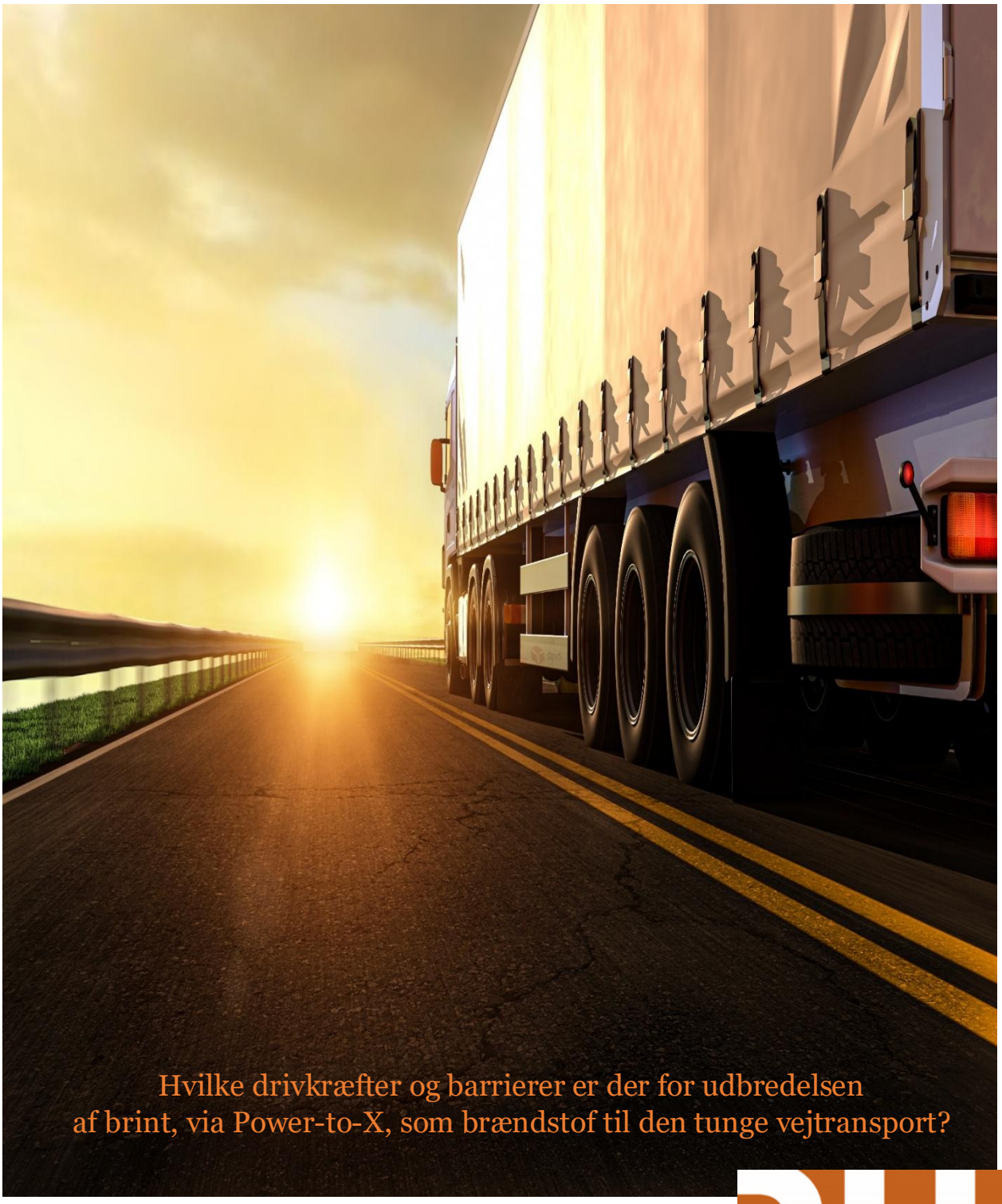
Bæredygtige Energisystemer



Hvilke drivkræfter og barrierer er der for udbredelsen
af brint, via Power-to-X, som brændstof til den tunge vejtransport?

Billedet fra forsiden er downloadet royalty free fra Adobe Stock Photos og taget af Mediaparts.

Semesterprojekt

2. semester - forår 2021

Eksamensgruppenr.: S2124791094
Projekt(arbejds)titel: Bæredygtige Energisystemer
Gruppens medlemmer: Maria Vollmond, mariavo@ruc.dk, 71373 Luna Sandberg Schmidt, lusasc@ruc.dk, 71403 Viktor Ekholm Nielsen, ven@ruc.dk, 71442 Caroline Sigsgård Petersen, casipe@ruc.dk, 71381 Julie Sjøholm, jusj@ruc.dk, 71578
Vejleder: Pernille Nielsen
Hold: HUMTEK C
Dato: 9/6-2021

Abstract

This project examines the technology, Power-to-X (PtX) as a way to produce carbon neutral hydrogen as an alternative to fossil fuels, with a focus on *the heavy transportation sector,* as a means to reach the 2030 and 2050 climate goals, agreed upon at the 2016 Paris-Agreement.

PtX is a way to utilize the surplus energy created in the production of renewable energy, by converting renewable energy into hydrogen-based fuel. The problem lies within the operability challenges faced when the production of energy is greater than the demand. PtX can accommodate for these challenges and store the energy through electrolysis of water. The electrolysis is powered by the renewable energy surplus to split the hydrogen (H) and oxygen (O) gas and utilize the hydrogen in a variety of productions and products.

The heavy transportation sector is defined as trucks and semi-trucks with a total weight greater than 3500 kg. This weight makes it a troublesome sector, as it cannot be electrified, and therefore totally depends upon fossil fuels, ultimately hindering carbon neutrality by 2050.

Overall, this project will examine how and to what extent PtX can play a key role in a carbon neutral conversion of the *heavy transportation sector*.

Indholdsfortegnelse

Abstract ... 3
1. Indledning ... 6
2. Problemfelt ... 7
3. Problemformulering ... 9
3.1 Arbejdsspørgsmål ... **9**
4. Afgrænsning og disclaimer ... 10
5. Begrebsafklaring ... 10
6. Teknologien Power-to-X ... 10
7. Metode ... 12
7.1 Coloured Cognitive Mapping ... **12**
7.2 Semistruktureret interview ... **12**
7.3 TRIN-modellen ... **14**
7.4 Etisk analyse ... **16**
7.5 Roadmap ... **17**
8. Power-to-X og brint ... 19
8.1 Nuværende brintfremstilling og forbrug ... **19**
8.2 Brintfremstillingsteknologier ... **20**
8.2.1 Fremstilling af blå brint ... 22
8.2.2 Fremstilling af grøn brint via elektrolyse ... 22
8.2.3 Indre mekanismer og processer i elektrolyse ... 24
9. Erhvervet ... 26
9.1 Anbefalinger fra branchen ... **28**
10. Analyse ... 30
10.1 Opskalering af brintproduktion ... **30**
10.2 Brintinfrastruktur ... **32**
10.3 Brinttankstationer ... **33**
10.4 Finansiering ... **34**
10.5 Elpriser ... **35**
10.6 Elnettet og afgifter ... **37**
10.7 C02-kvoter ... **39**
10.8 Europæisk samarbejde ... **40**
10.9 Kollektiv omstillingsparathed indenfor transportindustrien ... **42**
10.10 Utilsigtede effekter ... **43**

10.10.1 Tekniske utilsigtede effekter 43
10.10.2 Samfundsmæssige og økonomiske utilsigtede effekter 44
10.11 Etiske overvejelser **44**
11. Delkonklusion 46
12. Roadmap 47
12.1 Målsætninger 47
12.1.1 Konkurrencedygtighed 47
12.1.2 Teknologisk udvikling 47
12.1.3 Infrastruktur 48
12.2 Udviklingstemaer 48
12.2.1 Infrastruktur 48
12.2.2 Markedet og efterspørgsel 49
12.2.3 Teknologi 49
12.3 Milepæle 49
12.3.1 Infrastruktur 49
12.3.2 Markedet og efterspørgsel 51
12.3.3 Teknologi 53
12.4 Roadmap 55
12.4.1 Facilitering 56
13. Diskussion 57
14. Konklusion 59
15. Perspektivering 60
16. Litteraturliste 62

1. Indledning

Der er en bred videnskabelig konsensus om, at det er mennesket, der er skyld i den globale opvarmning, de sidste årtiers temperaturstigninger og klimaforandringer (Persson, 2019).

Den væsentligste årsag til dette er menneskets forbrug og afbrænding af fossile brændstoffer, som er stigende pga. efterspørgslen af produktion og dermed forbrug af Jordens ressourcer (ibid.).

Med en stigende befolkningstilvækst og en generel forøgelse af velstanden blandt store dele af Jordens befolkning, vil der være brug for mere energi fremover. Skal vi imødegå de alvorlige konsekvenser ved global opvarmning og eventuelle forsyningskriser med mangel på fossil energi (især olie og kul), skal vi være proaktive med at nedsætte udledningen af drivhusgasser. Det vil bl.a. kræve en omlægning af energisektoren til udelukkende vedvarende energi (fremtidensenergi.dk, s.d.).

I 2018 fremlagde EU-kommissionen sin vision om et klimaneutralt EU i år 2050. Dette er en forlængelse af Paris-aftalen, som forpligter medlemslandene i FN til at holde den globale temperaturstigning på maks. 2 grader og gerne under 1,5 grader. Dette er sammenlignet med den globale gennemsnitstemperatur fra før industrialiseringen ca. år 1850 (Europa Parlamentet, 2019), (Krog-Pedersen & Nissen, 2019).

Denne udregning er lavet på baggrund af IPCC (FN's klimapanel), som har konkluderet, at en temperaturstigning på mere end 2 grader vil have uoprettelige og alvorlige samfunds- og miljømæssige konsekvenser (Klimatilpasning.dk, s.d.).

Et bredt flertal i Folketinget har, med udgangspunkt i EU-kommissionens vision og Paris-aftalen, vedtaget en dansk klimalov (Klimarådet, 2021 s. 2). Denne indeholder en målsætning om en 70%-reduktion af CO2-udledningen i 2030 og et fossiltfrit Danmark i år 2050 (Folketinget, 2020). Det globale energisystem, men også det danske, afhænger dybt af afbrændingen af fossile brændstoffer, som skaber fleksibiliteten på tværs af sektorer (Skov & Mathiesen, 2018). En omstilling af energisektoren til vedvarende energikilder vil skabe et meget fluktuerende system, da elproduktionen er svingende, grundet de danske omskiftelige vejrforhold. Energisystemet skal derfor bestå af flere

vedvarende energiteknologier, som skaber fleksibilitet og dermed forsyningssikkerhed (Skov & Mathiesen, 2018).

Elektrolyse er en teknologi, som har potentiale til at sikre denne forsyningssikkerhed og bruges til sektorer, som ikke kan elektrificeres. Dele af transportsektoren skal bruge alternative brændsler, som er CO2-neutrale, modsat benzin og diesel (Skov & Mathiesen, 2018). Den omfattende omstilling af personbiler med forbrændingsmotorer til personbiler drevet af el, er allerede påbegyndt. Den samme løsning kan desværre ikke overføres til den tunge vejtransport, da batterieffektivitet har en begrænsning hertil (Hinrichsen, 2021). Lastbiler skal køre langt, når de kører på tværs af regioner og landegrænser, og en optankning med elmotorer vil kræve flere timers ladning.
Det vil ikke give mening at lade chaufførerne vente flere timer på en opladning (Hinrichsen, 2021). Derfor har vi valgt at tage fat i denne problemstilling.

Ser man på at løse omstillingen af den tunge vejtransport, kan teknologien Power-to-X (forkortet PtX) meget muligt blive en bærende løsning. Med PtX tages der grøn strøm produceret af VE-kilder og omdanner det til brint via elektrolyse. Brinten kan anvendes til at erstatte fossilt brændstof i de sektorer, som ikke kan elektrificeres (energinet.dk, 2020).

Skal der køres langt og med tungt læs, har brint et stort potentiale (Hinrichsen, 2021). Lastbiler vil kunne køre 1000 km. på en optankning med brint, hvis der er en uændret lasteevne og en uændret optankningstid sammenlignet med diesel (ibid.).

Regeringen forventer at have en national strategi for PtX klar i slutningen af 2021 (pro.ing.dk, 2021). Vi vil med dette projekt udarbejde et forslag på en udviklingsstrategi for brint, produceret via PtX, i den tunge vejtransport, som i 2050 skal være CO2-neutral, ligesom resten af Europas energiforbrug.

2. Problemfelt

Politikerne har sat sig et klimamål om en CO2-udledningsreduktion på 70% inden 2030, med udgangspunkt i data fra 1990, som var på 69,5 mio. ton CO2-emission (Aagaard et al., 2020, s. 32), (Miljøstyrelsen, 2005, s. 9). Ved de nyeste tal fra 2019, var Danmarks samlede CO2-udledning på 46,7 mio. ton (Arentoft, 2021). Ydermere er der sat et mål

om nuludledning inden 2050 (Aagaard et al., 2020, s. 32). For at dette klimamål kan opnås, er en grøn omstilling af samfundet nødvendig. Denne grønne omstilling vil have stor indflydelse på transportsektoren, da langt størstedelen af transportsektoren stadigvæk afhænger af fossile brændstoffer. En analyse fra CONCITO viser, at den tunge vejtransport i 2017 alene stod for 4,5% af Danmarks samlede drivhusgasudledning (Gudmundsson, 2019). Hvis man omstiller den tunge vejtransport, vil det årlige CO2-udslip derfor reduceres med over 4,5% alene for lastbiler og sættevognstrækkere over 3500 kg. (Gudmundsson, 2019).

I 2021 er der i Danmark ca. 42.000 registrerede lastbiler af forskellige typer (Danmarks Statistik, 2021, A). Langt størstedelen af disse lastbiler kører på dieselolie.
En topmoderne lastbil (anno 2017), der totalt må laste 40 ton, kan køre lige over 4 km/l (ved landevejskørsel) (Transportmagasinet, 2017).

Omstillingen af den tunge vejtransport indeholder flere problematikker. På nuværende tidspunkt er teknologien for dyr til en rentabel omstilling, da det kræver mere forskning og bedre teknologier (Hinrichsen, 2021). Det er specielt elektrolyseteknologien, der på nuværende tidspunkt er dyr. Samtidig kræver det, at brintprodukter bliver konkurrencedygtige med fossile brændstoffer, da fossile brændstoffer pt. er langt billigere (ibid.).

Der tales om et såkaldt PtX-paradoks i Danmark, som kan resultere i, at produktionen af PtX udbredes globalt, mens udviklingen kommer bagud i Danmark (Aagaard et. al, 2020, s. 3-4). Paradokset går ud på, at det er ukendt, hvor stor og hvornår efterspørgslen kommer på den grønne brint, og det er derfor usikkert for producenterne af grøn energi at opskalere deres produktion. Prisen på PtX-produkterne afhænger samtidig af størrelsen, og der vil ikke være tilstrækkelig efterspørgsel fra f.eks. vognmænd før priserne er på et konkurrencedygtigt niveau (ibid., s. 3-4).

Kort beskrevet kræver omstillingen af den tunge vejtransport, at der skal være efterspørgsel for, at der er et udbud, men samtidigt skal der være udbud for, at der er en efterspørgsel. Der skal derfor ske diverse indsatser fra flere aktører i værdikæden for at skabe en efterspørgsel på brint og at gøre det til en nødvendig og vigtig brik i den tunge vejtransport.

På baggrund af overstående mener vi, at der et solidt grundlag for et aktuelt projekt med udgangspunkt i en analyse af PtX-omstillingen af den tunge vejtransport. Dette vil vi gøre ved at analysere teknologiens drivkræfter og barrierer med inspiration fra udgivne handlingsplaner og diverse empiri. Heraf vil vi visualisere vores anbefaling til omstillingen frem mod 2050 via et roadmap.

3. Problemformulering

For at undersøge den beskrevne problemstilling, har vi udarbejdet en problemformulering med tilhørende arbejdsspørgsmål, der skal hjælpe med at strukturere og svare på problemformuleringen.

Problemformulering: Hvilke drivkræfter og barrierer er der for udbredelsen af brint, via Power-to-X, som brændstof til den tunge vejtransport?

3.1 Arbejdsspørgsmål

- **Arbejdsspørgsmål 1:** Hvordan fungerer Power-to-X og brintfremstilling?

For at besvare dette arbejdsspørgsmål vil vi undersøge og redegøre for de overordnede mekanismer og processer i Power-to-X-teknologien med fokus på brint.

- **Arbejdsspørgsmål 2:** Hvilke faktorer har betydning for implementering af Power-to-X i den tunge vejtransport?

For at besvare dette arbejdsspørgsmål vil vi undersøge den teknologiske udvikling, de politiske reguleringer, lastbilbranchen og den kollektive omstilling.

- **Arbejdsspørgsmål 3:** Hvilke tiltag er nødvendige for at implementere Power-to-X i den tunge vejtransport?

For at besvare dette arbejdsspørgsmål vil vi analysere os frem til den udvikling, der skal til for at nå målsætningen ud fra diverse handlingsplaner samt interview.

- **Arbejdsspørgsmål 4:** Hvordan kan udviklingen for Power-to-X se ud, hvis den tunge vejtransport skal være CO2-neutral i 2050?

For at besvare dette arbejdsspørgsmål vil vi på baggrund af vores analyse udarbejde et roadmap, som illustrerer udviklingen for Power-to-X i den tunge vejtransport frem mod år 2050.

4. Afgrænsning og disclaimer

Vi har valgt at fokusere på den tunge vejtransport i Danmark og har i den forbindelse gjort os nogle fravalg. For det første har vi valgt at afgrænse PtX-omstillingen af den tunge vejtransport til Danmark. Det har vi valgt, da Danmarks vedvarende energiressourcer, især vindenergi, har et stort potentiale. Et af de store problemer med vindenergi er, at man på nuværende tidspunkt ikke kan lagre energien. Der er derfor et stort spild af ressourcer ved produktion af vedvarende energi, som PtX kan være med til at udnytte.

Som det fremgår i den tilgængelige og valgte litteratur, er PtX stadig en relativ ny teknologi og endnu ikke udbredt i stor skala. Da teknologien er ny og under fortsat udvikling, kan ny data og viden påvirke og forælde integriteten af opgaven.

5. Begrebsafklaring

Herunder afklarer vi begreber, der gennemgående anvendes i rapporten.

- Den tunge vejtransport: Når vi nævner den tunge vejtransport, tager det udgangspunkt i opgørelsen fra Danmarks Statistik over registrerede lastbiler og sættevognstrækkere med en totalvægt på mere end 3,5 ton (Danmarks Statistik, 2021, A).
- CO2-neutralitet: Menes der også CO2-ækvivalent-neutralitet.
- Mt: Forkortelse for 'megaton'. Svarer til 1 million ton.
- VE: Forkortelse af 'vedvarende energi'
- TWh: Forkortelse af 'terawatt-time'. Svarer til at producere 1 mia. kilowatt på en time

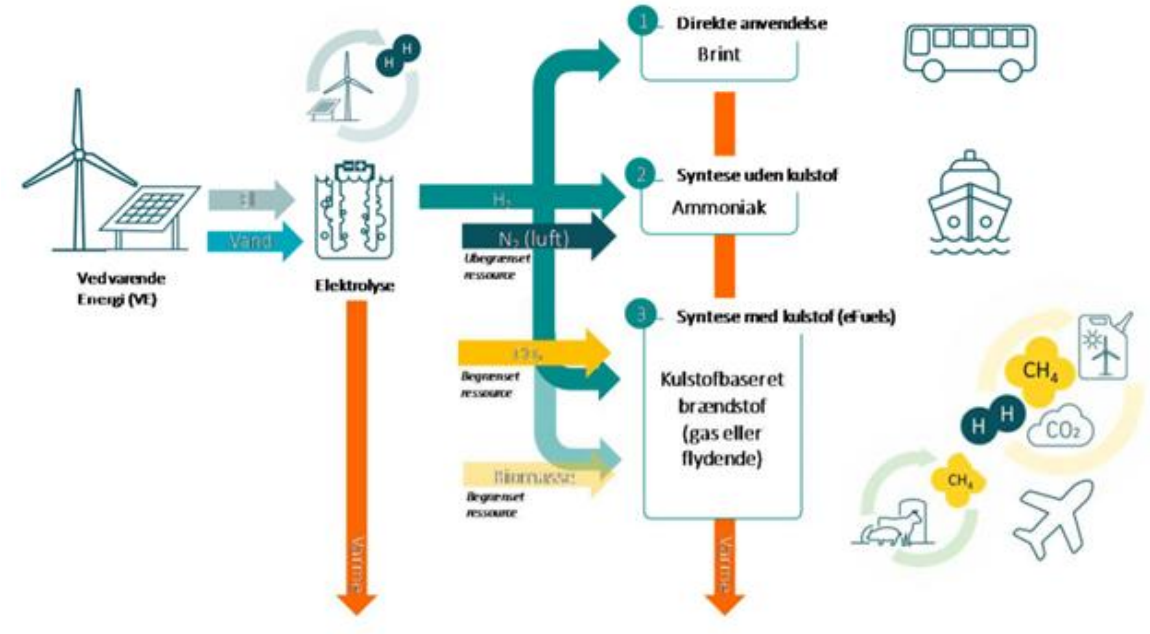
6. Teknologien Power-to-X

Herunder er en kort introduktion til, hvad PtX er, og hvad det kan bruges til.

