



29-05-2021

Power-to-X i den danske energisektor

Planlægning og implementering

Annika Løvmose Holm stud.nr. 60998

Bettina Ottesen Thorvil stud.nr. 57968

Thomas Dahl, stud.nr. 47911

Tobias Marinus Søgaard Jensen, stud.nr. 55863

ROSKILDE UNIVERSITET, SPECIALE

VEJLEDER: TYGE KJÆR

ANTAL ANSLAG: 178.553



Abstract

This report aims to answer the question: *How can PtX be implemented in Denmark in order to achieve the Danish reduction targets for 2030 and 2050, and ensure environmental and economic profitability of the technology in the long term?*

This goal leads to a natural delimitation of so called gray and blue hydrogen.

In order to answer this question the report is based upon the theories *Multilevel Governance* and *Sociotechnical Systems*, the analysis made upon these theories will show how the different actors can help promote PtX in Denmark.

Furthermore in chapter 5 the report shows a material flow analysis where the transformations of electrical power to hydrogen is shown under different circumstances. This analysis shows that the transformation is not as of yet economically profitable. This conclusion, along with the actor analysis leads to the reports overall conclusion:

In order to bring PtX into the danish energysystem in the best possible way a political agenda, including financial support is needed.

Forord

Til udarbejdelsen af denne rapport har en række mennesker taget sig tid til at dele deres viden og erfaringer. Uden dette ville rapportens resultater ikke være så fyldestgørende og uddybende som de er blevet. Vi vil derfor gerne takke følgende personer:

Steen Torpe Christoffersen for at tage sig tiden til at gå i dialog med os om hans egne erfaringer fra energiområdet, samt give et indblik i Ørstedes arbejde med rapporten genstandsfelt.

Martin Dam Wied for hans indsigt i det danske energimarked gennem hans tidligere stillinger og nuværende arbejde hos Dansk Energi.

Carsten Vittrup fra Energinet, som gav os forståelse for planlægningen og udviklingen i det overordnet danske energisystem, samt delte sine tanker om den fremtidige udvikling indenfor rapportens genstandsfelt.

Henrik Steen Pedersen, som tog sig tiden til at besvare vores tekniske spørgsmål om Green Hydrogen Systems forskellige typer af anlæg.

Sidst, men ikke mindst vil vi gerne give en stor tak til Tyge Kjær som gennem grundig vejledning har været med til at udvide vores forståelse af feltet og dets problematikker.

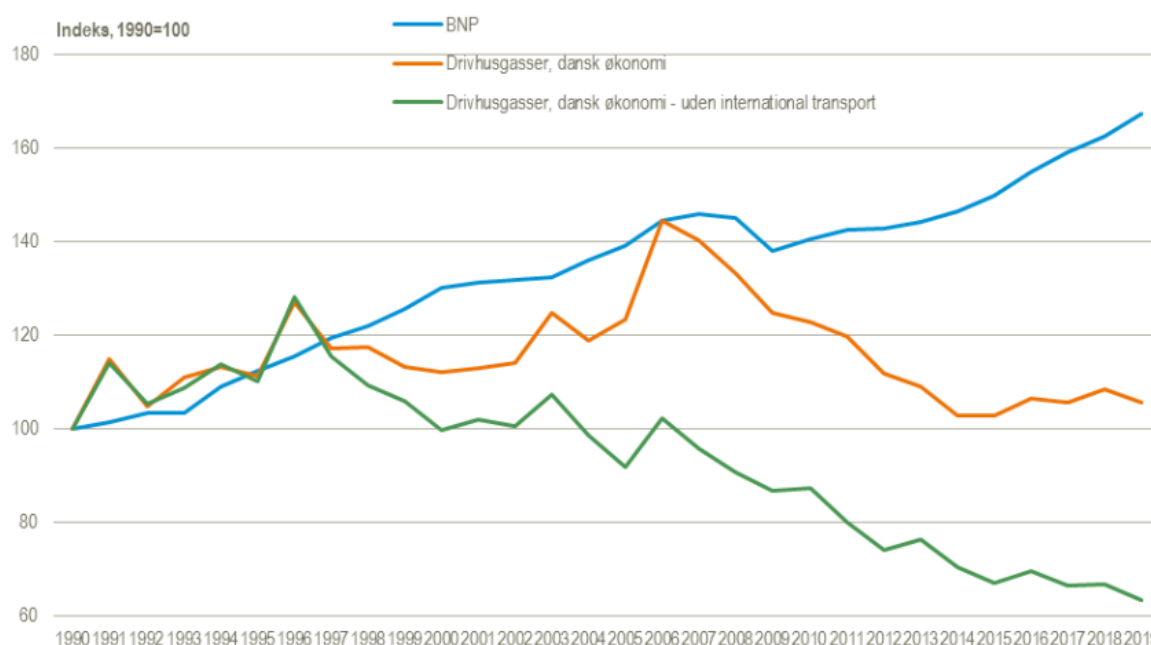
Indholdsfortegnelse

Abstract	1
Forord	1
Indholdsfortegnelse	2
1. Indledning	4
1.1 Problemfelt	5
1.2 Problemformulering	8
1.3 Problemstillinger	8
1.4 Begrebsafklaring	9
1.5 Afgrænsning	10
1.6 Projektdesign	11
2. Metode	13
2.1. Fremgangsmåde	13
2.2. Valg af teori	14
2.2.1 Valg af Multilevel Governance	14
2.2.2 Valg af Socioteknisk systemteori	14
2.3. Valg af metode	14
2.3.1 Valg af Massebalance	14
2.4. Valg af empiri	15
2.4.1. Primær og sekundær empiri	15
2.4.2. Interviewmetode	16
2.4.3. Interviewpersoner	16
2.4.4. Kildekritik	17
3. Teori	18
3.1 Multilevel Governance	18
3.2 Socioteknisk systemteori	20
4. Vidensgrundlag	25
4.1 Det politiske regime	25
4.1.1 Danske målsætninger	25
4.1.2 Lovgivning omkring PtX	27
4.1.3 Energisystemet	28
4.1.4 Politiske værktøjer i relation til energisystemet	31
4.2 Industrielle regime	33
4.2.1 Relevante aktører	33
4.3 Det teknologiske regime	37
4.3.1 Power-to-X	37
	2

