



BRINT TIL TRANSPORT I DANMARK FREM MOD 2050

*Bidrag til elektrisk transport, vækst,
CO₂ reduktion og fossil uafhængighed*

December 2011 – endelig udgave

BAGGRUNDSRAPPORT

BENZIN/DIESEL

BATTERI/HYBRID

BRINT



Baggrund & introduktion

Betydelige midler er blevet investeret på internationalt plan i udvikling af brint og brændselsceller de seneste 10 år, bl.a. hos de ledende bilproducenter. Alene i Danmark har virksomheder sammen med bidrag fra offentlige programmer investeret to milliarder kroner siden 2001. Investeringerne har bidraget til at udvikle og modne brint og brændselsceller så at en markedsintroduktion kan påbegyndes fra 2015.

Med Regeringens nye udspil "Vores Energi", hvor der sigtes mod en omstilling til et fossilt uafhængigt samfund i 2050, er det oplagt at brint inkluderes som et af mange teknologier der kan bidrage til at løse udfordringen indenfor transportsektoren.

Foreningen Hydrogen Link Danmark samt udvalgte danske aktører under Brint og Brændselscelle Partnerskabet i Danmark har derfor udarbejdet denne analyse som beskriver et muligt bidrag til *elektrisk transport, vækst, CO₂ reduktion og fossil uafhængighed* ved introduktion af brint til transport i Danmark frem mod 2050.

Analysen tager udgangspunkt i en mulig andel af brintbiler i den danske bilpark i 2050 på 50% og de afledte effekter for indfrielsen af de energipolitiske målsætninger for fossil uafhængighed, og ikke mindst det betydelige potentiale for dansk eksport af brint og brændselscelle teknologi og afledte arbejdspladser. Ligeledes er bidraget fra brint til transport i forhold til balancering af en øget andel af fluktuerende vedvarende energiproduktion analyseret.

Rapporten er udarbejdet på basis af analyser foretaget i tidligere og igangværende "brint til transport" projekter støttet af bl.a.:

- Energistyrelsen (EUDP)
- Trafikstyrelsen (Center for Grøn Transport)
- Erhvervs & Byggestyrelsen (Program for Brugerdrevet Innovation)
- European Fuels Cells & Hydrogen Joint Undertaking

Ligeledes er analyserne sket i dialog med internationale bilproducenter & energiselskaber og på basis af lignende analyser i bl.a. Tyskland, Japan & Sydkorea.

Denne baggrundsrapport samt både en kort og udvidet grafisk sammenfatning af hovedresultater kan findes på: www.hydrogenlink.net

Yderligere informationer

Flemming Wennike, Foreningsleder, Hydrogen Link Danmark, fw@hydrogenlink.net

Aksel Mortensgaard, Direktør, Brint & Brændselscelle Partnerskabet, akmo@hydrogennet.dk

Mikael Sloth, Business Development Manager, H2 Logic A/S, ms@h2logic.com

Sammenfatning af hovedresultater

Nedenfor er analysens hovedresultater sammenfattet i forhold til rapportens efterfølgende hovedafsnit. For yderligere uddybning henvises til de respektive afsnit.

1. Brint i et fossilt uafhængigt energisystem

Brint som brændstof i elbiler & lager for vedvarende energi

Den stigende mængde fluktuerende vedvarende elektricitet kan lagres i brint ved spaltning af vand. Efterfølgende kan brint bruges som brændstof i elbiler eller til produktion af gasser eller flydende brændstoffer baseret på vedvarende energi.

Brug af brint i elbiler giver særlig høj værdi da fossilt brændstof erstattes. Brintproduktion kan ske ved tankstationer og restvarme kan med fordel udnyttes til fjernvarme for at øge energiudnyttelsen.

Den betydelige produktions- og lagerkapacitet på brint tankstationer vil kunne anvendes til at balancere vedvarende energi. I perioder med overskud af elektricitet kan brint produktionen øges og ved underskud af elektricitet kan produktionen stoppes. Forsyning af 50% af bilparken med brint i 2050 vil kræve installering af 1GW elektrolyse effekt som kan stoppes i kortere perioder. Dette svarer til 10% af det samlede øjeblikkelige balanceringsbehov i 2050.

I perioder med betydelig mangel på elektricitet kan brændselscelle kraftværker ved tankstationerne producere elektricitet og varme. Eksempelvis er danske aktører aktive indenfor udvikling af stationære SOFC brændselsceller til kraftværker. Billige brændselsceller fra transportsektoren vil ved en investering på 9-18 milliarder kroner kunne levere det maksimale øjeblikkelige spidsbelastningsbehov i 2050. På sigt kan brintbiler eventuelt også levere elektricitet i kortere perioder til elnettet hvis der udvikles en forretningsmodel som er rentabelt og fordelagtigt for bilejerne. 80.000 brintbiler eller blot 5,6% af alle brintbiler i 2050 vil kunne levere det øjeblikkelige balanceringsbehov på 6GW.

Foruden de betydelige balanceringspotentialer er brint såvel som batterier også en forudsætning for at den danske bilpark kan omstilles til fossil uafhængighed i 2050. Andre teknologier er dog også nødvendige da det vil tage tid at introducere brint & batterier. Hybridbiler kan derfor sikre et vigtigt bidrag indtil brint & batterier opnår stor udbredelse, mens biobrændstof med fordel kan prioriteres til tung transport hvor elektrisk fremdrift ikke er mulig samt hybridbiler og kraftværker.

Hvad angår brint og batterier tilfredsstiller teknologierne forskellige kørselsbehov. Batterier er velegnede til korte ture i mindre biler og hvor langsom opladning er tilstrækkelig, mens brint kan anvendes til længere ture i større biler og hvor hurtig optankning på 3 minutter er nødvendig. De større biler udgør 50% af bilparken og 75% af CO₂ udledningen, så brint kan derfor bidrage med en betydelig reduktion.

2. Dansk-Skandinavisk styrkeposition & muligheder

Betydelige investeringer og en international positionering

Danmark har verdens højeste investeringsniveau i forsknings-, udviklings- og demonstrationsaktiviteter (F/U/D) indenfor brint & brændselsceller målt pr. BNP. Danske virksomheder med bidrag fra offentlige programmer har således siden 2001 investeret 2 mia. kroner i F/U/D indenfor brint og brændselsceller. Indsatsen har udviklet teknologierne til et niveau hvor næste skridt er markedsintroduktion.

Siden 2008 er demonstrationsaktiviteter for 125 millioner kroner indenfor brint til transport blevet igangsat i Danmark. Alene i løbet af efteråret 2011 er forskning og udvikling for mere end 120 millioner kroner blevet igangsat.

På basis af investeringerne er adskillige danske virksomheder derfor aktive indenfor brintproduktion, lagring og optankning. Danske teknologier til brint produktion er således blandt de mest effektive i verden og danske aktører er nogle af de få i verden som besidder teknologi til hurtig optankning af brint.

Siden 2006 har danske aktører samarbejdet med de resterende Skandinaviske lande under "Scandinavian Hydrogen Highway Partnership" med henblik på at sikre området som ét blandt de første i verden hvor brint til transport introduceres på markedet. Siden 2006 er 0,5 mia. kr. blevet investeret i udvikling og afprøvning på tværs af landende. Bl.a. er 10 brint tankstationer blevet etableret så at Skandinavien i dag har et af de mest dækkende netværk af tankstationer i verden. Frem mod 2015 er der planer om at udbygge netværket så at det bliver muligt at køre på tværs af landende på brint. De betydelige resultater har også sikret aktiv afprøvning af brintbiler fra bilproducenterne Daimler og Hyundai, ligesom at der er indledt dialog og samarbejder med samtlige ledende bilproducenter i verden indenfor brint til transport.

3. Status & potentiale brintbiler 2012-2050

Effektivitet, pris og udrulning frem mod 2050

Alle ledende bilproducenter har investeret i udvikling af brintbiler siden 1990'erne. I 2009 underskrev bilproducenter en erklæring om markedsintroduktion omkring 2015 og i løbet af 2011 har Daimler og Hyundai besluttet start af præproduktion. Ligeledes har flere bilproducenter genbekræftet 2015 målsætningen.

Udmeldingerne skyldes betydelige tekniske fremskridt de senere år hvor bl.a. hurtig opstart af brændselsceller ved minus 30 grader og dynamisk drift er opnået. Ligeledes er levetid ved drift i biler på 3.500 timer blevet demonstreret og mere end 7.000 timer i laboratorium, hvor målsætningen er 5.000 timer eller mere end 200.000 km. Rækkevidden er blevet betydelig øget til mere end 500 km uden at begrænse plads i bilen. Optankningen er internationalt standardiseret og kan foretages på 3 minutter.

Hvad angår energieffektivitet udnytter brintbiler energien op til dobbelt så godt som tilsvarende benzinbiler. Brændstof forbruget varierer fra 25-35 km/liter benzin

ækvivalent for en normal størrelse bil med samme rækkevidde og hurtige optankning som benzin og med potentiale for at nå mere end 40 km/liter i 2035.

Brændselsceller til brintbiler har potentiale for stor prisreduktion ved masseproduktion. Forventningen fra 11 bilproducenter er således en pris på €43/kW i 2020 ved 1 mio. stk. Frem mod 2050 forventes en årlig prisreduktion på niveau med udviklingen indenfor sol & vind.

Prisreduktionspotentialet er tilstrækkeligt til at brintbiler på sigt kan konkurrere med benzin. Fra 2025 forventes det at brint begynder at nærme sig de totale omkostninger pr. kørt km for benzin. I 2050 forventes brintbiler at være billigst i de større biler som udgør 50% af bilparken og 75% af CO₂ udledningerne.

En forlængelse til 2015 af den nuværende fritagelse for danske registreringsafgifter for brintbiler kan gøre brintbiler konkurrencedygtige. I takt med at prisen på brintbiler reduceres kan registreringsafgiften øges i Danmark frem mod 2025.

Dansk fossil uafhængighed i 2050 i bilparken vil kræve tæt ved 100% andel af forureningsfrie biler i bilparken. Begrænset mængde biomasse og eventuel prioritering til tung transport nødvendiggør introduktion af brint-, batteri- og hybridbiler. Hvad angår batteri- og hybridbiler forventes disse kun at udgøre 50% af bilsalget i 2050, hvorfor et dansk mål om fossil uafhængighed også kræver brug af brint til transport.

Med en dansk ambitiøs udrulning kan batteri/hybrid udgøre 45% og brint 50% af bilparken i 2050. På trods af den høje andel for brintbiler i 2050 vil andelen i 2025 kun udgøre 4,6% af bilparken, svarende til 108.000 biler. For at nå 50% af bilparken i 2050 skal brintbilers andel af det årlige nysalg dog nå 50% allerede i 2036. Andelen for hver brintbil model kan i starten ikke forventes at overstige TOP-75 for benzin modeller (1,3%). På sigt kan andelen for hver brintbil model potentielt stige til gennemsnittet for TOP-10 (2,7%). For at nå 50% andel af nysalg i 2036 skal antallet af brintbil modeller således nå minimum 36 stk. for at holde sig under snittet for TOP-75. Bilsalget i Danmark i 2008 var fordelt på 456 forskellige bil modeller.

4. Status & potentiale brint infrastruktur 2012-2050

Effektivitet, investering og udrulning frem mod 2050

Udgangspunktet for en dansk brint infrastruktur er at brintproduktion sker ved tankstationen ud fra elektricitet. Alle tankstationer forudsættes at tilbyde 3 minutters optankning ved højt tryk så at lang rækkevidde tilsvarende benzin sikres.

Frem mod 2015 bygges små og billige stationer for at sikre et højt antal og dermed et dækkende netværk af tankstationer. Det vil kunne muliggøre en markedsintroduktion i 2015 af brintbiler da et sådant netværk vil sikre, at der er mindre end 150 km til nærmeste tankstation og at 50% af befolkningen vil have mindre end 15 km til nærmeste tankstation og 35% vil have mindre end 10 km. Et landsdækkende net-

værk i 2015 på 15 stk. brint tankstationer vil kræve en investering på 90 millioner kroner.

Fra 2015 og frem mod 2025 øges størrelsen af stationer i takt med stigende brint efterspørgsel og netværket udbygges til 185 stationer som kan forsyne 4,6% af bilparken med brint. I takt med øget antal køretøjer og større stationer stiger udnyttelsen af infrastrukturen og dermed også rentabiliteten. Fra omkring 2017 og frem kan der opnås en stigende rentabel drift af infrastrukturen. Et samlet netværk af brint tankstationer som kan forsyne 4,6% af bilparken i 2025 vil andrage 1,7 mia. kr.

Frem mod 2050 kan forsat udbygning til 450-1.000 stationer ske på kommercielle vilkår i takt med øget efterspørgsel efter brint.

I infrastruktur udrulningen forudsættes brint solgt til bilejere ved en pris som sikrer samme omkostning pr. kørt km som på benzin. Indkøb af elektricitet til brintproduktion sker på markedsvilkår og alle gældende elafgifter betales og der svares fuld moms af brint salget. Der antages en stigning i både el- og brintpris på 4,5% om året svarende til de sidste 10 års stigning i salgsprisen for benzin i Danmark. Efter 2025 kan elektricitet og brint eventuelt pålægges afgifter for at regulere overskuddet.

De løbende infrastrukturinvesteringer frem mod 2025 vil betyde et stigende akkumuleret negativt resultat. Investeringstrækket vil nå et minus på 684 mio. kr. i 2021 hvorefter resultatet løbende forbedres. Uden støtte kan en simpel tilbagebetaling af investeringen opnås efter 2025 (uden rente). Rammebetingelser kan fremrykke tilbagebetalingstiden og gøre investeringen attraktiv for private investorer.

5. Partikel & CO₂ reduktionspotentiale 2012-2050

Besparelse i helbredsomkostninger & reduktion af CO₂ emissioner

Da eneste udstødning fra brintbiler er vand kan lokal partikelemission helt undgås. Helbredsomkostninger relateret til partikler fra bilparken i Danmark udgjorde i 2008 1,5 mia. kr. Introduktion af 50% brintbiler i bilparken kan give en årlig besparelse i helbredsomkostninger på 225 mio. kr. i 2050. Samlet kan brintbiler spare samfundet 4 mia. kr. i helbredsomkostninger fra 2020-2050.

Udgangspunktet for en dansk introduktion af brint til transport er at anvende elektricitet til produktion af brint. CO₂ emissioner fra brintbiler frem mod 2050 vil derfor være knyttet til den forventede udvikling i CO₂ indholdet i dansk elektricitet.

En dansk målsætning om 100% vedvarende energi i elforbruget i 2035 vil bidrage til at reducere CO₂ indholdet for elektricitet. Frem mod 2035 kan CO₂ indholdet for elektricitet falde fra 544 gram/kWh i 2008 til blot 11 gram. Anvendes "grøn strøm" indkøbt via CO₂ certifikater kan CO₂ emissionen helt elimineres.

Med et energiforbrug over hele energikæden pr. kørt km på 0,498 kWh/km i en brintbil i 2011 vil den udlede 251 gram CO₂ pr. km ved brug af elektricitet uden CO₂ certifikater. Forbedret produktionsteknologi og biler kan reducere energiforbruget

til 0,298 kWh/km i 2035 og kombineret med øget andel af vedvarende energi kan CO₂ udledningen falde til 3 gram pr. kørt km. Ved brug af elektricitet indkøbt med CO₂ certifikater udleder brintbiler ingen CO₂. Energi forbrugt på alle brint tankstationer i Danmark i dag indkøbes med CO₂ certifikater.

Anvendes elektricitet uden CO₂ certifikater til brint produktionen vil brintbiler i perioden 2015-2024 øge CO₂ emissionen med samlet 68.000 tons. Den lave mængde skyldes at brintbiler i 2024 kun vil udgøre 3,5% af bilparken. Fra 2025-2050 vil øget andel af vedvarende energi imidlertid resultere i årlige besparelser i CO₂ emissioner. Samlet kan brintbiler give en besparelse på 2,1 millioner tons CO₂ årligt i 2050 og 33,6 mio. tons i perioden 2015-2050 ved brug af elektricitet uden CO₂ certifikater. Ved brug af elektricitet med CO₂ certifikater kan CO₂ emissionen fra brintbiler helt elimineres og den årlige besparelse i 2050 øges til 2,2 mio. tons CO₂ og den samlede besparelse for 2015-2050 øges til 37,4 mio. tons CO₂.

Sammenligningen er sket med en forventet reduktion i CO₂ emissioner fra benzin/diesel biler (kombineret) fra 168 gram/km i 2010 til 95 gram/km i 2050.

6. Eksport & arbejdspladser i brint infrastruktur

Markedspotentiale, antal jobs og værditilvækst

Fremstillingen af brint infrastruktur involverer allerede i dag en stærk dansk værdikæde hvor adskillige danske teknologier og kompetencer indgår. En dansk brint tankstation består således af mere end 3.000 del-komponenter, hvor 30% er produceret i Danmark og involverer mere end 40 danske virksomheder. Samlet skaber fremstillingen af én brint tankstation beskæftigelse i ét år for 4,5 danskere.

Brint infrastruktur rummer et stort eksportpotentiale for danske virksomheder. Eksportpotentialet for dansk brint infrastruktur i EU er vurderet til 3-5 mia. kr. årligt frem mod 2050. Inkluderes andre områder af verden er potentialet 7-10 mia. kr. årligt frem mod 2050. En sådan eksport kan skabe grundlag for mellem 2.000-6.000 arbejdspladser i Danmark.

Da dansk brint infrastruktur har en høj andel af dansk udviklede og producerede komponenter betyder det også at der skabes høj værdi i Danmark ved eksport af brint infrastruktur. I 2011 var værditilvæksten 742.000 kr. pr. heltidsbeskæftiget indenfor brint infrastruktur. Dette er over niveauet for både energiindustrien og den samlede industri. Fortsat forskning & udvikling kan bidrage til at fastholde niveauet i takt med øget konkurrence.

7. Rammebetingelser & omkostninger 2012-2025

Forslag til rammebetingelser & beregnede samfundsomkostninger

Afgørende for introduktionen af brint til transport er etableringen af offentlige rammebetingelser som kan tilskynde private investeringer. Forskellige tiltag frem mod 2025 kan bringe teknologien og markedet til et stadie hvorfra fortsat udrulning frem mod 2050 kan ske på kommercielle vilkår og med fuld afgiftsbidrag.

Etablering af en infrastrukturpulje på 45 millioner kroner kan bidrage med 50% til investeringen på 90 millioner kroner i et landsdækkende netværk af 15 brint tankstationer frem mod 2015. Det kan ske ved at etablere en infrastruktur pulje som eksempelvis udmøntes gennem EUDP's årlige ansøgningsrunder. Puljen kan med fordel kombineres med en tilsvarende for opladningsinfrastruktur til batteribiler, for derved at sikre koordinering og synergi mellem teknologierne.

Forsøgsprojekter eksempelvis under Trafikstyrelsen kombineret med en forlængelse af fritagelsen for registreringsafgift for brintbiler frem mod 2015 kan skabe grundlag for påbegyndelsen af en markedsintroduktion af brintbiler.

I løbet af 2012 bør en langsigtet national udrulningsstrategi for både batteri- og brintbiler formuleres. Strategien kan bidrage til dels at sætte de offentlige rammer for udrulningen fra 2015-2025 samt belyse perspektiverne frem mod 2050.

Forlængelse af afgiftsfritagelsen til 2015 kan gøre brintbiler konkurrencedygtige. I takt med at prisen på brintbiler reduceres kan registreringsafgiften øges frem mod 2025. Afgiften bør indføres i tempo som sikrer at brintbiler løbende er konkurrencedygtige. Samlet provenutab i afgiftslempelser for 108.000 brintbiler (4,6% af bilparken) frem mod 2025 er estimeret til 1,45 milliarder kr. Brint forudsættes introduceret i de større biler, mens batterier med fordel kan prioriteres i de mindre biler.

Rammebetingelser kan gøre det attraktivt for virksomheder at investere i brintinfrastruktur. 30% investeringstilskud i perioden 2015-2020 og med fuld udfasning frem mod 2025 vil være på niveau med Regeringens forslag om støtte til biogas via "Igangsætningspuljen". Et gennemsnitligt tilskud på 41 øre/kWh brint optanket frem mod 2025 og med fuld udfasning i 2025 vil være på niveau med det nuværende tilskud til elektricitet fra biogas anlæg. Det samlede tilskud til brint infrastruktur for perioden 2015-2025 vil andrage 1,075 mia. kr. med fuld udfasning i 2025.

Rammebetingelserne for brint infrastruktur kan fremrykke tilbagebetalingen for infrastruktur investeringen frem mod 2025 fra netop 2025 til 2022. Dermed er tilbagebetalingen indenfor en tidshorisont som er attraktiv for private investorer. Ligeledes reduceres investeringstrækket fra 684 mio. kr. i 2021 til 310 mio. kr. i 2019. Garanterede lån fra eksempelvis investeringsbanker kan bidrage til finansieringen. Udstedelse af infrastruktur licenser kan også bidrage til at gøre investering attraktiv. Fra 2025 og frem kan afgifter på elektricitet og brint løbende øges.