Dansk Energi, som er en erhvervs- og interesseorganisation for energiselskaber i Danmark, definerer PtX som en betegnelse, der dækker over konvertering af grøn elektricitet til brint (Dansk Energi, 2016 s. 11). Konverteringen foregår igennem elektrolyse af vand, der spalter vandet i brint (H2) og ilt (O) (Man Energy Solution, s.d). Den brint, der kommer ud af denne konvertering, kan brinten anvendes, som den er, eller efterfølgende anvendes til at fremstille en række forskellige brintbaserede PtX-produkter. Disse PtX-produkter er eksempelvis metan, ammoniak eller diesel, der udover ren brint efterfølgende kan anvendes til at neutralisere CO2-udledningen i de sektorer, der på nuværende tidspunkt afhænger af fossile brændstoffer og på sigt ikke kan elektrificeres (Energinet, 2020).

For at undgå yderligere energitab ved konvertering af brint, til eksempelvis bæredygtig dieselolie, anvendes brinten rent i den tunge vejtransport. Derfor tager vi udgangspunkt i at anvende brinten direkte i den tunge vejtransport (Energinet, april 2019), (Bilag 2).

Nedenstående figur illustrerer, i grove træk, hvordan vedvarende energi, kan omdannes til brint og PtX-produkter via elektrolyse, samt eksempler på hvilke sektorer PtX-produkterne kan indgå i.



Figur 1: Overblik over processer, der indgår i PtX-fremstilling (Energinet, november 2019, s. 12).

7. Metode

I dette afsnit vil vi redegøre for valg af metoder, som er valgt ud fra kravet om 2. semesters binding til 'Teknologiske systemer og artefakter' (TSA), samt vores selvvalgte binding til 'Subjektivitet, Teknologi og Samfund' (STS). Herunder CCM, semistruktureret interview, TRIN-modellen, etisk analyse og roadmap.

7.1 Coloured Cognitive Mapping

For at specificere vores problem og få en bedre forståelse af problemets årsager, konsekvenser og muligheder, opsatte vi som det første i afgrænsningsprocessen, vores problem i et Coloured Cognitive Mapping (CCM), også kaldet problemkort. Coloured Cognitive Mapping er udarbejdet af John Venable og er forankret i faget Design og Konstruktion.

Ved at lave dette, har det givet os en forståelse af problemets afgreninger i form af årsager og årsager til årsagerne, samt konsekvenser og de dertilhørende konsekvenser af disse. Det er en måde at visualisere problemer og forstå sammenhængen mellem problemets årsager og konsekvenser (Venable, 2014, s.1).

Dette gjorde vi forud for vores problemformulering for at indsnævre os på det reelle problem. CCM har kun været anvendt til startfasen, som værktøj til at få en forståelse af problemet og hjælp til udarbejdelse af problemformulering, og bliver derfor ikke uddybet mere i rapporten. Det udarbejdede CCM kan findes i bilag 1.

7.2 Semistruktureret interview

Den etnografiske metode, semistrukturerede interviewet, som er forankret i semesterbindingen Subjektivitet, Teknologi og Samfund, er en form for interview, hvor man bestræber sig på at få et naturligt og reelt indblik i interviewpersonens syn på den valgte problemstilling (Brinkmann & Kvale, 2009). For at få det meste ud af interviewet, er strukturen bygget op omkring interviewpersonens svar og bliver, til en vis grad, ledt af den interviewede (ibid.).

Vi har valgt at benytte denne metode, da det giver os et direkte indblik i, hvad industrien mener. Vi gik ind til interviewet med det formål at få ny og uddybende viden, som vi ikke selv kunne have læst os til i f.eks. i Dansk Energis handlingsplan.

Deres handlingsplan er ret bred og omhandler mange aspekter af PtX omstillingen. Dog ville vi gerne have mere viden om den tunge vejtransport, samt den dertilhørende infrastruktur. Det var vigtigt for os at få mere viden om PtXs reelle potentiale samt, hvordan energinet mener, at man skal prioritere det ift. andre energikilder.

Vi har udført et semistruktureret interview med Anders Winther Mortensen, som er energianalytiker hos Energinet i Fredericia. Vi lavede interviewet online via Teams. Vi optog interviewet med Anders' tilladelse og har derefter transskriberet det. Interviewet kan findes i bilag 2.

Vi sørgede for at stille åbne og ikke-ledende spørgsmål. Over computeren går noget af kropssproget og kontakten mellem hinanden tabt, så derfor sørgede vi for verbalt at anerkende hans svar samtidigt med at fokusere på vores mimik gennem skærmen. Ifølge Brinkmann og Kvale er validering et vigtigt redskab når man udfører interviews, da det både understreger interviewpersonens troværdighed, øger trygheden, samt etablerer en personlig kontakt mellem interviewets deltagere (Brinkmann, Kvale, 2009).

Vi havde forberedt nogle overordnede og essentielle spørgsmål, som dannede grundlaget for vores interview, samtidigt med, at vi lod Anders lede interviewet i sin egen retning. På baggrund af hans svar kom vi med opfølgende og uddybende spørgsmål. På den måde kunne vi gå i dybden med emner, som Anders selv bragte på banen og få nogle gode og velovervejede svar.

Et eksempel på vores struktur med opfølgende spørgsmål er f.eks. da Anders kort, i en anden sammenhæng, nævner at fossile brændstoffer er billige:

> *"Elektrolyse som er sådan hovedelementet i det, det er noget vi har brugt i Norge siden 1940erne (tror jeg det var eller noget i den retning) og så har det bare ikke været udviklet særligt meget, fordi fossile brændstoffer er så billige"*
>
> (Bilag 2)

Ud fra det ovenstående spørgsmål, ville vi gerne høre mere om det økonomiske aspekt, derfor stillede vi det opfølgende spørgsmål:

> *"Du nævnte også lige det med det økonomiske aspekt. Er der en økonomisk bekymring ved at skulle implementere brint, altså ift. alternativer? "*

(Bilag 2)

På den måde fik vi dybdegående og uddybende svar, samtidig med at Anders ledte interviewet i den retning, han var ekspert i. Han gav os et svar, der forinden havde været utilgængelig viden i udgivne materialer. Vi vil løbende igennem rapporten inddrage citater og udtagelser fra interviewet.

7.3 TRIN-modellen

Da rapporten er teknologi-orienteret, er en analyse af teknologien relevant. Her ser vi på, hvad der driver teknologien og hvilke indre mekanismer og processer, der indgår. Det ledte os til at inddrage TRIN-modellen (Teknologi og Radikalt og Inkrementelt design i Netværk) (Jørgensen, august 2020).

Niels Jørgensen er lektor på Instituttet for Mennesker og Teknologi på Roskilde Universitet (RUC), hvor han underviser i Teknologiske Systemer og Artefakter (TSA). Han har derudover en ph.d. i datalogi og har udviklet TRIN-modellen i en tilknytning til en teknisk-videnskabelig kernefaglighed (Jørgensen, maj 2020).

TRIN-modellen er et værktøj til at analysere en teknologi, med særligt fokus på at inspirere til en teknologi-analyse, ved at pege på centrale elementer, der kan undersøges. Modellen, som er opdelt i 6 trin, skal hjælpe os med at undersøge og besvare vores problem (Jørgensen, august 2020). Trinnene er som følger:

1. Teknologiers indre mekanismer og processer
2. Teknologiers artefakter
3. Teknologiers utilsigtede effekter
4. Teknologiers systemer
5. Modeller af teknologier
6. Teknologier som innovation

Herunder følger først en gennemgang af alle trinene, dernæst en argumentation for, hvorfor og hvordan de hver især bruges i opgaven.

Det første trin i TRIN-modellen, *Teknologiers indre mekanismer og processer*, er særligt relevant for at forstå en teknologi, hvordan den fungerer og hvordan den kan opfylde sit formål. I trinnet bliver der set på hvilke processer, der indgår i teknologien for, at den fungerer, samt hvilke centrale mekanismer teknologien består af (Jørgensen, august 2020).

Dette trin er særligt relevant for at besvare vores første arbejdsspørgsmål *"Hvordan fungerer Power-to-X og brintfremstilling?"*, hvor vi går i dybden med de indre mekanismer og processer i fremstillingen af brint.

Trin 2, *Teknologiske artefakter*, handler om de artefakter, der har med den valgte teknologi at gøre. Her handler det om at få fremhævet, hvilke artefakter, der indgår og er i samspil i og med teknologien (ibid.).

Dette trin anvendes til at gennemgå de artefakter, der skal til for at få et PtX-system til at fungere (ibid.). Herunder redegøres bl.a. for den nødvendige infrastruktur og dets teknologier.

Trin 3, *Teknologiers utilsigtede effekter*, handler om at kigge på den valgte teknologis utilsigtede effekter (ibid.). De utilsigtede effekter er det, der anses for at være uforudsete effekter af teknologien. Her skelnes mellem de utilsigtede effekter, der har karakter af økonomi, risici og designfejl (ibid.).

Dette trin bruges til at se mere kritisk på PtX og hvilke risici, der er ved implementeringen af teknologien. For at forstå, hvad der skal til for at implementere PtX i en større skala, er det relevant at se kritisk på teknologien og medfølgende konsekvenser. Her ser vi på selve elektrolyseanlægget, men også det større system, som teknologien indgår i.

Trin 4, *Teknologiske systemer*, handler om sammenhængen mellem de systemer af artefakter, som teknologien indgår i, der samlet giver en funktionalitet til opfyldning af menneskelige behov (ibid.).

Dette trin vil vi benytte til at se på de store, sammenhængende systemer af teknologiske artefakter. PtX omhandler bl.a. elnettet, energikilderne, elektrolyseanlæg, erhvervet, politikerne og forbrugerne. Det giver et bedre indblik i, hvilket samspil teknologien skal indgå i samt, hvad der bliver påvirket under implementeringen.

Trin 5, *Modeller af teknologier*, handler om at vise en model af teknologien med udvalgte elementer (ibid.). Det kan både være en visuel, abstrakt eller fysisk model. Det gøres for at få en bedre forståelse af teknologien og eventuelt udvikle på den.

Dette trin vil vi bruge til at visualisere omstillingen til PtX. Her vil vi udarbejde et roadmap over teknologien til at visualisere, hvordan implementeringen skal fungere.

Trin 6, *Teknologier som innovation*, handler om, hvilke drivkræfter og barrierer, der kan være for teknologiens brug, implementering og udbredelse. Her bliver der set tilbage på nogle af de øvrige trin.

Dette trin bruger vi til at se på, hvilke drivkræfter og barrerier, der er ved at implementere PtX. Dette trin bliver udført, på baggrund af analysen og de øvrige trin.

7.4 Etisk analyse

For at undersøge om der følger etiske problemstillinger med i forbindelse med implementering af PtX, gør vi brug af en etisk analysemetode.

Disse etiske overvejelser tager udgangspunkt i en forelæsning af Thomas Søbirk Petersen, som er professor i etik–, filosofi- og videnskabsteori. Her blev der gennemgået en bestemt etisk analysemetode, der tager udgangspunkt i at vurdere etiske holdninger på et rationelt grundlag (Petersen, 2020). Herunder nævnes en 'værktøjskasse', der kan anvendes til etisk vurdering af teknologi. 'Værktøjskassen' består af følgende fire retningslinjer, der bør opfyldes ved en etisk holdning, for at sikre validiteten af holdningen (Petersen, 2020):

1. Krav om begrundelse

- Der skal være en begrundelse for, hvorledes det giver mening at anvende en bestemt teknologi.

2. Saglige videnskabelige data

- Det er vigtigt at den videnskabelige data, der lægger til grund for implementeringen af teknologi, er korrekt og objektiv.

3. Klar brug af begreber

- Begreber skal afklares, så misforståelser og subjektivitet undgås.

4. Frihed for dobbeltmoral

- For at undgå dobbeltmoral er det vigtigt, at to handlinger, der vurderes som værende forskellige, har mindst én konkret moralsk forskel (ibid.).

Vi bruger dele af 'værktøjskassen' senere i vores analyse.

7.5 Roadmap

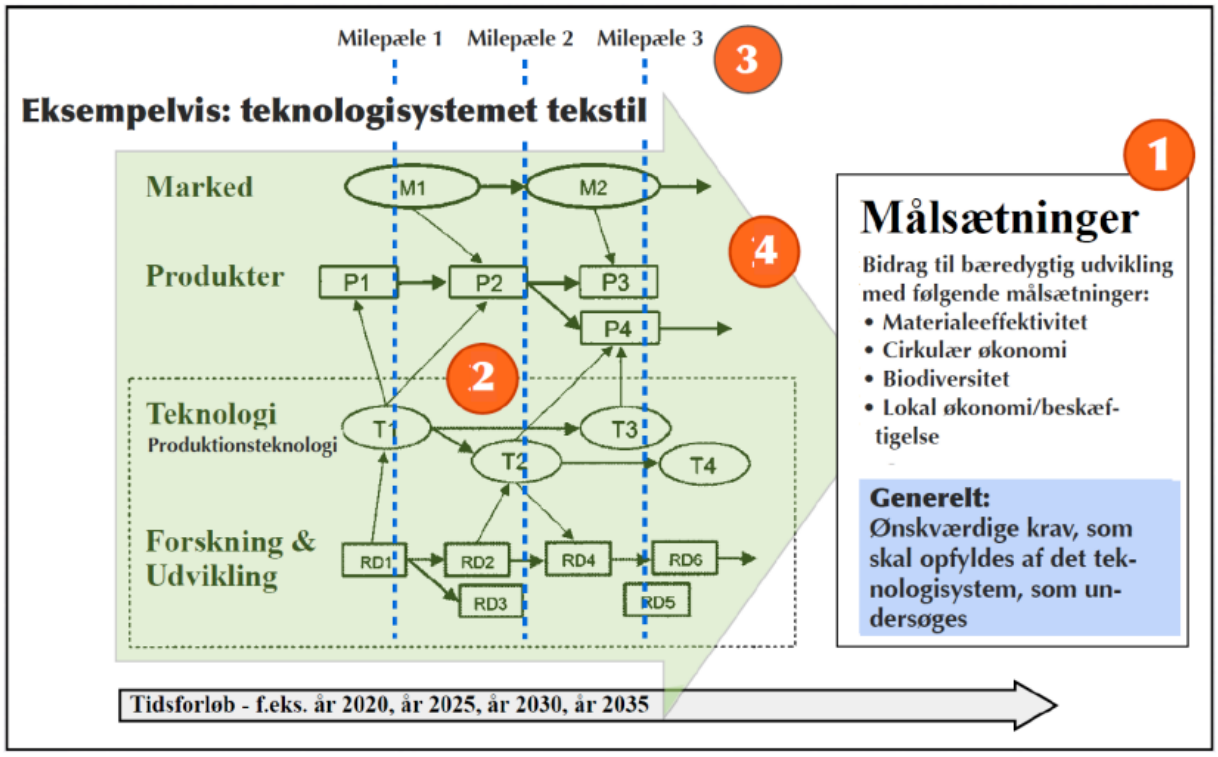
Som en del af trin 5 "Modeller af teknologier", udarbejdes et roadmap til visualiseringen af PtX-omstillingen af den tunge vejtransport.

Teknologiske roadmaps er oprindeligt udviklet af Motorola tilbage i 1970'erne med henblik på at sikre, at investeringer i teknologier og ny udvikling af teknologiers evner er tilpasset hinanden. Sådan sikrer man, at den teknologiske udvikling forbedres og ikke forældes (Bernal, et al., 2009, s. 3).

Et roadmap er en form for plan/tidslinje, der har til formål at skabe overblik over nuværende og fremtidige problemstillinger, samt hvordan man bevæger sig mod en løsning (Kjær, 2021). Ved hjælp af roadmaps kan man visualisere flere aspekter af et problem, og hvilke metoder man skal benytte, for at forbedre teknologien og nå diverse mål.

Et roadmap kan visualiseres forskelligt, alt efter hvad formålet og målgruppen er. F.eks. om det er planlægningen for udbredelse af et produkt/service, strategisk plan, projektplan eller integrationen af en teknologi i et allerede eksisterende produkt eller system (Bernal, et al., 2009, s. 4).

I vores tilfælde er det et roadmap for udviklingen af en bæredygtig teknologi, nemlig af PtX i den tunge vejtransport. Roadmappet tager derfor udgangspunkt i følgende opbygning:



Figur 2: Illustration af et roadmap med de 4 trin. Kjær, T. (2021), *"Kursusplan. Bæredygtige teknologier".*

Et typisk forløb for et roadmap til et teknologisystem består af 4 trin (Kjær, 2020):

1) Målsætning: Der skal defineres en målsætning for det teknologisystem man beskæftiger sig med.

2) Udviklingstemaer: Man skal udvælge de temaer, der er relevante for at opnå målsætninger. De vil ofte hænge sammen og være væsentlige for teknologisystemets udvikling.

3) Milepæle: Disse er til for at dele indsatsen ind i nogle faser. På den måde kan det være nemmere at overskue for læseren og skabe struktur i udviklingen i roadmappet.

4) Roadmap: På baggrund af de tre ovenstående trin kan roadmappet nu laves (ibid.).

Ved faciliteringen af et roadmap er der også tiltænkt en iterativ proces, hvor der løbende sker ændringer og erkendelser ved nye indsigter i problemstillingen (ibid.).

Et roadmap gør det nemmere at forstå problematikken, samt hvad der skal gøres hvornår for, at udviklingen sker i rette hastighed frem mod målet. Vores roadmap udvikles, for at vise den fremtidige omstilling af den tunge vejtransport frem mod 2050.

8. Power-to-X og brint

Vi vil i følgende afsnit redegøre for væsentlige teknologier og infrastruktur, der kan anvendes til fremstilling af brint i en potentiel PtX-omstilling.

Da brint er så væsentlig en del af PtX-konceptet, er det interessant at skille de to ting ad og kigge på brint for sig selv, for at forstå formålet samt brugen af teknologien. Både ift. brintfremstillingsteknologier, men også ift. opskalering af brintproduktion samt oprettelse af en brintinfrastruktur. Disse tre forhold er interessante da de, både enkeltvis og i sammenspil med hinanden, er nødvendige for at kunne udvikle og udføre en sammenhængende PtX-strategi med fokus på brint. I dette kapitel ses der nærmere på hvilke teknologiske og industrielle potentialer og udfordringer, der kan ligge i brintdelen af PtX-konceptet.

Igen skal det understreges, at denne rapport tager udgangspunkt i en dansk PtX/brint-omstilling af den tunge vejtransport, dog tages der i dette kapitel udgangspunkt i data fra hele EU. Dette gøres af flere årsager. Bl.a. tages der udgangspunkt i den europæiske fremstillingsmængde af brint, da en PtX/brint-omstilling af den tunge vejtransport i Danmark, vil være svært afhængig af en lignende europæisk strategi. Dette skyldes, at Europas brintfremstillingskapacitet og investeringsvillighed er nødvendig for at kunne skabe en succesfuld omstilling på tværs af EU-landegrænserne (Aagaard, 2020, s. 4).

8.1 Nuværende brintfremstilling og forbrug

Brintfremstilling finder anno 2021 allerede sted i en lang række industrier. Brint har hidtil været anvendt til forskellige formål i industrien f.eks. til fremstilling af ammoniak, raffinering af olie og fremstilling af metanol mm. (WHA, s.d.).