4.3.2 H2RES	39
4.3.3 Energiøen	40
4.3.4 Økonomisk perspektiv	41
4.4 Delkonklusion 1	43
5. Massebalance H2RES og Energiøen	44
5.1 Massebalancen præsenteret	44
5.1.1 H2RES massebalance	44
Anlægsomkostninger	46
Driftskapaciteten	47
Energieffektiviteten	48
Elpriser	49
Fjernvarme	50
Afskrivningsperiode og Forrentning	50
5.1.2 Energiøen massebalance	51
Anlægsomkostninger	53
Driftskapaciteten	54
Energieffektiviteten	55
Elpriser	56
Afskrivningsperiode og forrentning	57
Energiøen med fjernvarme	57
5.1.3 Sammenligning af de to anlæg og miljømæssige forhold	58
5.2 Delkonklusion 2	60
6. Aktørernes indflydelse på Power-to-X	61
6.1 Multilevel Governance struktur	61
6.2 Socioteknisk systemteori	66
6.3 Analytisk opsummering	69
7. Power-to-X i et helhedsperspektiv	70
7.1 Udviklingsrammer	70
7.2 Konkurrencedygtighed	71
7.3 Overskudsvarme	73
7.4 Udbud og efterspørgsel	74
7.5 Delkonklusion 3	75
8. Konklusion	76
Litteraturliste	78

1. Indledning

Siden FN i 1987 udgav rapporten "Vores fælles fremtid", også kendt som Brundtlandrapporten, har bæredygtig udvikling været på dagsordenen i mange politiske beslutninger og planer for fremtiden (WECD, 1987). Målsætningerne og kravene for at opnå klimaforpligtelser er steget i takt med verdens lande har udviklet sig og teknologier er modnet. I dansk kontekst ses i dag en klimapolitik der er funderet i 2030 og 2050-målsætningerne. Til disse årstal ønskes det i 2030 at opnå en 70% reduktion af drivhusgasser ift. 1990, samt i 2050 er målet, at der i dansk kontekst ikke udledes flere drivhusgasser end der optages (Energistyrelsen, u.å. A). Ud fra nedenstående graf kan reduktionen af drivhusgasser i Danmark fra 1990 til 2020 ses:

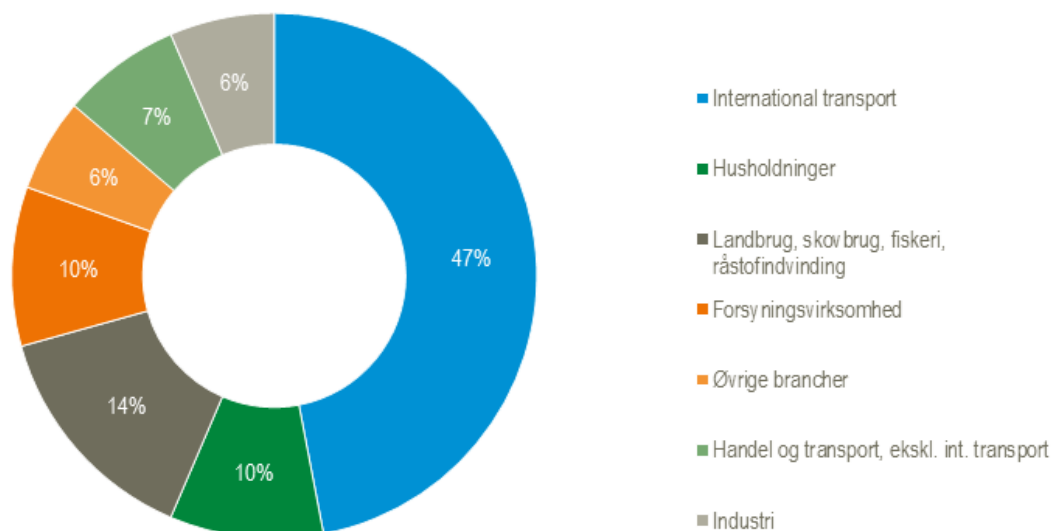


Figur 1: Graf over udviklingen af dansk BNP og udledning af drivhusgasser med og uden international transport (Ritzau & Danmarks Statistik, 2020).

På baggrund af dette ses et fald i drivhusgasudledningen, hvis international transport ikke inkluderes. Klimarådet vurderer, at i 2020 var den danske reduktion siden 1990 på 38% (Klimarådet, 2020).

International transport inkluderes ikke i beregningerne, når Danmarks drivhusgasudledninger opgøres ift. EU's målsætninger. Som det ses af figur 1 er Danmarks udledninger af drivhusgasser i 2019 inkluderet international transport ikke reduceret ift. 1990. Såfremt disse aktiviteter på sigt medregnes, vil Danmarks reduktion af drivhusgasudledninger på nuværende tidspunkt ikke længere kunne opfylde de danske eller europæiske målsætninger.

International transport udgør en stor andel af de danske udledninger fra økonomiske aktiviteter, som det ses af figur 2 er det 47% i 2019.



Figur 2: Drivhusgasudledning fra danske økonomiske aktiviteter i 2019 (Ritzau & Danmarks Statistik, 2020).

De 47% udgør en væsentlig andel, som på længere sigt skal omstilles til mere bæredygtige drivmidler. Uanset om international transport medregnes i målsætninger, nationalt og internationalt, er det stadig en aktivitet og udledning der finder sted og belaster klimaet. Disse aktiviteter er blandt andre mere problematiske at omstille end produktionen samt forsyningen af strøm og varme, hvor teknologierne og løsningsmulighederne har været blandt de mere lavthængende frugter.

1.1 Problemfelt

De præsenterede tal i indledningen viser tydeligt, at reduktionen af drivhusgasudledningen i Danmark er i proces, men de sidste ti år frem mod 2030 kræver en fokuseret og effektiv indsats for at nå fra 38% til 70%. Som professor i klimaforandringer, Sebastian Mernild, udtalte i 2019 om 2030-målsætningen:

“Det er meget ambitiøst. Man kan sige, at det er ikke kun er de lavthængende frugter, man skal til at plukke. Man skal finde ud af, hvordan man tager ordentligt fat i samfundet på de steder, hvor man ikke har taget fat endnu.” (Information, 2019).

Hvis ikke kun de lavthængende frugter kan bruges til at opnå målet skal ny innovation til. Energinet anser allerede de lavthængende frugter for at være plukket på energiområdet (Energinet, 2020). Til dette skriver Energinet:

“De sidste 30 år har vi i Danmark været dygtige til at omstille energiproduktionen til vedvarende energi på markedsvilkår. Skal vi nå 70 pct. CO₂-reduktion i 2030, betyder det, at der foruden fortsat udbygning af VE også skal langt flere elbiler på vejene, og opvarmning af bygninger og industri skal løbende elektrificeres. I selv de mest optimistiske scenarier kan elektrificering dog ikke dække mere end 60-70 pct. af Danmarks energiforbrug.” (Energinet, 2020, s. 4).

