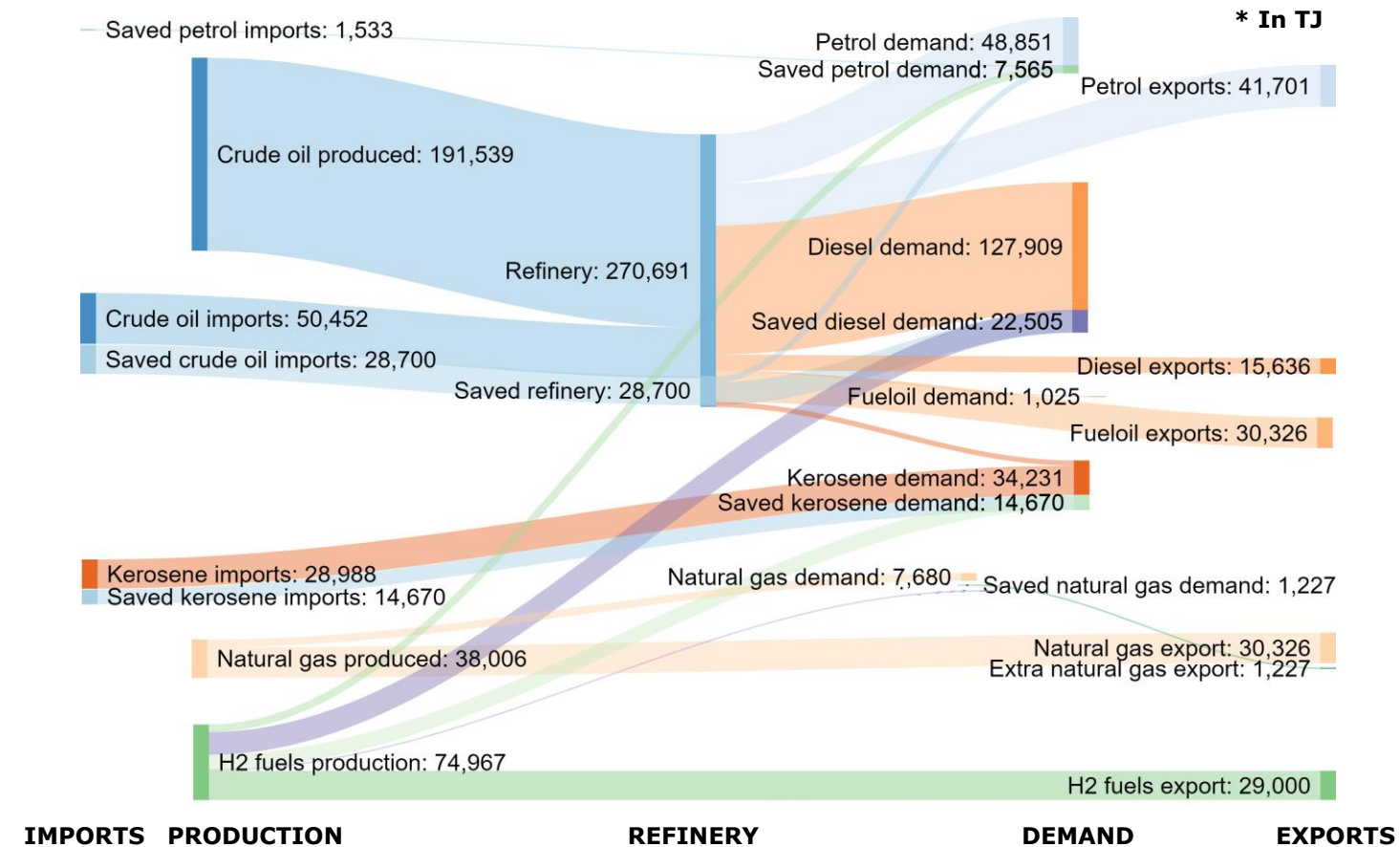
Effekten af energi import/eksport balancen ved at konvertere efterspørgslen på konventionelle fossile brændstoffer til efterspørgsel på PtX afhænger af import/eksport status for hvert brændstof i basis scenariet, ambition 0. Vi har anvendt følgende antagelser i udregningen:

- Diesel og brændstofsolie: Disse brændstoffer produceres i raffinaderier i DK, hvorfra noget forbruges og noget eksporteres. Faldet i efterspørgslen efter disse fossile brændstoffer antages at resultere i lavere raffinaderiproduktion og deraf lavere import af råolie.
- Benzin: Dette importeres og produceres i raffinaderier, forbruges efterfølgende og eksporteres i ambition 0. Den reducerede efterspørgsel på benzin fører til eliminering af importen. Hertil falder importen af råolie også yderligere.
- Kerosene: Importeres og produceres i raffinaderier og forbruges. Det reducerede forbrug udledt fra substituerende PtX-brændstoffer resulterer i lavere import af kerosene.
- Crude oil: Produceret fra oliefelter og også importeret og derefter brugt i raffinaderier til at producere endelige brændstofprodukter. Reduktionen af det tidligere brændstofforbrug fører til reduktion af råolie.
- Naturgas: Produceres fra gasfelter, forbruges og eksporteres. Reduktioner i naturgasforbruges fører i dette tilfælde til højere eksport.

Værdien af de endelige ændringer i import/eksport balancen estimeres vha. prisfremskrivninger for brændstof udarbejdet af Energistyrelsen samt egne Rambøll prisfremskrivninger

ÆNDRINGER I IMPORT/EKSPORT BALANCE FRA FOSSILT TIL PTX BRÆNDSTOFBEHOV







Sankey-diagram potentiale III: ny produktion af PtX-brændstofefterspørgsel reducerer importen af fossile brændstoffer og fører til yderligere eksport



Figuren illustrerer den nationale energibalance i Potentiale III, hvor det kan sættes pris på, hvordan omstillingen fra efterspørgsel efter fossile brændstoffer til PtX-brændstoffer produceret i Danmark fører til reduktioner i importen af fossile brændstoffer, lavere konventionel raffinaderiaktivitet og eksport af PtX-brændstoffer samt naturgasressourcer fra danske gasfelter, der eksporteres i stedet for forbrug i Danmark.

Potentiale III resulterer i 75 PJ af produceret brint, der undgår import af 29 PJ råolie, 15 PJ petroleum, og 1,5 PJ benzine, samt yderligere eksport af 1 PJ naturgas, 14 PJ af H2, 6 PJ af methanol og 6 PJ af ammoniak.