Anno 2021 fordeler brintproduktionens sig globalt i industrien således, at 52% bruges til afsvovling af kulbrinter, 43% bruges til fremstillingen af ammoniak og de resterende 5% bruges til fremstillingen af metanol (Europa-Parlamentet, 2021).

Som det fremgår af rapporten "Green Hydrogen in Europe" af Global Hydrogen, fremstilles der på nuværende tidspunkt ca. 9,75 Mt brint i Europa årligt. Her er der tale om målbevidst brintfremstilling, hvor brint, der eventuelt er fremstillet som biprodukt i industrien, fraregnes (Kakoulaki et al., 2020). Af de ca. 9,75 Mt brint i Europa, er 8,2 Mt af brinten fossiltbaseret, heraf er størstedelen fremstillet ved brug af SMR (Steam Methane Reforming), hvor naturgas anvendes. SMR er globalt set en af de mest anvendte processer anvendt i fremstilling af brint. Her er der tale om fremstilling af såkaldt grå- og/eller sort brint, som bliver uddybet senere. (ibid.).

Energinet understøtter påstanden om, at størstedelen af den nuværende brintproduktion, foregår på ubæredygtig vis og skriver følgende: *"Alligevel er næsten al global brintproduktion i dag, hvilket svarer til ca. 70 gange Danmarks elforbrug, lavet ved at "udskille" brintmolekyler fra fossil naturgas, kul og olie."* (Energinet, april 2019).

Det vil sige, at hvis der kigges på den nuværende brintfremstilling, med henblik på PtX-produktion, er en af de væsentlige udfordringer, at størstedelen af den nuværende brintfremstilling foregår på ikke-bæredygtig vis (Energinet, 2020). Det betyder, at størstedelen af brintindustrien fremadrettet skal omstille deres produktionsmetoder til ikke at være baseret på fossile brændstoffer, hvis det skal være c02-neutralt. Dette er en stor omstilling for størstedelen af den nuværende industri (ibid.). Ses der på den mængde brint, der bliver produceret på nuværende tidspunkt, er det langt fra nok til at dække et europæisk behov i en eventuel PtX-omstilling, med henblik på at udfase fossile brændstoffer. Med en PtX-omstilling for øje, skal brintfremstilling altså under alle omstændigheder forøges (ibid.).

8.2 Brintfremstillingsteknologier

Fremstilling af brint og de teknologier, der anvendes, har været anvendt i lang tid. Bevidst fremstilling af brint har eksisteret siden år 1766, hvor den engelske fysiker Henry Cavendish opdagede grundstoffet hydrogen (Pubchem, s.d.). Sidenhen er en lang

række metoder og teknologier til fremstilling af brint blevet udviklet og anvendt (Skøtt, 2014). Herunder vil vi se nærmere på forskellige brintfremstillingsteknologier, der allerede er i brug.

Der findes som nævnt forskellige metoder til fremstilling og udvinding af brint. Valget af fremstillingsmetode afhænger af hvilke ressourcer, materialer og energikilder, der er tilgængelige. Brint kan fremstilles af forskellige ressourcer, heriblandt fossile brændstoffer, biomasse og vandelektrolyse. På den måde afhænger brintens bæredygtighed og energieffektivitet af hvilken fremstillingsmetode, der anvendes (Energy, s.d., A).

Herunder ses en selvudarbejdet tabel, der viser forskellige typer brint og deres udledninger.

	Grå brint	Blå brint	Grøn brint
Fremstilling	Brinten produceres ved afbrænding af fossile brændsler såsom olie.	Brinten produceres ved spaltning af naturgas samtidig med, at man opfanger den udledte c02 fra processen og lagrer den under jorden.	Brinten er produceret via elektrolyse med el fra VE-kilder.
Udledning	9 kg CO2 pr. kg brint	1 kg CO2 pr. kg brint	0 kg CO2 pr. kg brint

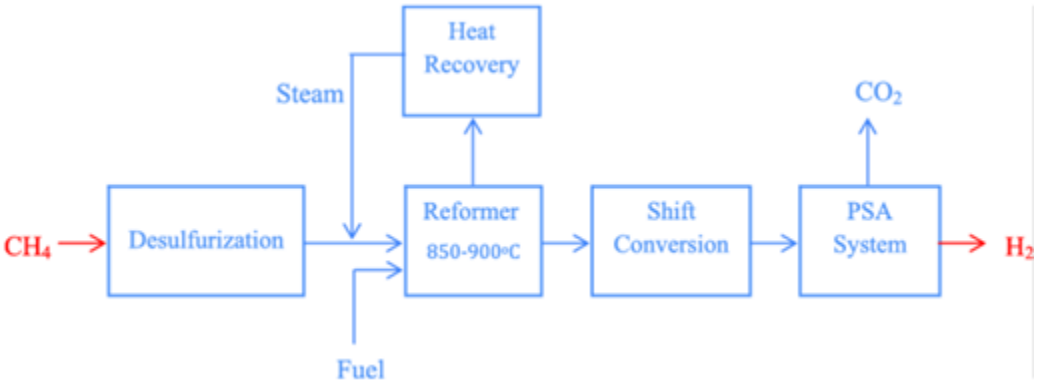
Tabel 1: Oversigt over forskellige fremstillingstyper af brint. Selvudarbejdet. (Aagaard et. al, 2020, s. 11)

Prisen på grå og blå brint er lige nu billigere end grøn brint, men EU forventer, at den kan opnå samme lave pris omkring år 2030, da der vil ske et fald i prisen på el og en udbygning af vedvarende energi (Ea energianalyse, 2020).

8.2.1 Fremstilling af blå brint

I den konventionelle industri anvendes SMR (Steam Methane Reforming), som tidligere nævnt, er en af de mest populære metoder til brintfremstilling (Energy, s.d., B). SMR er en proces, der omdanner metangas til brint. Processen anvender damp med høj temperatur (700-1000 grader C), hvori metan tilføjes under et tryk på 3-25 bar med en tilført katalysator (ibid.). Denne proces får metanen til, ressourceeffektivt, at danne brint, kulilte og en smule kuldioxid (CO2). Til slut i processen renses kulilte og andre urenheder fra igennem en proces kaldte "pressure-swing adsorption" (PSA), så kun den rene brint tilbagebliver (ibid.). Effektiviteten af SMR er på 65-75% (NYSERDA, 2005). Generelt er SMR-teknologien populær, fordi processen både er effektiv og økonomisk (Energy, s.d., B).

Herunder ses en visualisering af de trin, der indgår i SMR-processen:



Figur 3: Visualisering af SMR-processen (Nikolaidis, 2017)

Den ovenstående figur viser, hvilke processer metan (CH4) gennemgår i SMR-processen for at blive til Brint (H2).

8.2.2 Fremstilling af grøn brint via elektrolyse

Bæredygtighed er en af de vigtige aspekter i et fremtidigt valg af en brintfremstillingsteknologi, til en eventuel opskalering af brintproduktion. Dette pointeres bl.a. i Dansk Energi i deres "Analyse nr. 23, Brint i fremtidens energisystem"

(Dansk Energi, 2016). Det er derfor relevant at se på brintfremstillingsmetoder, der kan anvendes CO2-neutralt. I afsnittet herunder ser vi nærmere på elektrolyse, som en bæredygtig teknologi til fremstilling af grøn brint.

Fremstilling af brint gennem elektrolyse af vand, er en velkendt teknologi (Skøtt, 2014). Elektrolyse nævnes bl.a. af Energinet og Dansk Energi, som en af fremtidens bedste bud på bæredygtig brintfremstilling vha. grøn energi (Dansk Energi & Energinet, 2020, s. 16). Der findes dog forskellige former for elektrolyse. Herunder vil der være en kort gennemgang af de forskellige typer, samt en vurdering af hvilke udfordringer, der er forbundet med bæredygtig fremstilling af brint og PtX-produkter.

De mest kendte former for elektrolyse er følgende:

- *"**Alkalisk elektrolyse** som vi kender fra fysiktimerne. Der anvendes to elektroder i en vandig opløsning, og når der sluttes strøm til elektroderne, dannes der ilt og brint.*
- ***PEM-elektrolyse** minder principielt om PEM-brændselsceller. Elektrolysecellen er opbygget omkring en polymermembran i kontakt med to elektroder, der udvikler henholdsvis ilt og brint fra tilsat vand.*
- ***SOEC-elektrolyse** der minder om en SOFC-brændselscelle, men hvor processen er vendt om, så der i stedet for el produceres brint. Teknologien er ikke så langt fremme som alkalisk og PEM-elektrolyse, men rummer flere spændende perspektiver".*

(Skøtt, 2014).

Gennemgående er der en vis uenighed blandt virksomheder, der udvikler elektrolyseanlæg, om hvilken type elektrolyse, der rummer det største potentiale ift. bæredygtig fremstilling af brint (Skøtt, 2014). Det vil med andre ord sige, at der fortsat videreudvikles på de forskellige typer af elektrolyseanlæg.

Uanset hvilken type af elektrolyseanlæg, der i fremtiden viser sig at være det mest effektive, har elektrolyseanlæggene det til fælles, at de alle sammen kan omdanne elektricitet og vand til brint (Aagaard, 2020, s. 8). Bæredygtigheden af elektrolyseanlæggene afhænger derfor af, at elektriciteten, der anvendes i processen, er

fremstillet på bæredygtig vis. Succesen af elektrolyseanlæggenes bæredygtighed er derfor afhængig af, at der er en vis udvikling og opskalering af andre bæredygtige teknologier, som eksempelvis vindmøller og solceller. Således, at der er en ordentlig forsyning af grøn energi til rådighed. Elektrolyseanlæggene ville kunne køre på spildstrøm fra elnettet, uanset om spildstrømmen er bæredygtig eller ej, for at sikre bedst mulig anvendelse af ellers tabt energi. På den måde kan et energisystem, der er fleksibelt på tværs af sektorer, opnås (ibid., s. 8-14). Dette kaldes sektorkobling og anses for at være en væsentlig komponent af fremtidens energisystem (Energinet, april 2019, s. 4-5). Denne sektorkobling er uopnåelig med en konventionel teknologi, som SMR-processen, da den afhænger af fossilt råstof, der er irreversibelt ved brug.

En af de problematikker, der forsat dukker op, har at gøre med omkostningerne af brint fremstillet via elektrolyse (ibid.). Energinet skriver følgende: *"Potentialet er meget stort, men prisen for både selve elektrolyseteknologien og den vedvarende elproduktion til at drive selve elektrolysen har indtil nu været for dyr."* (Energinet, april 2019, s. 5).

8.2.3 Indre mekanismer og processer i elektrolyse

I dette afsnit vil vi gennemgå elektrolyseteknologiens indre mekanismer og processer, som også er trin 1 i TRIN-modellen. Herunder vil vi redegøre for de indre mekanismer og processer for alkalisk elektrolyse. Gennemgang af alkalisk elektrolyse vælges, da det er en velkendt og effektiv metode til fremstilling af brint, der ville kunne anvendes i fremstilling af PtX-produkter (Skøtt, 2014).

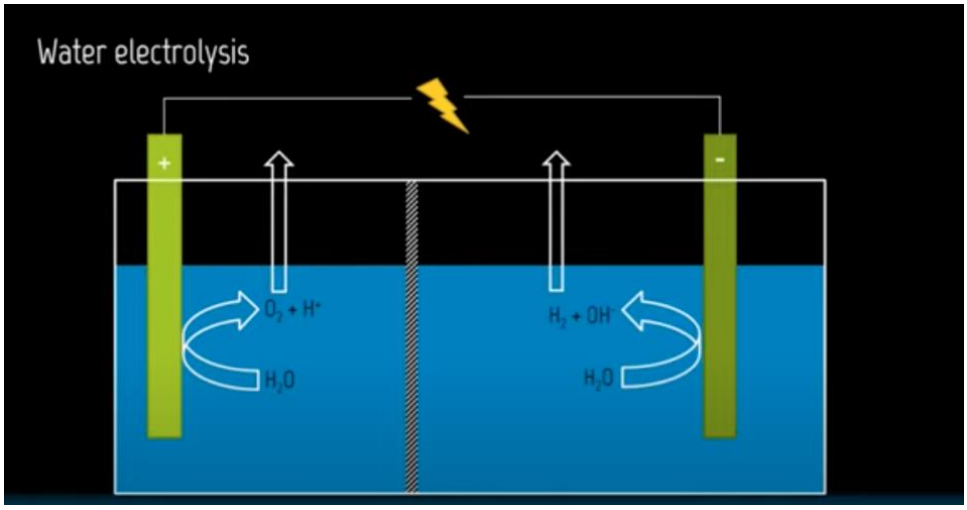
Teknologien, PtX, dækker over en bred vifte af konverteringer. I dette afsnit er det dog med henblik på omdannelsen fra vedvarende energi (strøm) til brint. Den proces kan også kaldes Power to Gas (Man Energy Solutions, s.d.).

Teknologien udnytter den overskydende strøm fra f.eks. vindmøller, når produktionen af strøm er for høj i forhold til forbruget. Især om natten eller på særligt blæsende dage er produktionen af strøm for høj, og i stedet for, at det går til spilde, kan det igennem en kemisk proces, omdannes til brændstof (Björqvist, 2020).

Udover strøm, skal der også bruges en stor mængde vand. Der er dog særlige krav for vandet der benyttes for, at det er brugbart i processen (P3 X Viden, 2020). Drikkevand fra vandhanen lever ikke op til kravene og derfor går vandet igennem en yderligere

gennemrensning, der gør, at vandet har en bedre evne til at lede strøm. Hydrogen Valley, som behandler vand til PtX, renser selv drikkevandet en ekstra gang, for at vandet kan komme ned på 375 microsiemens, som er en indikator for hvor godt vandet leder strøm (ibid.).

Det næste step er den kemiske proces, hvor vand og strøm bliver omdannet til brint og ilt. Til det bruges et elektrolyseanlæg. Vands kemiske formel er H2O, bestående af ilt (O) og hydrogen (H). Processen med elektrolyse kaldes også en elektrokemisk proces og teknologien, brugt til omdannelsen, kaldes for en elektrolysator (Mogensen, s.d.). Den kemiske proces i elektrolysatoren kan ses beskrevet på nedenstående billede.



Figur 4: Screenshot fra video af (media.ccc.de, 2019).

Som det ses ude i siderne af billedet, består elektrolysatoren af en positivt ladet pol (en anode) og en negativt ladet pol (katode), der er holdt adskilt. Det blå er vandet, hvor man sætter strøm til, mere specifikt jævnstrøm (Experimentarium, s.d.).

> *"Vandet skal være elektrisk ledende, så derfor tilsætter man fortyndet svovlsyre, fortyndet natriumhydroxid, saltvand eller lignende."* (Experimentarium, s.d.).

Når strømmen er sat til, begynder elektrolyse-processen og spaltningen af vandet. Når strømmen er sendt gennem vandet, så vil vandmolekylerne begynde at adskille sig (Energy, s. d., C). Det skyldes, at den positivt ladede pol, tiltrækker anioner, som er de negativt ladede ioner, hvor den negativt ladede pol, skubber anionerne væk (ibid.).

Den negativt ladede pol tiltrækker derimod kationer, som er et atom, der har mistet negativt ladede ioner og dermed står tilbage med en positiv ladning (ibid.). Ved den positivt ladede pol sker der den proces, der hedder oxidation og i den negativt ladede pol, sker der den proces, der kaldes reduktion (DeWitt, 2015).

Vandet spaltes som H+ ioner og OH- ioner. Ved den negativt ladede pol, bliver der dannet hydrogen (H2) ud fra H+ ionerne, som optager hver en elektron og ved den positivt ladede pol, bliver der dannet ilt (O2). Det sker ved, at fire OH- ioner samles og frigiver O2 og samtidig afgiver oxidionerne i OH-, elektroner.

Katode (negativ): $4\ H_2O\ (l) + 4\ e^- \rightarrow 2\ H_2\ (g) + 4\ OH^-\ (aq)$

Anode (positiv): $4\ OH^-(aq) \rightarrow O_2(g) + 4\ e^- + 2\ H_2O\ (l)$

Figur 5: Overblik over elektrolyse-proces (Experimentarium, s.d.)

Processen kan ses ved, at der begynder at dannes bobler i vandet (Experimentarium, s.d.). Det er hydrogengassen og oxygengassen, der dannes. Hydrogengassen kan brændes af, og det er i gassen, at energien gemmer sig.

9. Erhvervet

Nedenstående afsnit har til formål at redegøre for den aktuelle udvikling af brintteknologier i Danmark. Dette gøres med udgangspunkt i at skabe en forståelse for PtX's nuværende samt fremtidige rolle i Danmarks forsyning. I det følgende afsnit gennemgår vi implementeringen af brint i erhvervet bl.a. hos lastbilproducenten Daimler og Everfuel og deres strategi for fremtiden.

Det forventes, at brintlastbilerne får sit gennembrud på markedet i 2023-24 og vil koste mere end de nuværende lastbiler (Dissing, 2021). Producenterne Daimler Truck AG (Mercedes Benz), OMV, Shell, IVECO og Volvo-koncernen har lavet samarbejdet 'H2Accelerate' for at skabe de bedste betingelser for udviklingen af brintlastbiler i Europa (Dissing, 2021).

Aktørerne i 'H2Accelerate' tror alle på, at brint bliver det afgørende brændsel for en komplet dekarbonisering af lastbilbranchen (Daimler.dk, 2020). Nedenunder ses ambitionerne i samarbejdet 'H2Accelerate's for udrulningen af brintdrevne lastbiler i Europa frem mod 2030.

PHASE 1	PHASE 2
ROLLOUT OF FIRST STATIONS AND TRUCKS	EUROPE-WIDE COVERAGE
▪ 100s of trucks ▪ >20 high capacity stations ▪ Proving high capacity station concepts ▪ Selective locations/clusters	▪ Second half of 2020s: Achieve volume manufacture '000's per year ▪ Rapidly reaching > 10,000 trucks ▪ Europe wide coverage of major corridors ▪ High capacity/reliability stations

Figur 6: H2Accelerate's faser for udbredelsen af brintlastbiler. (Omv.com, 2020)

Daimler har sammen med Volvo investeret 1,2 milliarder Euro i fremtidens brintlastbiler (Hinrichsen, 2021). Deres ambition er, at alle nye lastbiler i Europa skal være CO2-neutrale fra 2039 (ibid.). EU's mål for lastbilbranchen er, at de skal reducere deres emission med 30 % i 2030 på alle nyproducerede lastbiler ift. produktionen i 2019. Det kan ikke lade sig gøre med dieselmotorer, da teknologien allerede er udviklet til det maksimale. Der skal findes et alternativ (ibid.).

Daimler har siden 2018 kundetestet deres e-drivline med mere end 20 virksomheder og tilbagelagt en distance på mere end 7 mio. km på verdensplan (Hinrichsen, 2021). Daimler begynder at producere disse lastbiler i 2023 og der forventes en introduktion på markedet i 2027 (Hinrichsen, 2021).

Derudover har Everfuel A/S (2021), som er et brintproducerende selskab fra Europa, offentliggjort i en pressemeddelelse d. 11. maj 2021, deres planer for udvikling af HySynergy. Projektet indebærer et 300MW elektrolyse- og PtX-anlæg, som skal lokaliseres ved raffinaderiet i Fredericia (Everfuel, 2021). Det vil føre til en enorm opskalering i produktionen af brint, som bl.a. skal bruges i transportsektoren. Det kan føre til en nedgang i CO2-udledning på næsten 5% allerede i 2025 (ibid.). Raffinaderiet i Fredericia vil også selv opleve nedgang i deres CO2-udslip, da de kan bruge brinten til produktion af benzin, diesel, DME og M85. Projektet er blevet budgetteret til 1,9 mia. kr. (Everfuel, 2021).

Et projekt sat i gang af Ørsted, DSV Panalpina, A.P. Møller-Mærsk, SAS, Københavns Lufthavne og DFDS, har ambitioner om at udvikle bæredygtige electrofuels, der skal have en kapacitet på 1,3 GW mod 2030, der skal distribueres i hele transportsektoren (Winddenmark, 2020). Det vil gøre anlægget til et af verdens største. I sin fulde produktionsstørrelse, forventes den årlige C02-udledning at reduceres med 850.000 tons C02 (DSV.dk, 2020).