For omkostningseffektivt at reducere drivhusgasudledningen med de resterende 30% til 40% af det danske energiforbrug, ser Energinet potentiale i omdannelsen af el til en anden energibærer vha. f.eks. elektrolyse. Denne teknologi har det overordnede navn Power-to-X, forkortet PtX. Med denne teknologi vil el gennem elektrolyse blive omdannet til brint, som har mange forskellige

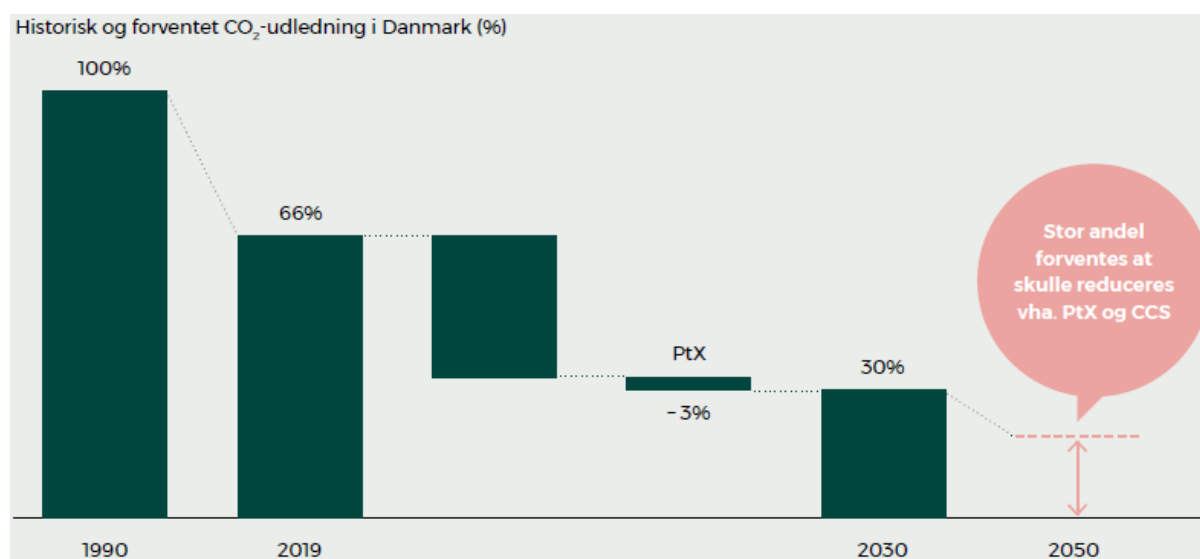
anvendelses- og omdannelsesmuligheder. For at PtX kan benyttes som en miljømæssig bæredygtig teknologi, der kan erstatte forskellige fossile brændsler, er det nødvendigt, at energien der omdannes til brint, kommer fra VE-kilder som vindmøller og solceller. Derfor er det afgørende, at der planlægges en klar sammenhæng mellem VE-produktion og PtX-anlæg (Brintbranchen, 2020).

Brint kan bruges direkte som brændsel og energibærer i tung landtransport og industri, men kan også anvendes til varme ved iblanding i det danske naturgasnet (Dansk Gasteknisk Center, u.å. A). Brinten kan også gennemgå en syntese uden kulstof, hvorved der skabes ammoniak, der har flere anvendelsesmuligheder. PtX kan også udvides ved at tilsætte kulstof til brinten, hvorved der kan produceres forskellige kulbrinter. Disse kulbrinter kan, afhængig af inputtet af kulstof, udgøre mange anvendelsesmuligheder (Dansk Energi & Energinet, 2020).

En af disse muligheder er e-brændsler, som kan bruges i sektorer, der ikke umiddelbart kan elektrificeres, f.eks. tung transport og industrien (Energinet, 2020). Heri er også en mulighed for at producere e-brændsler til at omstille international skibstransport. Den danske skibstransport virksomhed Mærsk, med internationale aktiviteter, har udvist interesse i PtX med henblik på at aftage bæredygtige e-brændsler. På baggrund af stigende interesse og forventninger fra Mærsk kundebase og medarbejdere til en omstilling af skibstransporten, vil Mærsk nu bygge et CO₂-neutralt skib, der skal drives af grøn metanol. Udfordringen for Mærsk er at finde producenter nok til at levere grøn metanol i de nødvendige mængder, således produktionen kan skaleres og omkostningerne mindskes (Børsen, 2021).

Dette vidner om en stor interesse fra erhvervet og en kommende efterspørgsel på bæredygtige muligheder til at omstille ikke elektrificerbare sektorer.

PtX er interessant da det forventes, at teknologien er nødvendig for at opnå den ønskede CO₂-reduktion i 2030, dette illustreres på figur 3 nedenfor:



Figur 3: Model over den historiske og forventet CO₂-udledning (Dansk Energi, 2020 A, s. 13).

Det ses, at PtX forventes at være nødvendigt for at nå de sidste 3% i 2030-målsætningen og for 2050-målsætningen skal PtX udgøre en større del af reduktionen (Ibid.).

Det er ikke kun Energinet som ser potentiale i denne teknologi, men en række aktører i energisektoren som undersøger og arbejder med udviklingen og implementeringen af PtX. Interesseorganisationen Dansk Energi skriver om PtX: "Power-to-X er afgørende for at nå både de danske og europæiske klimamål." (Dansk Energi, 2021). Energiselskabet Ørsted arbejder med

konkrete demonstrationsprojekter med teknologien, såsom anlægget H2RES (Ørsted, 2019), og Regeringen har frem mod 2030 øremærket ca. 1 milliard kroner til PtX (Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, 2020).

PtX forventes at agere en central rolle i den danske energisektor, med formålet at mindske den danske drivhusgasudledning, og teknologien omtales og arbejdes ligeledes med i de europæiske lande og EU (European Commission, 2018).

Med disse bemærkninger som grundlag, ses det relevant at undersøge hvordan teknologien vil og kan blive implementeret i den danske energisektor, samt hvilken rolle denne vil have.

I forbindelse med etableringen af nye teknologier kan en række udfordringer opstå.

Teknologien er i nuværende stund ikke konkurrencedygtig og økonomien i at etablere storskalaproduktion er derfor ikke rentabel (Dansk Energi, 2020 A). Denne problematik er en af flere problemstillinger som rapporten har til formål at undersøge.