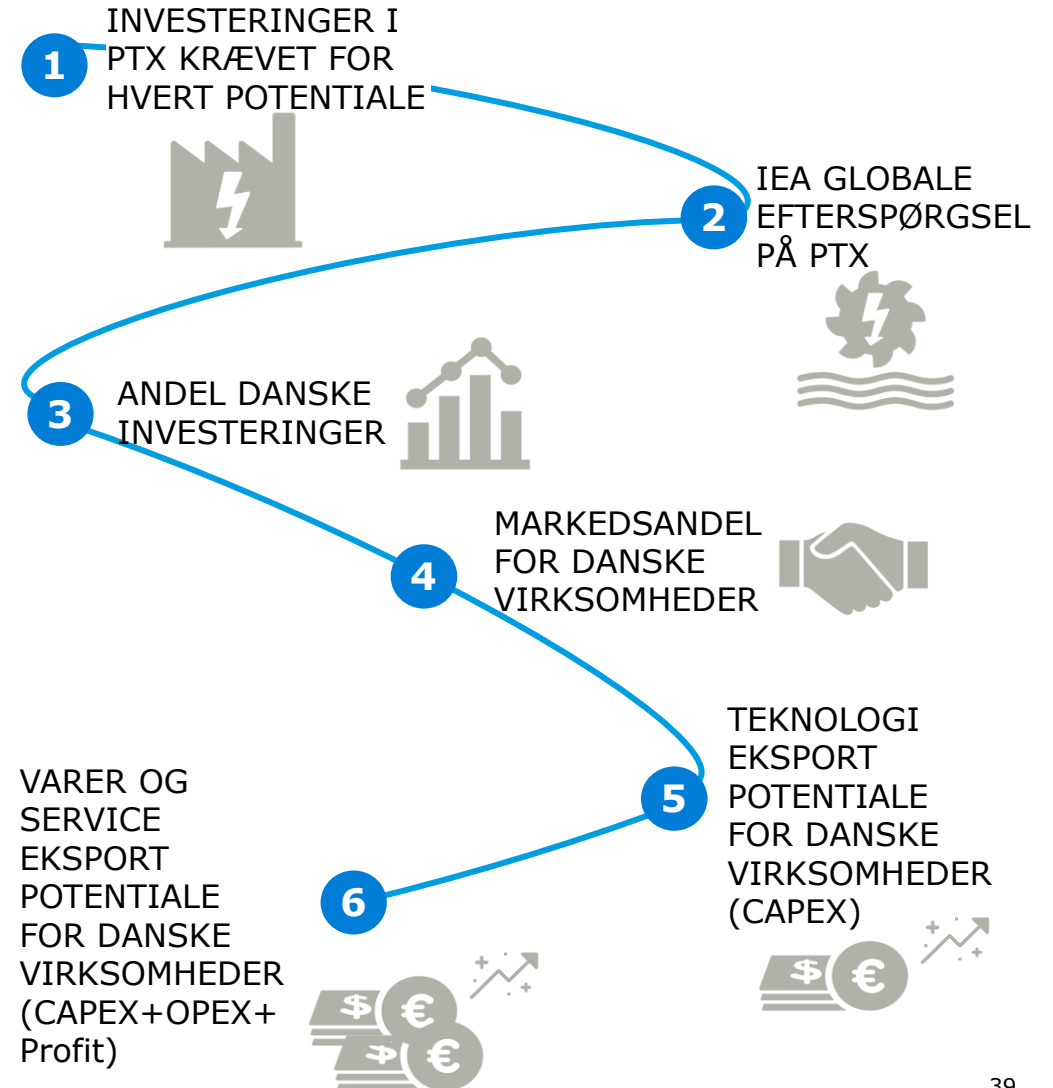
GEVINSTEN VED ENERGI EKSPORT OG UNDGÅET IMPORT FORDELT PÅ DE 3 POTENTIALER (ÅRLIGE I 2030)

	Potentiale I		Potentiale II		Potentiale III	
	Eksport	Undgået Import	Eksport	Undgået Import	Eksport	Undgået Import
Benzin 		0.2 mia. kr.		0.2 mia. kr.		0.2 mia. kr.
Kerosene 		0.8 mia. kr.		1.6 mia. kr.		1.6 mia. kr.
Råolie (for diesel) 		1.6 mio. kr.		1.6 mia. kr.		1.6 mia. kr.
Råolie (for gasoil and fueloil) 				0.4 mia. kr.		0.4 mia. kr.
PtX brændstof 					4.9 mia. kr.	
Samlet gevinst 	1.8 mia. kr.		3.8 mia. kr.		8.7 mia. kr.	