De har angivet en tidslinje for projektet, som er opdelt i tre faser. Den første fase starter i 2023, hvor de har gjort sig ambitioner, om at opsætte en 10MW elektrolysator, der producerer brint, der skal gå til den tunge vejtransport og busser. Den anden fase begynder i 2027, hvor der skal idriftsættes et elektrolyseanlæg med en kapacitet på 250 MW, hvor der bliver udbygget således, at der kan fremstilles vedvarende metanol til søtransporten og e-kerosin til lufttransporten. Den sidste og tredje fase starter i 2030, hvor det bliver opskaleret til en kapacitet på 1,3 GW (Winddenmark, 2020).

Ørsted er med i et andet projekt på Avedøre Holme, hvor de sammen med 6 partnere udvikler et brintanlæg på 2 MW, der svarende skal producere 600 kg. brint dagligt. Denne brint skal produceres til lastbiler, busser og eventuelt taxaer. Fremstillingsmængden vil dagligt kunne dække 20-30 busser (Ørsted, s. d.).

9.1 Anbefalinger fra branchen

I anbefalinger fra erhvervslivet, er der en generel opbakning om nødvendigheden for politiske initiativer for at skabe et marked for brintlastbiler (Aagaard et al., 2020, s. 4) (Hinrichsen, 2020).

Dansk Energi præsenterer i rapporten 'Anbefalinger til en dansk strategi for Power-to-X', sammen med bl.a. DSV, at der skal udarbejdes nogle tiltag til gavn for branchen (Aagaard et al., 2020, s. 58-59): "

- *Etablér en støtte, der dækker merprisen for køb af en brintlastbil frem for en med dieselmotor.*
- *Lægge en plan for opsætningen af brinttankstationer til den tunge transport. Det kræver god planlægning, da det tager 18-24 måneder af etablere en tankstation med brint.*

· *Etablér en støttepulje, der skal sikre et landsdækkende netværk med ca. 10 brinttankstationer. "*

(Aagaard et al., 2020, s. 58-59).

Michael Voigt, som er product & marketing manager hos Daimler, nævner i et webinar af Dansk Energi tre faktorer, der skal spille sammen for at opnå en omstilling af lastbiler til at køre på brint (Hinrichsen, 2021):

1) Lastbilteknologi skal udvikles fra lastbilproducenterne

2) Udbydere skal kunne levere en infrastruktur

3) Omkostningsneutralitet, så det ikke skader konkurrencedygtighed

> *"Hvis en af de tre faktorer er 0 (nul), jamen så bliver regnestykket 0, og så får vi ikke nogen grøn omstilling. For der er ikke nogen grøn omstilling, hvis der er en rød bundlinje for vores kunder, og hvis der ikke er nogen infrastruktur og, hvis der ikke er nogle lastbiler. Så alt skal spille sammen og det skal komme samtidig for ellers, så når vi det ikke inden for de mål, der er sat."* - Michael Voigt

(Hinrichsen, 2021)

Michael Voigt siger i ovenstående citat, at faktorerne hænger sammen og er alle betydelige, hvis brint skal have en introduktion på markedet. Brintlastbiler kan ikke produceres til samme pris, som en diesellastbil og derfor skal politiske initiativer til for at opveje for denne økonomiske barriere. Udviklingen for brintmarkedet vil ellers være styret af markedskræfterne (Hinrichsen, 2021).

Michael Voigt nævner flere greb, der kan støtte omstillingen f.eks. det tiltag man også har anvendt i Tyskland, hvor man giver op til 80% i tilskud for merprisen for en grøn lastbil (ibid.). På vegne af Daimler, peger Michael Voigt altså på, at ansvaret ligger hos politikkerne, som skal skabe nogle ordentlige rammebetingelser, så det bliver økonomisk forsvarligt at køre på brint:

> *"Først og fremmest gælder det om, at politikkerne indser, at det her er en dyr proces. Hvis ikke alle skal gøre det, så er der heller ikke nogen, der tør gøre det, fordi så er de simpelthen ikke konkurrencedygtige og så taber de deres marked."* - Michael Voigt
>
> (Hinrichsen, 2021).

10. Analyse

I denne analyse vil vi undersøge de faktorer, som har betydning for udbredelsen af brint som drivmiddel i den tunge vejtransport. Det inkluderer både faktorer for fremstillingen af brint, distributionen og markedsvilkårene, utilsigtede effekter og de etiske aspekter. På baggrund af denne analyse vil vi lave et roadmap med den opskalering og udvikling, der skal til for at omstille hele den tunge vejtransport frem til 2050.

Dansk Energi har i rapporten "Anbefalinger til en dansk strategi for Power-to-X", fra 2020, udarbejdet en anbefaling for den nationale strategi for PtX og brint frem mod 2050. Den er lavet i samarbejde med 18 hovedaktører bl.a. Haldor Topsøe, Maersk, Energinet og Panalpina. Den vil være vores primære afsæt i den kommende analyse (Aagaard et al., 2020).

10.1 Opskalering af brintproduktion

Som tidligere nævnt er det nødvendigt at opskalere den nuværende brintproduktion, hvis målet om en PtX-omstilling skal opfyldes. Dette mener Anders Winther Mortensen fra Energinet også (bilag 2). Denne opskalering skal foregå på baggrund af konstruktionen af bæredygtige elektrolyseanlæg i Danmark, såvel som vores nabolande (Aagaard, 2020, s. 44). Som det nævnes af Dansk Energi, er det vigtigt med en opskalering for at kunne fremstille bæredygtigt brint i en mængde, der gør prisen konkurrencedygtig (ibid.). Herunder ses der nærmere på opskalering af bæredygtig

brintproduktion. Her tages der bl.a. udgangspunkt i eksisterende handlingsplaner fra Ørsted, Energinet og Dansk Energi.

Når løsningen er implementeret, kan den derefter opskaleres. Dette er også tilfældet for brint- og PtX-produktion vha. et bæredygtigt elektrolyseanlæg. På nuværende tidspunkt er der få faciliteter i Danmark, der har mulighed for dette, da den samlede elektrolysekapacitet i Danmark er på ca. 34 MW (Aagaard et. al., 2020, s. 18). De faciliteter, der allerede eksisterer og bruges, er på nuværende tidspunkt ikke beregnet til at fremstille brint- og PtX-produkter i en mængde, der har en reel indflydelse på bæredygtigheden af eksempelvis den tunge vejtransport (ibid).

Som tidligere nævnt er det ikke kun en udbredelse og opskalering af brintfremstillingsanlæg, der er nødvendig for at opskalere produktionen, men også produktionsmængden af grøn energi. Her vurderer Dansk Energi, at man inden for de nuværende politiske restriktioner, på dansk sokkel, kan opføre havvindsenergi svarende til 40 GW (Aagaard et al., 2020, s. 20). Ses der bort for politiske restriktioner, vurderes det tekniske maksimum, med udgangspunkt i eksisterende teknologi, til at være på 180 GW (ibid.). Hvis der her tages udgangspunkt i Anders Winther Mortensens udtalelse om konverteringsprocenten fra el til brint på 70%, svarer det til, at der vil kunne fremstilles henholdsvis 28 og 126 GW brint (ibid., s. 20), (Bilag 2). Det betyder at da hverken brintfremstillingsteknologierne, eller de brintdrevne teknologier (herunder lastbiler, biler, busser mm.), er udviklet tilstrækkeligt, er det svært at fastslå præcist hvor meget brint, der kan fremstilles og hvor meget brint, der er behov for. Derfor forbliver det ovenstående kapitel, om opskalering af brintfremstilling, på et hypotetisk niveau. Med andre ord er en PtX-omstilling, med tilhørende PtX-drevne teknologier og opskalering af PtX-produktion, så kompleks en omstilling, at det kan være svært at gisne om en konkret løsningsmodel, der dækker det eksakte aftag.

10.2 Brintinfrastruktur

For at muliggøre en omstilling af den tunge vejtransport, til eksempelvis at køre på brint, er en tilhørende brintinfrastruktur nødvendig. Brintinfrastrukturen dækker bl.a. over oplagring, fremstilling og transport af brint rundt i Danmark med de dertilhørende teknologier. I dette kapitel ses der nærmere på hvilken infrastruktur, der er nødvendig for at understøtte et fleksibelt energisystem med brint i fokus.

En gennemgående brintinfrastruktur vil på sigt kræve en række ændringer og tilføjelser på de nuværende systemer. Her refereres der eksempelvis til oprettelse af deciderede brintlagrings- og transportmuligheder. Disse systemer og teknologier, der på sigt kan bidrage til en fleksibel infrastruktur, er også fortsat under teknologisk udvikling (Aagaard et. al., 2020, s. 52).

Der nævnes dog en række muligheder for oprettelsen af en brintinfrastruktur med eksisterende teknologier og systemer. Her nævner Anders Winther Mortensen, fra Energinet, bl.a. muligheden for at anvende store dele af de eksisterende gasledninger og net, til at transportere brint fra A til B (Bilag 2). Anders udtaler følgende om anvendelsen af det eksisterende gasnet:

> *"For ift. selve rørene, der kan de fleste af dem klare det. Så skal man sådan skifte de bløde dele i systemet, altså ventiler og målestationer. Sådan noget skal tilpasses. Så man kan lave en relativ stor del af det, ved at konvertere metannet til brint."*
>
> (Bilag 2)

Tesen i at anvende eksisterende infrastruktur, som f.eks. gasledninger, i opstarts- og implementeringsperioden af en ny teknologi, eller et nyt system, understøttes yderligere af Energinet. Energinet skriver: "*når det gælder store samfundsinvesteringer som ny infrastruktur, er det historisk ofte begyndt med reguleret og planlagt implementering"* (Energinet, 2020). Hvorefter man løbende har optimeret infrastrukturen (ibid.). Dette ville også være tilfældet i oprettelsen af en brintinfrastruktur.

Energinet skriver følgende om PtX-handlingsplan ift. brintinfrastruktur:

> *"Energinets PtX-handlingsplan vil kigge på tekniske muligheder og begrænsninger i de to muligheder, som der er for etablering af brintinfrastruktur i Danmark: 1) konvertering af dele af det eksisterende naturgasnet til transport af brint og 2) etablering af dedikeret ny brintinfrastruktur".*
>
> (Energinet, 2020)

Et andet vigtigt aspekt, der går igen i Energinets handlingsplaner, er nødvendigheden i, at den danske brintinfrastruktur skal være kompatibel med vores nabolandes. Vigtigheden af dette understreges for at sikre, at vi i Danmark ikke udvikler et ufleksibelt system, som vi er ene om at kunne anvende. Dette ville resultere i en ringere energisikkerhed på tværs af landegrænser, samt tabt økonomisk fortjeneste (Dansk Energi & Energinet, 2020, s. 16).

Energinet skriver, at elektrolyse har potentialet til at reducere behovet for en opgradering af el-infrastrukturen, hvis elektrolyseanlæggene placeres tæt på elproduktion fra vedvarende energi (Energinet, 2020). Dette er relevant, da det giver mulighed for at udnytte det eksisterende system.

Et af de dilemmaer, som Energinet nævner, er "hønen-og-ægget-dilemmaet". Dilemmaet tager udgangspunkt i rækkefølgen af PtX implementering. Herunder, *"hvem der skal bygge og eje brintinfrastrukturen, i hvilken skala det skal bygges og under hvilke forudsætninger"* (Energinet, 2020). Denne problematik er værd at nævne ift. brintinfrastrukturen, da det endnu er uklart hvem, der fremadrettet, kunne have en interesse i udførelsen, anvendelsen og ejerskabet af en PtX-relateret infrastruktur.

10.3 Brinttankstationer

På nuværende tidspunkt er der ingen brinttankstationer dedikeret til lastbiler i Danmark (Aagaard et. al, 2020, s. 56). Dansk Energi foreslår en statslig støttepulje til omkring 10 foreløbige brinttankstationer fordelt i hele landet, som skal opsættes med hensyn til den tunge vejtransport og deres vigtige trafikale knudepunkter (Aagaard et al., 2020, s. 58).

En planlægning af opsætningen af brinttankstationer hænger sammen med etableringen af nedgravningen af rør til brint. Her skal der tages højde for et stigende behov på lang sigt og en infrastruktur, der går på tværs af landegrænser. Den tunge vejtransport er nemlig baseret på kørsel på tværs af landegrænser, og det er derfor essentielt med brinttankstationer strategisk placeret ift. hinanden, så optankningen af lastbiler ikke bliver en udfordring. (Aagaard et al., 2020, s. 58-59).

Det kræver planlægning i god tid at imødekomme både den stigende nationale og europæiske efterspørgsel efter optankning med brint, da etableringen af brinttankstationer vil tage 18-24 måneder at opsætte (ibid, s. 59). Derfor skal planlægningen af brinttankstationer begynde snarest muligt. Daimler har, som tidligere beskrevet, allerede lastbiler på markedet i 2023 og den kommende danske brintinfrastruktur skal være klar til at forsyne disse lastbiler for skabe et marked.

10.4 Finansiering

Hverken brint eller andre PtX-produkter kan i dag konkurrere med fossile brændstoffer ift. prisen. De store omkostninger forbundet med produktion af brint, gør prisen 1,5-2 gange højere end på fossile brændstoffer. (Kefm.dk, s. d., s.33). Der skal derfor ske reguleringer, der kan få omkostningerne til at falde. Initiativer fra regeringen kan være med til at få det til at ske (Aagaard et al., 2020, s. 46-47).

Omkostninger ved opførelse af anlæg er dyre og regeringen skal derfor yde økonomisk støtte til projekter, som på sigt kan blive til storskala-anlæg (Aagaard et al., 2020). Uden støtte vil mange projekter ikke blive realiseret eller opskaleret, da der ellers ikke er et økonomisk incitament.

Regeringen har, ved klimaftalen fra 2020, afsat en pulje og tilskudsordning til at fremme PtX-produkter. Der er afsat mellem 750 mio. kr. og 1,5 mia. kr. til tilskudsordningen frem mod 2030 (Altinget, 2021). Det betyder altså, at der er politisk opbakning til omstilling af bl.a. den tunge vejtransport.

Dansk Energi argumenterer derimod, at der fra staten vil kræves en investering på op mod 4 mia. kr. for, at PtX produktionen kan igangsættes (Aagaard, 2020, s. 46). Regeringen har foretaget en aftale med Holland, der har ført til den investering på 1 mia. kr. Lars Aagaard, som er CEO for Dansk Energi, argumenterer for at et fortsat samarbejde er nødvendigt for at få hentet de sidste 3 mia. kr. (Larsen, 2021). Lars Aagaard mener, at de resterende 3 mia. kr. bør falde inden udgangen af 2021 (ibid.). Derudover foreslår de en pulje fra regeringens side bestående af 100 mio. kr., som skal have til formål at hjælpe på udbygningen af netværket for brinttankstationer til den tunge vejtransport (ibid.). Der er dermed et manglende økonomisk tilskud, der ønskes af regeringen, som mangler i erhvervet til videreudvikling af PtX teknologien. Den manglende støtte kan derved risikere at være en stopklods for videreudvikling.

Herudover skal der, ifølge Dansk Energi, ydes en produktionsstøtte på omkring 4 mia. kr. til produktionen af brint indtil 2030. At sikre et udbud af brint vil nemlig skabe en mindre risiko for private investeringer og resultere i bedre vilkår for forskning og opskalering af brint via PtX og for elproducerende VE-kilder (Aagaard et al., 2020, s. 46).

Der er en stor forskel på den sum som henholdsvis regeringen og erhvervet estimerer, der er brug for. Regeringen har afsat 1, 5 mia. kr. de næste 10 år, imens Dansk Energi peger på omkring 4 mia. kr. senest i 2020 (Altinget, 2021), (Aagaard, 2020, s. 46). Hovedaktørerne i den private sektor sigter altså efter et meget større beløb fra regeringens side. Det vidner om, at erhvervet ser et meget større behov for statslig medfinansiering, som skal sikre udbredelsen af brint i transportsektoren, herunder den tunge vejtransport.

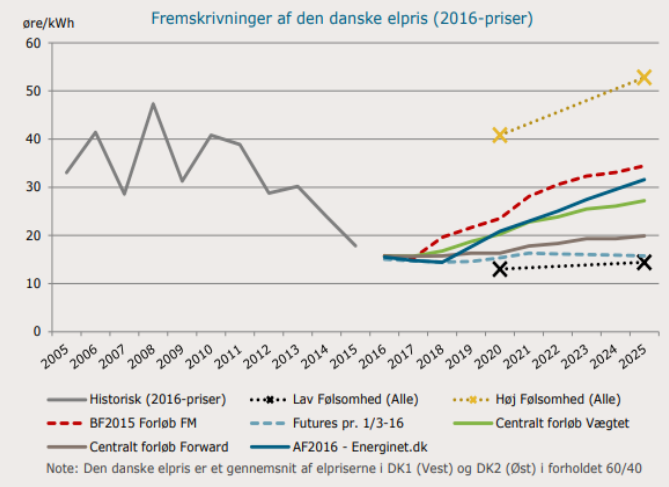
10.5 Elpriser

Den største omkostning ved at producere grøn brint, er elprisen, som står for ca. 50% af prisen. Elpriserne har de sidste 10 år været ustabile og har ligget mellem 12-13 kWh/øre op mod 50-60 kWh/øre (Winddenmark, marts 2021). Det skyldes en række faktorer, såsom mængden af nedbør i de nordiske lande, hvis elproduktion i stor grad er vandkraft-baserede, og prisen på fossile brændsler og C02 (ibid.). Prisen på el i Danmark er styret af prisen på el hos nabolandene og vil derfor ofte lægge sig op ad

disse pga. landets placering som en distributør mellem de omkringliggende lande i Norden og Tyskland (Energinet, 2016).

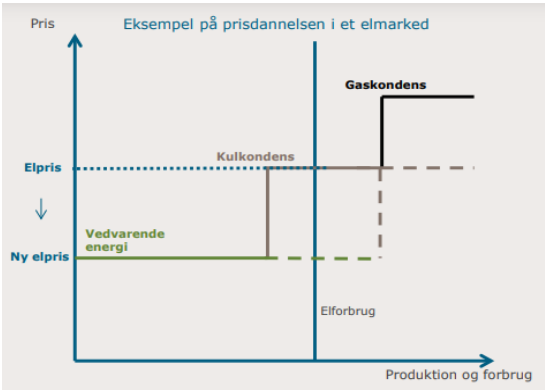
På nedenstående figurer er Energistyrelsen og Energinets bud på forskellige scenarier vist med forskellige faktorer medregnet. Den lave følsomhed (sorte stiplede linje) og den høje følsomhed (den gule stiplede linje) i figur 8 viser, hvor stort et spænd prisen på den danske elpris i fremtiden kan ligge imellem.

Det er især prisen på kul og kvoten på C02, som har en stor betydning for en stigning i elpriserne (Energinet, 2016, s. 6-9). Det skyldes, at kulkraft styrer marginalprisen (prisen på det dyreste accepterede bud) i regionen omkring Danmark. Modsat kan et år med meget nedbør sænke prisen betydeligt med en stor produktion af el fra vandkraftværker (ibid.).



Figur 7: Fremskrivninger af den danske elpris (Energinet, 2016, s. 6)

Som det kan ses på figur 8, er det vedvarende energikilder, der har den laveste marginalomkostning (Energinet, 2016, s. 6). Det skyldes, at de giver mere fleksibilitet med styring af produktionen og dermed færre timer uden overskud af elproduktion. Produktionen fra VE kan derfor presse kulproduktionen ud af markedet og i fremtiden blive den dominerende prissætter (Energinet, 2016, s. 2-3).



Figur 8: Eksempel på prisdannelsen I et elmarked (Energinet, 2016, s. 6)

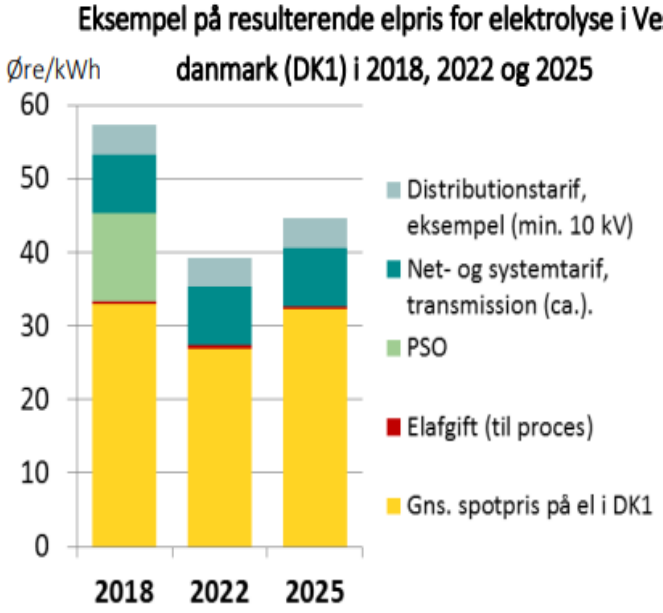
Når elektrolyseanlæg etableres, og produktionen af brint skal udbredes, skal VE-kilder, såsom vindmøller, dække forbruget af el til fremstillingen af brint (Bernth, 2021). I 2030 har Dansk Energi og konsulentvirksomheden Ea Energianalyse estimeret, at der er behov for et årligt elforbrug på 15-20 TWh til produktionen af brint (ibid.).