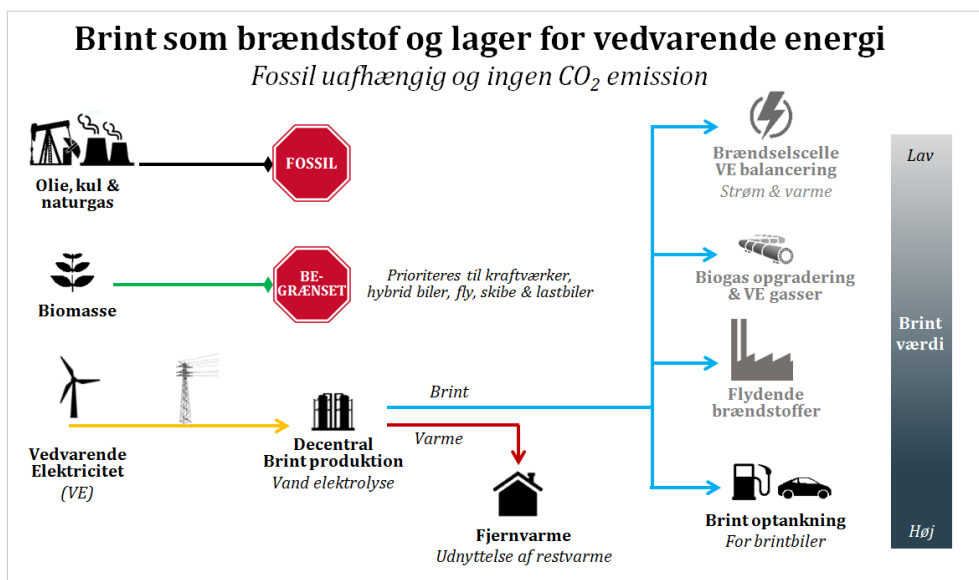
Indholdsfortegnelse

Baggrund & introduktion.....	2
Sammenfatning af hovedresultater.....	3
1. Brint i et fossilt uafhængigt energisystem	10
1.1 Brint som brændstof i elbiler	11
1.2 Brint som lager for vedvarende energi.....	13
1.2.1 Brintproduktions- og balanceringskapacitet & elforbrug frem mod 2050.....	14
1.2.2 Brintlagrings- & balanceringskapacitet på tankstationer frem mod 2050.....	15
1.2.3 Brintlagrings- & balanceringskapacitet i brintbiler frem mod 2050.....	16
2. Dansk Skandinavisk styrkeposition og muligheder	17
2.1 Scandinavian Hydrogen Highway Partnership	17
2.2 Dansk styrkeposition indenfor brint & brændselsceller	19
3. Status og potentielle brintbiler 2012-2050	21
3.1 Status & energiforbrug brintbiler samt markedsplaner.....	21
3.2 Pris for brintbiler og reduktion frem mod 2050	23
3.3 Potentiel udbredelse af brintbiler i Danmark frem mod 2050	25
4. Status og potentielle brint-infrastruktur 2012-2050	27
4.1 Brint infrastruktur koncept & udrulning.....	27
4.2 Brint infrastruktur drift & investering	30
4.2.1 Brint infrastruktur energieffektivitet & drift.....	30
4.2.2 Brint infrastruktur investering	32
5. Partikel & CO₂ reduktionspotentiale 2012-2050.....	33
5.1 Reduktion af partikel emissioner & helbredseffekter	33
5.2 Samlet energieffektivitet & reduktion af CO ₂ udledning.....	34
5.2.1 Udvikling i brintbil "Kilde-til-Hjul" energiforbrug frem mod 2035.....	34
5.2.2 Udvikling i CO ₂ emissioner fra elproduktion i Danmark frem mod 2050.....	35
5.2.3 Udvikling i CO ₂ emissioner pr. kørt km i Danmark frem mod 2050.....	36
5.2.4 Reduktion i CO ₂ emissioner fra brintbiler frem mod 2050.....	37
6. Eksport & arbejdspladser i brint infrastruktur	38
6.1 Værdikæden for dansk brint infrastruktur teknologi.....	38
6.2 Eksport- og arbejdsplads-potentiale for brint infrastruktur	39
6.3 Eksport værditilvækst indenfor brint infrastruktur	40
7. Rammebetingelser & omkostninger frem mod 2025	41
7.1 2012 – 2015 Demonstration og lempet afgift.....	42
7.2 2015–2025 Opbygning af kritisk masse, øget afgift/udfasning af tilskud	43
7.2.1 Indfasning af registreringsafgift på brintbiler	43
7.2.2 Udfasning af tilskud til brint infrastruktur.....	44
7.3 2025-2050 - Kommerciel udrulning & fuld afgift.....	46

1. Brint i et fossilt uafhængigt energisystem

Opnåelse af den danske ambition om uafhængighed af fossile brændstoffer i energisektoren kræver lagring af vedvarende energi i brint.

Rollen for brint i et fossilt uafhængigt energisystem er illustreret nedenfor.



Grundforudsætningen er at udelukkende vedvarende elektricitet anvendes til brintproduktion ved spaltning af vand, mens den begrænsede biomasse prioriteres til kraftværker, hybridbiler og tung transport såsom fly, skibe og lastbiler.

Brintproduktionen kan ske ved brinttankstationer eventuelt placeret i nærheden af decentrale kraftvarmeværker eller fjernvarmenet så at restvarmen kan udnyttes.

Brint vil kunne anvendes adskillige steder i energisystemet, men anvendelse i personbiler er der hvor brint opnår særlig høj værdi da den erstatter brændstof som har en højere værdi end eksempelvis strøm og varme produktion¹. Som beskrevet i afsnit 1.1. er brint til transport også en forudsætning for at bilparken i Danmark kan blive fossil uafhængig frem mod 2050, da batterier og hybridbiler alene ikke er nok.

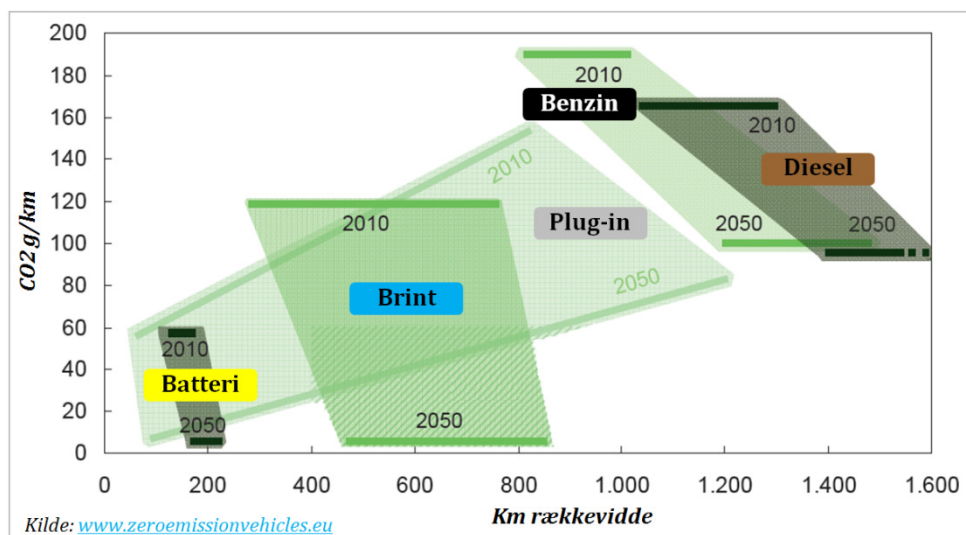
Brint vil også kunne anvendes som komponent i eksempelvis opgradering af biogas eller produktion af VE-gasser og flydende brændstoffer. Konvertering af brint til strøm og varme i brændselsceller vil kunne sikre energi når vinden ikke blæser. Grundet energitab og konkurrence med eksempelvis biogas er værdien af brint lavere ved konvertering til strøm og først rentabelt ved høj andel af vedvarende energi.

Samlet set gør de mange anvendelsesmuligheder for brint, at den kan agere som et lager for fluktuerende vedvarende energikilder. Netop energilagring i brint er nødvendig for at 100% vedvarende energi i energiforsyningen i 2050 kan balanceres, jf. yderligere i afsnit 1.2.

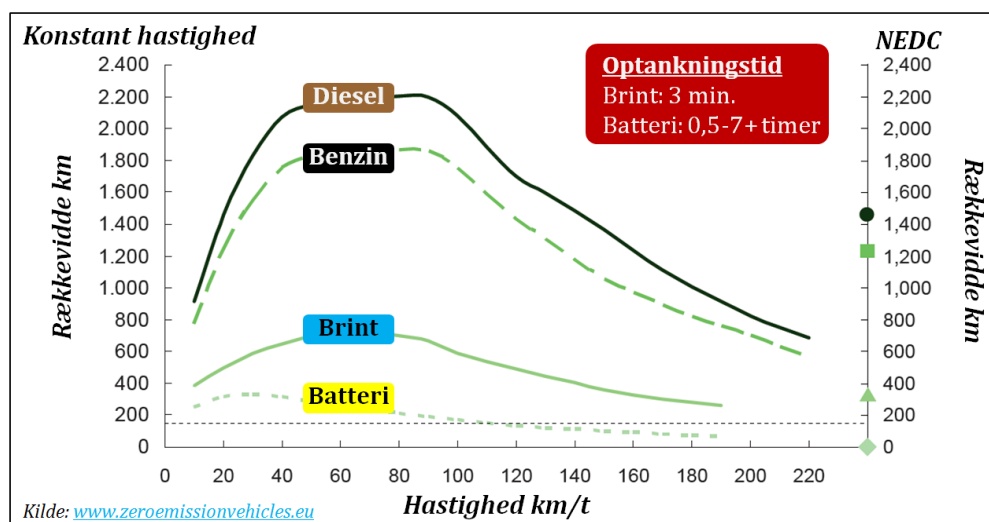
¹ "PlanSOEC" projekt nr. 2010-1-10432 FORSKEL-2010-Energinet.dk

1.1 Brint som brændstof i elbiler

En omstilling til fossil uafhængighed i den danske transportsektor frem mod 2050 kræver øget anvendelse af elektricitet, da hybridisering og biobrændstof ikke alene er nok. Figuren nedenfor er fra en nylig EU analyse² og viser forventet udvikling i CO₂ udledningen pr. km for forskellige fremdriftsteknologier frem mod 2050. Som det ses er det kun brint og batterier som har potentiale for nul CO₂ udledningen.



Elektrisk fremdrift af alle typer personbiler kræver brug af både batterier og brint drevne brændselsceller. Batterier er velegnede i mindre biler og til korte ture grundet kort rækkevidde og lang opladningstid, mens den hurtige optankning og lange rækkevidde for brint gør den anvendelige i større biler og længere ture. Figuren nedenfor viser rækkevidden for fremdriftsteknologierne i forhold til hastigheden.

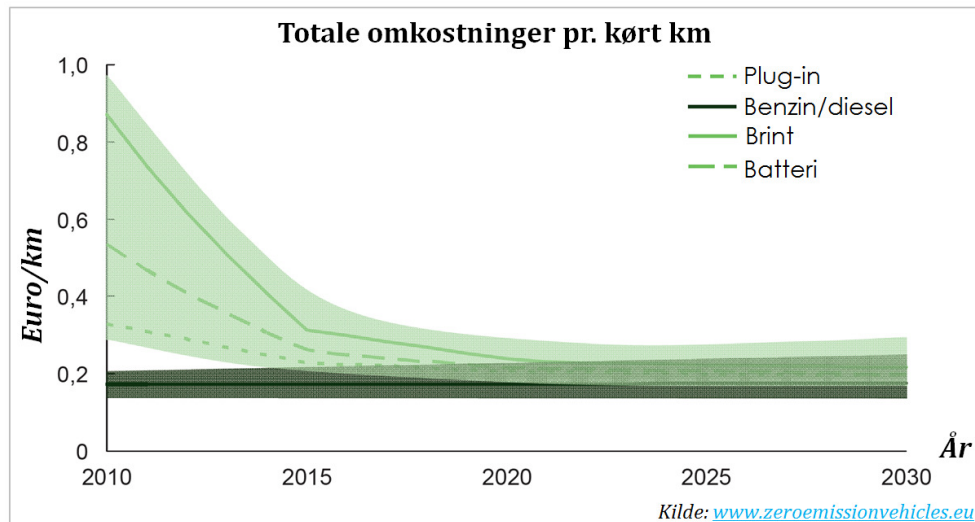


De forskellige egenskaber for brint og batterier er også grunden til at bilproducenter udvikler begge teknologier og målretter anvendelsen mod forskellige køretøjsbehov.

² "A portfolio of power-trains for Europe" www.zeroemissionvehicles.eu

I dag er både batterier og brint dyrere pr. kørt km end konventionelle løsninger på benzin og diesel samt hybridbiler. En markedsintroduktion af både batterier og brint og stigende produktionsvolumen kan bidrage til at reducere prisen.

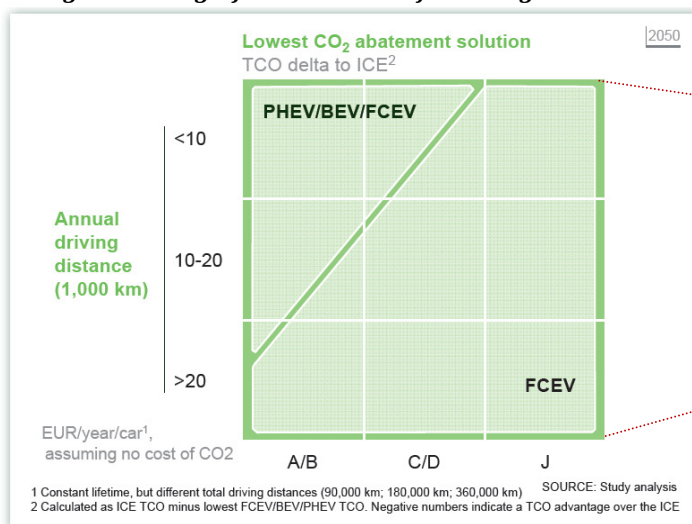
Figuren nedenfor viser 11 bilproducenters³ forventninger til reduktion i totale omkostninger (TCO)⁴ for forskellige fremdriftsteknologier frem mod 2030.



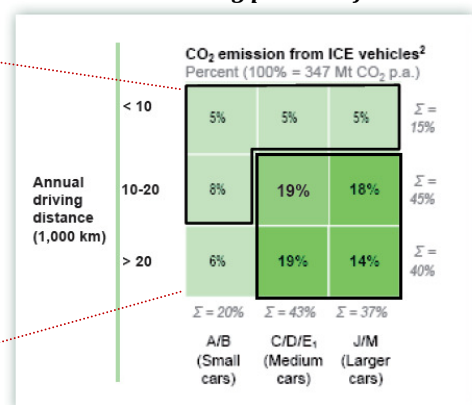
Fra 2025 og frem mod 2030 begynder brint/batterier at nærme sig omkostningerne for de konventionelle teknologier og vil således være konkurrencedygtige.

I 2050 forventes brint at være billigst pr kørt kilometer i de større biler som udgør 50 procent af bilparken i EU og 75 procent af CO₂ udledningerne, mens prisen vil være på niveau med batterier i de mindre køretøjer, som illustreret nedenfor.

Billigste teknologi i forhold til køretøjsklasse og kørselsbehov



EU CO₂ udledning på køretøjsklasser



Kilde: www.zeroemissionvehicles.eu

³ BMW AG, Daimler AG, Ford, General Motors LLC, Honda R&D, Hyundai Motor Company, Kia Motors Corporation, Nissan, Renault, Toyota Motor Corporation, Volkswagen - www.zeroemissionvehicles.eu

⁴ TCO = Total Cost of Ownership - inkluderer køretøj, brændstof, service & infrastruktur

1.2 Brint som lager for vedvarende energi

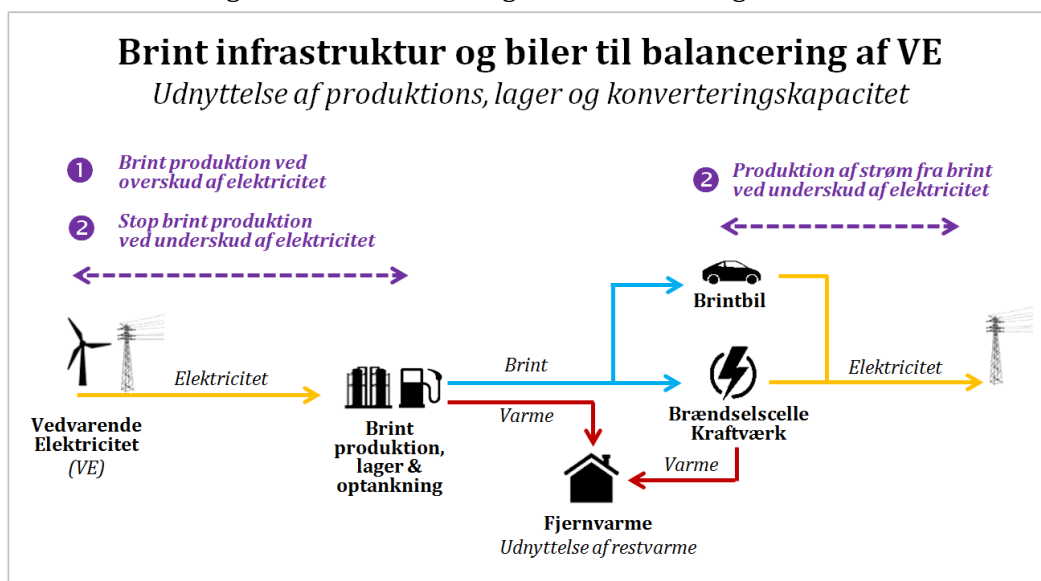
Ifølge Energinet.dk's analyse "Energi 2050 – Vindsporet" vil en omstilling til 100% vedvarende energi betyde at elproduktionen vil ændres fra at 80% i dag er regulerbart (eks. kraftværker) til at 80% i 2050 er uregulerbart som følge af en øget andel af vedvarende og fluktuerende energikilder⁵.

Elforbruget vil ifølge Energinet.dk analysen vokse fra 40TWh til 80TWh om året i 2050 bl.a. som følge af øget forbrug af elektricitet i transportsektoren (11TWh) samt elforbrug til brint produktion fra elektrolyse (6-10TWh).

Stigningen i elforbrug kan bl.a. dækkes ved at øge vindmølle kapaciteten til omkring 17GW i 2050. En så høj andel af vind og andre fluktuerende energikilder kan ifølge Energinet.dk øge det øjeblikkelige spidsbalanceringsbehov til mere end 10GW.

I 500-1.500 timer om året (i 2050) kan vindproduktionen, ifølge Energinet.dk være så utilstrækkelig at der er behov for 6GW spidskapacitet fra eksempelvis brændselsceller som omdanner lagret brint eller metan (VE-gasser) til strøm og varme. Udsvingene kan kræve at der i perioder lagres mere end 3,5TWh energi i form af gas.

En brint infrastruktur i form af produktion, lager og optankning samt brændselsceller i kraftværker og biler vil kunne bidrage med balanceringskapacitet som skitseret nedenfor:



I perioder med overskud af elektricitet vil brintproduktionen ved tankstationen kunne øges og den producerede brint lagres på tankstationen. I perioder med underskud af elektricitet kan brintproduktionen stoppes og der tappes på lageret. Ydermere vil brændselsceller, enten i biler eller større anlæg ved kraftværker kunne omdanne brint til elektricitet og varme. På de følgende sider er balanceringspotentialet beregnet med udgangspunkt i at brintbiler udvikler sig til at udgøre 50% af bilparken i 2050 (jf. afsnit 3 og 4).

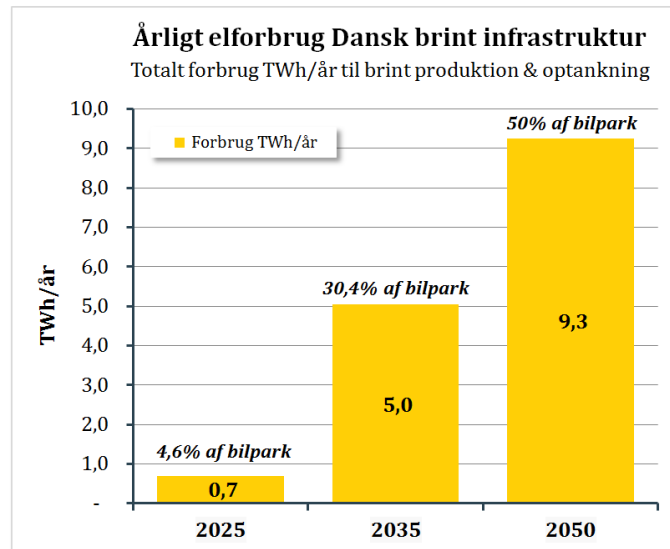
⁵ Energinet.dk: "Energi 2050 – vindsporet" side 21

1.2.1 Brintproduktions- og balanceringskapacitet & elforbrug frem mod 2050

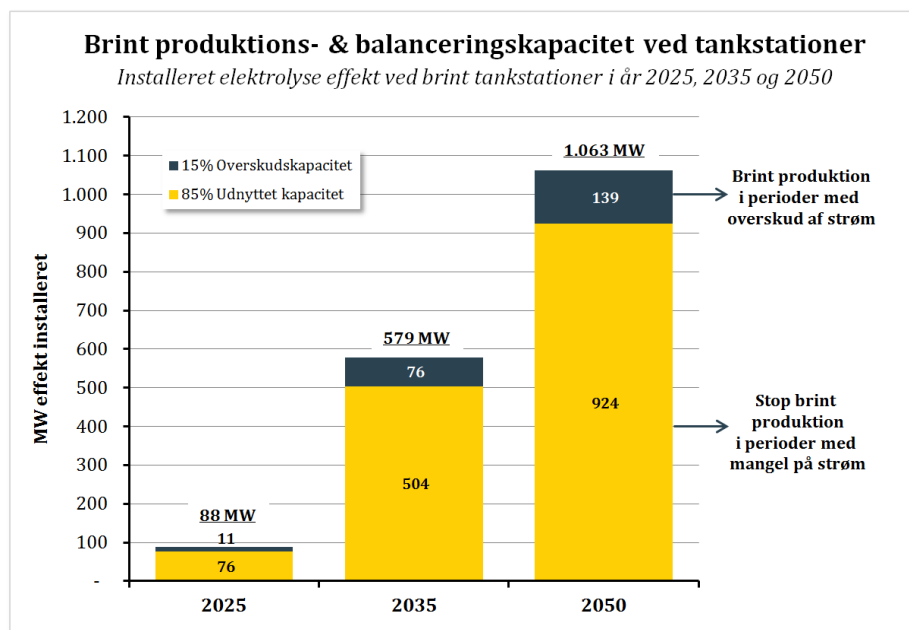
Udviklingen i det årlige elforbrug til brint produktion og optankning for en dansk brint infrastruktur frem mod 2050 (50% af bilpark) er vist i figuren nedenfor.