En anden problematik er, at PtX skal anvende større mængder af el til eksempelvis at producere brint til tung transport. For at PtX skal bidrage til reduktionen af drivhusgasudledning, skal energien komme fra vedvarende energikilder og det skal derfor sikres, at der produceres tilstrækkeligt VE (Ingeniøren, 2021). I samme problematik kommer den VE, domineret af vind, som er fluktuerende. Vil denne fluktuation udfordre PtX-anlæg med perioder uden drift, eller vil anlæggene kunne afhjælpe fluktuationen?

Ydermere kræver udbredelsen af PtX, at der kan findes aftagere for slutproduktet. Hvis der etableres PtX, der producerer brint i storskala, så kræver det aftagere som kan anvende dette. Hvad der skal udvikles og implementeres først, er en vigtig balance, det såkaldte PtX-paradoks, og denne problemstilling vil også blive undersøgt i denne rapport.

PtX kommer til at have en rolle i energisektoren og det er derfor relevant at undersøge og kortlægge hvordan denne teknologi bliver anvendt på mest optimal vis for at imødekomme de politiske målsætninger. Rapporten har ydermere til formål at undersøge teknologien ift. dens potentialer, relevante aktører samt anvendelsesmuligheder internationalt og nationalt.

Teknologiens økonomiske bæredygtighed på lang sigt skal sikres i implementeringen i det danske energisystem. Dette kræver at alle led i værdikæderne på tværs af sektorer medtages i planlægningen.

En række PtX-projekter er allerede påbegyndt i dansk kontekst med støtte fra EU. Herunder ses blandt andet Ørsteds anlæg ved Avedøre, kaldet H2RES. H2RES vil blive undersøgt for at kortlægge potentialet for PtX, samt vurdere hvorvidt projektet kan fungere i det nuværende system. Herunder vil massebalancen for dette projekt undersøges.

Der er flere forskellige typer af projekter der udvikles og bag disse står aktører med stor interesse i udbredelsen af PtX i Danmark. PtX kan anvendes i flere forskellige opsætninger afhængig af koblingen til det omkringliggende energisystem, et eksempel på en anden opsætning er Energiøen.

Energiøen er et kommende anlægsprojekt i Østersøen, hvor en kunstig ø etableres med formålet at håndtere 3 GW vindmølleenergi. Endvidere forventes det, at der bliver etableret et PtX-anlæg på øen (Energistyrelsen, 2021 A).

Denne rapport arbejder med implementeringen af PtX i den danske energisektor og grundlaget for arbejdet med implementeringen af denne, er funderet i en observeret interesse og engagement fra aktører i den danske energisektor. Rapporten arbejder med implementeringen af PtX med henblik på at opstille en række handlingsforslag til relevante aktører og politiske beslutningstagere. I forbindelse med dette vil rapporten gennemgå muligheder samt barrierer for PtX, hvilket leder videre til problemformuleringen og problemstillinger nedenfor.

1.2 Problemformulering

Hvorledes kan PtX implementeres i Danmark med henblik på at opnå de danske reduktionsmålsætninger for 2030 og 2050, og sikre miljømæssig- og økonomisk rentabilitet af teknologien på lang sigt?

1.3 Problemstillinger

1. Hvilke politiske, teknologiske og industrielle forhold er der for PtX på nuværende tidspunkt?
2. Hvad skal der til for at PtX-teknologien, anskuet i et massebalanceperspektiv, bliver miljømæssig- og økonomisk rentabel?
3. Hvordan kan relationerne mellem relevante aktører styrkes med henblik på at fremme implementeringen af PtX?

1.4 Begrebsafklaring

E-brændsler

E-brændsler er de produkter, der forædles videre fra brint til anden brændsel.

Energibalance

Ordet energibalance henviser til balancen mellem hvor meget energi der kommer ind i et system i forhold til hvor meget der kommer ud.

Jo mindre tabet er fra start i processen til slut, jo bedre/højere er energibalancen.

Energieffektivitet

Energieffektivitet er forholdet mellem nyttiggjort energi og totalt energiforbrug. Det handler altså om brugen af den fremstillede strøm. Jo mere energi en teknologi/et system udnytter jo bedre/højere er energieffektiviteten.

Energisektor

Ved energisektor forstås de aktører som agerer indenfor energiområdet. Herunder ses interesseorganisationer, producenter, transmissionsselskaber mf. Disse aktører planlægger og udfører arbejdet indenfor energisystemet.

Energisystem

Ved energisystem forstås det tekniske system hvori energi transporteres og distribueres fra producent til forbruger. Dette indebærer teknologierne som producerer energien, ledningerne og rørene som energi transporteres i til forbrugerne.

Grøn brint

Ved grøn brint forstås brint der udelukkende produceres på VE.

Grå brint

Grå brint er brint der produceres vha. fossile brændsler, primært naturgas.

Kritisk infrastruktur

Rapportens brug af begrebet kan sammenholdes med Atlantsammenslutningens forslag til en fælles definition som følgende citeret "*Kritisk infrastruktur beskriver de fysiske og virtuelle systemer og kapaciteter, der er så centrale for Danmark, at kritisk infrastrukturens manglende evne eller ødelæggelse vil have en ødelæggende virkning på Danmarks folkesundhed og/eller sikkerhed - det være sig fysisk som økonomisk.*"

(Atlantsammenslutningen, 2020).

Power-to-X

Power-to-X er processen hvorved el bliver omdannet til brint og e-brændsler. For nærmere teknisk forklaring, jvf. afsnit 4.3.1.

VE

VE er en forkortelse for vedvarende energi.

Økonomisk rentabilitet

Økonomisk rentabilitet ses i denne rapport værende når virksomhedens evne til at forrente den investerede kapital og anlægsøkonomien dermed er positiv.

1.5 Afgrænsning

PtX er et stort og omfattende emne, derfor har denne rapport en række afgrænsninger. Disse afgrænsninger skal ikke ses som emner, der ikke kan have relevans for PtX i Danmark, kun som nødvendige fravalg sådan at rapportens fokus er klart og tydeligt.

Arbejdsfelt

Der afgrænses i denne rapport fra specifikke omkringliggende systemer uden for Danmark i relation til de teknologiske forhold samt selve elnettet. Rapporten inddrager alligevel EU som aktør, da de har udarbejdet en række tiltag, der skal fremme udbredelsen af PtX i deres medlemslande, heriblandt Danmark.