En national investering i opskalering af vind- og solenergi medvirker altså til en udnyttelse af de billigere priser på el og dermed også til en sænkning for prisen på brintproduktion via PtX. Som tidligere nævnt, er vedvarende energi en forudsætning for at producere CO2-neutral brint, og der skal derfor være en tilstrækkelig mængde VE til rådighed. Derfor er en opskalering af vedvarende energi også essentielt for en opskalering af en bæredygtig brintproduktion. Denne opskalering skal staten være med til at fremme for at gøre vedvarende energi til den dominerende prissætter på el.

10.6 Elnettet og afgifter

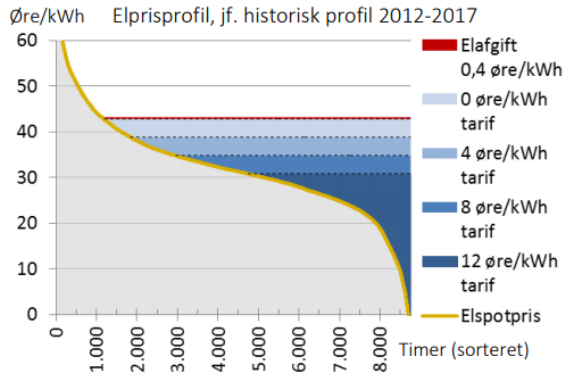
Tarifferne for el skal finansiere omkostningerne, der er i forbindelse med at drive, vedligeholde og udbygge elnettet (Energinet, s. d.). Eltariffer udgør en stor del af prisen for brint, produceret via el. Den nuværende pris på el består af følgende:

- Markedsprisen for el (51%)
- Elafgift, som for elektrolyse kun er en procesafgift, som i Danmark ligger på 0,4 øre/kWh
- PSO-afgift på 13 øre/kWh, som udfases fra 2020 og overføres til bundskatten
- Transmissions- og distributionstarif på ca. 12 øre/kWh (Aagaard, 2020, s. 10), (Energinet, april 2019, s. 7-8).



Figur 9: Illustration af fordeling af elprisen for elektrolyse (Energinet, april 2019, s. 7).

For at illustrere afgifternes betydning for omkostningerne, ved produktionen af brint ved elektrolyse, har Energinet udregnet forskellige scenarier med forskellige tariffer, som kan ses i nedenstående figur (Energinet, april 2019). Udregningen er taget efter den gennemsnitlige elpris for perioden 2012-2017. Med en tarif på 12 øre vil fortjenesten være 6,1 mio kr., mens en afgift på 0 øre vil give en fortjeneste på 21 mio. kr. (Energinet, april 2019, s. 20).



Figur 4.3

Tarif	12 øre	8 øre	4 øre	0 øre
Str. på hvert af "de blå arealer" DKK/kW	303	199	257	291
"De blå arealer" akkummuleret DKK/kW	303	502	759	1.050
Omregnet til 20 MW elektrolyse. Dette svarer til dæknings-bidraget i regneeksempel. Mio. DKK	6,1	10,0	15,2	21,0

Figur 10: El-prisprofil, jf. Historisk profil 2021/2017 (Energinet, april 2019, s. 21

Den nuværende tarif differentierer ikke i prisen for anlæg, der slider mindre på elnettet, såsom elektrolyseanlæg gør (Aagaard et al., 2020 s. 47). Elektrolyseanlæg vil udnytte de billige timer for elpriser og dermed benytte elnettet i perioder med lav belastning. Elektrolyseanlæg kan derfor bidrage med en lav belastning. Ydermere kan en fremtidig model for tariffer tage højde for dette og belønne disse anlæg (Aagaard et al., 2020, s. 47-50). En reformation af tarifsystemet kan altså skabe bedre vilkår for tilførelsen af brint i energisystemet, som tilbyder større fleksibilitet (ibid, s. 47-50).

Derudover kan der differentieres i afgiften baseret på den geografiske placering af anlæg i forhold til placeringen af C02-kilden, efterspørgslen og det eksisterende etablerede netværk af rør. Det vil skabe en interesse i at placere anlæg med mindst mulige udgifter til udbyggelse af netværket tæt på VE-kilder (Aagaard et al., 2020, s. 47). En offentlig regulering af tariffer kan dermed gøre brintproduktionen billigere og mere konkurrencedygtig, så den står stærkere på markedet. Det vil skabe mere økonomisk incitament for et udbud og efterspørgsel på brint.

10.7 Co2-kvoter

EU skabte i 2005 det såkaldte 'Emissions Trading System' (ETS), som er bindende for alle EU's medlemslande, Island, Norge og Liechtenstein (EU-kommissionen, 2021). Formålet er at skabe en handel med kulstof, som fremmer en reduktion i udledningen af drivhusgasser (ibid.).

CO2-kvote-systemet fungerer således, at EU har fastsat et loft for mængden af udledning, som kan købes og handles med internt (ibid.). Det begrænsende antal af CO2-kvoter til rådighed sikrer altså, at de fastholder deres værdi og begrænser den tilladte mængde for udledning (ibid.). Derudover skaber en handel også en fleksibilitet med økonomisk incitament til at nedsætte CO2-udledninger, hvor det er billigst at gøre det. En virksomhed er selvfølgelig interesseret i at nedsætte sin udledning af CO2, hvis det er billigere end at skulle købe flere CO2-kvoter.

For hvert år skal en virksomhed kunne dække sin udledning via de købte CO2-kvoter. Konsekvensen ved ikke at holde forbruget inden for det tilladte, er store bøder (EU-kommissionen, 2021). CO2-kvoterne har vist sig at være et effektivt tiltag og har reduceret udledningen med 35% mellem 2005 og 2019 (ibid.).

Dansk Energi har givet en række anbefalinger til EU-kommission, som i 2021 for 4. gang skal regulere markedsrammerne for CO2-kvoterne, denne gang frem mod 2030 (Tornbjerg, 2021).

Dansk Energi anbefaler, at de nye rammer skal styrke den grønne omstilling gennem specifikke tiltag. Dansk Energi peger på, at der skal være mere fokus på både grøn brint, CO2-opsamling og lagring. Derudover skal kvotesystemet også medregne anvendelse af indfanget CO2 til PtX-produktion (ibid.). Viceadministrerende direktør i Dansk Energi Anders Stouge påpeger en væsentlig problemstilling for grøn brint:

> *"Som det er nu, modtager produktion af brint på basis af fossile brændsler gratis CO2-kvoter. Produktion af grøn brint ved elektrolyse fra elektricitet fx produceret af vindmøller og solceller får ikke gratis-kvoter og står dermed i en urimelig konkurrencesituation. Det skal EU-systemet naturligvis lave om."*
>
> (Tornbjerg, 2021)

Den grå brint får alle gunstige markedsvilkår og stemples som C02-neutrale (Aagaard et al., 2020 s. 47). Dette er som tidligere nævnt ikke tilfældet for grøn brint og gør det dermed også sværere for den grønne brint (der er helt C02-neutral) at vinde frem på markedet med dens højere omkostninger. At skabe dårligere konkurrencevilkår for den grønne brint er heller ikke fordelagtigt med henblik på at nå de fremsatte klimamål. Her er den sorte og grå brint ikke tilstrækkelig til at reducere udledningen.

Anders Winther Mortensen fra Energinet siger også, at prisen på C02 er et muligt politisk greb, der skal til:

> *"Men der kunne man sagtens gøre nogle ting. For eksempel at gøre det dyrere at udlede CO2, så behøves man ikke at spekulere så meget på, hvad løsningen skal være, så kommer det mere eller mindre af sig selv."*

(Bilag 2)

På nuværende tidspunkt er transportsektoren ikke en del af EU's kvotesystem, hvilket Dansk Energi antager kan give et boost i omstillingen af transportmidler herunder den tunge vejtransport (Tornbjerg, 2021).

Dansk Energi understreger dog en ulempe i, at kvotesystemet samtidig kan svække den europæiske industri, som er i konkurrence med resten af verdenen, der ikke er pålagt et kvotesystem. (Tornbjerg, 2021). En løsning, der tager højde for ulempen, er at oprette en afgift, som kan inkorporere transportsektoren i EU's kvotesystem, men samtidig tager højde for ikke at svække den europæiske og dermed også den danske industri. En tilskudsordning til c02-neutral energi kan gøre brint mere konkurrencedygtig, og sikre, at kvotesystemet ikke ødelægger markedet for dyrere CO2-neutrale alternativer.

10.8 Europæisk samarbejde

Et af de punkter, som regeringen bør have med i overvejelserne ift. den danske omstilling med PtX, ligger i Danmarks størrelse. Danmark er et industrielt lille land og bør derfor arbejde sammen med andre EU-lande og særligt de omkringlæggende lande, som Tyskland og Holland (Aagaard et al., 2020, s. 20). En dansk produktion af brint til indlandsefterspørgsel vil ikke være stor nok til at sænke produktionsomkostninger.

Denne sænkning af produktionsomkostninger er nødvendig, hvis PtX-produkter/alternativer skal være konkurrencedygtige på energimarkedet (ibid.).

Danmark er medlem af brintalliancen "Clean Hydrogen Alliance", som EU har etableret for at skabe produktion, industri og transport inden for brint. Brintalliancen giver mulighed for et såkaldt IPCEI (Important Projects of Common European Interest), som tillader økonomisk støtte udover de eksisterende regler for statsstøtte (Brintbranchen, 2021).

Ifølge Dansk Energi skal den danske stat gøre brug af denne mulighed for at skabe de mest fertile vilkår for danske virksomheders muligheder indenfor europæisk samarbejde, om opførelse af storskalanlæg og teknologisk udvikling (Aagaard et al., 2020, s. 52). Dette er vigtigt, da den økonomisk dyre opstart kan få nogle lande til at fravælge PtX-omstillingen. Dette kan resultere i manglende brint-infrastruktur på tværs af landegrænse, hvilket kan resultere i en begrænset anvendelse af f.eks. brintlastbiler. Koordinering af strategier med, især vores nabolande, skaber også et marked med øget eksportmulighed for danske PtX- og brint-produkter (ibid.).

Eksport af og efterspørgsel for brint, på tværs af landegrænser, kræver fælles europæiske markedsregler, der skaber rimelige konkurrencevilkår for brint med forskellige grader af CO2-besparelser (Aagaard et al., 2020, s. 70).

Danmark er allerede indgået i et samarbejde med Holland, som har investeret omkring 1. mia. kr. i et dansk storskalaanlæg med en kapacitet på 100 MW (Kefm.dk, juni 2020). Holland har en stor erfaring med brintproduktion og sammen med Danmarks store vedvarende energiressourcer, giver det et godt afsæt for at få gang i en dansk produktion af brint til både brændstof og lagring (ibid.).

Samtidig er det, ifølge Dansk Energi, vigtigt, at Danmarks rolle i PtX-omstillingen ikke kun tilknyttes fremstilling af PtX-produkter, men at Danmark også påtager sig rollen som foregangsland i udvikling af PtX-teknologi og udbredelse (Aagaard et al., 2020, s. 12). Dansk Energi mener, at der på sigt, er en økonomisk gevinst i at være foregangsland i PtX-omstillingen (ibid.).

At være foregangsland kan skabe et større marked for en dansk eksport af PtX-produkter. Denne gevinst ligger i, at Danmark på sigt med viden og know-how, ville kunne udnytte det store kommercielle potentiale i VE, der ligger i en eventuel europæisk eller global PtX-omstilling.

10.9 Kollektiv omstillingsparathed indenfor transportindustrien

De to førende lastbilsvirksomheder, Daimler Truck AG og Volvo Group, vil samarbejde om udvikling af brintfremstilling til den tunge vejtransport (Brintbranchen, 2020). Det kan man se som et udtryk for, at vejtransportindustrien er klar på en omstilling. Der er derfor en enighed fra Daimler og Volvo Trucks om, at brint er vejen frem for den tunge vejtransport, også selvom det betyder et samarbejde på tværs af konkurrerende virksomheder.

I opstartsfasen, vil brint kommer til at være dyrere end fossile brændstoffer, så det er afgørende at se på, hvor stor betalingsvilligheden er hos forbrugeren. Anders Winther Mortensen fra Energinet nævner i vores interview, at man kan håbe på, at forbrugeren er villig til at betale mere, for en bæredygtig løsning:

> *"Så kan man sådan håbe på, at forbrugerne vil ændre (red. deres holdninger) og sige "jeg vil gerne betale 2 øre ekstra for at købe mælk, der er pakket ind i sådan noget elektroplastik i stedet for fossiltplastik eller et eller andet".*
>
> (Bilag 2).

På den anden side, bliver der I en rapport fra Dansk Energi, fremlagt, at forbrugeren ikke er så villig til at betale det ekstra, der skal til (Aagaard, 2020, s. 14).

> *"Forbrugernes aktuelle betalingsvillighed for sådanne grønne produkter, kan ikke dække den grønne merpris. Partnerselskaber angiver, at <1% af kundebasen er villige til at betale en merpris på 5-10% på tværs af transportsektor"*
>
> (Aagaard, 2020, s. 14).

Den lavere pris på fossile brændstoffer bliver altså vægtet højere end de konsekvenser, der er ved fortsat at benytte dem. Industrien og borgere kan påvirke regeringen og

ultimativt deres politiske interesse for handling. Med en mangel på villighed for at betale en merpris er der en barriere for udbredelsen af brint.

Der er altså ikke meget betalingsvillighed fra forbrugeren ifølge Dansk Energi, dog bliver, der skrevet senere i rapporten, at der er begyndende betalingsvillighed, men stadig begrænset og *"derfor er der behov for midler til at drive den grønne omstilling, så længe grønt brændstof er betydeligt dyrere end fossilt brændstof"* (Aagaard, 2020, s. 61). Det er derfor vigtigt at gøre grønt brændstof konkurrencedygtigt, ved at nedbringe prisen igennem politisk indgriben og ultimativt gøre det billigere for forbrugeren.

10.10 Utilsigtede effekter

I dette afsnit vil vi, ud fra trin 3 i TRIN-modellen, gennemgå potentielle utilsigtede effekter, der kan være forbundet med en PtX-omstilling af den tunge vejtransport. I a vil der blive gennemgået både tekniske, samfundsmæssige og økonomiske potentielle utilsigtede effekter.

Ved implementeringen af ny teknologi, kan der forekomme utilsigtede effekter. Disse effekter beskrives af Erling Jelsøe, på følgende vis:

> ***"En teknologis tilsigtede og utilsigtede effekter:*** *De tilsigtede effekter er teknologiens funktion(er) eller formål, og de utilsigtede effekter er andre effekter, som vurderes at være negative. For eksempel at en vindmølle støjer og ødelægger udsigten"*
>
> (Jelsøe, 2020, slides 3).

10.10.1 Tekniske utilsigtede effekter

Da meget af den teknologi, der skal anvendes i en PtX-omstilling, ikke er færdigudviklet eller gennemprøvet, er det på nuværende tidspunkt svært at gisne om eventuelle utilsigtede effekter af de "tekniske" elementer af systemet. Derfor vil vi undlade disse, men i stedet nævne at eventuelle utilsigtede effekter, der kommer fra de "tekniske" dele af PtX-omstillingen af den tunge vejtransport, kan udbedres efter implementering. I tilfælde, hvor eventuelle utilsigtede effekter af teknologiens indre mekanismer udgør en risiko for personsikkerhed, bør implementering af teknologien foretages med forbehold (Jelsøe, 2020, slides 2-27). Dette er, selvom vi gerne vil forblive uspecifikke om det

”tekniske” element af systemet, relevant ift. brugen af brint i PtX-omstillingen af den tunge vejtransport. Brint er både brandbart, men også eksplosivt og kan derved potentielt udgøre en fare for personskade (Ing.dk, 2008). Dog kan samme observation gøres ift. brugen af benzindrevne køretøjer.

10.10.2 Samfundsmæssige og økonomiske utilsigtede effekter

I kapitlet herunder, forekommer der en række hypotetiske eksempler. Her anvender vi altså *ikke* faktuel og fastslået data, men gør brug af antagelser og en fiktiv disposition. Dette gør vi for at eksemplificere en potentiel samfundsmæssig og økonomisk utilsigtet effekt, da teknologien ikke er implementeret endnu.

Den generelle implementering af PtX-produkter, med henblik på udfasning af fossile brændstoffer, kan potentielt indeholde utilsigtede effekter, der kan have betydning for de samfundsmæssige og økonomiske aspekter. Et eksempel på dette kunne være den effekt, en europæisk udfasning af fossile brændstoffer, kunne have på de lande, hvis nationale økonomi afhænger af eksport og udvinding af fossile brændstoffer.

I et land som eksempelvis Kuwait, der er dybt afhængig af deres eksport af fossilt brændsel, kan en eventuel europæisk PtX-omstilling, have en negativ effekt på Kuwaits nationale økonomi. Ca. 90% af Kuwaits offentlige indtægter kommer fra olieeksport (Privacy Shield, s.d.). Man må derfor antage, at Kuwaits eksport og økonomi utilsigtet kan blive påvirket af en potentiel PtX-omstilling. Dette kan hypotetisk komme til at betyde, at Kuwaits samfundsstruktur skal omstruktureres for at skabe nye arbejdspladser og erhverv for at undgå en potentiel økonomiskkrise.

10.11 Etiske overvejelser

I dette afsnit vil vi gennemgå, hvilke etiske overvejelser vi har gjort os ift. en PtX-omstilling af den tunge vejtransport. Herunder vil vi gøre brug af den etiske analysemetode, som beskrevet i metodeafsnittet. Analysemetoden tager, som nævnt, udgangspunkt i 4 punkter, der kan anvendes til at vurdere etikken af implementering af en teknologi. Vi anvender dog kun 3 af de 4 punkter, da vi vurderer, at det kun er punkt 1, 2 og 4, der er relevante for vores rapport.

1. Krav om begrundelse

I dette punkt vil vi begrunde, hvorfor det giver mening at implementere en PtX-omstilling af den tunge vejtransport: PtX-omstilling af den tunge vejtransport, giver mening ift. at nå målet om en nuludledning af CO2 i år 2050. Ved at implementere PtX-drevne teknologier, som eksempel brintlastbiler i den tunge vejtransport, kan man, på sigt, eliminere udledningen af CO2 (Aagaard et. al, 2020, s. 56). Samtidig er den tunge vejtransport nødvendig at omstille, da den har en stor betydning for samfundets flow (Lastbilmagasinet.dk, 2020). Dette skal forstås således, at det nuværende samfund er afhængig af den rolle den tunge vejtransport udfylder, og at den tunge vejtransport derfor ikke kan undværes. Derfor giver det mening at omstille den tunge vejtransport, til at være PtX-drevet, fremfor at afskaffe den.

2. Saglige videnskabelige data

Herunder vil vi kort redegøre for videnskabelige data, der understøtter implementeringen af en PtX-omstilling af den tunge vejtransport: Som det fremgår tidligt i denne rapport, er der er en bred videnskabelig konsensus om, at den globale opvarmning er menneskeskabt (Persson, 2019). Yderligere fremgår det, at lastbiler i 2017, alene, stod for 4,5% af Danmarks samlede drivhusgasudledning (Gudmundsson, 2019). Derudover fremgår det af både Energinet og Dansk Energi, at en PtX-omstilling af den tunge vejtransport, rent teknologisk kan bidrage til politikernes mål om 70% reducering af CO2-udledning i år 2030 (Aagaard et. al, 2020, s. 3), (Energinet, 2020).