Som det ses vil forbruget i 2050 udgøre 9,3TWh om året, hvilket er indenfor de 11TWh som er skitseret fra Energinet.dk for elforbrug til transportsektoren. Hertil skal tillægges forbruget til opladning af batteri og hybridbiler (45% af bilparken).

Elforbruget er beregnet på basis af forventet udvikling i energieffektiviteten for brint infrastruktur, jf. afsnit 4.2



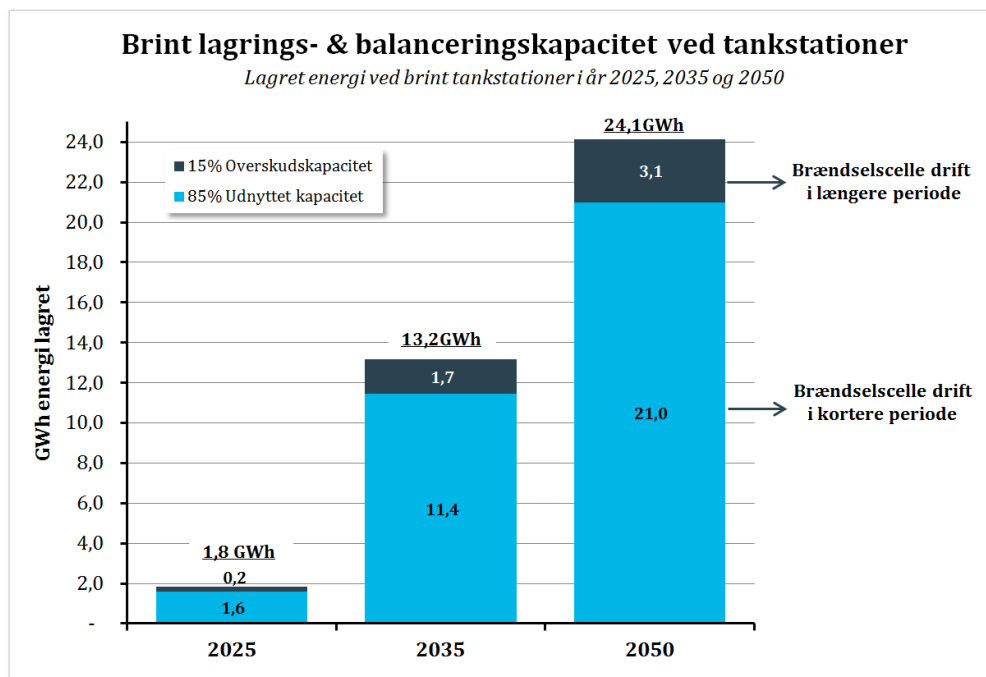
Udviklingen i brintproduktionskapaciteten frem mod 2050 er vist i figuren nedenfor.



For at kunne håndtere spidsbelastninger på tankstationer er brintproduktions- og lagerkapaciteten kun udnyttet 85%, dvs. der er et overskud på 15%. I 2050 vil de 15% svare til 139MW som kan startes i længere perioder hvor der er overskud af strøm. De 85% vil svare til 924MW i 2050 og vil kunne stoppes i kortere perioder med mangel på strøm mens tankstationen udnytter overskuddet i lageret. Totalt kan brintproduktionen bidrage med 1GW i øjeblikkelig regulering, svarende til cirka 10% af det forventede maksimale øjeblikkelige balanceringsbehov i 2050 på 10GW. For dog ikke at komme bagud med brintproduktionen til tankstationernes basisforbrug kan reguleringen pr. 24 timer ikke overstige de 15% overskudskapacitet.

1.2.2 Brintlagrings- & balanceringskapacitet på tankstationer frem mod 2050

Udviklingen i brintlagerkapaciteten på tankstationer frem mod 2050 er vist nedenfor.



Lageret på tankstationerne er dimensioneret efter at cirka 60% af dagskapaciteten skal kunne tankes på biler i løbet af en tre timers spidsbelastningsperiode. Som for brintproduktionen er kun 85% udnyttet mens 15% er i overskud.

I 2050 vil de 15% svare til 3,1GWh som kan anvendes til strøm og varmeproduktion i brændselsceller i længere perioder hvor der er underskud af strøm. De 85% vil svare til 21GWh i 2050 og vil kunne anvendes af brændselsceller i kortere perioder hvor der ikke er spidsbelastning på tankstationerne. Samlet set kan dog kun totalt 15% udnyttes pr. dag (på tværs af de to lagringsandele) da brint produktionen skal have 24 timer til at opbygge kapaciteten til næste spidsbelastningsperiode.

Hvad angår konvertering af brint til strøm vil det kunne ske med forskellige brændselscelletyper eksempelvis SOFC som allerede er under udvikling af danske aktører.

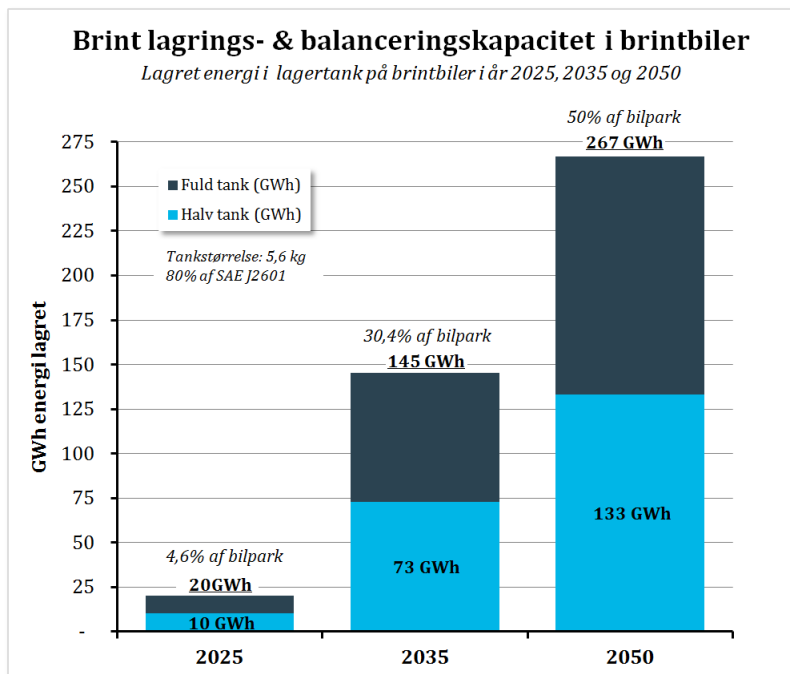
Billige brændselsceller fra transportsektoren vil også anvendes da der kun kan forventes 500-1.500 driftstimer om året. Derfor skal brændselscellen være billig og effektiv for at muliggøre en rentabel investering mens krav til levetid er beskedent.

Som beskrevet i afsnit 3, forventes brændselsceller til transport at nå et betydeligt lavt prisniveau. Ved stabil drift og optimal belastning kan virkningsgraden nå 55-60% ligesom at levetiden forlænges sammenlignet med dynamisk drift i et køretøj.

Såfremt en pris for brændselscelle balanceringsanlæg på €200-400/kW nås i 2050 vil etableringen af 6GW spidsbelastningskapacitet kræve en investering på 9-18 mia. kr. Prisen er en faktor 2-4 af den forventede pris for brændselsceller i biler, hvilket vurderes at være tilstrækkeligt til at dække ekstra omkostninger til DC/AC integration med elnettet samt udstyr til udnyttelse af restvarmen til fjernvarme.

1.2.3 Brintlagrings- & balanceringskapacitet i brintbiler frem mod 2050

Et mere radikalt alternativ til brændselscellekraftværker er at anvende brændselscellerne i den danske brint bilpark til at levere strøm til elnettet i kortere perioder. Udviklingen i brintlager kapaciteten i brintbiler frem mod 2050 er vist nedenfor.



Den gennemsnitlige tankstørrelse i brintbiler er sat til 80% af den maksimale tankstørrelse i den internationale SAE J2601 standard for påfyldning af brintbiler, svarende til 5,6kg. Som det ses af figuren opnås et betydeligt energilager på 133-267GWh ved henholdsvis 50% og 100% fyldt tank i hele brint bilparken i 2050.

Med en gennemsnitlig brændselscelle størrelse for hver bil på 75kW skal der kun 80.000 brintbiler til at levere 6GW spidsbelastningskapacitet i 2050, svarende til 5,6% af brint bilparken i 2050.

På trods af det åbenlyse balanceringspotentiale bør en række forhold afklares yderligere førend potentialet kan kvantificeres og sandsynliggøres:

- Brug af brintbiler til balancering kræver at hovedparten er plug-in-hybrider og dermed kan forventes at koble sig til elnettet i perioder – i dag er de fleste brintbiler hybrid, dog arbejdes der med plug-in hybrid udgaver
- Betalingen til køretøjsejer for balanceringen skal dække både brint (høj pris sammenlignet med centrale brændselscelleanlæg) samt omkostninger til service og levetidsafskrivning for de timer brændselscellen leverer balancering
- Hertil kommer ekstra omkostninger på køretøjet til DC/AC konverteringsudstyr samt opladningsstik og opkobling til elnettet via elinstallationer.
- Styring & overvågning af bilernes indkobling på nettet kan vise sig komplekst – særligt håndteringen af slutbrugeres spontane anvendelsesmønstre
- Slutbrugernes accept af reduceret rækkevidde i køretøjet efter leverance af balancering til elnettet skal vurderes

2. Dansk Skandinavisk styrkeposition og muligheder

Gennem samarbejde med de Skandinaviske og Nordiske lande har Danmark forudsætningerne for at blive et blandt de første markeder for brint til transport, hvilket kan skabe et hjemmemarked for danske teknologier med et stort eksportpotentiale.

2.1 Scandinavian Hydrogen Highway Partnership

Siden 2006 har aktører i Norge, Sverige og Danmark samarbejdet under "Scandinavian Hydrogen Highway Partnership"⁶ (SHHP), med henblik på at sikre området som et blandt de første i verden hvor brintbiler introduceres på markedet. SHHP blev initieret gennem midler fra Nordisk Energiforskning og Nordisk Innovationscenter. Dialog er også etableret med bl.a. Island, Tyskland, Californien, Sydkorea, Japan og North Atlantic Hydrogen Association⁷ som bl.a. inkluderer Færøerne og Grønland.

Siden 2006 er forsknings, udviklings- og demonstrationsaktiviteter indenfor brint til transport for mere end 0,5 milliarder kroner blevet igangsat på tværs af landene.

Foruden nationale F&U projekter er adskillige større demonstrationsprojekter blevet igangsat med støtte fra det 3,7 mia. kr. store Europæiske FCH-JU program⁸ samt EUDP og Trafikstyrelsen.

De mange projektaktiviteter har muliggjort afprøvning af et væld af forskellige brintkøretøjer og produktions- og optankningsteknologier. Samlet er mere end 50 køretøjer blevet afprøvet over årene og 10 brint tankstationer sat i drift, med yderligere 2 under etablering.

Vigtige brintaktiviteter i Skandinavien F&U & demonstration for over 0,5 mia. kr. siden 2006

Scandinavian Hydrogen Highway Partnership

H2MOVES Scandinavia

- 19 stk. brintbiler fra bilproducenter
- Storskala brint tankstation i Oslo
- 145 millioner kr. budget

CHIC – Oslo

- 5 stk. brint bybusser
- Tankstation brintbusser i Oslo
- 134 millioner kr. budget

NextMove

- Brintbiler i København, Oslo & Malmø
- Mobil brint optankning
- 45 millioner kr. budget

HyTEC-DK

- 10+ stk. brintbiler i København
- Netværk af brint tankstationer i byen
- 56 millioner kr. budget

Brintkøretøjer og stationer i Skandinavien Mere end 50 køretøjer | 10 stationer – 2 under etablering

Scandinavian Hydrogen Highway Partnership

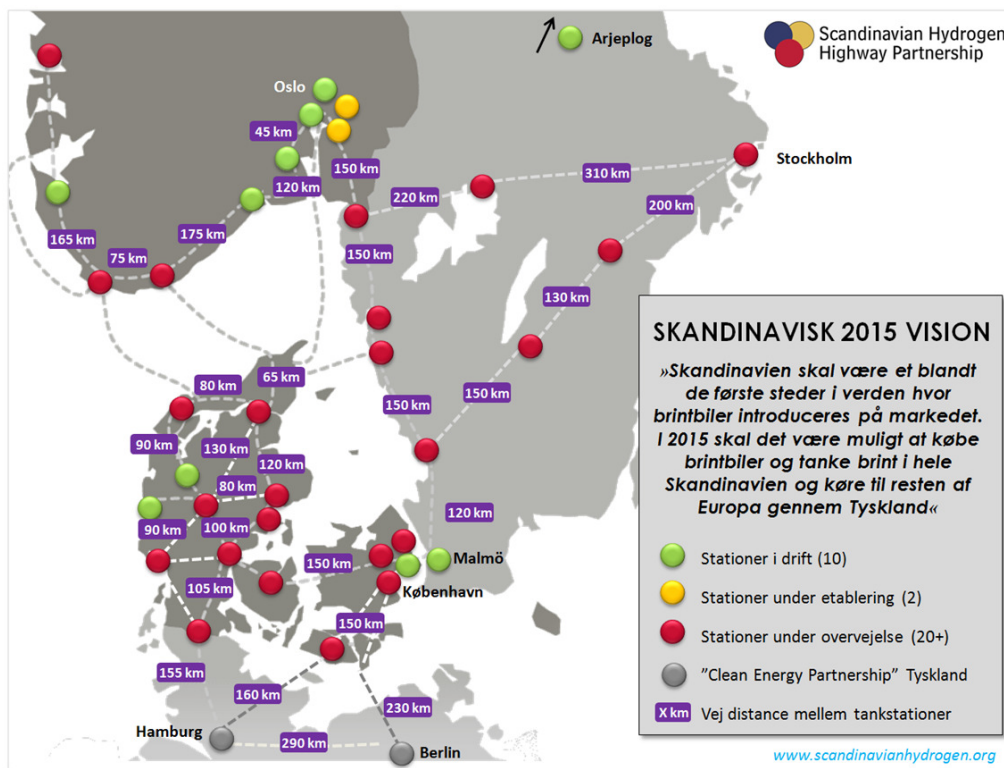
Køretøj	Antal	Station	År
Toyota Prius H2	15 stk.	Malmö (SE)	2003
Mazda RX8 H2	4 stk.	Stavanger (NO)	2006
TH!NK FCEV	16 stk.	Porsgrunn (NO)	2007
Hyundai ix35 FCEV	4 stk.	Ringkøbing (DK)	2008
Mercedes F-Cell	10 stk.	Økern Oslo (NO)	2009
Van Hool FC Bus	5 stk. (2012)	Drammen (NO)	2009
		Copenhagen (DK)	2009
		Arjeplog (SE)	2010
		Holstebro (DK)	2011
		Gaustad Oslo (NO)	2011
		Lillestrøm (NO)	2012
		Oslo Bus (NO)	2012

⁶ www.scandinavianhydrogen.org

⁷ www.newenergy.is/naha

⁸ "European Fuel cells & Hydrogen Joint Undertaking" www.fch-ju.eu

Samlet set har Skandinavien i dag et af verdens mest udbyggede netværk af brint tankstationer. Planer er under udarbejdelse som skal sikre et dækkende netværk af tankstationer på tværs af landene frem mod 2015 som vist på kortet nedenfor.



Et dækkende netværk i 2015 kan muliggøre en markedsintroduktion af brintbiler, da det således er muligt at køre på tværs af landene på brint, og gennem Tyskland kan resten af Europa nås. Hertil kommer at de Nordiske lande besidder den største andel og bredeste portefølje af vedvarende energikilder, hvilket gør området attraktivt for udvikling af en brint forsyning baseret på vedvarende energi.

De danske og Nordiske aktiviteter har således allerede skabt stor interesse blandt bilproducenterne. I 2010 blev det 145 mio. kr. H2MOVES projekt igangsat med støtte fra bl.a. EUDP hvor bilproducenten Daimler skal afprøve brintbiler som optankes med dansk udviklet teknologi⁹.

I januar 2011 underskrev SHHP samarbejdet og Island en hensigtserklæring med Hyundai/Kia omkring udrulning af brintbiler i Norden¹⁰. Allerede 4 måneder senere blev den nyeste Hyundai brintbil lanceret i København for første gang udenfor Sydkorea, under overværelse af den danske statsminister og sydkoreanske præsident¹¹.

Foruden Hyundai og Mercedes er der en løbende tæt dialog med alle ledende bilproducenter om lignende initiativer, der kan sikre markedsintroduktion fra 2015.

⁹ <http://www.hydrogenlink.net/brintbiler-til-skandinavien-06072010.asp>

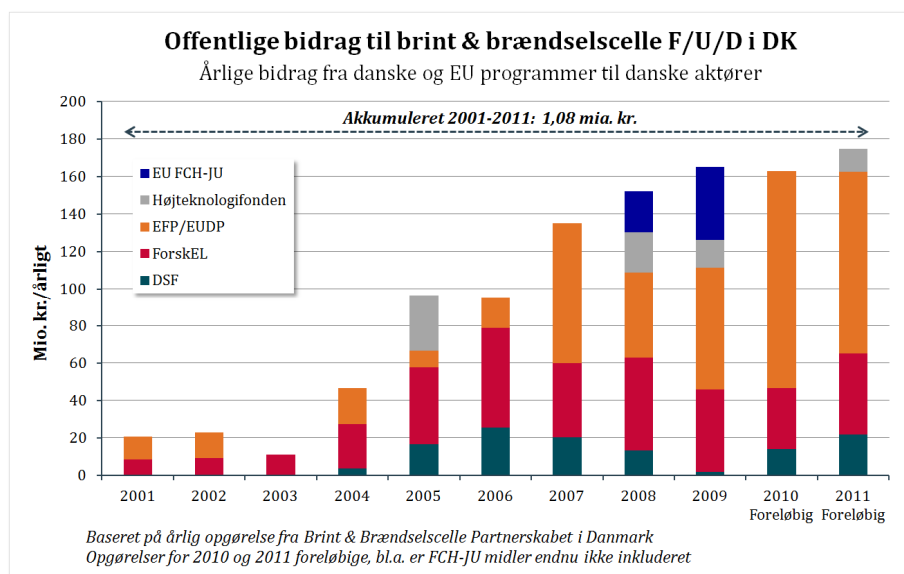
¹⁰ http://www.hydrogenlink.net/PM_Hyundia-Kia-brintbiler-til-nordiske-lande-03-02-2011.asp

¹¹ http://www.hydrogenlink.net/PM_hyundai-kia-fremvises-i-skandinavien-13-05-2011.asp

2.2 Dansk styrkeposition indenfor brint & brændselsceller

Tiltrækningen af brintbiler og sikring af markedsintroduktion, kan skabe et af de bedste områder for at udvikle produktions, lagrings og optankningsteknologier til selve brintinfrastrukturen, hvilket netop er fokus for de danske aktører. Hertil kommer betydelige potentialer indenfor underleverancer til bilproducenter.

Danmark er det land i verden med det højeste offentlige bidrag til forskning, udvikling og demonstration (F/U/D) indenfor brint og brændselsceller målt på BNP. Som vist på figuren nedenfor er de samlede offentlige bidrag på 1,08 mia. kr. siden 2001 og med mere end 170 mio. kr. i 2011 (foreløbig opgørelse). Hertil kommer mere end en tilsvarende investering fra private virksomheder.



Den danske brint og brændselscelle industri er organiseret i et Partnerskab¹² hvor industrielle og offentlige aktører (bl.a. EUDP, DSF og Energinet.dk) sammen udarbejder strategier for forsknings-, udviklings- og demonstrationsaktiviteterne. Dette er med til at sikre et vigtigt samarbejde og koordinering mellem offentlige og private aktører og dermed en effektiv udmøntning af de offentlige midler.