Forædling af brint

PtX kan bruges til at fremstille brint og en række forskellige e-brændsler. Der afgrænses i rapporten fra at medregne anvendelsen af e-brændsler i massebalancen, det anerkendes dog, at e-brændsler er et vigtigt output fra PtX med henblik på 2050-målsætningen.

Klimapåvirkning ved anlægsopførelse

Der afgrænses fra drivhusgasudledningen ved opstillingen af anlæggene. Drivhusgasudledningen ved produktionen og opstillingen af anlæggene vil påvirke den samlede danske udledning og denne rapport har fokus på anlæggets produktionsfase.

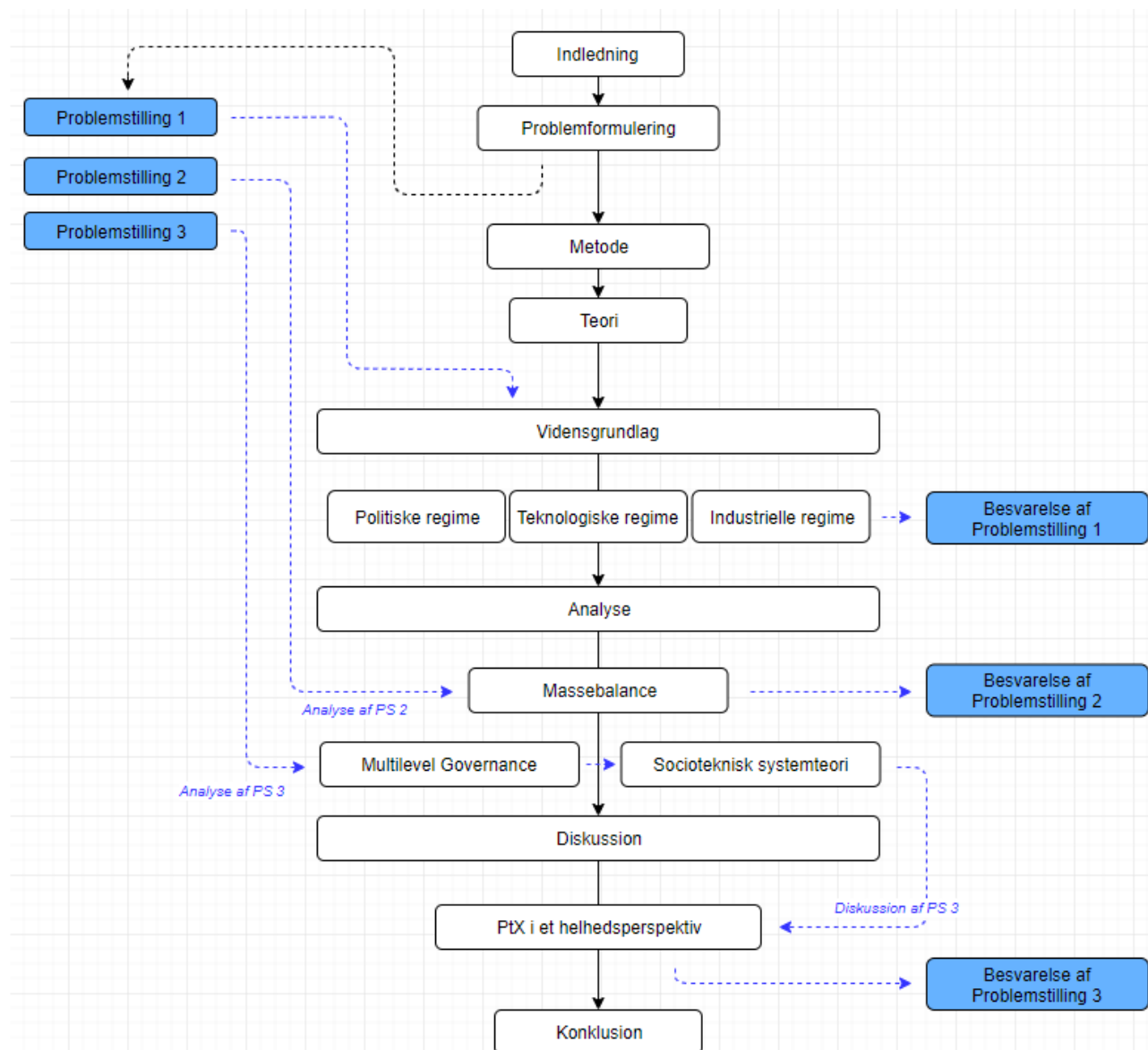
Elektrolyseteknologier

Der afgrænses fra at se på andre elektrolyseteknologier end alkaline, da denne er den mest modne og afprøvede teknologi. Kommende anlæg i Danmark er hovedsageligt alkaline anlæg, derfor afgrænses der fra andre teknologier.

Aftagere af den producerede grønne brint

Der afgrænses i rapporten fra at undersøge konkrete aftagere til den producerede grønne brint. Rapportens undersøgelser tager stilling til behovet for aftagere af slutproduktet, men den primære empiri inddrager ikke konkrete aftagere. Denne afgrænsning er foretaget for at styrke fokus og dybden af undersøgelserne, primært i massebalanceperspektivet.

1.6 Projektdesign



Figur 4: Projektdesign (Egen udarbejdelse).

For at kunne besvare problemformuleringen er rapporten struktureret i en række kapitler hvorigennem den nødvendige viden til at fremlægge forslagene kan findes. Strukturen starter med problemfeltet i indledningen, som uddyber rapportens arbejdsfelt og dets udfordringer og muligheder.

Efterfølgende vil der i kapitel 2 kunne findes en præsentation af projektets metoder. Dette kan læses for at give indblik valget af rapportens teorier - Multilevel Governance, herefter forkortet MLG, og Socioteknisk systemteori. Metodekapitlet redegør også for brugen af massebalance som metode, samt rapportens tilgang til primær og sekundær empiri. Metodekapitlet danner grundlaget for de videre undersøgelser.

Det efterfølgende kapitel 3 redegøre for det teoretiske udgangspunkt med en gennemgang af MLG og Socioteknisk systemteori.

I det efterfølgende kapitel 4 har rapporten redegørende afsnit indenfor det politiske, teknologiske og industrielle regime i den danske energisektor. Disse redegørende afsnit indeholder rapportens vidensgrundlag og er funderet i viden fra artikler, udgivelser og interviews med relevante aktører fra sektoren.