4. Frihed for dobbeltmoral

For at vurdere, om der indtræder en dobbeltmoral ift. implementeringen af en PtX-omstilling af den tunge vejtransport, vil vi herunder fremhæve en handling i PtX-omstilling af den tunge vejtransport, der kan vurderes som værende moralsk forskellig fra den nuværende tunge vejtransport: Den moralske forskel vi her vil understrege, tager udgangspunkt i udledning af drivhusgasser. I det ideelle scenarie, kan en PtX-omstilling skabe en nuludledning af CO2 i den tunge vejtransport. Dette (i sammenspil med andre tiltag og handlinger) vil kunne lede til en opbremsning af den globale opvarmning (Energinet, 2020). I den nuværende tunge vejtransport, er afbrænding af fossile brændstoffer en uundværlig del af den teknologi, der får systemet til at fungere

(Regeringen, 2011). Dette betyder, at udledning af CO_2 i den nuværende tunge vejtransport, er uundgåeligt. Derved bidrager den nuværende tunge vejtransport, ikke til en opbremsning af den globale opvarmning.

11. Delkonklusion

Opskalering af den bæredygtige brintproduktion er nødvendig, hvis en PtX-omstilling skal implementeres. Derudover skal der oprettes en større produktion af bæredygtig strøm, der kan understøtte opskaleringen. Flere firmaer er så småt påbegyndt på deres PtX-fremstilling og PtX-strategi.

Oprettelsen af visse dele af brintinfrastrukturen, kan ske på baggrund af eksisterende gasnets infrastruktur. Brintinfrastrukturen skal kunne forbindes til vores nabolandes brintinfrastruktur, så der kan handles på tværs af landegrænser og dermed skabe en mere fluktuerende energisikkerhed.

I analysen af de politiske reguleringer, for PtX-omstillingen af den tunge vejtransport, har vi fundet ud af, at der i hele værdikæden er brug for politiske indgreb for at skabe gunstige markedsbetingelser. Flere politiske tiltag kan styrke omstillingen og skal både ske i selve produktionen af brint og i selve udrulningen af brintlastbiler, ved at facilitere en infrastruktur, som p.t. ikke er eksisterende. Derudover må man indse, at Danmark er en lille markedsøkonomi og ikke kan løfte denne opgave alene. Både energi og lastbiler, går på tværs af landegrænser og et stærkt samarbejde med udlandet, og især vores omkringliggende lande, er nødvendig for at sikre udbud og efterspørgsel. Alternativt vil udviklingen blive styret af de frie markedskræfter, som er baseret på økonomisk gevinst.

Kort opridset angiver den etiske analyse ingen anseelige etiske dilemmaer. Dog vil der selvfølgelig altid være etiske overvejelser, der bør inddrages og vurderes ift. implementering af nye teknologi. Det kunne for eksempel være ift. personsikkerhed under anvendelse eller ift. retfærdighed af markedsrammerne.

12. Roadmap

I det følgende afsnit udarbejdes roadmappet, hvor vi bevæger os inden for trin 5 i TRIN-modellen: *Modeller af teknologier*. Herunder udarbejdes målsætninger, udviklingstemaer og milepæle til det endelige roadmap. Roadmappet er visualiseret til sidst med en tidshorisont frem mod 2050.

12.1 Målsætninger

Målsætningen for den tunge vejtransport er, at der skal omstilles til grøn brint som drivmiddel for at gøre den tunge vejtransport CO2-neutral i 2050. Dette kræver, at en række væsentlige elementer skal tilpasses og udvikles, med henblik på sådan en omstilling. Det skal ske inden for nogle valgte, relevante målsætninger. Valget af målsætninger er uddybet i de følgende afsnit, som er konkurrencedygtighed, teknologisk udvikling og infrastruktur. Målsætningerne er udarbejdet på baggrund af redegørelsen og analysen.

12.1.1 Konkurrencedygtighed

Teknologien er konkurrencedygtig, når det gælder bæredygtighed, men den er økonomisk set, langt bagud, da det på nuværende tidspunkt er langt billigere at pumpe fossile brændstoffer op af jorden. Der er ingen teknologi, der har chancen for at udkonkurrere fossile brændstoffer, så længe det er markedskræfterne, der er afgørende for udbredelsen af teknologien. Udbredelsen af PtX som brændstof, vil derfor kræve en massiv offentlige og private støtter, reguleringer og afgifter, for at kunne producere grøn brint, der er rentabel og attraktiv, for industrien og forbrugere, at benytte.

12.1.2 Teknologisk udvikling

Produktionen af grøn brint skal forøges ved at opskalere de eksisterende anlæg og ved etableringen af storskalaanlæg. Forøgelsen af produktionen skal følge efterspørgslen, så omstillingen ikke forsinkes pga. mangel på brint. Det vil kræve investeringer i den teknologiske udvikling og i testanlæg. Opskalering og en teknologisk udvikling i elektrolyse vil optimere driften og produktion og skabe lavere omkostninger. Det vil gøre brint, som drivmiddel i den tunge vejtransport, billigere og mere attraktivt.

12.1.3 Infrastruktur

Infrastrukturen og energinettet skal kunne akkommodere for nye og øgede mængder brint, før det kan implementeres i stor skala i den tunge vejtransport. Dette kan ske ved at udvide det allerede eksisterende tankstationssystem til at kunne rumme brint. For at gøre brint attraktivt og praktisk, skal der også etableres flere tankstationer rundt om i landet. Dette er vigtigt for, at lastbilerne kan optanke brint ubesværet og tæt på deres ruter.

12.2 Udviklingstemaer

For at nå i mål med de fastsatte målsætninger, er roadmappet opdelt i de følgende udviklingstemaer. De er valgt som de temaer, der tilsammen skal drive den samlede omstilling af den tunge vejtransport frem mod 2050. I de følgende udviklingstemaer bliver der gennemgået, hvordan de er med til at sikre den endelige målsætning. Udviklingen for temaerne er afhængige af hinanden og skal derfor ses som stærkt forbundne.

12.2.1 Infrastruktur

For at udvikle energinettet skal man se på, hvordan det skal gribes an ift. det allerede eksisterende energinet. Man kan ifl. Anders Mortensen, benytte infrastrukturen som den er nu blot med et par få justeringer. Det argumenterer han for her:

> *"For selve rørene, der kan de fleste af dem klare det, så skal man sådan skifte de bløde dele i systemet, altså ventiler og målestationer og sådan noget skal tilpasses. Så man kan lave en relativ stor del af det ved at konvertere metan-net til brint"*
>
> (Bilag 2)

Her sparer man allerede en stor del ressourcer ved at undgå at skulle grave nye rør ned og implementere et helt nyt system. Dette gør, at brinten kan benyttes i det eksisterende energinet. Der skal oprettes mange nye brinttankstationer, for at gøre det nemt og attraktivt for den tunge vejtransport at køre på brint. Typisk kan dette ske ved, eller tæt på, allerede eksisterende tankstationer, da brint kan opbevares og pumpes på traditionel vis.

12.2.2 Markedet og efterspørgsel

For at nå målsætningen om en konkurrencedygtig brintproduktion, skal PtX teknologien gøres rentabel for forbrugerne, hvorfor markedet og efterspørgsel er relevant at justere på, i form af politiske tiltag og reguleringer. I det udarbejdede roadmap bliver der gennemgået hvilke tiltag, der potentielt skal foretages for, at den grønne brintproduktion bliver gjort attraktiv på markedet for brændsel.

12.2.3 Teknologi

Udviklingen af teknologier, knyttet til brugen af brint som brændstof til lastbiler, er nødvendig for at sænke prisen og gøre det mere rentabelt. En teknologisk udvikling kan også effektivisere fremtidige elektrolyseanlæg og gøre implementeringen mindre besværlig. Med teknologien til opbygningen af større anlæg med strategiske placeringer, vil omkostningerne yderligere falde. Opskalering af vedvarende energi, er nødvendig for en tilstrækkelig forsyning af brint.

12.3 Milepæle

Indsatsen for udviklingen, er opdelt i samme kategorier, som de ovenstående udviklingstemaer. I dette afsnit bliver de uddybet med, hvordan udviklingen skal se ud med en række milepæle, som alle sigter mod den endelige målsætning. Afsnittet tager afsæt i viden fra redegørelsen og analysen.

12.3.1 Infrastruktur

For at nå målet med en 100% CO_2-neutral lastbilskørsel i 2050, skal der opstilles nogle delmål og milepæle.

Der skal opstilles tankstationer rundt om i landet for at kunne forsyne alle lastbilerne. I den forbindelse er Everfuel kommet med et udspil om at opstille 19 brinttankstationer rundt om i landet inden 2023 (Brintbranchen, maj 2021), (Everfuel, maj 2021).

Det er en del af et skandinavisk net, hvor der opstilles 40-50 offentlige tankstationer, for at kunne forsyne 10.000 lastbiler, 10.000 busser og 10.000 biler i 2030 (Everfuel, maj 2021, s. 3). Der er i 2021 registreret 14.674 sættevognstrækkere, 1.814 lastbiler med en totalvægt på mellem 3.501-6.000 kg og 25.694 lastbiler med totalvægt over 6.000 kg.

Det vil sige, at den tunge vejtransport i Danmark er på ca. 42.000 køretøjer (Danmarks Statistik, 2021, A).

Ud over de 42.000 danske lastbiler, skal man tage højde for den internationale lastbilstrafik til, fra og igennem Danmark. I 2018 krydsede lige under 5.000 lastbiler den dansk-tyske grænse, samt Øresundsbroen hver dag. Det vil sige, at infrastrukturen skal være i stand til at forsyne omkring 47.000 lastbiler (Vejdirektoratet, 2020 s. 21).

I 2050 skal Danmark kunne akkommodere for de 42.000 danske- og 5.000 internationale lastbiler. Dette kan gribes an på forskellige måder. Der kan enten opføres flere tankstationer, øge kapaciteten af de eksisterende tankstationer eller en blanding af de to. Vi mener, at den bedste og mest realistiske løsning vil være at benytte sig af en blanding. Tankstationer med øget kapacitet vil være til større nytte, end flere små tankstationer, da mange lastbiler har samme ruter. Det vil derfor give bedst mening at placere tankstationerne langs lastbilsruterne og motorvejene, for at undgå unødvendig kørsel og længere transporttid.

De 19 planlagte brinttankstationer skal kunne bruges af både lastbiler, busser og biler. En løsning kunne være at opstille specifikke brinttankestationer, som kun kan benyttes af den tunge vejtransport. Dette vil sikre, at alle lastbiler har nem og hurtig adgang til brint. Samtidig skal tankstationerne kun tage højde for efterspørgslen fra den tunge vejtransport. Disse brinttankstationer bør opstilles strategisk langs de mest kørte lastbilsruter gennem Danmark og muligvis på eller tæt ved de allerede eksisterende tankstationer.

I årene mellem 2030 og 2050, vil vores plan derfor inkludere en løbende opstilling og udbygning af brinttankstationer. Det er bedre at gøre det løbende, frem for at gøre det hele på én gang, da der ikke fra den ene dag til den anden kan skiftes over til brint. Lastbilerne er ofte hængt op på leasingsaftaler, afdragsordninger og, at de har mange års kørsel tilbage i sig. Efterspørgslen for brintdrevne lastbiler vil stige i takt med, at de ovennævnte milepæle indfries.

Der er endnu ikke estimater på, hvordan udviklingen af antallet af brintlastbiler skal se ud frem mod 2050. På baggrund af de kendte ambitioner fra Everfuel i 2030 har vi

fremsat et forslag. Det består af, at der i 2040 skal være opstillet 'nok' anlæg langs de mest kørte lastbilsruter, til at kunne forsyne 20.000 lastbiler med brint.

Mellem 2040 og 2045 bør der opsættes nok anlæg, til at akkommoderer for 30.000 lastbiler. Det kan lade sig gøre inden for en kort årrække, fordi infrastrukturen og oprettelsen af de nye anlæg, kan efterligne og bruge samme opstillingsmodel, som de foregående anlæg.

I 2050 skal der forsynes omkring 47.000 lastbiler. Dette tal er sat for at sørge for, at både de danske- og internationale lastbiler kan forsynes med brint, hvor end de er. Det er vigtigt, at lastbilerne har nem og hurtig adgang til brint når de har brug for det, for ikke at forsinke dem på deres rute og ultimativt forsinke varetransporten. Dette er også vigtigt i forhold til konkurrencedygtigheden, da brint skal være lige så tilgængeligt og anvendeligt som f.eks. diesel og benzin er anno 2021.

12.3.2 Markedet og efterspørgsel

Med den nuværende kurs, er det markedskræfterne, der styrer retningen for PtX. Denne problematik består i, at det er den økonomiske gevinst, der afgør udbredelsen af PtX, da teknologien ikke er prismæssig konkurrencedygtig. PtX kan derfor risikere at blive udkonkurreret, hvis der ikke er nogle firmaer vil benytte sig af den grønne brint. For at løse den problematik, må der laves nogle tiltag for at forbedre markedsvilkårene.

Der skal bl.a. indføres CO2-kvoter, for at skubbe mod en udbredelse af vedvarende energi. Det ønskede resultat af dette er, at det skal være mere omkostningsfuldt at bruge fossile brændstoffer end vedvarende energi, grundet høje CO2-afgifter. Indførelsen af en CO2-afgift i den tunge vejtransport skal ske inden 2030, for at undgå, at udviklingen ikke sker i tide.

Inden 2030 skal grøn brint have opnået en konkurrencedygtig plads på markedet for brændsel til den tunge vejtransport, for at teknologien kan nå sin videreudvikling, som beskrevet i udviklingstemaet 'teknologi'. I øjeblikket er der ikke nogen CO2-afgifter på den tunge vejtransport og det gør, at der ikke er noget incitament til at skifte over til brintdrevne lastbiler, da det er mere rentabelt at fortsætte det nuværende brug af fossilt brændsel (Skatteministeriet, s.d.).

Som tidligere nævnt i analysen, bliver den grå brint, tildelt gratis CO2-kvoter. Da det dermed er mere rentabelt at benytte grå brint fremfor grøn brint, er der intet incitament til at skifte over til grøn brint.

Brintmarkedet er pt. reguleret således, at det er fordelagtigt for lastbilbranchen fortsat at benytte grå brint. Det vil kræve en politisk regulering (i form af CO2-afgifter på grå brint), hvis lastbilsektoren skal få incitament til at anvende grøn brint. Det vil nemlig kræve en dyr opskalering og udvikling af teknologien (Aagaard, 2020, s. 61). Sort og grå brint skal heller ikke stemples som værende CO2-neutrale, da en fuldkommen anvendelse af grå brint, ikke vil føre til en opfyldelse af 2050 målet om CO2-neutralitet. Diskursen bliver nødt til at ændre sig, da grå brint ikke er en mulighed, hvis målet skal nås.

Derudover vil det være nødvendigt med økonomisk støtte fra staten i starten af implementeringen, for at branchen vil kunne følge med. Til gavn for lastbilproducenterne, skal der indføres et tilskud med det formål at dække de meromkostninger, der er som følge af overgangen fra dieseldrevne lastbiler til udviklingen af brintdrevne lastbiler. På baggrund af forslaget fra Daimler om en tilskudsordning, som tidligere beskrevet, indgår det ligeledes som en del af vores roadmap. Tilskudsordningen skal finde sted i opstartsfasen af roadmappet, fordi der er et stort økonomisk behov fra branchen, under påbegyndelsen af udviklingen.

For at løse PtX-paradokset, vil en politisk støtte også være en løsning til at få sat teknologien i gang og få udbredt PtX (Larsen, 2021). Når teknologien er blevet opskaleret, vil PtX-produktion være rentabelt uden støtte. Den statslige støtte ville igangsættes tidligt i roadmappet, for at nå den ønskede opskalering i tide. Til det har Dansk Energi foreslået, som tidligere beskrevet, at der fra staten vil kræves en investering på op mod 4 mia. kr. for, at PtX-produktionen kan sættes i gang (Larsen, 2021). Med udgangspunkt i denne beregning fra de 18 hovedaktører, vælger vi derfor at placere deres anbefaling til økonomiske støtte fra regeringen i starten af roadmappet, så det kan fungere som et økonomisk startskud til videreudvikling (Larsen, 2021). Derudover vil en løbende økonomisk støtte finde sted til pilotprojekter og demonstrationsanlæg.

Yderligere vil et tarifsystem, der vil blive indført i starten af det udarbejdede roadmap, skabe incitament for firmaer til at tage del i PtX-omstillingen. Det vil foregå som en overbygning på det eksisterende tarifsystem. Nuværende aktører, som arbejder med PtX, er store virksomheder som b.la. Ørsted og Mærsk, og med et tarifsystem vil det blive fordelagtigt for flere aktører til at indgå i samarbejdet om fremtidige PtX-planer.

Ved udgangen af 2029 skal CO2-udledningen være sat ned med 70% i forhold til 1990 og støtten skal derfor generelt sættes i gang hurtigst muligt for, at PtX kan nå den ønskede opskalering, hvorfor politiske indgreb skal ske tidligt. Teknologien kan ikke udbredes på markedet uden den politiske støtte og det første trin, er derfor at skabe gunstige forhold for grøn brint på markedet.

12.3.3 Teknologi

En udvikling af fremstillingsteknologien vil, som tidligere nævnt, være nødvendig for en effektivisering og lavere omkostninger. En forudsætning for at opskalere fremstillingen af brint er, at der kan leveres nok energi fra vedvarende energikilder, især vindmøller, som vi satser på i Danmark.

Dansk Energi forudsiger, at produktion af grøn brint i 2030 vil kræve et årligt elforbrug på mellem 15-20 TWh (Bernth, 2021). Dette er til alle slags transportmidler, som er taget med i beregningen, fordi de også skal omstilles og har brug for el. Der findes ikke tal for hvor stort et el-forbrug der er behov for i PtX-produktion til den tunge vejtransport.

I 2020 var den samlede energiproduktion fra vindmøller på 16,27 TWh, som alle gik til det danske elforbrug (Winddenmark, 2. januar 2021).

På grund af kapaciteten i elnettet og mangel på et fleksibelt elforbrug, blev der i 2020 nedreguleret for vindmøllerne. Mængden af den tabte produktion i 2020 var 3 TWh (ibid.). Havde man kunne anvende denne energi til produktion af brint, kunne man have produceret mellem 2,1 og 2,55 TWh brint (ibid.). Det er stadig langt fra de 15-20 TWh, der vil være brug for i 2030 på baggrund af udregningen fra Dansk Energi (Bernth, 2021).

Med den nuværende teknologi er der et tab på mellem 15-30% i konverteringsprocessen (Innovationsfonden, s.d.). Denne konvertering kan forbedres, og DTU og Aarhus Universitet har allerede et 4-årigt projekt i gang (2017-2021), hvor man forventer at kunne udnytte 99% af energien og altså mindske tabet til 1% (Innovationsfonden, s.d.). Sådan en udvikling vil gøre driften langt billigere og skabe endnu større incitament til at benytte brint som brændstof.

Med en forbedring af konverteringsteknologien skal man, for at producere 15-20 TWh i 2030, fordoble vindmølleproduktion frem mod 2030 for at dække behovet til brintfremstilling (Energistyrelsen, 2019). Med de nuværende planer om udbygning af havvind, vil der i 2030 'kun' ske en opskalering af produktionen med omkring 14 TWh årligt. Det rækker lige akkurat ikke. Det skyldes bl.a., at de to planlagte energiøer i Nordsøen og Østersøen allerede vil blive forsinket med 3 år til 2033 og, derfor går man glip af op mod 23 TWh el (Winddenmark, 22. januar 2021).

Derfor anbefaler vi, at man kompenserer med et politisk tiltag og regulerer Energiforliget, regeringen lavede i 2018. Energiforliget går ud på, at Danmark maksimalt må have 1850 landvindmøller sammenlignet med de 4300, man havde i 2018 (Bredsdorff, 2018). Det vil give en mindre produktion af grøn el, også selvom de fremtidige vindmøller bliver mere effektive. Energinet har lavet en analyse, der viser, at Danmark har en maks. kapacitet på 12 GW, som er tre gange så meget, som med det loft på 1850 effektive landvindmøller, regeringen har fastlagt (Bredsdorff, 2018). Det vil være nødvendigt med flere landvindmøller, for at kunne producere og opfylde behovet for brint i 2030.