I 2008 blev en specifik strategi for transportområdet¹³ udarbejdet der agerer som guide for de mange F/U/D aktiviteter indenfor området. Hertil kommer arbejdet fra Hydrogen Link Danmark¹⁴ om at fremme etableringen af brint tankstationer og udrulning af brintbiler i Danmark og varetagelsen af SHHP samarbejdet i Skandinavisk regi.



¹² Partnerskabet for Brint og Brændselsceller i Danmark www.hydrogenet.dk

¹³ http://www.hydrogenet.dk/fileadmin/user_upload/PDF-filer/Partnerskabet/Strategifoelgegrupper/Transport_strategifoelgegruppe/Strategi_transport.pdf








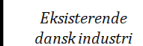


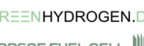

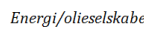
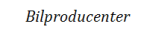









¹⁴ Foreningen Hydrogen Link Danmark www.hydrogenlink.net

Gennem en række EUDP støttede projekter er dansk infrastrukturteknologi allerede under udvikling og afprøvning. Danske aktører er således blandt kun få virksomheder globalt som har teknologi til at foretage hurtig optankning af brint på tre minutter, ligesom at dansk teknologi til brintproduktion er blandt de mest effektive i verden. Danske komponenter indgår også i brintbiler fra bilproducenterne.

Siden 2008 er adskillige danske F/U/D projekter indenfor brint til transport blevet iværksat som vist på figuren, foruden de førmtalte (afsnit 2.1) Nordiske projekter. Alene i efteråret 2011 er udviklingsprojekter for mere end 120 mio. kr. blevet igangsat med støtte fra bl.a. EUDP og Det Strategiske Forskningsråd. Demonstrationsaktiviteterne siden 2008 andrager 125 millioner kroner, inklusiv den danske andel af de nordiske projekter.



De mange projekter har en aktiv deltagelse af adskillige virksomheder som er aktive indenfor hele værdikæden. Det gælder både eksisterende virksomheder med velkendt teknologi i en ny anvendelse såvel som nye virksomheder som udvikler ny teknologi gennem de mange F&U aktiviteter. Figuren nedenfor viser udvalgte virksomheder indenfor brint produktion og anvendelse.

Brint produktion, optankning & anvendelse – udvalgte danske industri aktører					
	 BALANCERING	 PRODUKTION	 DISTRIBUTION/LAGRING	 OPTANKNING	 KØRETØJER
DRIFT/YDELSER	  	  			
SYSTEMER	Eksisterende dansk industri	 	Eksisterende dansk industri		 
KOMPONENTER	Eksisterende dansk industri				

Med en forventet markedsintroduktion af brintbiler fra omkring 2015 kan danske aktører således allerede nu skabe forretningsmuligheder og arbejdspladser, i lighed med de seneste årtiers udvikling indenfor blandt andet vindmølleindustrien.

Eksport og arbejdspladspotentialet for danske produkter indenfor brintinfrastruktur er yderligere beskrevet i afsnit 6.

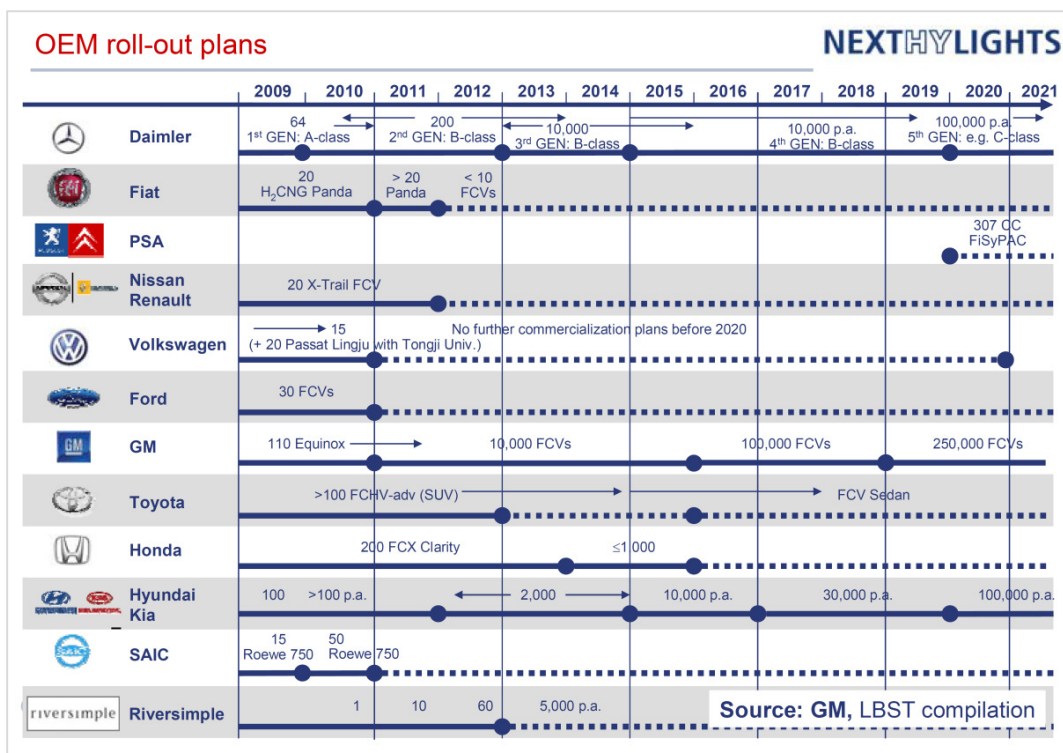
3. Status og potentielle brintbiler 2012-2050

3.1 Status & energiforbrug brintbiler samt markedsplaner

Størstedelen af de ledende bilproducenter har arbejdet med udvikling og afprøvning af brintbiler siden 1990'erne og med en stigende indsats de senere år.

På baggrund af adskillige teknologiske fremskridt underskrev bilproducenterne i 2009 en hensigtserklæring om at arbejde frem mod en markedsintroduktion omkring 2015¹⁵. I løbet af 2011 har adskillige bilproducenter bekræftet deres intentioner om markedsintroduktion i 2015, bl.a. Toyota¹⁶, Daimler¹⁷ og Hyundai¹⁸. Seneste har Hyundai og Daimler truffet beslutning om at igangsætte en præproduktion af adskillige tusinde brintbiler i perioden 2013-2015, hvilket er sidste udviklingstrin før påbegyndelse af storskala produktion.

Figuren nedenfor viser en sammenstilling af forskellige bilproducenters udrulningsplaner for brintbiler, fra EU studiet NextHylights¹⁹.



Udviklingsindsatsen fra bilproducenterne har flyttet brint og brændselscelle teknologien betydeligt de senere år, og adskillige tekniske udfordringer er blevet løst.

¹⁵ <http://www.hydrogenlink.net/download/LoU-fuelcell-cars.pdf>

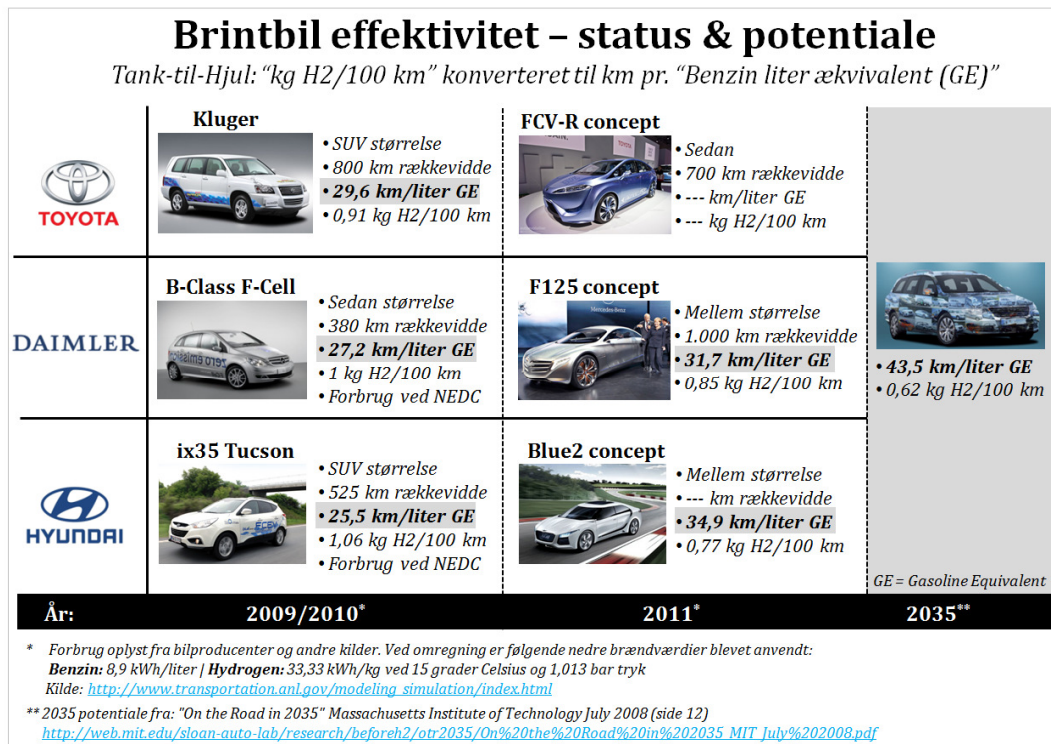
¹⁶ <http://www.carsguide.com.au/site/news-and-reviews/car-news/toyota-fuel-cell-car-for-2014>

¹⁷ <http://www.insideline.com/mercedes-benz/mercedes-benz-fuel-cell-car-ready-for-market-in-2014.html>

¹⁸ <http://www.hydrogenlink.net/hyundai-brintbil-paa-markedet-i-2015-19-12-2010.asp>

¹⁹ <http://www.nexthylights.eu/Publications/D2-3-Executive-Summary-of-Work-Plan-Passenger-Cars-V09.pdf> side 10 figur 5

Figuren nedenfor viser de seneste brintbil prototyper fra Hyundai, Daimler og Toyota, samt udviklingen i energiforbrug (effektivitet) og rækkevidde.



Som det ses har rækkevidden passeret de 500 km som anses som tilfredsstillende i forhold til benzin og diesel, og effektiviteten i form af brændstofforbrug forbedres løbende. Generelt er effektiviteten (tank-til-hjul) i en brintbil op til dobbelt så god som en tilsvarende sammenlignelig benzin bil. På sigt kan effektiviteten øges fra ca. 30+ km/liter benzin ækvivalent til mere end 40 km/liter gennem både hybridisering, vægt reduktion og øget virkningsgrad på selve brændselscellen (se kilder i figur). Samme tiltag vil også forbedre virkningsgraden for benzin og diesel biler dog vil der altid være en forskel op til brændselscellers højere effektivitet sammenlignet med forbrændingsmotorer.

På en række andre tekniske parametre er brintbiler også blevet forbedret:

- Hurtig opstart og dynamisk drift af brændselscellen²⁰
- Koldstart fra -30 grader Celsius (Toyota²¹)
- Levetid for brændselscellen i virkelig drift på 3.500 timer²² med målsætning om at nå 5.000 timer i 2015 tilstrækkelig for mere end 200.000 km kørsel. Mere end 7.000 timer er nået i laboratorium²³.
- 700bar lagring med 500+ km rækkevidde uden at begrænse plads i bilen
- Internationale standarder for påfyldningsstuds og påfyldningsmetode²⁴

²⁰ Brintbiler fra bilproducenter leverer øjeblikkelig opstart og hurtig acceleration som konventionelle biler

²¹ "Progress and Challenges For Toyota Fuel Cell Vehicle Development" Toyota F-Cell Conference Sep. 2011

²² "Advancements in Fuel Cell System Development" General Motor F-Cell Conference Sep. 2011

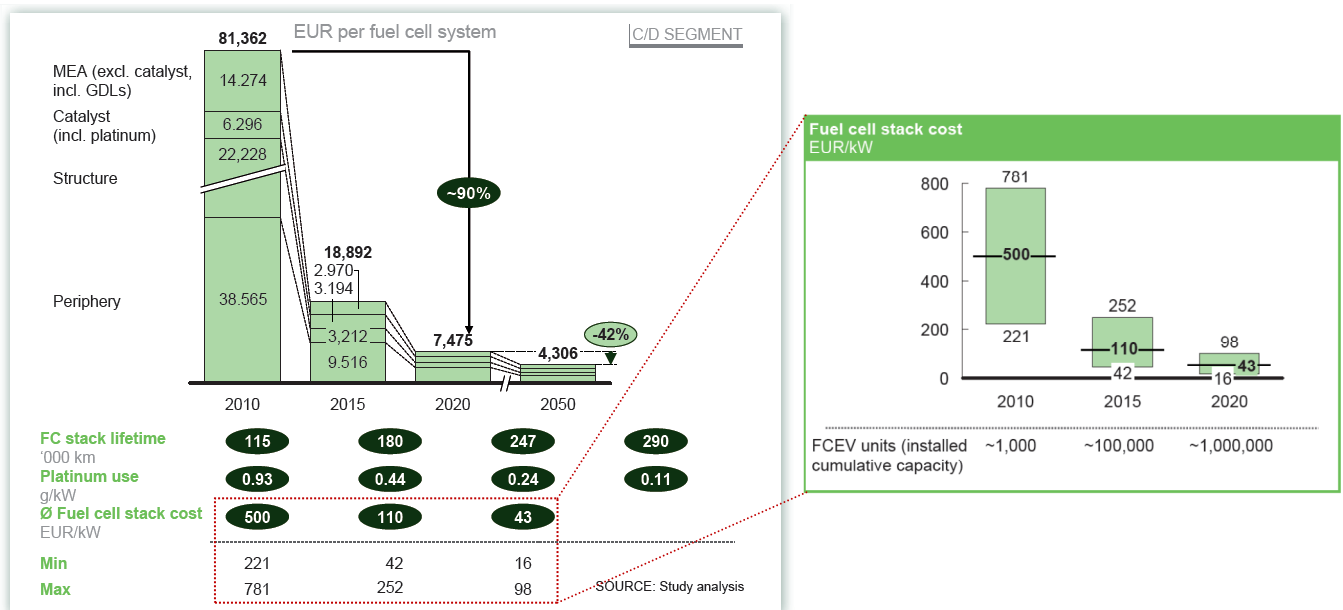
²³ "Hydrogen and Fuel Cell Activities, Progress, and Plans - Report to Congress" DOE Jan. 2009

²⁴ SAE J2600, SAE J2601 og SAE J2799 www.sae.org

3.2 Pris for brintbiler og reduktion frem mod 2050

Brintbiler er endnu ikke sat i masseproduktion og produktionen i dag begrænset til få hundrede pr. model, hvorfor prisen selvsagt er høj. Afgørende er imidlertid teknologens potentiale ved masseproduktion, særligt hvad angår brændselscellen.

En nylig analyse (EU-Power-train)²⁵ indeholder figurerne nedenfor som viser potentialet for reduktion af brændselscelle omkostninger frem mod 2050. Potentialet er baseret på udviklingsresultater og data fra 11 bilproducenter²⁶ for en bil i mellemklasse størrelsen. Pris i 2015 er ved 100.000 stk. og i 2020 ved 1 million stk. mens reduktionen frem mod 2050 er baseret på konservative lærekurver fra vind og sol.²⁷



Data på brændselscellestakprisen indikerer et spænd fra de forskellige bilproducenter samt et gennemsnit, som i 2020 giver en pris på €43/kW brændselscelle.

Hvor "EU Power-Train" studiet angiver bilproducenternes prisskøn foretager US Department of Energy (DOE) løbende ekstern evaluering af prisreduktionspotentialet ved en indikativ produktionsvolumen på op til 0,5 mio. stk. Seneste evaluering fra DOE 2010²⁸ viser et prispotentiale på \$25,39/kW (€18,4/kW) ved 0,5 mio. stk. 80 kW brændselscellestak. Evalueringen er foretaget ved en omfattende gennemgang af produktionsmetoder og materialer som indgår i brændselscellen.

Samlet set synes der at være et validt grundlag for prisreduktion såfremt et tilstrækkeligt volumen opnås gennem markedsintroduktion.

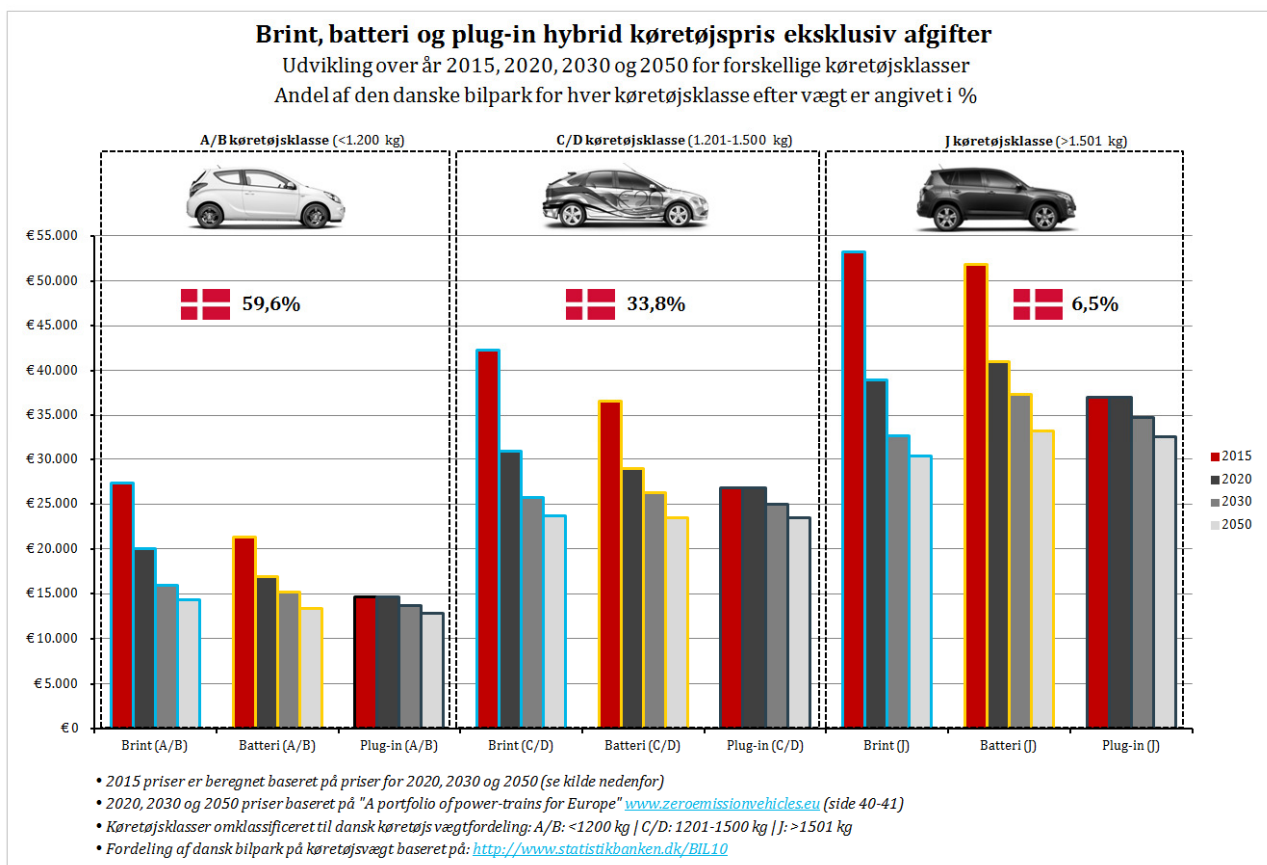
²⁵ Figur 21 side 34 og figur 54 side 60: "A portfolio of power-trains for Europe" www.zeroemissionvehicles.eu

²⁶ BMW AG, Daimler AG, Ford, General Motors LLC, Honda R&D, Hyundai Motor Company, Kia Motors Corporation, Nissan, Renault, Toyota Motor Corporation, Volkswagen

²⁷ Figur 42 side 54: "A portfolio of power-trains for Europe" www.zeroemissionvehicles.eu

²⁸ http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/dti_80kW_fc_system_cost_analysis_report_2010.pdf

Med ovenstående potentialer for reduktion i brændselscelleprisen har "EU Power-Train" studiet også beregnet samlet køretøjspriser for både brint, batteri og plug-in hybridbiler for forskellige årstal frem mod 2050, som vist i figuren nedenfor.



Figuren viser købsprisen for køretøjer i forskellige køretøjsklasser (efter vægt), eksklusiv afgifter. Andel af den danske bilpark for de forskellige klasser er ligeledes vist. Prissammenligningen for brint er foretaget primært med henblik på benchmark i forhold til plug-in hybrid, da det er denne type køretøj som brint på sigt skal supplere i bilparken. Selvom at brint først når køretøjsprisen for plug-in hybrid frem mod 2050 bliver den konkurrencedygtig på totale omkostninger allerede mellem 2025 og 2030 (se TCO beregning i afsnit 1.1). Det samme gælder for batteribiler.

Den nuværende fritagelse for registreringsafgift i Danmark gør at brintbiler i 2015 er konkurrencedygtige med plug-in-hybrid såvel som benzin, jf. beregningseksemplet nedenfor. I takt med at køretøjsprisen reduceres frem mod 2025 og at brint bliver konkurrencedygtig med plug-in-hybrid i forhold til totale omkostninger, kan registreringsafgiften løbende øges for brintbiler, se yderligere i afsnit 7.