METODE: EKSPORT AF PTX TEKNOLOGI

DELELEMENTER I BEREGNINGEN AF EKSPORT POTENTIALIAET

- 1 Investeringer krævet for hver potentiale i DK**
Baseret på egne udregninger har vi investeringsomkostningerne der er krævet for hver ambition
- 2 IEA globale PtX efterspørgsel**
Vi anvender IEAs forskellige scenarier for fremtidens PtX efterspørgsel: SDS & NZE. Efterspørgslen i energi omregnes til investeringsomkostninger.
- 3 Danske investeringer ud fra et globalt perspektiv**
Baseret på den globale sum af investeringer for alle fire PtX teknologier, omregner vi for hver ambition, hvor mange pct. de danske investeringsomkostninger svarer til globalt set.
- 4 Markedsandel for hver potentiale**
Vi antager at eksport potentialet ligger i en radius mellem 3-5 pct. for henholdsvis ambition I, II og III.
- 5 Totale PtX teknologi eksport potentiale for danske virksomheder (CAPEX market)**
Afslutningsvis kan vi estimere det danske eksport potentiale for hver ambition, ved at udregne hvor meget den danske markedsandel udgør af den globale efterspørgsel.
- 6 Totale PtX varer og service eksport potentiale for danske virksomheder (CAPEX+OPEX+Profit)**
Afslutningsvis kan vi antage vi en opex på 3% af capex og et overskud på 10% fra de samlede projektkomkostninger for projektudviklere, og vi tilføjer disse for at opnå den endelige markedsværdi for alle virksomhedstyper langs værdikæden af PtX -projekter.



PTX PRODUKTIONSINVESTETERINGER I DANMARK 2020-2030

1 Danmark



Potentiale	Overall PtX	Electrolysis	Methanol synthesis	Ammonia synthesis	E-kerosene synthesis
Potentiale I	9	8	0.6	0.3	0.1
Potentiale II	22	17	2	0.8	2
Potentiale III	34	25	4	2.5	2

2 Verden



Scenario	Overall PtX	Electrolysis	Methanol synthesis	Ammonia synthesis	E-kerosene synthesis
SUSTAINABLE DEVELOPMENT SCENARIO (SDS)	674	597	36	23	18
NET ZERO EMISSIONS BY 2050 (NZE)	3,749	3,378	168	116	87

3 Dansk over globale investeringer (%)

Overall PtX	Electrolysis	Methanol synthesis	Ammonia synthesis	E-kerosene synthesis
1%	1%	2%	1%	0.6%
3%	3%	6%	3%	12%
5%	4%	11%	11%	12%

Overall PtX	Electrolysis	Methanol synthesis	Ammonia synthesis	E-kerosene synthesis
0.2%	0.2%	0.4%	0.2%	0.1%
0.6%	0.5%	1.2%	0.7%	2.4%
0.9%	0.8%	2%	2.1%	2.4%



Overall PtX



Electrolysis



Methanol synthesis



Ammonia synthesis



E-kerosene synthesis

ANTAGET GLOBAL MARKEDSANDEL PÅ 3-5%

Stor spredning på eksport potentialet mellem SDS og NZE scenarierne. Den største kapacitet og investering vil ligge i elektrolyse anlæg da disse har mindre kapacitetsfaktor og producerer input til syntese anlæggene.

		PtX årlig volumen (Mt)					PtX-kapacitet (GW)					PtX-investeringer (mia.kr)				
SUSTAINABLE DEVELOPMENT SCENARIO (SDS)	3%	1.0	0.4	0.4	0.1	0.1	5.2	4.5	0.2	0.07	0.1	20	18	1.1	0.7	0.6
	5%	1.6	0.7	0.6	0.2	0.2	8.7	7.5	0.4	0.11	0.2	34	30	1.8	1.2	0.9
NET ZERO EMISSIONS BY 2050 (NZE)	3%	5.1	2.4	1.6	0.5	0.4	28	26	1.1	0.3	0.6	112	101	5.0	3.5	2.6
	5%	8.4	4.1	2.7	0.9	0.7	46	43	1.8	0.6	1.1	187	169	8.4	5.8	4.4



Overall PtX



Electrolysis



Methanol synthesis



Ammonia synthesis



E-kerosene synthesis

FORTAGET GLOBAL MARKEDSFANGST AF PTX

Assumed overall PtX export share
(global market capture share)

4 Global markedsandel (%)

SUSTAINABLE
DEVELOPMENT
SCENARIO
(SDS)