I kapitel 5 og 6 kan rapportens analyse findes. Disse to kapitler er hhv. baseret på metoden Massebalance samt teorierne MLG og Socioteknisk systemteori. Ved at brug af disse metoder og teorier kan viden fra tidligere kapitler belyse mulighederne for implementering af PtX. Massebalance bruges til at undersøge hvad der skal til for, at PtX-teknologien bliver økonomisk og miljømæssig rentabel. MLG og Socioteknisk systemteori bruges til at undersøge relationer mellem de relevante aktører og hvordan disse kan fremme udbredelsen af PtX.

Rapportens tidligere resultater og delkonklusioner diskuteres i kapitel 7. Disse diskuteres med henblik på at se det større perspektiv og udtrage hvad projektets arbejde kan konkludere i. Dette ender ud i rapportens kapitel 8, konklusionen, hvor resultatet af rapporten kan læses.

2. Metode

I dette kapitel redegøres for projektets metodiske fremgang. Heriblandt redegøres også for valget af teorier der danner grundlag for rapportens teoretiske udgangspunkt. Derudover præsenterer og redegør kapitlet for massebalanceprincippet, som anvendes metodisk i rapportens delanalyse. Det empiriske grundlag, primært såvel som sekundært, kortlægges og de interviewede aktører præsenteres.

2.1. Fremgangsmåde

Dette afsnit har til formål at kortlægge projektets fremgangsmåde for undersøgelserne. Fremgangsmåden indebærer processen hvorved projektets problemformulering er undersøgt og bearbejdet. Der redegøres for fremgangsmåden med henblik på at danne en forståelse for rapportens grundlag og de grundlæggende idéer, der har skabt fundament for undersøgelserne og udarbejdelsen.

Gennem studie af de nyeste politiske aftaler på klima- og energiområdet, samt rapporter og udgivelser fra større aktører i energisektoren, kan det udledes, at PtX vil blive etableret i den danske energisektor. Projektet tager udgangspunkt i dette og undersøger dermed potentialet samt hvordan dette gøres på optimal vis. For at kunne opnå dette skal en dybere forståelse af energisektoren være til stede. Projektets videnskabelige tilgang kan beskrives som deduktiv i kraft af processen, der har indskrænket et problemfelt baseret på eksisterende teori om, at PtX som teknologi kan medvirke til at opfylde de danske klimamålsætninger for 2030 og 2050 (Thurén, 2013). På baggrund af denne teori har projektet haft flere foreløbige antagelser om PtX som fænomen. Først og fremmest har projektet undersøgt genstandsfeltet med en foreløbig antagelse om, at der er mulighed for at optimere implementeringen af PtX ved at styrke relationerne mellem aktørerne og fremme markedet for PtX. Dernæst har projektet haft en hypotese om, at PtX fra et teknologisk perspektiv vil være mest optimal ved landbaseret anlæg fremfor anlæg på havet, hvorved overskudsvarmen kan udnyttes og derigennem opnå en højere energieffektivitet samlet set. I projektprocessen er der indsamlet empiri med henblik på at teste begge antagelser med henblik på at be- eller afkræfte de ovenstående antagelser.

2.2. Valg af teori

De følgende to afsnit redegør for projektets valg af de to teorier, der danner det teoretiske grundlag hhv.: Multilevel Governance og Socioteknisk systemteori. Der redegøres for teoriernes primære fokus og hvorfor de er relevante for undersøgelsen af PtX som projektets genstandsfelt.

2.2.1 Valg af Multilevel Governance

Der bliver redegjort for MLG som teori, fordi rapportens problemfelt breder sig på tværs af sektorer, geografi, teknologier og ikke mindst governance-niveauer. Det danske energisystem er i sig selv komplekst og rapportens undersøgelser af PtX vil uundgåeligt tage højde for dette. Energisystemet i Danmark er delvist politisk styret og delvist styret af erhvervet og derudover påvirkes udviklingen også af aftagere, som både består af private og offentlige aktører der skaber efterspørgsel. I kraft af Danmarks medlemskab af EU er der endnu et rammesættende governance-niveau at tage højde for når problemfeltet undersøges nærmere. Derfor vil rapporten redegøre for MLG med henblik på senere at benytte denne viden som teoretisk analyseramme.

2.2.2 Valg af Socioteknisk systemteori

Socioteknisk systemteori bliver anvendt og redegjort for, fordi PtX som teknologi kan anses som værende en niche i energisektoren. På baggrund af teknologiens status som niche skal en række forhold og interne relationer mellem aktører undersøges, for at skabe det bedste grundlag for implementeringen af teknologien. Socioteknisk systemteori giver mulighed for at undersøge det nuværende regime i energisektoren, f.eks. hvilke regler og relationer, der gør sig gældende. Gennem forståelsen af disse vil det være muligt at analysere hvilke handlinger, der er nødvendige for at skabe gunstige forhold for PtX, således denne kan gå fra at være en niche til at blive en etableret del af energisektorens regime.

2.3. Valg af metode

Dette afsnit redegør for projektets valg af massebalance som metode. Der redegøres for metodens primære fokus og relevans for undersøgelsen af PtX.

2.3.1 Valg af Massebalance

Massebalance skal i dette projekt ses som en materiale flow analyse, herefter refereret til som MFA (Brunner & Rechberger, 2017). Via en MFA kan man følge input og output i en bestemt teknologi, f.eks. et elektrolyseanlæg. Som følge af termodynamikkens første hovedsætning, loven om at energi ikke kan forsvinde eller opstå, men kun ændre form, kan resultatet af en MFA over energiflowet vise hvor der er potentiale for at optimere udnyttelsen af energien (Ibid.).

Wassily W. Leontief udviklede i 1930 den såkaldte input-outputmodel. Det centrale i hans metode er input-output tabeller, som tillader systematisk kvantificering af gensidige indbyrdes forhold mellem forskellige sektorer i et komplekst økonomisk system.

Metoden, forbinder varer, produktionsprocesser, leverancer og efterspørgsel på en statisk såvel som dynamisk måde. Produktionssystemet ses som et netværk af varestrømme mellem de forskellige produktionssektorer (Leontief, 1966). I dette projekt vil det altså være netværket mellem dem som producerer elektriciteten, der benyttes i elektrolyseanlæg. Leontief's input-output metode anvendes udbredt som et økonomisk politisk værktøj (Brunner & Rechberger, 2017). Metoden viste sig som et godt værktøj til at lave prognoser og planlægning i markedsøkonomi og blev senere udvidet til at tage højde for affald og emissioner, da klima for alvor kom på dagsordenen rundt om i verden (Ibid.).