Dansk afgiftsberegning - brintbil C/D køretøjsklasse 2015

	BRINT	BENZIN
Basis bilpris eks. moms & afgift	€ 39.500	€ 16.711
Moms 25%	€ 10.270	€ 4.178
Registreringsafgift	€ 0	€ 37.599
Total bilpris inkl. moms & afgift	€ 49.770	49.583*

*Listepris for sammenlignelig benzin bil i Danmark

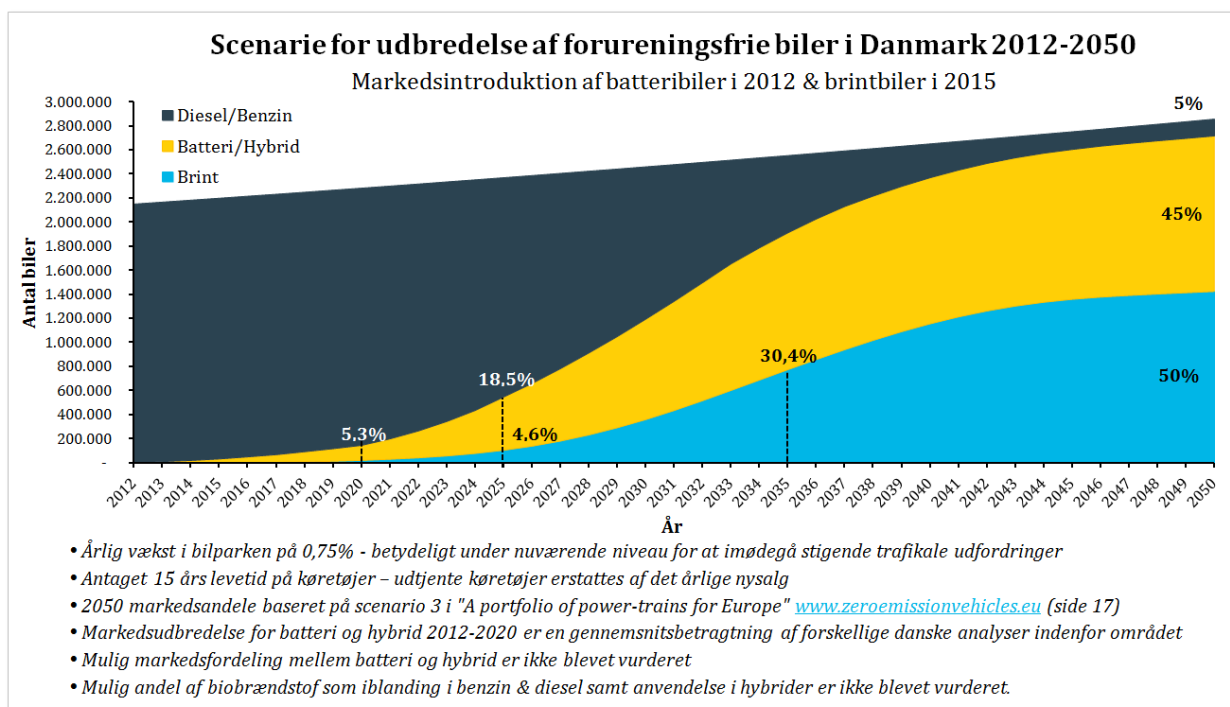
3.3 Potentiel udbredelse af brintbiler i Danmark frem mod 2050

En komplet omstilling fra benzin og diesel til biobrændstoffer og elektricitet i transportsektoren er nødvendig for at sikre fossil uafhængighed i 2050. Det kræver en markedsudbredelse af de nye teknologier i et hurtigere tempo end forudset i adskillige internationale analyser, eksempelvis IEA Blue Map²⁹ hvor kun halvdelen af bilsalget i 2050 er batteri/hybrid hvilket kun giver en CO₂ reduktion på 30%.

Det er dog muligt for Danmark at forfølge en hurtigere markedsudbredelse end resten af verden, da det danske marked er et lille og afgrænset og med en særlig afgiftsstruktur og niveau der giver rum for fremme af bestemte teknologier. Dette er i lighed med udbredelsen af vindmøller som i dag udgør en betydelig større andel af strømproduktionen i energisystemet end det er tilfældet i mange andre lande.

Tidligere omtalte EU Power-Train studie³⁰ fra bilproducenter og olieselskaber har regnet på et scenarie (3) som sikrer en næsten 100% omstilling til biobrændstoffer og elektricitet i 2050 for Europa. Her indregnes en betydelig udbredelse af brintbiler på 50% i 2050 som sammen med batterier og hybrid biler (45%) sikrer omstillingen til fossil uafhængighed samt en reduktion af CO₂ udledningen med 95%.

EU scenariets målsætninger for markedsandele i 2050 er i figuren nedenfor appliceret på den danske bilpark med en udbredelse over årene hvor andelen af bilsalget udvikler sig realistisk og hvor der tages højde for udbredelsen af den nødvendige brint infrastruktur (jf. afsnit 4.). Som det ses kan brintbiler udgøre 50% i 2050 ved en introduktion i 2015. Trods en høj andel i 2050 vil andelen i 2025 kun være 4,6% svarende til 108.000 biler, da det tager tid at opnå en høj andel af salget hvert år.



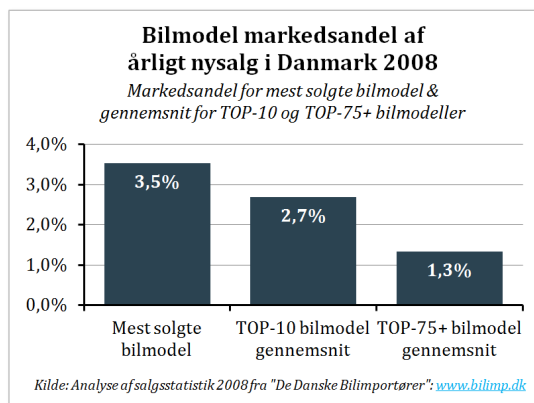
²⁹ IEA: "Technology Roadmap, Electric & plug-in hybrid electric vehicles" http://www.iea.org/papers/2011/EV_PHEV_Roadmap.pdf

³⁰ Scenarie 3, side 17: "A portfolio of power-trains for Europe" www.zeroemissionvehicles.eu

I scenariet antages en årlig vækst i bilparken på 0,75% hvilket er betydeligt under det nuværende niveau. Derved imødegås eventuelle stigende trafikale udfordringer ved en vækst på dagens niveau. Der er antaget en levetid på 15 år for køretøjer, hvor udtjente køretøjer løbende erstattes af det årlige nysalg.

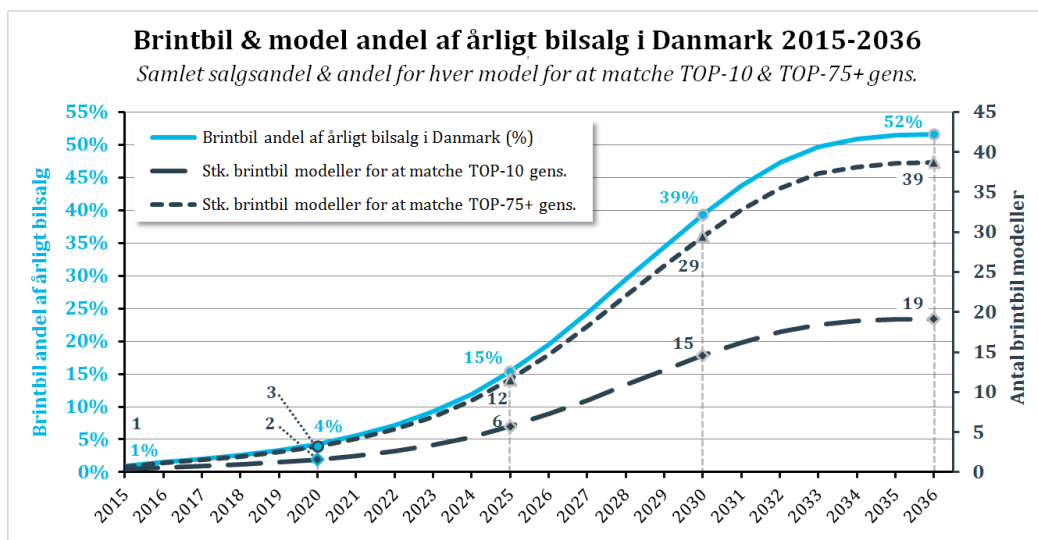
Markedsudbredelsen for batteri- og hybrid-biler i perioden 2012-2020 er en gennemsnitsbetragtning af forskellige danske analyser indenfor området. En mulig markedsfordeling mellem batteri og hybrid er ikke blevet vurderet. Ligeledes er en mulig andel af biobrændstof som iblanding i benzin og diesel samt anvendelse i hybridbiler ikke blevet vurderet.

Afgørende for at brintbiler kan nå 50% af bilparken i frem mod 2050 er udviklingen i andelen af det årlige bilsalg, særligt for den enkelte brintbil model. Figuren ved siden af viser markedsandelen i DK for den mest solgte konventionelle bilmodel (3,5%) og gennemsnit for TOP-10 (2,7%) og TOP-75+ (1,3%) for bilsalget i 2008.



I de tidlige år kan andelen for hver brintbil model der er tilgængelig på markedet ikke forventes at overstige andelen for gennemsnittet af TOP-75+, da antal købere kan forventes at være begrænset af eventuelle meromkostninger og usikkerheder omkring bl.a. gensalgsværdi, serviceomkostninger og levetid. På sigt kan andelen for hver brintbil model nærme sig TOP-10 og evt. senere den mest sælgende model.

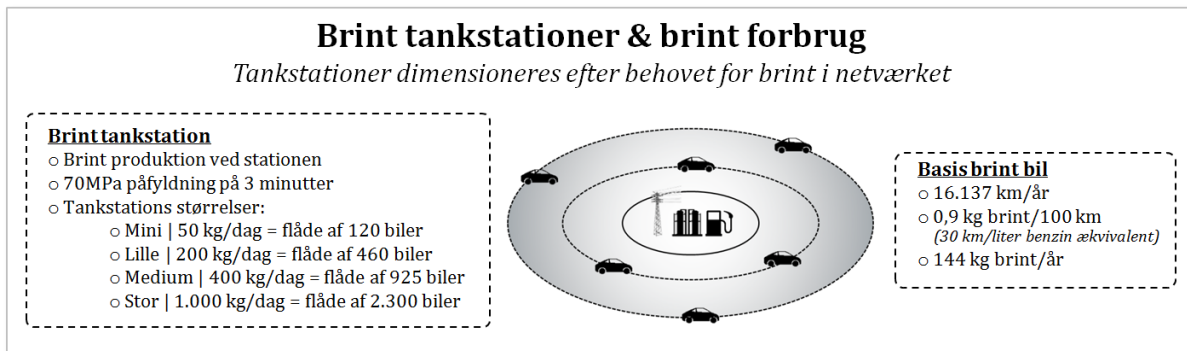
Figuren nedenfor viser udviklingen for brintbiler's andel af det årlige bilsalg i Danmark frem mod 2036, hvor andelen runder 50% for derved at kunne nå 50% af bilparken i 2050. Figuren viser også antallet af brintbil modeller som er nødvendig for at matche den gennemsnitlige salgsandel for henholdsvis TOP-10 og TOP-75+. Frem mod 2036 skal antal brintbil modeller øges fra 1 stk. til minimum 19-39 stk. Bilsalget i 2008 var fordelt på 456 forskellige bilmodeller ifølge De Danske Bilimportører.



4. Status og potentiale brint-infrastruktur 2012-2050

4.1 Brint infrastruktur koncept & udrulning

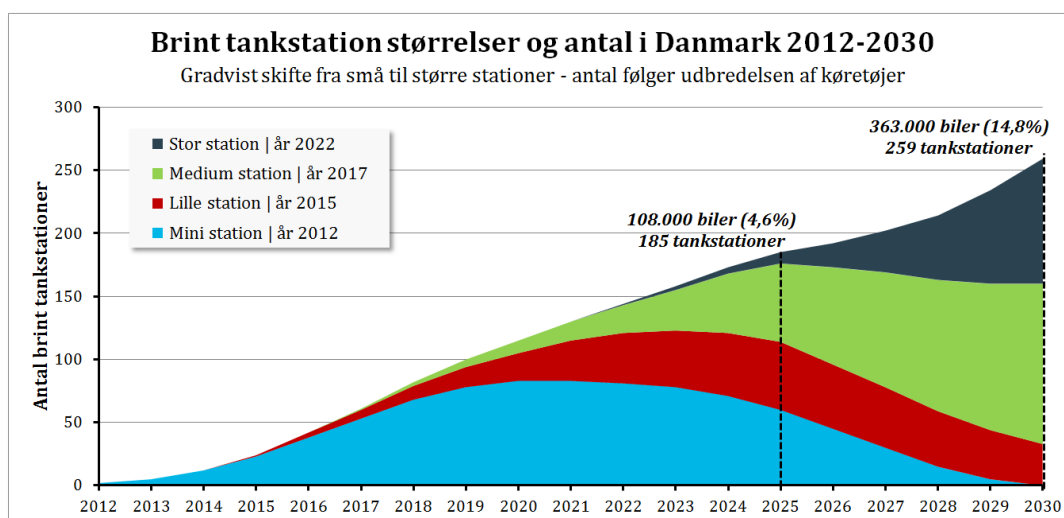
Udrulningen af en dansk brint infrastruktur kan ske gradvist i takt med udrulning af biler frem mod 2050 hvor 50% af bilparken forudsættes forsynet med brint (se afsnit 3.3). Figuren nedenfor viser en række forudsætninger for brint tankstationer og en gennemsnitlig basis brint bil som er anvendt i beregningerne frem mod 2050.



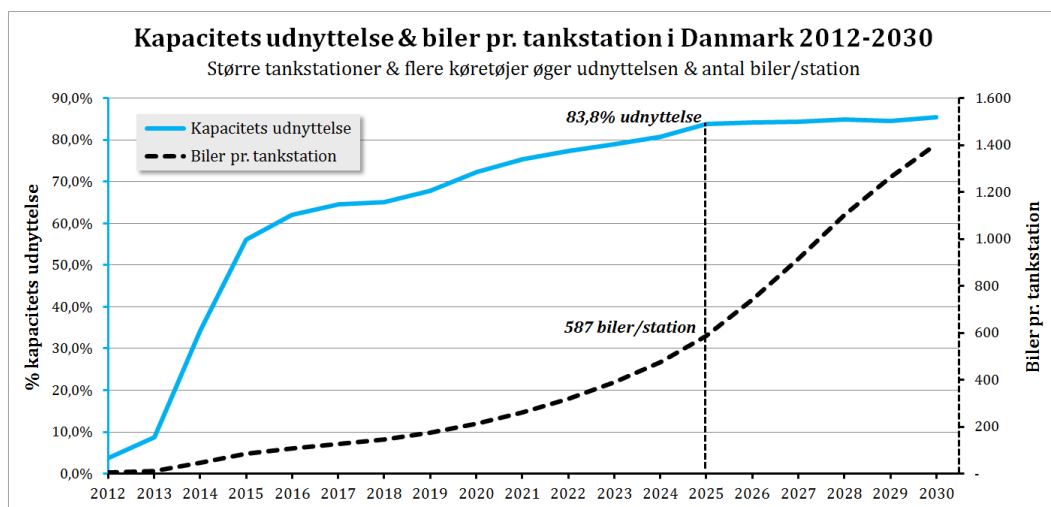
Alle tankstationer er med brint produktion på stedet og 3 minutters optankning af brint ved 70MPa som sikrer en rækkevidde sammenlignelig med benzin. Hver brintbil antages at køre 16.137 km om året tilsvarende som benzinbiler i dag, hvilket giver et årligt forbrug på 144 kg brint ved et forbrug på 0,9 kg/100 km.

I begyndelsen vil antallet af biler og dermed brintbehovet være lille, men for at sikre et dækkende netværk er det ønskeligt med så mange tankstationer som muligt. Selvom rentabiliteten af brint tankstationer forbedres med størrelsen er det fordelagtigt at starte med små stationer da det reducerer investeringsomfanget i de tidlige år. Samtidig er de små stationer mobile, dvs. de kan flyttes til nye områder i takt med at behovet i f.eks. større byer taler for etableringen af nye og større stationer.

Figuren nedenfor viser en mulig udvikling i antal tankstationer og størrelser frem mod 2030 med henblik på at dække brint behovet. Levetiden for en tankstation er sat til 10 år, dvs. gamle stationer erstattes af nye samtidig med at antallet øges.



Figuren nedenfor viser en mulig udvikling i kapacitetsudnyttelse og antal biler pr. tankstation frem mod 2030.



For at sikre et dækkende netværk i begyndelsen bør antallet af tankstationer og brint kapacitet langt overstige behovet, dvs. udnyttelsesgraden vil være lav. Når et landsdækkende tankstationsnetværk er nået i 2015 vil udbygningen frem mod 2025 ske med stadig større stationer og primært i takt med udrulning af køretøjer. Kapacitetsudnyttelsen i det samlede netværk vil derfor stige op til 80-85%³¹ som forventes at være maksimum, da der vil være behov for ekstra kapacitet til spidsbelastning.

Antallet af biler pr. station kan stige fra 120 biler i 2015 (i praksis vil der være langt færre køretøjer) til 587 biler i 2025. Frem mod 2050 kan antallet stige til op imod 3.200 biler pr. station³², hvilket er på niveau med antal benzin/diesel biler pr. tankstation i Tyskland i dag. I Danmark er der i dag 1.000 biler/tankstation³³, hvilket frem mod 2050 kan stige til 1.400 såfremt antal stationer fastholdes mens bilparken stiger 0,75% om året.

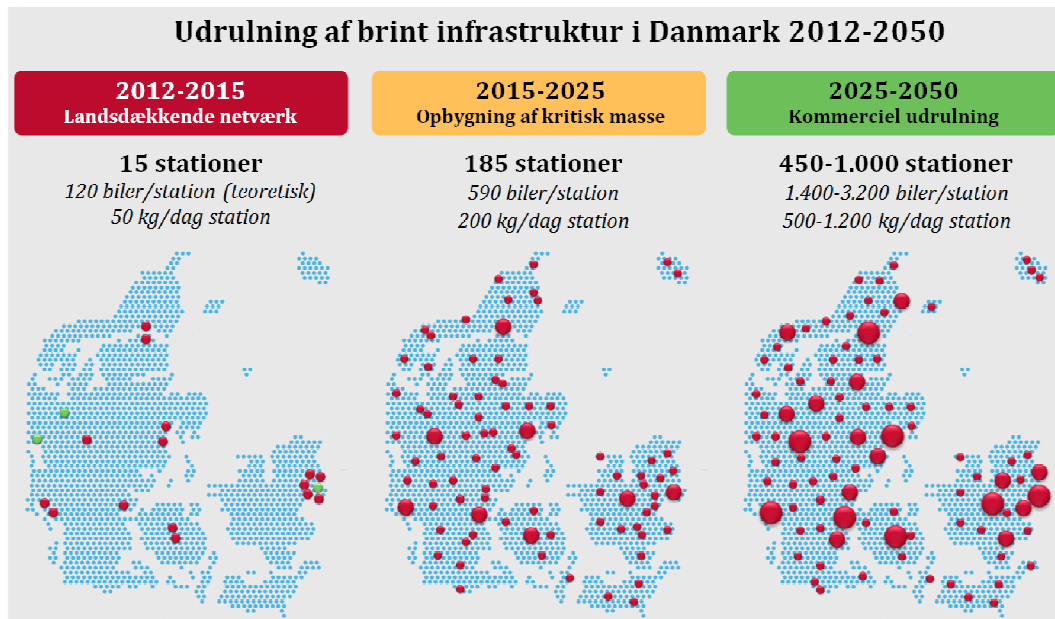
1.400-3.200 biler pr. station giver et spænd i antal brint tankstationer i 2050 på 450-1.000 stationer, hvis 50% af bilparken skal udgøres af brintbiler, jf. afsnit 3.3. Mest sandsynligt er det at antallet bliver tættere på 450 stationer end 1.000, da udrulningen af en brint infrastruktur bør kunne ske mere effektivt end den bestående benzin/diesel infrastruktur i Danmark. Det lave antal biler pr. station i Danmark skyldes historiske markedsforhold og antallet af stationer har derfor også generelt været nedadgående de sidste 10 år.

³¹ Figur 49 side 57: "A portfolio of power-trains for Europe" www.zeroemissionvehicles.eu

³² Antal biler i Tyskland: <http://www.welt-in-zahlen.de/laenderinformation.phtml?country=44>
Antal tankstationer i Tyskland: <http://www1.adac.de>

³³ Antal biler i Danmark: www.dst.dk
Antal tankstationer i Danmark: Energi- og olieforum www.eof.dk

Nedenfor er vist en mulig udrulning af en brint infrastruktur i Danmark fra 2012-2050 som sikrer at 50% af bilparken kan forsynes med brint i 2050.