Ser man mere langsigtet frem mod 2050, hvor alle lastbiler potentielt skal køre på brint, bliver regnestykket mere kompliceret og usikkert. Scenarierne for antallet af lastbiler og deres energieffektivitet er varierende, og mange faktorer er ukendte og uforudsigelige. Tal fra Vejdirektoratet viser, at lastbiler i 2017 tilbagelagde 2,4 mia. km. på de danske veje. I gennemsnit brugte disse lastbiler 1 liter diesel på 3 km (Vejdirektoratet, 2020). Antager man, at der bliver kørt samme antal kilometer i 2050 som i 2017, skal der altså erstattes 800 millioner liter diesel årligt med brint. Da brint indeholder 3,3 gange så meget energi som diesel, kan de 800 millioner liter diesel omregnes til ca. 242 mio. kg

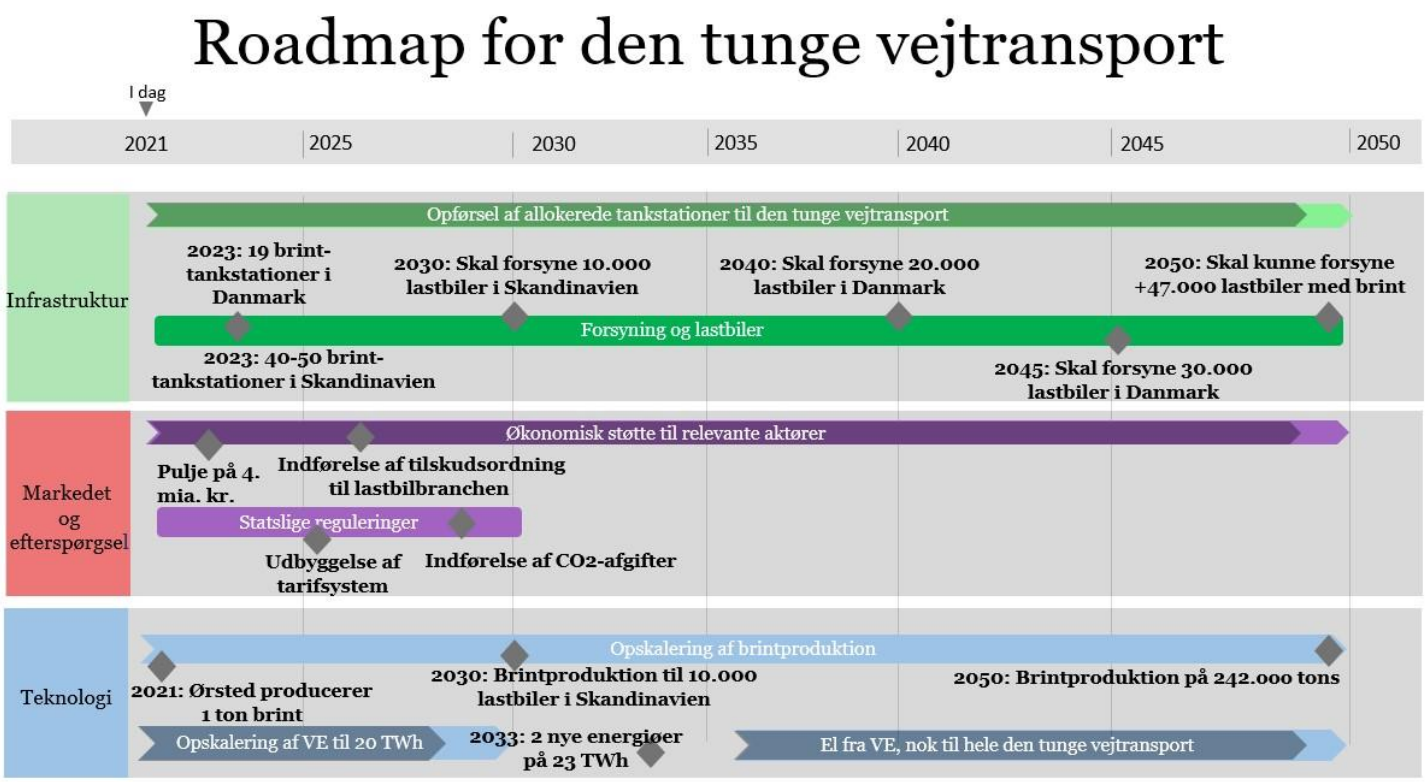
brint, som er 242.000 tons (Bosch, 2020). Dette er med udgangspunkt i, at en brintdrevet, og en dieseldrevet lastbil, er lige energieffektive.

På nuværende tidspunkt findes der flere mindre projekter rundt omkring i landet på demonstrationsskala til grøn brintfremstilling. Den mest ambitiøse plan herhjemme står Ørsted for, der har planer om deres første elektrolyseanlæg, som i slutningen af 2021 vil kunne producere omkring 1 ton grøn brint til vejtransport (Ørsted, 2021). Der er altså langt op til de 242.000 tons i 2050, men også allerede i 2030, hvor Everfuel vil sikre et udbud af brint til minimum 10.000 lastbiler i Skandinavien. Som tidligere beskrevet har en række aktører herunder DSV indgået et samarbejde om verdens største elektrolyseanlæg, som i 2030 kan levere 250.000 tons brændstof - dog både fordelt til busser, lastbiler, skibe og fly.

Der skal altså ske en meget eksponentiel produktion i roadmappet, for at nå det endelige mål med den nuværende produktion af brint til brændsel, som kun er på demonstrationsniveau (Energistyrelsen, 2021). Milepælene for teknologi tager udgangspunkt i Energistyrelsens fremskrivning af behovet for VE til brint og Everfuels ambitioner om udbud af brint, som brændsel.

12.4 Roadmap

Ud fra de valgte målsætninger, udviklingstemaer og milepæle, har vi udformet et roadmap. Det er delt op i tre udviklingstemaer med en tidshorisont frem mod 2050, da det er her, Danmark har et mål om at være C02-neutral. Vores roadmap henvender sig til politikerne, og giver et visuelt overblik over hvilke tiltag og milepæle den ledende regering skal sigte efter, for at nå målet.



Figur 11: Selvudarbejdet roadmap for Power-To-X

12.4.1 Facilitering

Vores roadmap er langsigtet og strækker sig over en lang række regeringsperioder og et bredt netværk af aktører. Det er vigtigt med et godt samarbejde mellem regeringen, som rammesætter udviklingen, og det private erhvervsliv, som står med den vigtige know-how (Aagaard et al., 2020, s. 2).

Der skal strategiske beslutninger og langsigtede investeringer til, for at fremme udviklingen. Hvis man realiserede roadmappet, kunne man etablere en ekspertgruppe, for at strømline strategien og sikre målsætningerne.

En ekspertgruppe kan bestå af industrielle, juridiske og økonomiske eksperter i sit respektive felt. Ekspertgruppen sikrer en løbende dialog og tilpasning for en optimal rammesætning. Der kan nemlig opstå både ukendte og komplekse problemstillinger løbende i processen, hvor en løbende afrapportering mellem aktører kan sikre de mest gunstige rammer (Aagaard et al., 2020, s. 40).

13. Diskussion

Politikerne har forpligtet sig på at skulle nå i mål med et CO2-neutralt Danmark i 2050. Delelementerne i PtX-teknologien er, som tidligere beskrevet, udviklet tilstrækkeligt til, at man ville kunne påbegynde en omstilling. Dog kan det diskuteres, hvorvidt Power-to-X skal have en rolle i målet om at omstille den tunge vejtransport.

PtX er på nuværende tidspunkt en af de kendte CO2-neutrale teknologier, der kan implementeres i den tunge vejtransport, som erstatning til fossile brændstoffer (Man Energy Solutions, s.d.). Fremstillingen af PtX-produkter er nemlig baseret på VE fra f.eks. vindmøller (Aagaard et al., 2020, s. 3). Danmark er allerede en af de førende lande indenfor produktionen af el fra vindmølle (Energistyrelsen, s.d.). Derfor er det oplagt at satse på vindmøllestrøm i fremstillingen af brintbrændsel, via PtX, i den tunge vejtransport. Potentialet for opskaleringen af vindmøllestrøm i Danmark er langtfra udnyttet, og der er derfor et hul i markedet for brintproduktion.

Der er en økonomisk udfordring i at opføre VE, der skal konkurrere med de lave priser på fossil energi, som på nuværende tidspunkt dominerer markedet for brændsel i den tunge vejtransport. Der vil være yderligere økonomiske udfordringer i etableringen af brintinfrastrukturen, samt for udviklingen af brintdrevne lastbiler. Det økonomiske omfang ved denne slags omstilling er så omkosteligt, at det vil kræve en investeringsvillighed. Der skal tænkes langsigtet i investeringer, da der ikke vil være en økonomisk fortjeneste foreløbig (Aagaard et. al., 2020, s. 57-61).

En investering kan på sigt give muligheden for, at PtX-produkter kan blive en mulig eksportvare og en stor indtægtskilde for Danmark (Aagaard et al, 2020, s. 20). Dette er fordelagtigt, fordi det kan gøre Danmark uafhængig af import af energi til flere formål, herunder den tunge vejtransport og eliminere udgiften derfra.

Dog kan det europæiske marked, med køb og salg af CO2-kvoter, forhindre en PtX-omstilling, hvis det er billigere at købe sig til udledning af drivhusgasser end at påbegynde en c02-neutral omstilling. Det vil hæmme et europæisk marked og en potentiel dansk eksport af PtX-produkter.

Der er en lang række store danske virksomheder, såsom Vestas, Ørsted, Maersk, DSV og SAS, der viser interesse for en fremtidig implementering af CO2-neutralt brændstof, herunder brint (Ørsted, s. d.). De har vist deres interesse både igennem investeringer i mindre værdikædeprojekter, men også igennem oprettelse af demonstrationsanlæg (ibid.). At disse store virksomheder viser handling uden nogen økonomisk støtte, kan vise sig at fremskynde brints introduktion på markedet for brændstof og konkurrencedygtighed.

Oprettelsen af en gennemgående infrastruktur tilpasset brint, samt opskalering af brintfremstilling i tilstrækkelig mængde, er dog en tidskrævende proces. Dette skyldes bl.a. planlægningsprocessen og selve opførelsen af en lang række teknologier, som skal indgå i det samlede PtX-system. Dette indebærer b.la. elektrolyseanlæg, rør til brintinfrastruktur, tankstationer og udvidelsen af VE-kilder. Derudover kommer udvikling og udrulningen af brintlastbiler, som også vil tage tid.

Danmark er et geografisk lille land med en god økonomi (Danmarks Statistik, 2021, B). Det betyder bl.a., at Danmark har midlerne til at implementere et dyrt system, som eksempelvis PtX, der først på sigt vil give overskud på trods af implementeringsbarriererne. Derudover gør Danmarks geografiske størrelse det muligt at implementere et gennemgående og ensartet PtX-system. Oven i dette har Danmarks eksisterende energisystem i forvejen en god infrastruktur, som er mulig at udnytte og justere.

At håndtere den kompleksitet og de barrierer, der er ved en implementering af brint og PtX i den tunge vejtransport har optimale forhold i et land som Danmark, da det er et godt organiseret samfund og en stat med god løfteevne. Årsagen skal findes i landets velstand (Erhvervsministeriet, 2018).

Igennem potentiel lovmæssig regulering, med henblik på PtX-implementering, kan retssamfundet anvendes til PtX-omstillingens fordel.

Sammenfattende kan man sige, at der både er stærke drivkræfter og barrierer i argumentationen for, at PtX kan få en rolle i den tunge vejtransport og dermed være med til at opfylde 2050-målet om et c02-neutralt Danmark. For, at brint kan få en rolle i omstillingen af den tunge vejtransport, skal der som undersøgt, aktivt gøres noget for at

få drivkræfterne til at overkomme barrrierne. Hvilke tiltag, der kan drive brint frem tages op i konklusionen.

14. Konklusion

Gennem vores redegørelse og analyse, har vi *identificeret* nogle væsentlige drivkræfter og barrierer, for udbredelsen af PtX som teknologi i den tunge vejtransport og får derved besvaret problemformuleringen: *"Hvilke drivkræfter og barrierer er der for udbredelsen af brint, via Power-to-X, som brændstof til den tunge vejtransport?"*.

Der kan konkluderes, at fremstillingen af brint allerede eksisterer i industrien, baseret på ikke-bæredygtige fremstillingsmetoder og i en mængde, der langt fra er tilstrækkelig til en omstilling af den tunge vejtransport. Det er endnu uvist, hvilken fremstillingsmetode af brint, der har den højeste energieffektivitet. Derfor er der delelementer i teknologien, som ikke er udviklet i en tilstrækkelig grad til at kunne implementeres i det nuværende system. Der er samtidig interesse fra erhvervet om en opfyldelse af krav og målsætninger om CO2-nedsætninger, og de første planer for omstillingen er allerede igangsat. Fremstillingen og indførelsen, af de første brintdrevne køretøjer, forventes også udrullet inden 2030.

Derudover kan det konkluderes, at der er høje omkostninger forbundet med omstillingen og, at der på nuværende tidspunkt kræves en større politisk indsats, end de tiltag og økonomiske budget lagt af politikerne. Det er også grunden til, at markedsrammerne på nuværende tidspunkt ikke tager nok hensyn til den grønne omstilling og den manglende betalingsvillighed fra forbrugerne. Et europæisk samarbejde vil yderligere understøtte en implementering af PtX-teknologien og en distribuering på tværs af landegrænser.

Ud fra vores projekt, kan der derfor konkluderes, at der er en mulighed for at nå 2050 målet. Det er dog med forbehold for at barriererne i markedsrammerne og betalingsvilligheden bliver løst igennem drivkræfter, i form af investeringer, politiske reguleringer og tariffer. Derudover kræves der en markant opskalering af brintproduktionen og derudover forsyningen fra vindmøller. Med opskaleringen, skal

infrastrukturen også omstilles, hvorfor en opskalering af brinttankstationer tiltænkt den tunge vejtransport er nødvendig.

15. Perspektivering

Projektsamarbejdet *"GridScale – Et omkostningseffektivt storskala el til el lager"* mellem Danmarks Tekniske Universitet (DTU), Andel og Stiesdal Storage Technologies, er et relevant projekt at perspektivere til ift. alternativ energilagring (Haglind, 2021). Ligesom PtX, er 'GridScale' en måde at lagre den overskydende energi fra vedvarende energikilder på, som ikke kan lagres på industrielt niveau endnu. Ved 'GridScale' bliver energi fra VE lagret i sten via varme. 'GridScale' benytter sig af små sten på størrelse med en ært, som bliver opbevaret i store isolerede ståltanke. Energilagret benytter dén overskudsstrøm fra elnettet, som ikke kan bruges, f.eks. når produktionen af el overgår forbruget (Haglind, 2021).

> *"Når der er overskud af strøm på elnettet, bliver lageret opladet ved, at et specialkonstrueret varmepumpesystem flytter varmeenergi fra ét sæt af tanke til et andet. Stenfyldet bliver koldere i de tanke, hvor energien tages fra, mens det bliver meget varmere i de tanke, som modtager varmen, helt op til cirka 600 grader."*
>
> (Haglind, 2021)

Den opbevarede energi kan lagres i mange dage. Dette imødekommer den manglende fleksibilitet og lagringsmulighed, som er et af hovedproblematikkerne ved VE. Tanksystemet i 'GridScale' er derudover nem at opskalere, da man blot kan tilføje yderligere stentanke (Haglind, 2021). I modsætning til vores fokus med PtX, kan denne energi kun bruges i Danmarks energinet og til fjernvarme.

Det PtX og 'GridScale' har tilfælles er, at de begge arbejder med problematikken omkring lagring af VE. Hvis elnettet, men også transportsektoren, skal være CO_2-neutral, er et stort problem at finde en effektiv og bæredygtig lagringsmetode, som kan imødekomme forsyningssikkerheden. 'GridScale' kan lagre energien i form af elektricitet til varme og tilbage til elektricitet.

Det vil sige, at inputtet, er det samme som output og kan derfor bruges på samme måde, som ved direkte brug, netop i elnettet (Haglind, 2021). Ved PtX omdanner man el og vand via elektrolyse til brint. Her er input og output forskellige, og outputtet kan derfor bruges i transportsektoren.

En blanding af disse teknologier kan supplere hinanden og tilsammen udnytte den overskydende energi, som opstår ved VE. Dette kan optimere energisektoren, ved at mindske spild samtidigt med, at det er en bæredygtig løsning. Begge teknologier er lovende ift. at nå 2050 klimamålene.

16. Litteraturliste

Fra undervisningen:

Jelsøe, E. (10. november 2020), *"Teknologiers utilsigtede effekter"*. PowerPoint fra Teknologiske systemer og artefakter kursusgang 3. Downloadet d. 10/4 2021. Lokaliseret på: Moodle.ruc.dk

Kjær, T. (2021), *"Kursusplan. Bæredygtige teknologier"*. Downloadet d. 2/4 2021. Lokaliseret på: Moodle.ruc.dk

Petersen, T. B. (21/10 2020), *"Etiske teorier og analysemetoder til vurdering af teknologiudvikling",* Forelæsning *i k*urset Subjektivitet, Teknologi og Samfund, Humanistisk-Teknologisk Bacheloruddannelse, Roskilde Universitet. Downloadet d. 13/4 2021. Lokaliseret på: Moodle.ruc.dk

Rapporter:

Aagaard, L., Hjulmand, J., Søbye, L.P., Fausing, K., Sørensen, L.S., Andersen, J.B., … Poulsen, H. (november 2020), *"Anbefalinger til en dansk strategi for Power-to-X"*, Dansk Energi. Tilgået d. 29/3 2021. Lokaliseret på: https://www.danskenergi.dk/sites/danskenergi.dk/files/media/dokumenter/2020-11/Anbefalinger-til-en-dansk-strategi-for-Power-to-X.pdf

Bernal, L., Dornberger, U., Torres, O., Byrnes, T. (2009). *"Technology Roadmapping"* Universität Leipzig. Tilgået d. 9/4 2021. Lokaliseret på: https://docplayer.net/15840646-Technology-roadmapping-handbook.html

Dansk Energi (23. september, 2016), *"Analyse nr. 23: Brint i fremtidens energisystem"*. Tilgået d. 22/5 2021. Lokaliseret på:

https://www.danskenergi.dk/sites/danskenergi.dk/files/media/dokumenter/2017-07/Analyse_23__Brint_i_fremtidens_energisystem_inkl_bilag.pdf

Dansk Energi & Energinet (maj 2020), *"GAMECHANGERE FOR PTX OG PTX-INFRASTRUKTUR I DANMARK"*. Tilgået d. 22/5 2021. Lokaliseret på: Gamechangere for PtX og PtX-infrastruktur i Danmark | Energinet

Energinet (september 2016), *"Hvad påvirker elpriserne i Danmark?"*. Tilgået d. 22/5 2021. Lokaliseret på: https://energinet.dk/Om-publikationer/Publikationer/RS-Analyse-September-2016-Hvad-paavirker-elpriserne

Energinet (april 2019), *"PTX I DANMARK FØR 2030 - potentiale for PtX i Danmark på kortere sigt i et kortere sigt et systemperspektiv"*. Tilgået d. 23/5 2021. Lokaliseret på: PTX I DANMARK FOER 2030 (1).pdf

Energinet (19. november 2019), *"NYE VINDE TIL BRINT PtX - strategisk handlingsplan januar 2020"*. Tilgået d. 29. marts 2021. Lokaliseret på: https://energinet.dk/Om-publikationer/Publikationer/Nye-vinde-til-brint---PtX-handlingsplan

Energistyrelsen (26. april 2019), *"Havvindspotentialet i Danmark"*. Tilgået d. 1/6 2021. Lokaliseret på: final_26._april_2019_analyserapport_for_124_gw_screening.pdf (ens.dk)

Energistyrelsen (24. april 2021), *"Klimastatus og –fremskrivning 2021 (KF21): Produktion af olie, gas og VE-brændstoffer"*. Tilgået d. 2/6 2021. Lokaliseret på: 7A KF21 sektornotat - Produktion af olie gas og VE-brændstof (ens.dk)

Everfuel (maj 2021), "Scandinavian Hydrogen Station Ambitions 2023 Denmark", Tilgået 3/6-21. Lokaliseret på: https://mb.cision.com/Public/19914/3352896/8b441c94a5985df7.pdf

Folketinget (16. december 2020), *"Skriftlig redegørelse"*. Tilgået d. 21/4 2021. Lokaliseret på: 2020 R 11.pdf (ft.dk)

Klimarådet (2021), *"Baggrundsnotat om den globale klimaindsats"*. Tilgået d. 6/6 2021. Lokaliseret på: baggrundsnotat_om_danmarks_globale_klimaindsats.pdf