Det er den nye, udvidede version af modellen, der er særlig interessant for dette projekt (Ibid.). Massebalance kan bruges som metode, da en kortlægning af ressourcestrømme i et system eller i en teknologi, kan vise hvor disse kan forbedres.

Metoden anvendes i kapitel 5, hvor massebalancen analyseres for to udvalgte projekter; H2RES og Energjøen. Der opstilles en række metodiske antagelser i kapitlet som danner grundlag for beregningerne. De to projekter har forskellige størrelsesordener og repræsenterer to forskellige anlægsmuligheder i det danske energisystem. Deres forskelligheder bidrager til rapportens kortlægning af PtX potentiale og mulighed for implementering i det danske energisystem.

2.4. Valg af empiri

Dette afsnit redegør for den valgte empiri i rapportens undersøgelser. Der redegøres for hhv. valget af primær og sekundær empiri, men også for den anvendte interviewmetode, samt de valgte interviewpersoner.

2.4.1. Primær og sekundær empiri

I dette projekt bruges både primær og sekundær empiri for at belyse og besvare problemformuleringen. Sekundær empiri består af eksterne kilder, hvilket kan indeholde biases, der kan give et subjektivt syn på en given sag. Dette vil blive uddybet i afsnit 2.4.4, her vil det også blive gennemgået hvordan der tages højde for denne bias.

Den sekundære empiri i denne rapport udgøres mest af rapporter fra virksomheder, organisationer eller andre med godt kendskab til genstandsfeltet.

Der er flere udgivelser som udgør en stor del af den grundviden der fremlægges i denne rapport, disse udgivelser giver et indblik i feltet set fra forskellige synspunkter.

Den primære empiri består af beregningerne i massebalance analysen samt interviews med flere relevante aktører inden for feltet. Disse aktører er udvalgt på baggrund af deres viden og ekspertise inden for specifikke områder, der findes relevante for projektet. Interviewpersonerne bliver præsenteret i afsnit 2.4.3.

2.4.2. Interviewmetode

Den valgte interviewmetode til empiriindsamling i dette projekt er semistruktureret. Et semistruktureret interview er kendetegnet ved brugen af en interviewguide, hvor spørgsmålene der stilles, kan være af en åben karakter, som indbyder til et samtaleinterview, eller mere lukkede for at få korte præcise svar (Kvale & Brinkmann, 2009). De anvendte interviewguides kan ses i bilag 1.1, 2.1 og 3.1. Det er også vigtigt at stille målrettede spørgsmål rettet mod den der interviewes, man skal altså holde for øje hvem der interviewes. I dette projekt anses alle interviews som ekspertinterview, da alle interviewede er eksperter på hver deres område (Ibid.). Hver informant anses som ekspert og ikke aktør da informanterne udtaler sig på vegne af dem selv, dog med eksempler på udtalelser på vegne af virksomhed. Det formodes, at informanterne er påvirket af deres arbejdsplads.

Ud over de semistrukturerede interviews er der foretaget et kort telefonisk interview med henblik på at indhente specifikke tekniske informationer fra Green Hydrogen Systems om H2RES. Dette interview er uden interviewguide, da formålet med interviewet var indsamling af konkret viden og ikke en dybere dialog omkring virksomheden.

2.4.3. Interviewpersoner

Dette afsnit har til formål at give læseren indblik i hvilke personer, der er blevet interviewet i forbindelse med rapporten. Ydermere redegør afsnittet for interviewpersonernes kompetencer og erfaringer inden for genstandsfeltet, for at give læseren et overblik over hvorfor disse personer er udvalgt.

Steen Torpe Christoffersen, Projektleder, Ørsted A/S

Ørsted A/S er et af de største energiselskaber og energikoncerner i Danmark, som fremskaffer, producerer, distribuerer, handler og sælger energi og tilknyttede produkter i Nordeuropa. Selskabet beskæftiger sig derfor blandt andet med vindenergi, hvor de særligt opfører og driver havvindmølleparker. Derudover udvikler, opfører og driver de landvindmøller samt bioenergi-, solcelle- og energilagringsanlæg flere steder i verden (Ørsted, u.å. A). Ørsted er udvalgt som informant til denne rapport, fordi selskabet er en indflydelsesrig aktør i det danske energimarked. Ørsted har ydermere været aktiv i PtX-debatten, er indflydelsesrig på den energipolitiske dagsorden og har en økonomisk position med mulighed for at investere i PtX. Selskabets rolle i er derfor primært på supply-side i energisystemet.

Selskabet er med projektet H2RES en del af den udvikling, rapporten undersøger. Med deres mange års erfaring i branchen bidrager interviewet til rapportens forståelse for energimarkedets rolle i udviklingen og udbredelsen af PtX i Danmark.

Interviewpersonen fra Ørsted er Steen Torpe Christoffersen, som er projektudvikler med fokus på brint. S. Christoffersen har, udover sin erfaring i Ørsted, adskillige års arbejde med energi i andre lignende virksomheder.

Carsten Vittrup, Energi Strategisk konsulent, Energinet

Energinet er en offentligt ejet selvstændig virksomhed under Klima- Energi- og Forsyningsministeriet og ejer el- og gasnettet, samt er ansvarlig for at vedligeholde og udvikle dette. I kraft af Energinets virksomhedsform skiller denne aktør sig ud fra de to andre udvalgte aktører til interviews. Energinet er derfor en mere markedsneutral aktør, hvis primære gøremål er at opretholde forsyningssikkerheden samtidig med, at der indpasses mere VE i nettet.

Interviewpersonen fra Energinet er Carsten Vittrup, som er ansat med titlen *Energi Strategisk konsulent*. C. Vittrup har været ansat hos Energinet i over 11 år, og har derfor en bred viden om virksomheden og dens arbejde. C. Vittrup sidder i Energinets afdeling *System planning* og arbejder til hverdag med fremtidig planlægning af det danske elsystem.

Martin Dam Wied, Teamleder, Dansk Energi

Dansk Energi er en interesse- og erhvervsorganisation, som repræsenterer danske energiselskaber. Dansk Energi bestræber sig på at understøtte energiselskaberne og øvrige medlemmers udvikling og markedsposition med fokus på mere grøn energi. Dansk Energi beskæftiger sig med de politiske rammevilkår og søger at påvirke den danske politik til fordel for medlemmerne, som leder og finansierer organisationen (Dansk Energi, u.å. A).