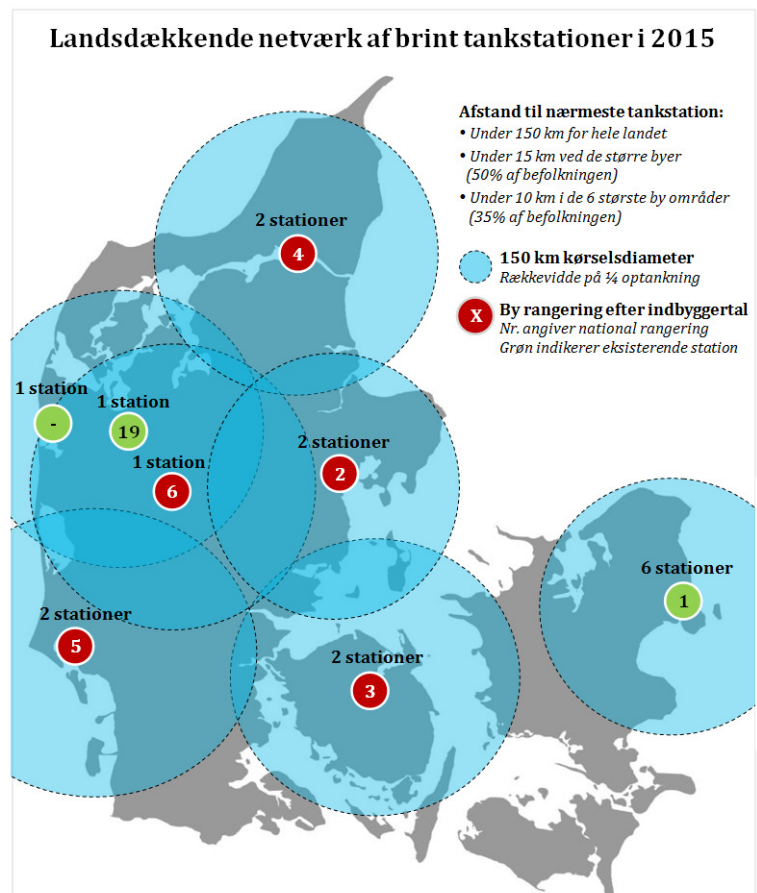


Udrulningen kan deles op i tre faser, hvor første fase skal sikre et landsdækkende netværk med 15 nye tankstationer inden 2015. Det gør det muligt at starte en markedsintroduktion af brintbiler, da optankning vil kunne tilbydes i de større byer og den lange rækkevidde på én optankning gør det muligt at køre mellem byerne.

Brinttankstationerne koncentrerer i de seks største byområder da markedsgrundlaget er størst her. Det sikrer en god geografisk dækning af landet, samt at 50% af befolkningen vil have mindre end 15 km til nærmeste tankstation og 35% vil have mindre end 10 km. I de større byer etableres to stationer for at sikre god dækning.

Fra 2015 til 2025 skal netværket udbygges til 185 tankstationer så at det opnår tilstrækkelighed tætthed, ligesom at størrelsen af stationerne øges.

Fra 2025 og frem mod 2050 kan en fortsat udbygning til 450-1.000 stationer ske på fuld kommerciel basis i lighed med konventionelle teknologier.



4.2 Brint infrastruktur drift & investering

Nedenfor redegøres for driften og investeringen i en dansk brint infrastruktur i forhold til den skitserede udrulning i afsnit 4.1.

Indtægtsgrundlaget for en dansk brint infrastruktur er salget af brint som brændstof ved tankstationen. Salgsprisen for brint kan i adskillige årtier frem kobles med den tilsvarende for benzin og diesel, da disse brændstoffer vil udgøre hovedparten af markedet og dermed være prissættende. Afgørende for forbrugeren er, at der som minimum opnås samme brændstofsomkostning pr. kørt km. Det antages at anskaffelsesprisen for en brintbil samt serviceringen tilsammen når samme niveau som konventionelle køretøjer, hvilket er i overensstemmelse med føromtalt EU studie³⁴.

4.2.1 Brint infrastruktur energieffektivitet & drift

Figuren nedenfor viser beregningen af en brint salgspris som sikrer samme brændstofs omkostning pr. kørt km som benzin.

Brint pris & betalingsvillighed			
<i>Samme brændstofs omkostning pr. kørt km som benzin</i>			
	Brændstof salgspris <i>Inkl. afgifter & profit</i>	Forbrug <i>km/L eller kg/100 km</i>	Pris/km <i>kr./km</i>
BENZIN	12,42 kr./liter* →	20 km/liter →	0,62 kr./km
BRINT	6,91 kr./100 gram ←	0,9 kg/100 km 30 km/liter benzin ækvivalent ←	0,62 kr./km

* 95 oktan benzin salgspris ved pumpe i Danmark, august 30, 2011 - Kilde: Energi- og olieforum www.eof.dk

Beregningen er baseret på dagsprisen for benzin i Danmark i august 2011. Sammenligningen er foretaget mellem en hybrid benzinbil med et forbrug på 20 km/liter og en brintbil med 30 km/liter benzin ækvivalent. Selvom brintbiler kan forventes at have et større udviklingspotentiale end konventionelle køretøjer antages det konservativt at forholdet mellem brændstofforbruget er konstant frem mod 2030.

Det giver en mulig salgspris for brint på 6,91 kr. pr. 100 gram, hvilket er blandt de højeste værdier for brint anvendelse i sammenligning med eks. anvendelse af brint til biobrændstof produktion, biogas opgradering eller brændselscelle balancerings³⁵.





Af brint salgsprisen betales 25% moms og det resterende beløb går til dækning af omkostninger til elektricitet inklusiv alle afgifter, samt service og vedligehold og afskrivning af infrastruktur investeringen. Det er illustreret i figuren på efterfølgende side.

³⁴ Figur 30 side 41: "A portfolio of power-trains for Europe" www.zeroemissionvehicles.eu

³⁵ "PlanSOEC" projekt nr. 2010-1-10432 FORSKEL-2010-Energinet.dk

Brint tankstation energiforbrug & priser

Markedsbaserede priser og betaling af alle afgifter og skatter

Brint forsyning - "Kilde-til-Tank" energiforbrug kWh/kg brint optanket				
	 Elektricitet (net distribution)	 Brint Produktion (ved tankstationen)	 Kompression & optankning (70MPa - 3min.)	 Total energiforbrug (kWh/kg H2 optanket)
State-of-the-art 2011	3,22 kWh	56,34 kWh	5,00 kWh	64,57 kWh/kg
Potentiale 2020+	2,39 kWh	42,26 kWh	3,33 kWh	47,99 kWh/kg
Note 2011	5% net tab	Alkalisk elektrolyse	Nær adiabatisk kompression	
Note 2020+	5% net tab	SOEC elektrolyse	Nær isothermisk kompression	

2011 strøm pris:
0,38 DKK/kWh

↓
Alle el-afgifter betales

4,5% stigning i strøm og brintpris pr. år
På niveau med seneste 10 års stigning i benzin pris

2011 brint salgspris:
6,91 DKK/100 gram H2

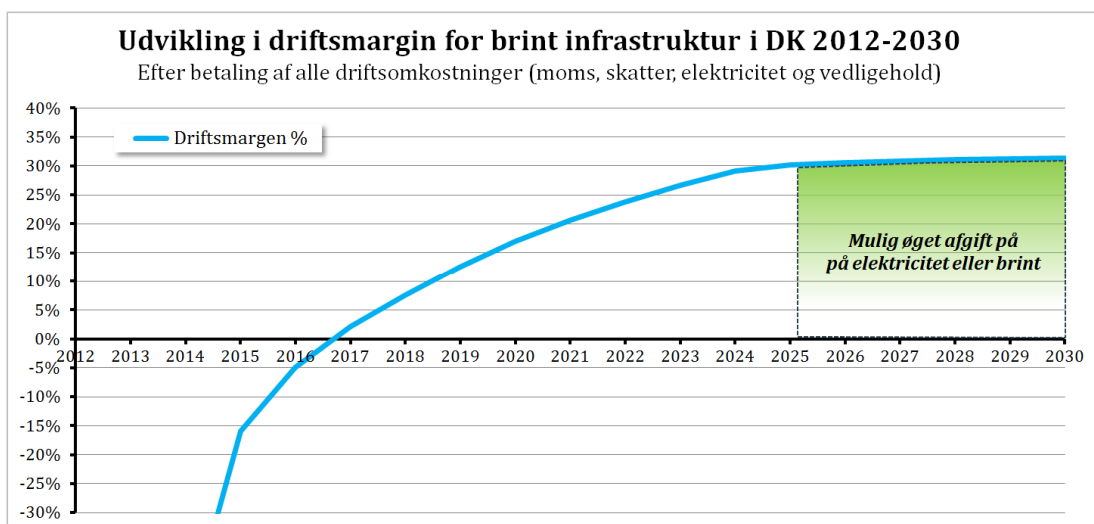
↓
25% moms betales

- Elektrolyse effektivitet fra: "planSOEC R&D and commercialization roadmap for SOEC electrolysis" May 2011 ForskEL/Energinet.dk projekt
- Strømpris er gennemsnit af markedsprisen eksklusiv afgifter i Vest og Øst Danmark seneste 12 måneder, Energinet.dk
- Benzinsprisen i Danmark er steget med 4,5% pr. år i smit de seneste 10 år, Energi- og olieforum www.eof.dk

Forbrug af elektricitet til produktion og optankning er den største omkostningspost i driften af brintinfrastrukturen. Figuren ovenfor viser elektricitetsforbruget fra "kilde-til-tank" pr. kg brint optanket på et køretøj både for teknologien i dag samt potentialet efter 2020. Som det ses forventes en betydelig reduktion i energiforbrug, bl.a. grundet forbedring i effektiviteten for brintproduktionen.

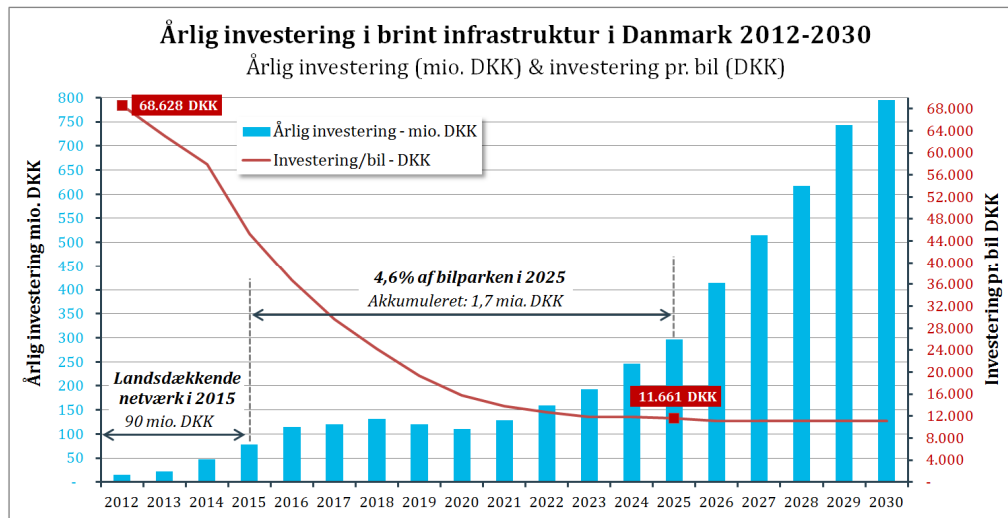
Strømprisen er gennemsnitsprisen for Øst og Vest Danmark seneste 12 måneder, dvs. spekulation i lav strøm pris i perioder med megen vind er ikke medtaget. Der antages en stigning i strøm og brintpriser på 4,5% om året hvilket er på niveau med den gennemsnitlige årlige stigning på benzin de sidste 10 år. Alle el-afgifter og moms på salg af brændstof betales og er inkluderet i driftsberegningerne.

Figuren nedenfor viser udviklingen i driftsmargin for brint infrastruktur netværket frem mod 2030, efter at alle driftsomkostninger er afholdt. Omkring år 2017 forventes en positiv drift som forbedres løbende frem mod 2025. Driftsmargin i 2025 er på et højt niveau hvilket skyldes behovet for at tilbagebetale investeringen (se senere). Fra 2025 kan infrastruktur udrulningen ske på kommercielle vilkår og afgifter kan eventuel øges på brint og elektricitet så at driftsmargin reduceres.



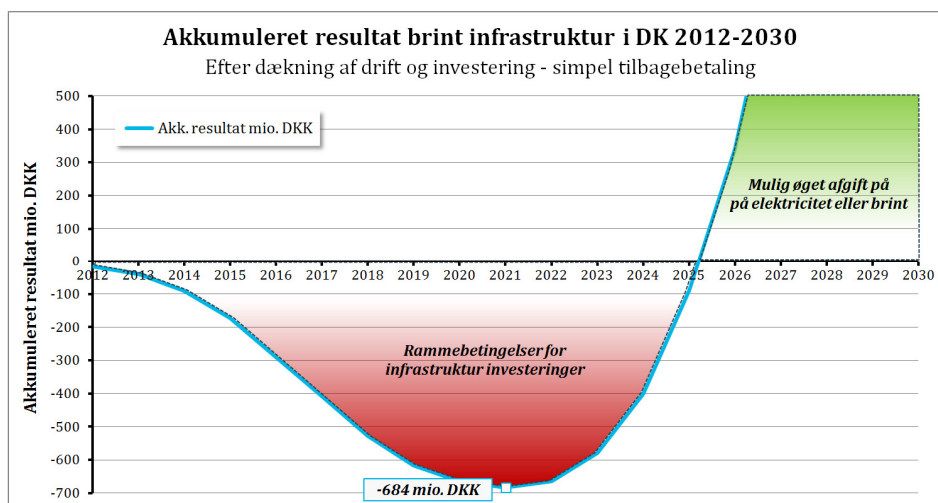
4.2.2 Brint infrastruktur investering

Udrulningen af brint infrastrukturen kræver investering i både tankstationerne og brint produktionen. Udviklingen i de årlige investeringer er vist i figuren nedenfor.



Frem mod 2015 foretages en investering på 90 mio. kr. for at sikre et landsdækkende netværk. Der vil ske en betydelig overinvestering i forhold til efterspørgslen ligesom det vil være små stationer hvormed investeringen pr. køretøj er særlig høj. Frem mod 2025 investeres 1,7 mia. kr. i et netværk der kan forsyne 4,6% af bilparken. Investeringen følger efterspørgslen samtidig med at tankstationsstørrelsen stiger, hvorfor investeringsomkostningen pr. bil reduceres til 11.600 kr. Dette er på niveau med resultater fra "EU Power Train" studiet³⁶. Investeringspriser for infrastrukturen er baseret på roadmap targetts fra det Europæiske FCH-JU program³⁷.

Figuren nedenfor viser det akkumulerede resultat efter summering af den årlige investering med den årlige driftsmargin (overskud på driften). Som det ses vil investeringstrækket toppe i 2021 med 684 millioner kroner. Rammebetingelser for infrastrukturen (se afsnit 7.) kan bidrage til at løfte "bunden", og på sigt kan afgifter på elektricitet eller brint sikre en samfundsmæssig regulering af overskuddet.



³⁶ Side 46: "A portfolio of power-trains for Europe" www.zeroemissionvehicles.eu

³⁷ EU FCH-JU: "Multi - Annual Implementation Plan 2008 - 2013" (update draft version July 2011) www.fch-ju.eu

5. Partikel & CO₂ reduktionspotentiale 2012-2050

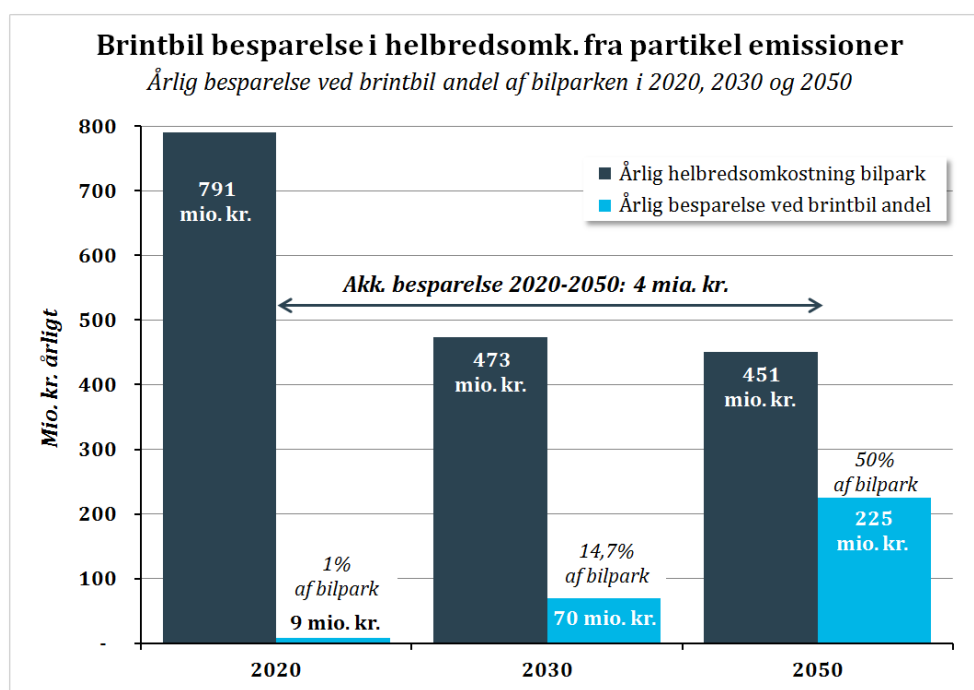
5.1 Reduktion af partikel emissioner & helbredseffekter

Brintbiler udleder kun rent vand som udstødning hvormed partikel emissioner lokalt kan elimineres for op til 50% af bilparken i 2050. Den del af strømproduktionen i 2050 som er baseret på biomasse og som anvendes til brintproduktion vil dog give anledning til partikel emissioner. Dog vil emissionen ske længere væk fra byer og med bedre mulighed for en central reduktionsindsats.

CEEH³⁸ har estimeret de helbredsrelaterede eksterne omkostninger for partikel-emissionen fra den danske personbilpark til at udgøre 1,5 mia. kroner om året i 2008. Foruden omkostninger i Danmark indeholder beløbet også omkostninger for alle områder udenfor landet der påvirkes af de danske emissioner, da dette kan forventes at indgå i de internationale forhandlinger om reduktionsforpligtigelser.

For at beregne besparelsespotentialer for helbredsomkostninger ved introduktion af brintbiler, tages udgangspunkt i Klimakommissionens "Referenceforløb U" hvor der forudsættes en uambitiøs politik og dermed lav andel af bl.a. el til transport. Figuren nedenfor viser udviklingen i helbredsomkostninger fra personbiler ifølge CEEH for "Referenceforløb U" i 2020, 2030 og 2050 samt den beregnede afledte besparelse ved en given markedsandel af brintbiler i de nævnte år (jf. afsnit 3.3) Der er antaget en gradvis reduktion i helbredsomkostningerne mellem de CEEH beregnede årstal.

Som det ses kan der potentielt opnås en akkumuleret besparelse på op til 4 mia. kr. i perioden 2020-2050 såfremt brintbiler opnår 50% andel af bilparken i 2050.



³⁸ "CEEH's beregning af helbredsomkostninger fra luftforurening i Klimakommissionens fremtidsforløb"
K. Karlsson et al., Nov. 2011 http://www.ceeh.dk/CEEH_Reports/Rapport_10/CEEH_Rapport_10.pdf

5.2 Samlet energieffektivitet & reduktion af CO₂ udledning

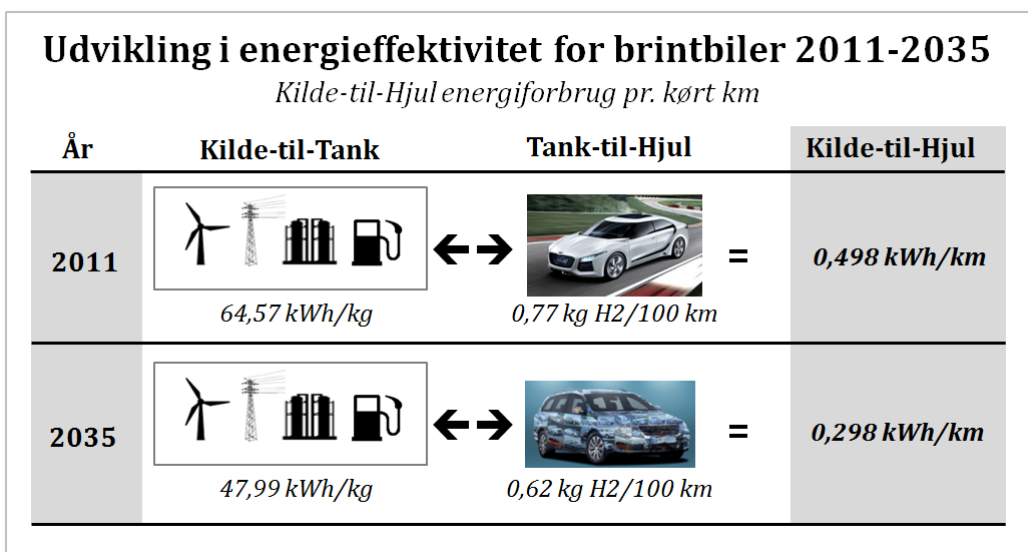
CO₂ emissionen for brintbiler afhænger dels af energikilden som anvendes til produktion af brint samt forsyningskonceptet og antagelser for energiforbrug over hele forsyningskæden, dvs. både forbrug for "Kilde-til-Tank" og "Tank-til-Hjul".