Potentiale I	3%	3%	4%	3%	1.3%
Potentiale II	4%	3.5%	7%	4%	13%
Potentiale III	5%	4%	11%	11%	13%

NET ZERO
EMISSIONS
BY 2050
(NZE)

Potentiale I	3%	3%	4%	3%	2%
Potentiale II	4%	3.5%	8%	5%	15%
Potentiale III	5%	4%	13%	12%	15%

$$export\ share_{tech,amb} = \frac{investments\ DK_{tech,amb}}{global\ investments_{tech,amb}} \times \frac{Overall\ PtX\ export\ share_{amb}}{\frac{Overall\ PtX\ investments\ DK_{amb}}{Overall\ PtX\ global\ investments_{amb}}}$$

e.g. $export\ share_{NH_3,amb\ III} = 0.5\% \times \frac{5\%}{0.9\%} = 3.1\%$

Under antagelsen af at højere investeringen I Danmark resulterer i bedre kompetencer og bedre chancer for at vinde projekter uden for Danmarks grænser, antager vi stigende markedsandele for hvert potentiale niveau. Med henblik på denne eksportkvantificerings øvelse, antager vi markedsandele mellem 3 pct. (ambition I) og 5 pct. (ambition III).

Givet den totale PtX teknologiekспорт markedsandel, kan vi finde den specifikke teknologiekспорт andel ved at faktorerer ratioen mellem nationale og globale investeringer per PtX teknologi (værdierne fra step 3) med ratioen mellem den antaget totale PtX eksport potentiale og de totale PtX investeringer i Danmark, som til sidst divideres med den totale globale PtX investeringer

ANSLÅET EKSPORT AF PTX TEKNOLOGI OG SERVICE 2020-2030

5 Eksportpotentiale CAPEX (mia.kr.)

6 Eksportpotentiale CAPEX + OPEX + Profit (mia.kr.)

SUSTAINABLE DEVELOPMENT SCENARIO (SDS)

Potentiale I	20	18	1.3	0.6	0.2
Potentiale II	27	21	2.5	1	2.4
Potentiale III	34	25	4	2	2.4

26	23	1.7	0.8	0.3
35	27	3.2	1.3	3
43	32	5	3	3

NET ZERO EMISSIONS BY 2050 (NZE)

Potentiale I	112	100	7	3	1
Potentiale II	151	117	14	6	13
Potentiale III	187	141	21	14	13