Kefm.dk (2020), "*Klimahandlingsplan"*. Lokaliseret på: https://kefm.dk/Media/F/5/Klimahandlingsplan%202020a.pdf

Kefm.dk (s. d.), *"Informationsmateriale"*. Tilgået d. 6/6 2021. Lokaliseret på: Borgertinget (kefm.dk)

Miljøstyrelsen (2005), *"Danmarks udledning af CO2-indsatsen i perioden 1990-2001 og omkostningerne herved"*. Tilgået d. 6/6 2021. Lokaliseret på: 155996.pdf

Regeringen (februar, 2011), *"Energistrategi 2050 - fra kul, olie og gas til grøn energi"*. Tilgået d. 4/6 2021. Lokaliseret på: https://www.regeringen.dk/media/1238/energistrategi_2050.pdf

Skov, I. R., & Mathiesen, B. V. (2018), *"Handlingsplan for storskala anvendelse af elektrolyse i Danmark"*. Aalborg Universitet. Tilgået d. 19/5 2021. Lokaliseret på: Handlingsplan_for_storskala_anvendelse_af_elektrolyse_i_Danmark_final.pdf (aau.dk)

Vejdirektoratet (februar, 2020), *"Udvikling i national og international lastbiltrafik i Danmark"*. Tilgået d. 1/6 2021. Lokaliseret på: National og international lastbiltrafik i DK_WEB.pdf (vejdirektoratet.dk)

Venable, J. R. (2014). *"Using Coloured Cognitive Mapping (CCM) for design science research. Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)"*. Tilgået d. 5/6 2021. Lokaliseret på: https://doi.org/10.1007/978-3-319-06701-8_25

Webkilder:

Altinget (10. marts 2021), *"Hvornår vil regeringen indregne støtten til Power-to-x-initiativerne i den egentlige finanslovsplanlægning?"*. Tilgået d. 6/6 2021. Lokaliseret på: Hvornår vil regeringen indregne støtten til Power-to-x-initiativerne i den egentlige finanslovsplanlægning? - Altinget: Energi og Klima

Arentoft, C. H. (11. februar 2021), *"Danmarks CO2-udslip dykker kraftigt på et enkelt år"*. Tilgået 7/6 2021. Lokaliseret på: Danmarks CO2-udslip dykker kraftigt på et enkelt år - Energiforum Danmark

Axelsen, E. Waheed, S. (s.d.), *"Fremme af vindmøller"* Energistyrelsen. Tilgået d. 1/6 2021. Lokaliseret på: https://ens.dk/ansvarsomraader/vindenergi/fremme-af-vindmoeller

Bernth, M. (26. februar 2021), *"Danmark risikerer at mangle grøn strøm til Power-to-X"*. Ing.dk. Tilgået d. 24/5 2021. Lokaliseret på: Danmark risikerer at mangle grøn strøm til Power-to-X | Ingeniøren

Björkqvist, C. (21. juli 2020), "*What is Power-to-X?*", Turbomachinery International. Tilgået d. 1/6 2021. Lokaliseret på: https://www.turbomachinerymag.com/view/what-is-power-to-x

Bosch (9. september 2020), *"Fremtidens mobilitet behøver brændselsceller"*. Tilgået d. 1/6 2021. Lokaliseret på: Bosch: Fremtidens mobilitet behøver brændselsceller | Bosch i Danmark

Bredsdorff (1. august 2018), *"Antallet af landmøller skal halveres"*. Ingenøren. Tilgået d. 2/6 2021. Lokaliseret på: https://ing.dk/artikel/antallet-landmoeller-skal-halveres-213570

Brintbranchen (27. april 2020), "*Daimler og Volvo samarbejder om brintlastbiler"* Tilgået d. 11/5 2021. Lokaliseret på: https://brintbranchen.dk/daimler-og-volvo-samarbejder-om-brintlastbiler/

Brintbranchen (17. marts 2021), *"Dansk deltagelse i IPCEI"*. Tilgået 6/6 2021. Lokaliseret på: danmark-deltager-i-ipcei

Brintbranchen (25. maj 2021), *"Everfuel lancerer plan for dansk netværk af brinttankstationer"*. Tilgået 3/6-2021. Lokaliseret på: https://brintbranchen.dk/everfuel-lancerer-plan-for-dansk-netvaerk-af-h2-stationer/

Daimler.dk (15. december 2020), *"H2Accelerate – new collaboration for zero emission hydrogen trucking at mass-market scale"*. Tilgået d. 4/4 2021. Lokaliseret på: H2Accelerate – new collaboration for zero emission hydrogen trucking at mass-market scale - Daimler Global Media Site

Danmarks Statistik (A) (2021), *"Bestanden af køretøjer pr 1. januar"*. Tilgået d. 21/4 2021.
Lokaliseret på: https://www.dst.dk/da/Statistik/emner/erhvervslivets-sektorer/transport/transportmidler

Danmarks Statistik (B) (2021), *"Nationalregnskab og offentlige finanser"*. Tilgået d. 28/4 2021. https://www.dst.dk/da/Statistik/emner/nationalregnskab-og-offentlige-finanser/aarligt-nationalregnskab/bnp

Dissing, M. (10. marts 2021), *"Hvordan får vi Power-to-X op at køre i den tunge vejtransport"*. Danskenergi. Tilgået d. 28/3 2021. Lokaliseret på: Hvordan får vi Power-to-X op at køre i den tunge vejtransport? | Dansk Energi

DSV.dk (26. maj 2020), *"Førende danske selskaber går sammen om ambitiøst projekt inden for bæredygtige brændstoffer"*. Tilgået d. 4/4 2021. Lokaliseret på: Førende danske selskaber går sammen om ambitiøst projekt inden for bæredygtige brændstoffer | DSV

Ea Energianalyse (24. november 2020), "*Brint og PtX i fremtidens energisystem*". Tilgået d. 26/5 2021. Lokaliseret på: Brint og PtX i fremtidens energisystem. (ea-energianalyse.dk)

Energinet.dk (14. maj 2020), *"NY ANALYSE: VEJENE TIL FREMTIDENS POWER-TO-X SKAL FINDES NU"*. Tilgået d. 12/4 2020. Lokaliseret på: Vejene til fremtidens Power-to-X skal findes nu | Energinet

Energinet.dk (s.d.), *"Tariffer og gebyrer"*. Tilgået d. 12/5 2021. Lokaliseret på: Tariffer | Energinet

Energistyrelsen (s.d.), "*Fakta om vindenergi*". Tilgået d. 4/1 2021. Lokaliseret på: Fakta om vindenergi | Energistyrelsen (ens.dk)

Energy Efficieny & Renewable Energy (A) (s.d.), *"Alternative Fuels Data Center"*. Tilgået d. 26/5 2021. Lokaliseret på: https://afdc.energy.gov/fuels/hydrogen_production.html

Energy Efficieny & Renewable Energy (B) (s.d.), *"Hydrogen Production: Natural Gas Reforming"*. Tilgået d. 26/5 2021. Lokaliseret på: https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-natural-gas-reforming

Energy Efficieny & Renewable Energy (C) (s. d.), *"Hydrogen Production: Electrolysis"*. Tilgået d. 4/6 2021. Lokaliseret på: https://www.energy.gov/eerefuelcells/hydrogen-production-electrolysis

Europa Parlamentet (8. april 2021), *"Betænkning - om en europæisk strategi for brint"*. Tilgået d. 6/6 2021. Lokaliseret på: BETÆNKNING om en europæisk strategi for brint (europa.eu)

Europa Parlamentet (28. november 2019), *"EU og Paris-aftalen: På vej mod klimaneutralitet"*. Tilgået d. 12/4 2021. Lokaliseret på: EU og Paris-aftalen: På vej mod klimaneutralitet | Nyheder | Europa-Parlamentet

EU-kommisionen (2021), "*EU Emissions Trading System (EU ETS)*". Tilgået d. 24/5 2021. Lokaliseret på: EU Emissions Trading System (EU ETS) | Climate Action (europa.eu)

Everfuel (2021), "Everfuel plans 300MW HySynergy Phase II electrolyser in Fredericia". Press release. Brintbranchen. Tilgået d. 30/5 2021. Lokaliseret på: https://mb.cision.com/Public/19914/3344724/99ee52347f1687c4.pdf

Erhvervsstyrelsen (2018), "*Det danske velstandsniveau er det højeste nogensinde*". Tilgået 07/06-2021. https://em.dk/nyhedsarkiv/2018/november/det-danske-velstandsniveau-er-det-hoejeste-nogensinde/

Experimentarium (s.d.), "*Forsøg med elektrolyse*", Tilgået d. 2/3 2021. Lokaliseret på: https://www.experimentarium.dk/klima/forsoeg-med-elektrolyse/

Fremtidensenergi.dk (s.d.), *"Verdens enorme energibehov"*. Tilgået d. 21/4 2021. Lokaliseret på: Verdens enorme energibehov | Fremtidensenergi.dk

Gudmundsson, H. & Schneider J. D. (14. maj 2019), *"Godstransport og klima i Danmark – Status og muligheder i fokus"*. CONCITO. Tilgået d. 21/4 2021. Lokaliseret på: Henrik Gudmundsson.pdf (concito.dk)

Haglind, F (20. April 2021), *"DTU part i projekt om energilagring i sten",* DTU. Tilgået d. 6/6 2021. Lokaliseret på: https://www.dtu.dk/nyheder/Nyhed?id=%7B294A4FD7-E7EF-40A4-9BB7-C37DE388CF72%7D

Hinrichsen, M. B. (16. marts 2021), *"Grønne lastbiler er tættere på, end du aner"*. Webinar af Dansk Energi med Mikael Voigt og Martin Dam Wiedt. Tilgået d. 29/3 2021. Lokaliseret på: Grønne lastbiler er tættere på, end du aner | Dansk Energi

Ing.dk (28. september 2008), *"Brint hører ikke hjemme i biler"*. Tilgået d. 2/6 2021. Lokaliseret på: https://ing.dk/indhold/153526

Innovationsfonden (s.d.), *"Brintteknologi skal være Danmarks næste eksporteventyr"*. Tilgået d. 1/6 2021. Lokaliseret på:
Brintteknologi skal være Danmarks næste eksporteventyr | Innovationsfonden

Jørgensen, N. (5. maj 2020), *"Niels Jørgensens homepage"*. Tilgået d. 4/6 2021. Lokaliseret på: http://webhotel4.ruc.dk/~nielsj/

Jørgensen, N. (19. august 2020), *"Digital signatur. En eksemplarisk analyse af en teknologis indre mekanismer og processer"*. Downloadet d. 19/4 2021. Lokaliseret på: https://moodle.ruc.dk/mod/resource/view.php?id=277943

Kefm.dk (19. juni 2020), *"Regeringen sikrer massiv investering i Power-to-X"*. Tilgået d. 13/5 2021. Lokaliseret på: Regeringen sikrer massiv investering i Power-to-X (kefm.dk)

Klimatilpasning.dk (s.d.), *"Femte hovedrapport fra IPCC"*. Tilgået d. 21/4 2021. Lokaliseret på: Femte hovedrapport fra IPCC (klimatilpasning.dk)

Krog-Pedersen, S., Nissen, M. H. (9. august 2019), *"Klimaforandringer og global opvarmning"*. Experimentarium. Tilgået d. 6/6 2021. Lokaliseret på: https://www.experimentarium.dk/klima/klimaforandringer-og-global-opvarmning/

Larsen, B. L. (15. marts 2021), *"4 konkrete tiltag der kan kickstarte dansk Power-to-X"*. Dansk Energi. Tilgået d. 1/6 2021. Lokaliseret på: https://www.danskenergi.dk/nyheder/4-konkrete-tiltag-kan-kickstarte-dansk-power-to-x

Lastbilmagasinet.dk (5. november 2020), *"Vejen genvinder titel som Årets Transport-kommune for næsen af Horsens"*. Tilgået d. 25/5 2021. Lokaliseret på: https://lastbilmagasinet.dk/artikler/vejen-genvinder-titel-som-aarets-transport-kommune-for-naesen-af-horsens-p52039

Man Energy Solution (s.d). *Power-to-X. A key to decarbonization"*. Tilgået d. 27/5-2021. Lokaliseret på: https://www.man-es.com/discover/power-to-x)

Mogensen, M. B. (s.d.), "*Elektrolyse*". Den Store Danske. Tilgået d. 2/3 2021. Lokaliseret på: https://denstoredanske.lex.dk/elektrolyse

NYSERDA - New York State Energy Research and Development Authority (2005), *"Hydrogen Production – Steam Methane Reforming (SMR)"*. Tilgået d. 22/5 2021. Lokaliseret på: http://scholar.google.dk/scholar_url?url=https://www.amiqweb.es/app/download/9343795/6hydrogenproductionsteammethanereforming.pdf&hl=da&sa=X&ei=lUmuYJ_pOMvhmQGosI-YDA&scisig=AAGBfm2wZ823f5g5-3gj-2ieOGkpCnDu0g&nossl=1&oi=scholarr

Persson, C. P. (4. marts 2019), *"Er 97 procent af forskerne enige om, at klimaforandringer er menneskeskabte?"*. Videnskab.dk. Tilgået d. 21/4 2021. Lokaliseret på: Er 97 procent af forskerne enige om, at klimaforandringer er menneskeskabte? (videnskab.dk)

Privacy Shield (s.d.) "*Kuwait- Oil and Gas"*. Privacyshield.gov. Tilgået d. 2/6 2021. Lokaliseret på: https://www.privacyshield.gov/article?id=Kuwait-Oil-and-Gas

Pro.ing.dk (2. marts 2021), *"Danmark skal accelerere på Power-to-X"*. Tilgået d. 12/4 2021. Lokaliseret på: Danmark skal accelerere på Power-to-X | GridTech PRO (ing.dk)

Pubchem (s.d.), *"Hydrogen"*. Tilgået d. 22/5 2021. Lokaliseret på:

https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/element/Hydrogen

Skatteministeriet (s.d.), *"Bilag A: Kort beskrivelse af energiafgiftssystemet"* Tilgået d. 1/6 2021. Lokaliseret på:

https://www.skm.dk/aktuelt/publikationer/rapporter/omfang-af-dobbeltregulering-af-co2-udledningerne-ved-kvoter-og-afgifter/bilag-a-kort-beskrivelse-af-energiafgiftssystemet/

Skøtt, T. (September, 2014), *"Effektiv brintfremstilling"*. FiB & Green-Hydrogen. Tilgået d. 23/5 2021. Lokaliseret på: http://www.biopress.dk/PDF/effektiv-brintfremstilling/at_download/file

Tornbjerg, J. (10. januar 2021), *"EU's kvotesystem skal fremme grøn brint og CO2-håndtering"*. Dansk Energi. Tilgået d. 22/5 2021. Lokaliseret på: EU's kvotesystem skal fremme grøn brint og CO2-håndtering | Dansk Energi

Transportmagasinet.dk (19. april 2017), *"Scanias lastbil præmieret igen"* . Tilgået d. 21/4 2021. Lokaliseret på: https://www.transportmagasinet.dk/article/view/439071/scanias_lastbil_praemieret_igen

WHA (s.d.) *"Hydrogen industry: Past, Present and Future"*. Tilgået d. 22/5 2021. Lokaliseret på: https://wha-international.com/hydrogen-in-industry/

Winddenmark (26 maj 2020), *"Historisk storskala brintprojekt på vej i Danmark"* Tilgået d. 24/5 2021. Lokaliseret på: https://winddenmark.dk/nyheder/historisk-storskala-brintprojekt-paa-vej-danmark

Winddenmark (2. januar 2021), *"2020 bød på rekordhøj produktion fra landets vindmøller"*. Tilgået d. 1/6 2021. Lokaliseret på: 2020 bød på rekordhøj produktion fra landets vindmøller | Wind Denmark

Winddenmark (26. marts 2021), *"Power-to-X er fjerde paradigme i danske vindmølleeventyr"*. Tilgået d. 22/5 2021. Lokaliseret på: https://winddenmark.dk/nyheder/power-to-x-er-fjerde-paradigme-danske-vindmoelleeventyr

Ørsted (20. januar 2021), *"Ørsted træffer endelig investeringsbeslutning om første brintprojekt"*. Tilgået d. 1/6 2021. Lokaliseret på: Ørsted træffer endelig investeringsbeslutning om første brintprojekt (orsted.com)

Ørsted (s. d.), *"Brint i Danmark: Det er nødvendigt at erstatte fossile brændsler med grøn elektricitet, hvis vi skal mindske klimaforandringerne"*. Tilgået d. 4/6 2021. Lokaliseret på: https://orsted.dk/vores-groenne-loesninger/havvind/brint-i-danmark.

Bøger:

Brinkmann, S., Kvale, S (2009). "*Interview – Introduktion til et håndværk*". Tilgået d. 14/4 2021. Lokaliseret på: Moodle.ruc.dk

Kakoulaki, G., Kougias, I., Taylor, N., Dolci, F., Moya, J., Jäger-Waldau, A,. (8. november 2020). *"Green hydrogen in Europe – A regional assessment: Substituting existing production with electrolysis powered by renewables"*. Tilgået d. 18/5 2021. Lokaliseret på: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113649

Videoer:

DeWitt, T (7. august 2015), *"Electrolysis"*. Electrolysis. Tilgået d. 2/3 2021. Lokaliseret på: https://www.youtube.com/watch?v=dRtSjJCKkIo

P3 X Viden (21. november 2020), *"Sådan laver vi CO2-neutral brændstof"*. Tilgået d. 1/6 2021. Lokaliseret på: https://www.youtube.com/watch?v=VBwf1sMkUdQ

Figurer:

Figur 1: Energinet (19. november 2019), *"NYE VINDE TIL BRINT PtX strategisk handlingsplan januar 2020"*. Downloadet d. 29. marts 2021.

Figur 2: Kjær, T. (2021), *"Kursusplan. Bæredygtige teknologier"*. Tilgået d. 2/4 2021. Lokaliseret på: Moodle.ruc.dk

Figur 3: Nikolaidis, P. (januar 2017), *"A comparative overview of hydrogen production processes*. Tilgået d. 6/6 2021. Lokaliseret på: Flow diagram of the steam methane reforming process. | Download Scientific Diagram (researchgate.net)

Figur 4: Media.ccc.de (25. august 2019), "*Power-to-X*", Tilgået d. 1/6-2021 https://www.youtube.com/watch?v=6CjRSNrAfpg

Figur 5: Experimentarium (s.d.), *"Forsøg med elektrolyse"*. Tilgået d. 2/3-2021. Lokaliseret på: https://www.experimentarium.dk/klima/forsoeg-med-elektrolyse/

Figur 6: Omv.com (15. december 2020), *"H2Accelerate – new collaboration for zero emission hydrogen trucking at mass-market scale"*. Tilgået d. 21/4 2021. Lokaliseret på: https://www.omv.com/en/news/201215-h2accelerate-new-collaboration-for-zero-emission-hydrogen-trucking-at-mass-market-scale

Figur 7: Energinet (september 2016), *"Hvad påvirker elpriserne i Danmark?"*. Tilgået d. 22/5 2021. Lokaliseret på: https://energinet.dk/Om-publikationer/Publikationer/RS-Analyse-September-2016-Hvad-paavirker-elpriserne

Figur 8: Energinet (september 2016), *"Hvad påvirker elpriserne i Danmark?"*. Tilgået d. 22/5 2021. Lokaliseret på: https://energinet.dk/Om-publikationer/Publikationer/RS-Analyse-September-2016-Hvad-paavirker-elpriserne

Figur 9: Energinet (april 2019), *"PTX I DANMARK FØR 2030 - potentiale for PtX i Danmark på kortere sigt i et kortere sigt et systemperspektiv"*. Tilgået d. 23/5 2021. Lokaliseret på: PTX I DANMARK FOER 2030 (1).pdf

Figur 10: Energinet (april 2019), *"PTX I DANMARK FØR 2030 - potentiale for PtX i Danmark på kortere sigt i et kortere sigt et systemperspektiv"*. Tilgået d. 23/5 2021. Lokaliseret på: PTX I DANMARK FOER 2030 (1).pdf

Billeder:

Forside: Mediaparts (s. d.), *"LKW fährt Richtung Sonnenaufgang"*. Adobe Stock Photos. Tilgået 2/6 2021. Lokaliseret på: LKW fährt Richtung Sonnenaufgang Stock-foto | Adobe Stock