Brintproduktionen forudsættes at ske ved tankstationer baseret på elektricitet som anvendes til at spalte vand. Den afledte CO₂ emissionseffekt afhænger således også af antagelser om udviklingen i CO₂ indholdet i dansk elektricitet frem mod 2050.

I det følgende tages der udgangspunkt i at brintbiler udvikler sig til at udgøre 50% af bilparken frem mod 2050 (jf. afsnit 3.3) og at brintbiler primært "erstatte" benzin og diesel i de større biler hvor der er behov for lang rækkevidde og hurtig optankning. Ifølge EU-Power-Train studiet udgør større biler 50% af den Europæiske bilpark og står for 75% af CO₂ emissionerne³⁹.

5.2.1 Udvikling i brintbil "Kilde-til-Hjul" energiforbrug frem mod 2035

En mulig udvikling i "Kilde-til-Hjul" energiforbruget (effektivitet) pr. kørt kilometer i en brintbil frem mod 2035 er vist i figuren nedenfor.



Som det ses forventes energiforbruget reduceret fra 0,498 kWh/km i 2011 til 0,298 kWh/km i 2035 grundet forbedringer af energieffektiviteten for både brintproduktionen samt omdannelsen til strøm i bilens brændselscelle.

Beregningen er baseret på "Kilde-til-Tank" og "Tank-til-Hjul" energiforbruget som beskrevet i henholdsvis afsnit 4.2.1 og 3.1. Der er antaget en lineær reduktion af energiforbruget fra 2011-2035 mens en eventuel yderligere reduktion frem mod 2050 ikke er medtaget i beregningerne.

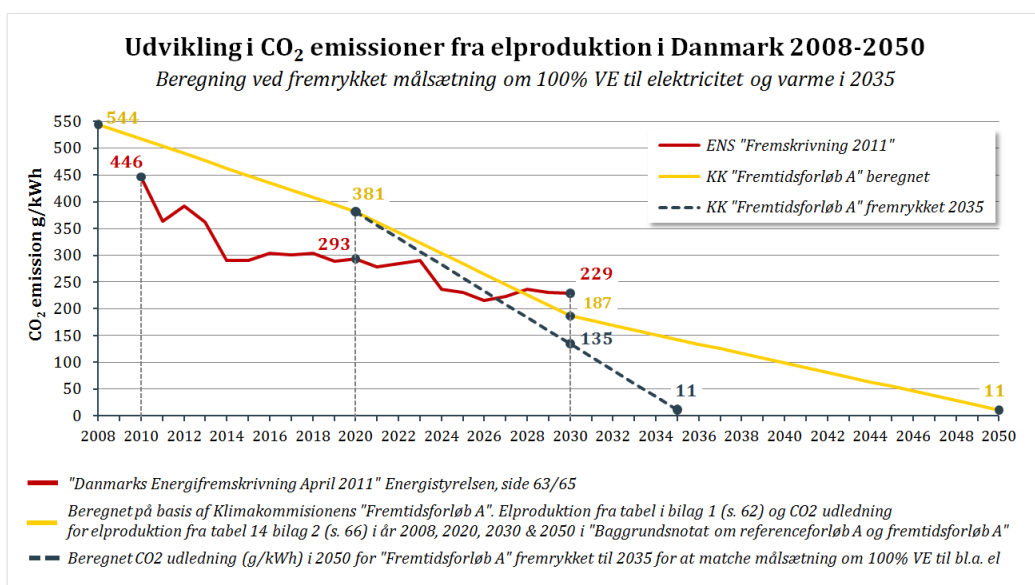
³⁹ Figur 19 side 32 "A portfolio of power-trains for Europe" www.zeroemissionvehicles.eu

5.2.2 Udvikling i CO₂ emissioner fra elproduktion i Danmark frem mod 2050

Ifølge Energistyrelsen vil anvendelse af elektricitet til opladning af batteribiler (og dermed indirekte også elektricitet til brintproduktion) ikke medføre en øget CO₂ emission fra elproduktionen da sektoren er kvotebelagt⁴⁰. Øget forbrug af elektricitet til opladning af batteribiler eller produktion af brint vil således ikke føre til udstedelse af ekstra CO₂ kvoter for elsektoren som helhed.

Indirekte vil der dog, indtil 100% VE opnås, udledes CO₂ fra elproduktionen og som teoretisk kan fordeles på brintproduktionen og dermed i sidste ende pr. kørt km. Indkøbes den forbrugte elektricitet med CO₂ certifikater som sikrer geninvestering i vedvarende energiproduktion kan CO₂ emissionen siges at være elimineret. Dette er tilfældet for den brint som anvendes på alle brint tankstationer i Danmark i dag.

For dog at give et billede af den teoretiske CO₂ emission for brintbiler (uden CO₂ certifikater) er en mulig udvikling i CO₂ emissionen fra elproduktion i Danmark frem mod 2050 beregnet i figuren nedenfor.



Det har ikke været muligt at finde en CO₂ fremskrivning som tager højde for de seneste politiske udmeldinger om 100% VE til elektricitet og varme allerede i 2035. I stedet er Klimakommissionens "Fremtidsforløb A" med 100% VE i elproduktionen i 2050 blevet fremskrevet til 2035. Som det ses kan CO₂ emissionen falde fra 544 gram pr. kWh i 2008 til 11 gram i 2050. Den resterende CO₂ udledning i 2050 (11 gram) skyldes bidraget fra elproduktion baseret på affald. Beregning er med forbehold for en vis usikkerhed indtil nye opdaterede officielle beregninger forefindes.

Energistyrelsens officielle fremskrivning for CO₂ indholdet i dansk produceret elektricitet er også vist i figuren, men indgår ikke i de efterfølgende beregninger.

⁴⁰ "El- og Hybridbiler - samspil med elsystemet" Energistyrelsen, juni 2010, side 14.

5.2.3 Udvikling i CO₂ emissioner pr. kørt km i Danmark frem mod 2050

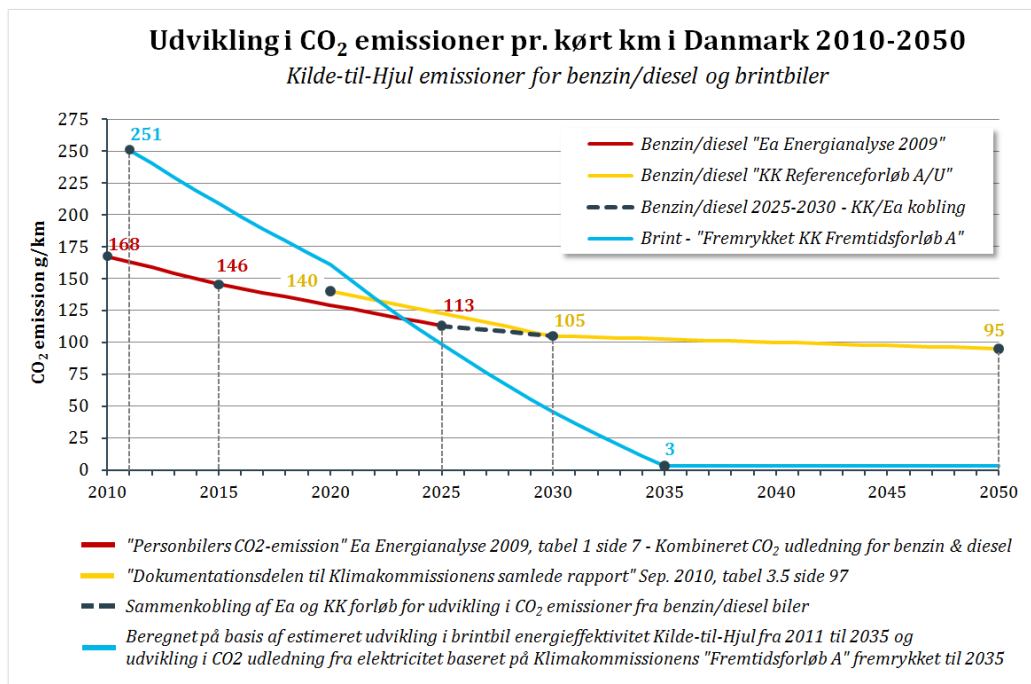
En introduktion af 50% brintbiler i den danske bilpark frem mod 2050 skal holdes op imod et konservativt referencescenarie hvor der kun forudsættes en begrænset overgang til alternative drivmidler (el, biobrændstof og hybrider). Til dette er to scenarier for udviklingen i CO₂ emissionen pr. kørt km for benzin/diesel anvendt:

- 2010-2025 – Ea Energianalyse 2009
- 2030-2050 – Klimakommissionens "Referenceforløb A/U"

De to scenarier er blevet sammenkoblet så at der opnås et komplet udviklingsforløb fra 2010-2050 for CO₂ emissionen pr. kørt km for benzin/diesel (kombineret).

Ligeledes er udviklingen i CO₂ emissionen pr. kørt km i en brintbil beregnet, baseret på "Kilde-til-Hjul" energiforbruget (afsnit 5.2.1) og CO₂ indholdet i dansk produceret elektricitet (afsnit 5.2.2).

Resultaterne fremgår af figuren nedenfor.



Som det ses kan CO₂ emissionen pr. kørt km i en benzin/diesel bil falde fra 168 gram i 2010 til 95 gram i 2050, bl.a. grundet øget energieffektivitet.

I takt med at både energieffektiviteten for brintproduktion og brintbiler forbedres, og andelen af VE i elproduktionen øges, reduceres CO₂ emissionen for brintbiler fra 251 gram/km i 2011 til 3 gram i 2035. Allerede i 2024 vil CO₂ emissionen for brintbiler således være på niveau med benzin/diesel.

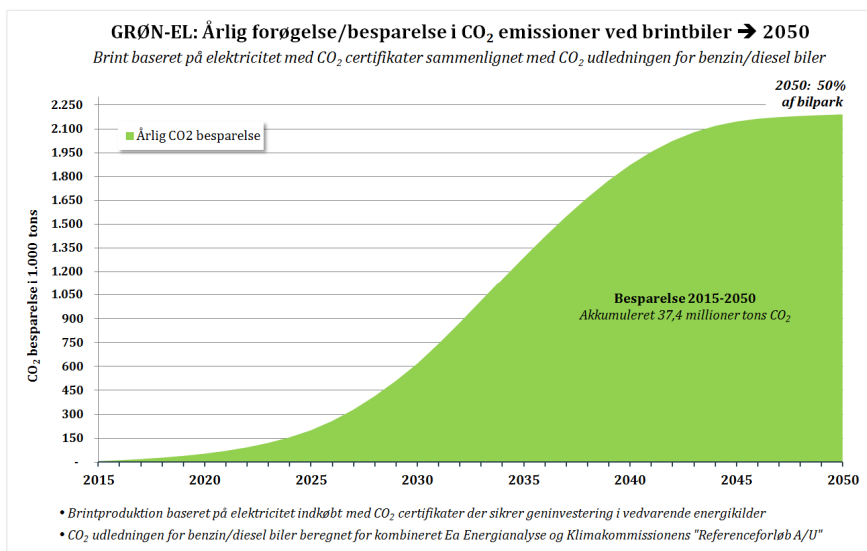
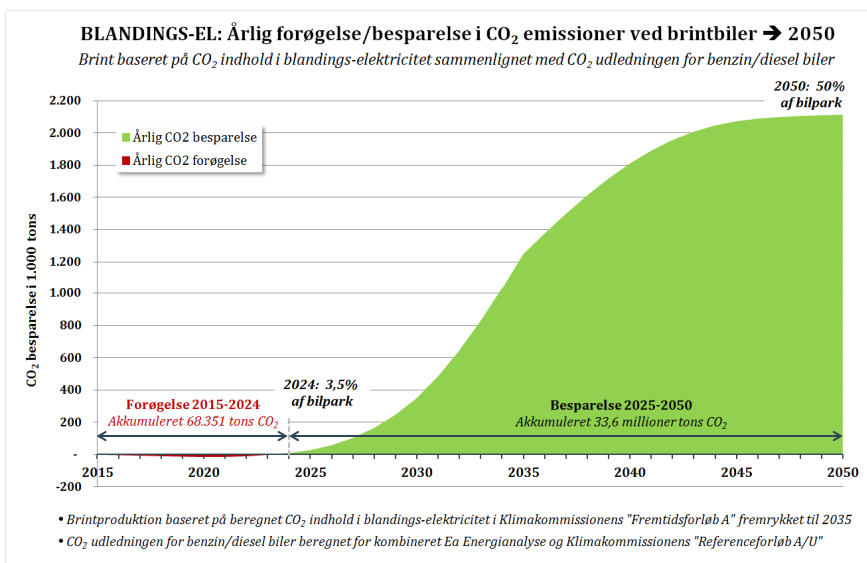
Hvis elektriciteten til brintproduktion indkøbes med CO₂ certifikater vil CO₂ emissionen pr. kørt km i en brintbil være >0 gram/km i hele perioden, hvilket er tilfældet for den brint som anvendes på alle brint tankstationer i Danmark i dag.

5.2.4 Reduktion i CO₂ emissioner fra brintbiler frem mod 2050

Med udgangspunkt i forskellen i CO₂ emissionen for henholdsvis benzin/diesel og brintbiler frem mod 2050 (afsnit 5.2.3) kan den samlede reduktion i CO₂ emissioner ved introduktion af brintbiler beregnes. Der tages udgangspunkt i at brintbiler udvikler sig til at udgøre 50% af bilparken i 2050 og at en bil kører i gennemsnit 16.137 kilometer om året. Beregningen er foretaget for henholdsvis brintproduktion baseret på blandings-elektricitet samt grøn elektricitet indkøbt med CO₂ certifikater.

Som det ses af den første figur nedenfor vil brug af blanding-el resultere i en øget CO₂ emission på 68.351 tons i perioden 2015-2024 hvor brintbiler udvikler sig til at udgøre 3,5% af bilparken. Fra 2025 og frem til 2050 vil der opnås en samlet besparelse på 33,6 millioner tons CO₂ grundet øget andel af VE elektricitet og forbedret energieffektivitet for brintproduktion og brintbiler. Årlig besparelse i 2050 vil være på 2,1 mio. tons CO₂.

Den anden figur viser CO₂ besparelsen ved brug af grøn elektricitet. Her opnås en reduktion i CO₂ udledningen på samlet 37,4 millioner tons frem mod 2050 og med en årlig besparelse i 2050 på 2,2 mio. tons CO₂.



6. Eksport & arbejdspladser i brint infrastruktur

En markedsintroduktion af brint til transport i Danmark kan skabe grundlag for udvikling og modning af dansk brint infrastruktur teknologi som rummer et betydeligt potentiale for arbejdspladser og eksport.

6.1 Værdikæden for dansk brint infrastruktur teknologi

Brint infrastruktur er i sin tekniske sammensætning at sammenligne med mange af de eksisterende danske teknologiske energiprodukter (vindmøller, fjernvarme, kraftværker etc.) Der er således en stor kompetence- og ekspertisemæssig synergi mellem den eksisterende energibranche og de nye virksomheder indenfor brint infrastruktur. Hertil kommer at brint infrastruktur indeholder mange komponenter fra andre eksisterende industrier i Danmark.

En brint tankstation med produktionsanlæg består således af cirka 3.000 delkomponenter, hvor mere end 30% udvikles og produceres i Danmark, og fremstillingen af én station skaber beskæftigelse for 4,5 personer i et år.

Produktionen af en dansk brint tankstation involverer i dag således mere en 40 danske virksomheder på tværs af hele leverandørkæden. Dette dækker over både eksisterende virksomheder med velkendt teknologi i en ny anvendelse og ”nye” virksomheder som udvikler ny teknologi gennem forskning og udvikling.

Et væld af forskellige fagområder og danske teknologier indgår således i produktionen af brint infrastruktur løsninger, bl.a.:

- *Metal og pladebearbejdning*
- *Køling og ventilation*
- *Brint produktion, kompression, lagring og påfyldning*
- *Vandrensning og behandling*
- *Ventiler og fittings*
- *Elektronik, elmotorer og hydraulik*
- *Pumper og fjernvarmerør*
- *Elektrikere, tømrere, smede, svejsere & montører*

Dansk brint tankstation

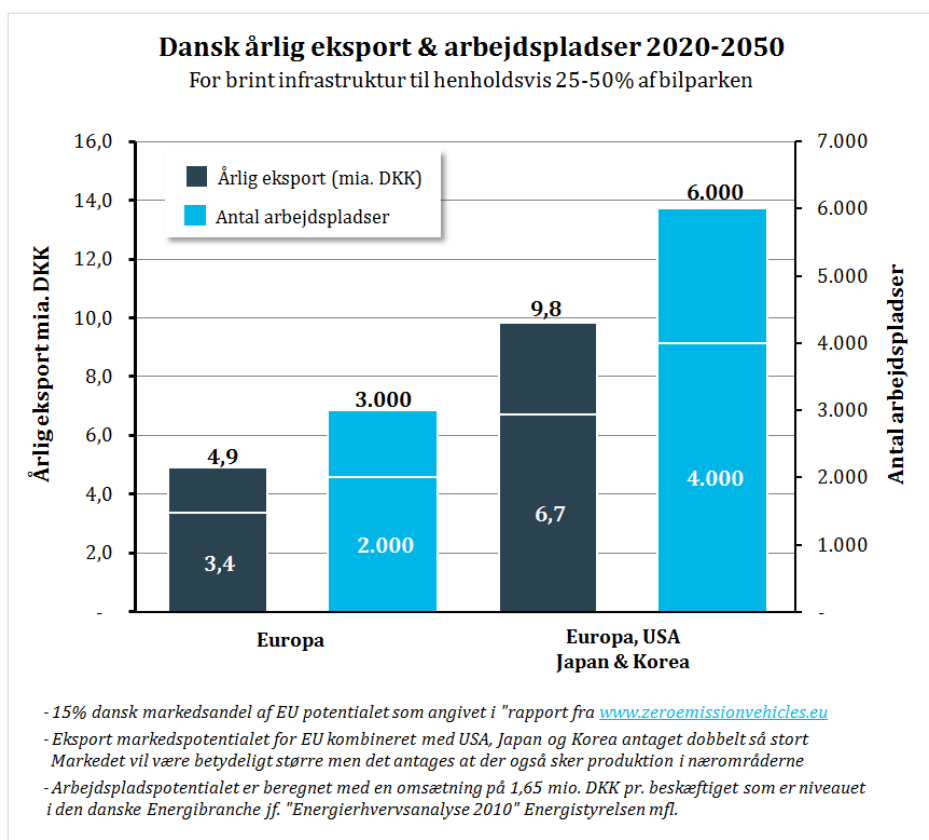
- *Består af mere end 3.000 del-komponenter*
- *Mere end 30% af komponenterne produceres i Danmark*
- *Mere end 40 danske virksomheder er involveret på tværs af værdikæden*
- *Fremstillingen af én tankstation skaber beskæftigelse i ét år for 4,5 personer*

6.2 Eksport- og arbejdsplads-potentiale for brint infrastruktur

En markedsintroduktion af brintbiler fra 2015 og en stigende markedsandel frem mod 2050 kræver betydelige investeringer i en brint infrastruktur.

Tidligere omtalte EU Power-Train studie⁴¹ har vist at der alene i EU skal investeres 745 milliarder kroner frem mod 2050 i etablering af 18.000 brint stationer og infrastruktur, nok til 100 millioner brintbiler (25% af EU bilparken). Yderligere 560 milliarder kr. skal investeres såfremt brintbiler skal udgøre 50% af bilparken. Frem mod 2020 skal der investeres 22 milliarder kroner i etableringen af en tidlig infrastruktur og herefter op imod 22-33 milliarder kroner årligt indtil 2050, afhængig af om 25% eller 50% andel af brintbiler i bilparken skal nås.

En markedsandel for dansk brint infrastruktur teknologi på blot 15% kan således skabe eksport for 3,4-4,9 mia. kr. årligt, svarende til 2.000-3.000 arbejdspladser. (se figur nedenfor). Hertil kommer potentialet i andre områder af verden, bl.a. USA, Japan og Sydkorea hvor tidlig introduktion af brint til transport kan forventes. En reduceret eksport markedsandel i disse lande (grundet forventelig lokal produktion) vil kunne fordoble eksport og arbejdspladspotentialet til henholdsvis 4-6 mia. kr. årligt og 4.000-6.000 arbejdspladser. Hertil kommer værdien af eventuel dansk produktion i lokalområder i disse lande.