141	126	9	4	2
190	147	17	7	17
235	176	27	17	17

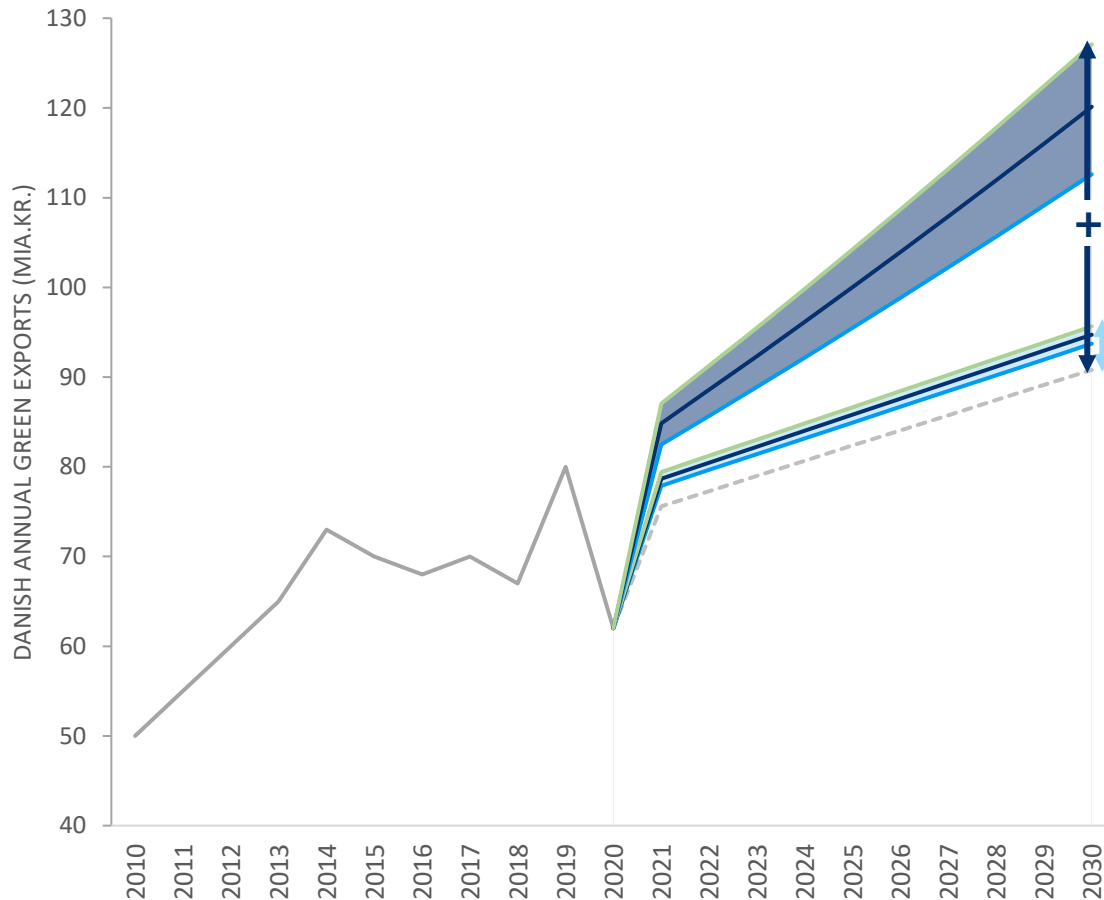
$$export\ potential_{tech,amb} = export\ share_{tech,amb} \times global\ market\ potential_{tech}$$

e.g. $export\ potential_{NH_3,amb\ III} = 3.1\% \times 462 = 14$

Endelig tilføjer vi på trin 6 eksportpotentialet fra trin 5, udelukkende baseret på CAPEX, O & M-tjenester og projektudvikleres fortjenstmargener. O&M antages at være 3% af CAPEX og 10% af de samlede omkostninger som fortjenstmargen.

ANSLÅET PTX -EKSPORT I FORHOLD TIL EKSISTERENDE GRØN ENERGITEKNOLOGI EKSPORT FRA DANMARK

Yderligere eksport i 2030



Potentiale III	+36 mia.kr	+40%	NET ZERO EMISSIONS BY 2050 (NZE)
Potentiale II	+29 mia.kr	+32%	
Potentiale I	+22 mia.kr	+24%	

Potentiale III	+5 mia.kr	+5%	SUSTAINABLE DEVELOPMENT SCENARIO(SDS)
Potentiale II	+4 mia.kr	+4%	
Potentiale I	+3 mia.kr	+3%	

Eksporten af grøn energiteknologi fra Danmark resulterede i omkring 62 mia. kr. i 2020. Antages der en lineær projektion fra den historiske eksport siden 2010, vil grøn teknologiekseport under et business-as-usual (BAU) scenarie svare til 91 mia. kr. I 2030 (se den stiplede grå linje)

Antages det at PtX teknologiekseporten kan være mellem 3-5 pct. af de globale marked, når ambition I til III er opnået i Danmark, under Sustainable Development Scenariet, vil eksporten af PtX-teknologi være mellem 3-5 mia. kr. for Danmark i 2030 (3-5 pct. stigning i grøn eksport ift. BAU). Under et globalt marked som NZE, kan PtX teknologiekseporten opnå mellem 22-36 mia. kr. i 2030 (24-40 pct. stigning i grøn eksport ift. BAU)