⁴¹ "A portfolio of power-trains for Europe", side 47, www.zeroemissionvehicles.eu

6.3 Eksport værditilvækst indenfor brint infrastruktur

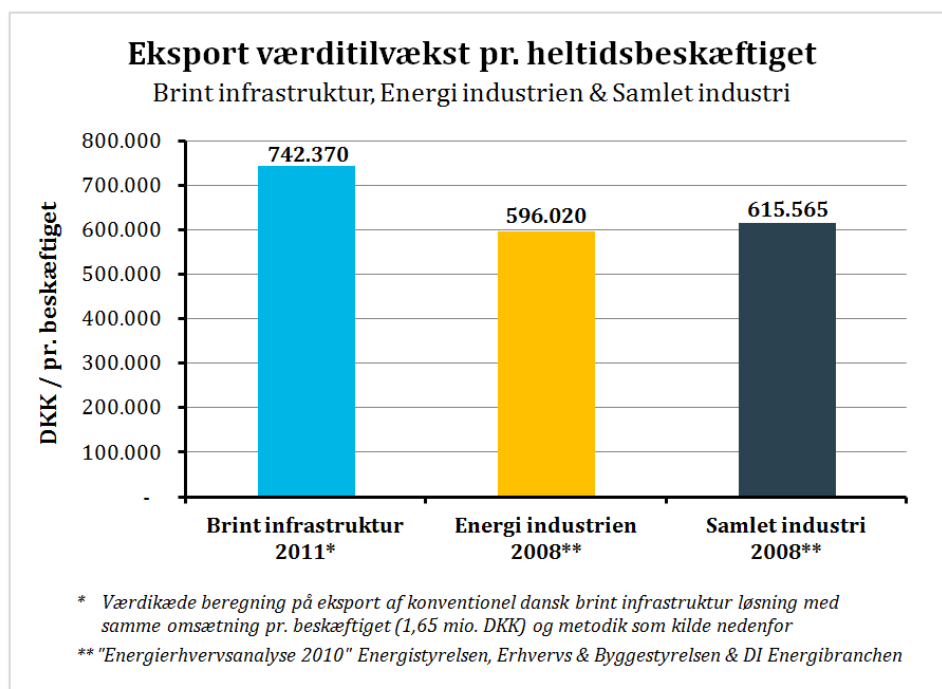
Den forholdsvis høje andel af danske komponenter i brint infrastruktur giver også en tilsvarende høj værditilvækst pr. heltidsbeskæftiget.

Ved konventionelle brint infrastruktur løsninger som produceres i Danmark i dag bidrager hver ansat med en værditilvækst på 742.000 kr. hvilket er over det generelle niveau både i energiindustrien og den samlede industri. Se figur nedenfor.

Brint infrastruktur er endnu på et tidligt markedsstadium hvor konkurrencen er forholdsvis geografisk afgrænset. En fastholdelse af værditilvæksten fremadrettet i takt med at konkurrencen stiger, skal sikres gennem forsat forskning og udvikling som dels kan fastholde og udbygge den dansk producerede andel af brint infrastruktur.

I de senere år er forsknings og udviklingsindsatsen blevet øget på flere komponenter med henblik på at øge den danske andel. Alene i efteråret 2011 er forsknings- og udviklingsprojekter blevet igangsat for mere end 120 millioner kroner indenfor net-op brint produktion, lagring og optankning.

Foruden at nøgleteknologierne for brint produktion og optankning er der også et stort potentiale for den eksisterende industri. Adskillige af de komponenter til brint infrastruktur som i dag indkøbes fra udlandet ligger tæt op ad eksisterende danske industri komponenter og produkter, som gennem videreudvikling vil kunne anvendes til brint infrastruktur.



7. Rammebetingelser & omkostninger frem mod 2025

Afgørende for introduktionen af brint til transport er etableringen af offentlige rammebetingelser som kan tilskynde private investeringer. Forskellige tiltag frem mod 2025 kan bringe teknologien og markedet til et stadie hvorfra fortsat udrulning frem mod 2050 kan ske på kommercielle vilkår og med fuld afgiftsbidrag til samfundet. Figuren nedenfor opsummerer mulige tiltag og rammebetingelser.

2012-2015 | Demonstration & lempet afgift

- Forlængelse af afgiftsfritagelsen for batteri- og brintbiler til og med 2015
 - *Kombineret med forsøgsprojekter eks. gennem Trafikstyrelsen*
- 45 mio. kr. i infrastrukturpulje for en landsdækkende brint infrastruktur
 - *Eksempelvis udmøntning gennem EUDP's årlige ansøgningsrunder*
 - *Kan med fordel etableres sammen med en pulje for ladeinfrastruktur*
- National udrulningsstrategi for batteri- og brintbiler og infrastruktur i 2012

2015-2025 | Opbygning af kritisk masse, øget afgift & udfasning af tilskud

- Gradvis udfasning af registreringsafgift for brintbiler
 - *I et tempo som sikrer teknologiens konkurrencedygtighed*
 - *Estimeret afgiftsprovenutab i perioden 2015-2025 på 1,45 mia. kr. for samlet 108.000 brintbiler, svarende til 4,6% af bilparken*
- Investeringsstilskud til brint infrastruktur
 - *30% i perioden 2015-2020*
 - *Gradvis udfasning af tilskud i perioden 2021-2025*
 - *Samlet samfundsomkostning på 335 mio. kr.*
- Brændstofstilskud til brint infrastruktur
 - *Gennemsnitligt tilskud på 41 øre/kWh brint optanket i perioden 2015-2025*
 - *Gradvis reduktion fra 2 DKK/kWh i 2015 til 0 DKK/kWh i 2025*
 - *Samlet samfundsomkostning på 740 mio. kr.*
- Finansielle og lovgivningsmæssige rammer
 - *Garanterede lån fra eks. Nordiske og Europæiske investeringsbanker*
 - *Infrastruktur licenser som sikrer en reguleret udrulning*

2025-2050 | Kommerciel udrulning & fuld afgift

- *Kommercielt salg af brintbiler med fuldt afgiftsbidrag*
- *Kommerciel udrulning af brint infrastruktur – øget afgift på brint/el*

7.1 2012 – 2015 Demonstration og lempet afgift

Frem mod 2015 vil antallet af brintbiler øges langsomt og som en del af forsøgsaktiviteter. Forlængelse af afgiftsfritagelsen for batteri- og brintbiler kombineret med offentligt støttede forsøgsprojekter kan sikre opbygning af den nødvendige flåde af køretøjer som kan understøtte etableringen af brint tankstationer. Det kan eksempelvis ske under den allerede etablerede tilskudsordning for forsøgsprojekter i Trafikstyrelsens Center for Grøn Transport. Hermed vil erfaringer og resultater kunne kombineres på tværs af forskellige teknologier herunder også batteribiler.

Frem mod 2015 er der behov for etablering af et landsdækkende netværk af brint-tankstationer som kan muliggøre en markedsintroduktion af brintbiler fra 2015. En investering på 90 millioner kroner i 15 brint tankstationer i de seks største byområder kan sikre en god geografisk dækning af landet og at 50% af befolkningen vil have mindre end 15 km til nærmeste tankstation og 35% vil have mindre end 10 km til nærmeste tankstation, jf. afsnit 4.1.

Grundet lav volumen og et tidligt teknologistadie vil der være tale om demonstrationsaktiviteter hvorfor 50% offentlige bidrage til investeringerne er nødvendige, svarende til 45 millioner kroner. Det kunne ske ved at etablere en infrastruktur pulje som eksempelvis udmøntes gennem EUDP's årlige ansøgningsrunder. Puljen kan med fordel kombineres med en tilsvarende for opladningsinfrastruktur til batteribiler for at sikre koordinering og synergi mellem teknologierne. Sådant støtte til demonstration af alternative drivmidler er også anbefalet af Klimakommissionen⁴².

I løbet af 2012 bør en langsigtet national udrulningsstrategi for både batteri- og brintbiler formuleres. Strategien kan bidrage til dels at sætte de offentlige rammer for udrulningen fra 2015-2025 samt belyse perspektiverne frem mod 2050. Ligeledes kan strategien sammen med rammebetingelser bidrage til at skabe vished for private investorer i forhold til at påbegynde markedsintroduktion og udrulning. En kombineret strategi for både batteri- og brintbiler er oplagt da begge teknologier bidrager til at balancere den stigende mængde vedvarende elektricitet, hvorfor koordinering og samordning af tiltag er hensigtsmæssigt.

⁴² "Dokumentationsdelen til Klimakommissionens samlede rapport" sep. 2010, side 281, faktaboks

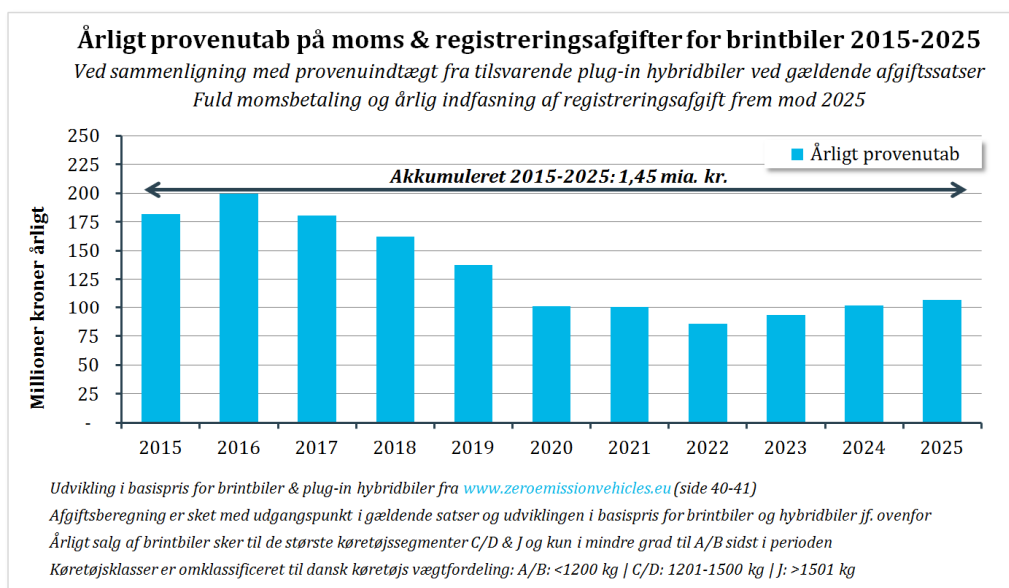
7.2 2015–2025 Opbygning af kritisk masse, øget afgift/udfasning af tilskud

Frem mod 2025 skal der opbygges en kritisk masse af både brintbiler og tankstationer som kan bidrage til at reducere omkostningerne til et kommercielt niveau.

7.2.1 Indfasning af registreringsafgift på brintbiler

Batteri- og brintbiler er i dag fritaget for registreringsafgifter indtil 2012 og ifølge Regeringsgrundlaget⁴³ forventes en forlængelse til 2015. Som beskrevet i afsnit 3.2 forventes brintbiler at være konkurrencedygtige på pris i 2015 grundet afgiftsfritagelsen. Frem mod 2025 forventes bilproducenter at reducere prisen så at teknologien kan konkurrere i andre lande hvor afgifter er lavere end i Danmark. I takt med at bilproducenterne reducerer priserne kan danske afgifter på brintbiler øges hvert år dog i en takt der sikrer at konkurrenceevnen fastholdes. I 2025 er registreringsafgiften fuldt indfaset og brintbiler bidrager med samme afgiftsprovenu som konventionelle biler. På basis af en sådan gradvis introduktion af afgifter kan brintbiler frem mod 2025 opnå en andel på op imod 4,6% af bilparken, svarende til 108.000 biler.

De samlede samfundsomkostninger til lempelserne i afgiften på brintbiler i perioden er beregnet til 1,45 milliarder kroner som skitseret i figuren nedenfor.



Afgiftsberegningen tager udgangspunkt i en sammenligning med provenuindtægten for tilsvarende plug-in hybridbiler ved gældende satser for moms og registreringsafgifter. Grundet den højere basispris i begyndelsen for brintbiler kompenserer momsindtægterne for noget af provenutabet på registreringsafgifter. Anvendte basispriser og udviklingen i perioden for hybrid- og brintbiler er beskrevet i afsnit 3.2.

Salg af brintbiler prioriteres mod de større køretøjssegmenter (efter vægt) hvor der opnås størst CO₂ emissionsreduktioner. En eventuel ny strukturering af bilafgifter bør derfor favorisere at brintbiler introduceres i større køretøjer mens eksempelvis batteribiler prioriteres i de mindre køretøjer.

⁴³ www.stm.dk/publikationer/Et_Danmark_der_staar_sammen_11/Regeringsgrundlag_okt_2011.pdf side 30

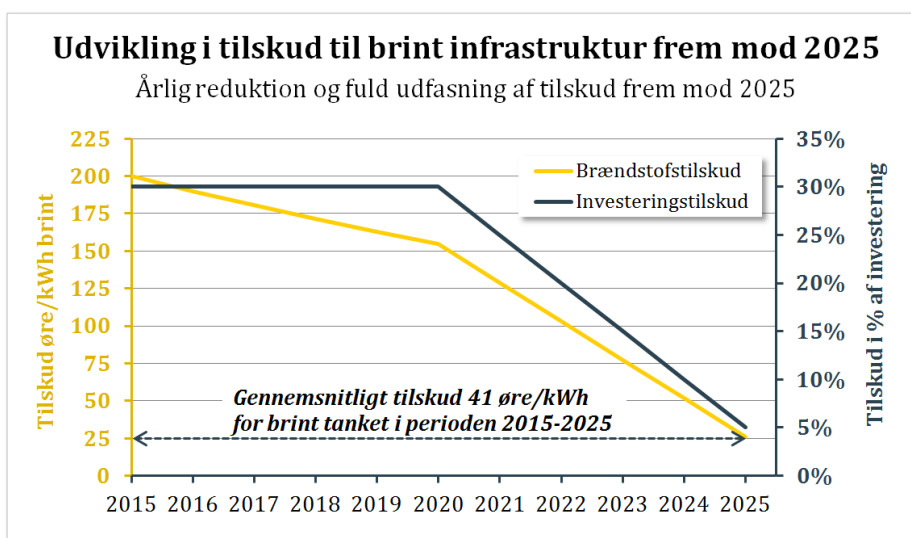
7.2.2 Udfasing af tilskud til brint infrastruktur

For at forsyne op til 4,6% af bilparken med brint frem mod 2025 skal op imod 185 brint tankstationer etableres, svarende til en investering på 1,7 milliarder kroner. En kombination af investeringstilskud og brændstoftilskud kan gøre det attraktivt for private aktører at foretage en sådan investeringen.

Et investeringstilskud på 30% i perioden 2015-2020 og som reduceres til 0% frem mod 2025 kan understøtte de høje investeringer som kræves i begyndelsen hvor prisniveauet for teknologien er høj og hvor udnyttelsen er lav. Et tilskud på 30% er på niveau med Regeringens forslag for støtte til biogas via Igangsætningspuljen.

Et gennemsnitligt tilskud på 41 øre/kWh brint optanket i perioden 2015-2025 kan understøtte driften. Tilskuddet kan starte på 2 kr./kWh i 2015 og løbende reduceres til 0 kr. i 2025 i takt med at udnyttelsen af infrastrukturen stiger og driften dermed forbedres. Et tilskud på 2 kr./kWh i 2015 er på niveau med det indirekte tilskud pr. kWh som eksempelvis solceller opnår når elmåleren løber baglæns. Det gennemsnitlige tilskud på 41 øre/kWh er på niveau med tilsvarende støtte til biogasanlæg.

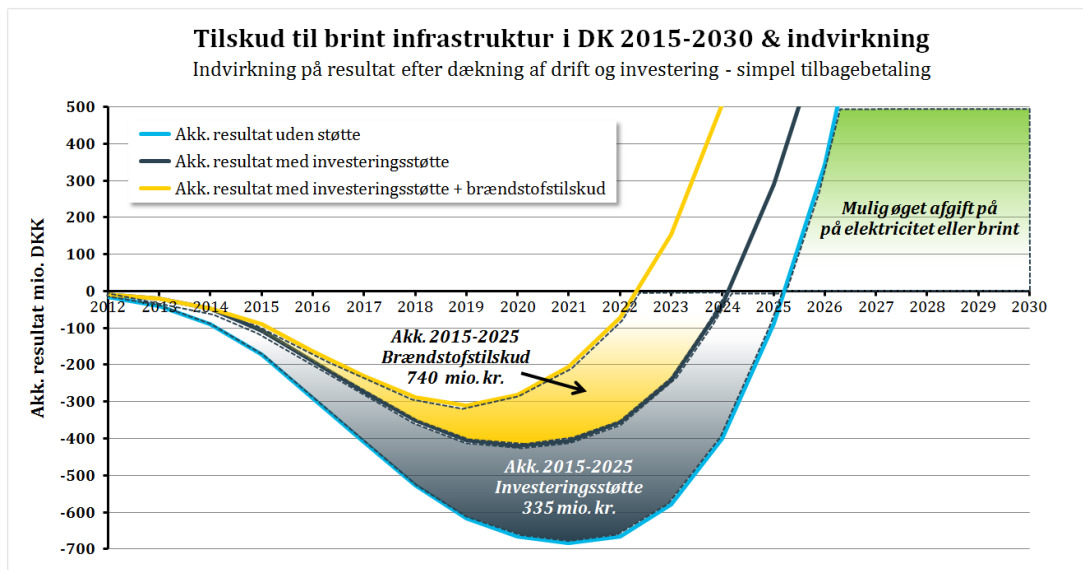
Det grundlæggende paradigme i de forslåede tilskud er en løbende årlig reduktion frem mod en fuld udfasing i 2025 i takt med at teknologien reduceres i pris og udnyttelsen stiger. Udviklingen i støtteniveauet er vist i figuren nedenfor.



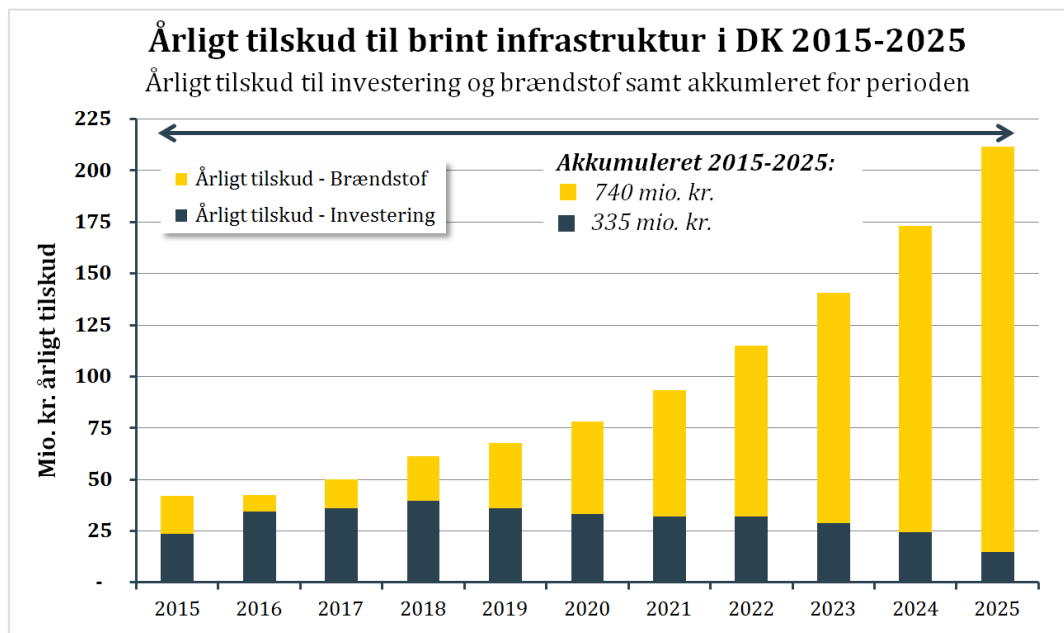
Foruden de skitserede rammebetingelser bør lovgivning også etableres som sikrer en koordineret udrulning, eksempelvis gennem udstedelse af infrastruktur licenser i lighed med mobil licenser. Finansielle rammer såsom garanterede lån fra eksempelvis de Nordiske eller Europæiske investeringsbanker kan også bidrage til at gøre investering i infrastruktur attraktivt for private investorer.

De samlede samfundsomkostninger til infrastruktur rammebetingelserne i perioden er beregnet til 1,075 milliarder kroner. Indvirkningen på investeringen og samfundsomkostningerne pr. år er vist i de efterfølgende figurer.

Nedenfor er vist indvirkningen af rammebetingelserne på infrastrukturinvesteringen og tilbagebetalingen. Som det ses kan rammebetingelserne fremrykke en simpel tilbagebetaling fra 2025 til 2022, hvormed investeringshorisonten er indenfor rammerne af hvad der er muligt for private investorer og virksomheder. Efter 2025 kan afgifter på elektricitet og brint øges for at sikre en regulering af overskuddet.



Figuren nedenfor viser den årlige fordelingen af de samlede samfundsomkostninger.



Selvom tilskudssatsen for brændstof falder gennem perioden er det samlede støttebeløb stigende. Det skyldes at ca. 50% af al brint i perioden leveres i årene 2024 og 2025. Efter 2025 er alle tilskud til både investering og brændstof fuldt udfaset.

7.3 2025-2050 - Kommerciel udrulning & fuld afgift

Fra 2025 og frem kan udrulningen af biler og infrastruktur ske selvfinansierende da andelen af bilparken potentielt har nået ca. 5% eller 100.000 køretøjer. Dette er i tråd med anbefalingerne fra Klimakommissionen som har foreslået afgiftslempelser for de første 100.000 batteribiler for at nå et tilstrækkeligt volumen⁴⁴. Tilsvarende konklusion på nødvendig markedsvolumen findes i EU-Power train studiet⁴⁵. Foruden fuld afgift på biler kan afgiften på elektricitet og brint øges frem mod 2050.

⁴⁴ "Dokumentationsdelen til Klimakommissionens samlede rapport" sep. 2010, side 281, faktaboks

⁴⁵ "A portfolio of power-trains for Europe", side 18, www.zeroemissionvehicles.eu