Interviewrepræsentanten fra Dansk Energi er Martin Wied, som er ansat som teamleder. M. Wied arbejder med projekter omhandlende nyt forbrug og nye brændsler og har derfor et godt indblik i den igangværende udvikling i energisektoren. M. Wied har i mange år arbejdet i branchen hos forskellige virksomheder.

Henrik Steen Pedersen, Executive VP of Sales, Green Hydrogen Systems

Green Hydrogen Systems, herefter GHS, er en teknologisk virksomhed, der producerer og leverer standardiserede og modulerbare elektrolyseanlæg. De er relevante at interviewe, da de leverer teknologi til bl.a. H2RES-projektet og har kendskab til den nyeste teknologi inden for feltet.

Interviewrepræsentanten fra GHS er Henrik Steen Pedersen, der er blevet udvalgt, da han har stået for H2RES-projektet og har kendskab til de specifikke tekniske informationer, der ønskes at undersøges nærmere i analysen.

2.4.4. Kildekritik

I denne rapport er der samlet empiri ind fra mange forskellige kilder, det betyder også, at kildekritik er afgørende for at udarbejde en repræsentativ rapport uden bias fra kilderne.

Der er især fire elementer der er vigtige at have for øje når en kilde skal vurderes (Københavns Universitet, u.å.);

- Troværdighed
 - Hvor kommer informationen fra, hvem har produceret informationen og hvordan er informationen produceret.
- Objektivitet
 - Kan dem der har produceret informationen have en bias, i form af betaling eller anden incitament for at finde et bestemt resultat.
- Præcision
 - Hvor præcis er den information der er fremstillet, og hvordan kan informationen fortolkes eller misfortolkes.
- Relevans
 - Hvor relevant er den fremstillede information ift. emnet og hvordan påvirker den feltet (Ibid.).

Erhvervet har stor interesse og indflydelse på PtX i Danmark og det er derfor også erhvervet, der har produceret dele af den viden der findes indenfor feltet. Især i disse tilfælde er kildekritik en nødvendighed for at sikre at rapporten, ikke bliver påvirket af de bias som erhvervet kan være tyngt af (Ibid.). Disse elementer er blevet overvejet i forbindelse med vidensindsamling for at opnå gennemsigtighed i rapportens undersøgelser.

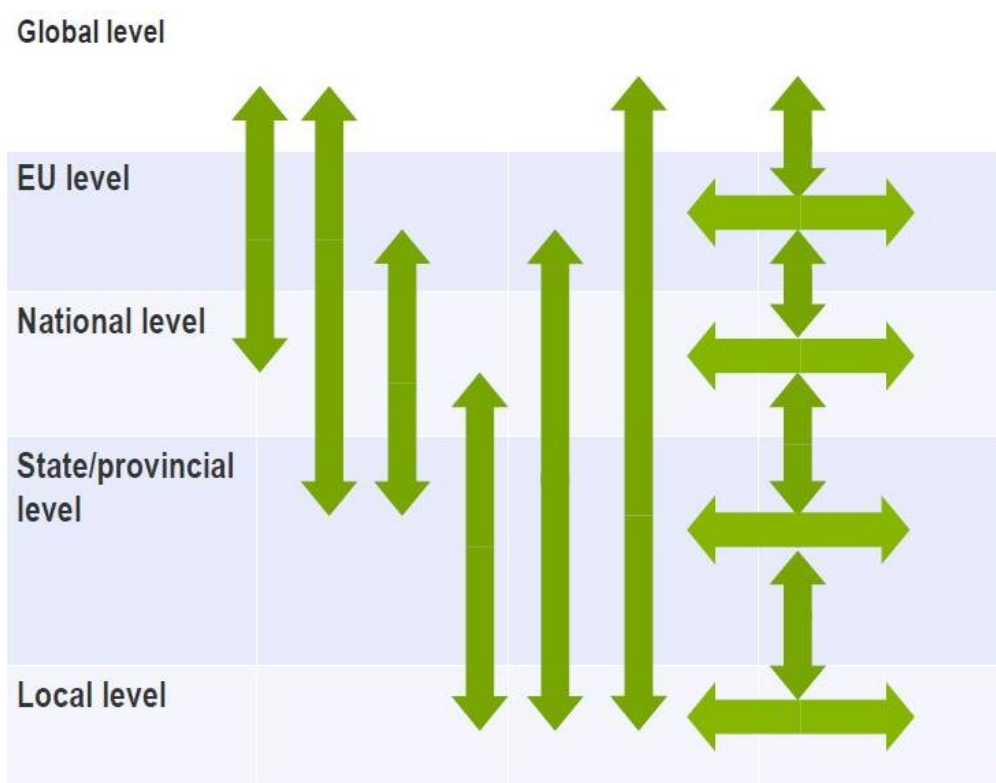
3. Teori

I de følgende to afsnit vil rapportens teoretiske grundlag præsenteres ved at redegøre for hhv. Multilevel Governance og Socioteknisk systemteori. Hvert afsnit redegør for teorien, hvorefter teoriens kobling til rapportens genstandsfelt PtX kortlægges.

3.1 Multilevel Governance

Multilevel Governance er et begreb der dækker over rammesætningen for den eller de magtstrukturer, der har udviklet sig mellem det overstatslige, statslige og lokale niveau. MLG er altså en rammesætning for de magtstrukturer, der er bestemmende for hvordan lovgivning, regulering mm. bliver styret. Dette indebærer både skabelse af ny lovgivning, udmøntning af eksisterende lovgivning og forandringer (Jänicke, 2015). Energisektoren i Danmark påvirkes af magtstrukturer, og en grundlæggende forståelse af MLG er derfor med til at kortlægge nogle af de rammer sektoren er underlagt. Rammesætningen for energisektoren i Danmark har indflydelse på udviklingen af sektoren mod en mere bæredygtig fremtid og er derfor afgørende for rapportens undersøgelser.

MLG beskriver aktørers virke og samarbejde horisontalt og vertikalt på de forskellige governance-niveauer. Aktørerne påvirkes vertikalt af de fastlagte magtstrukturer bestemt af lovgivning, der både kan være dansk lovgivning eller nedsatte EU-direktiver. På det horisontale plan påvirkes aktørerne indbyrdes af hinanden på de respektive governance-niveauer i kraft af samarbejde, der både kan være tvungent eller frivilligt (Jänicke, 2015). Disse forhold illustreres af følgende figur 5.



Figur 5: Multilevel governance-niveauer og de mulige horisontale og vertikale interaktioner (Jänicke, 2015, s. 8).

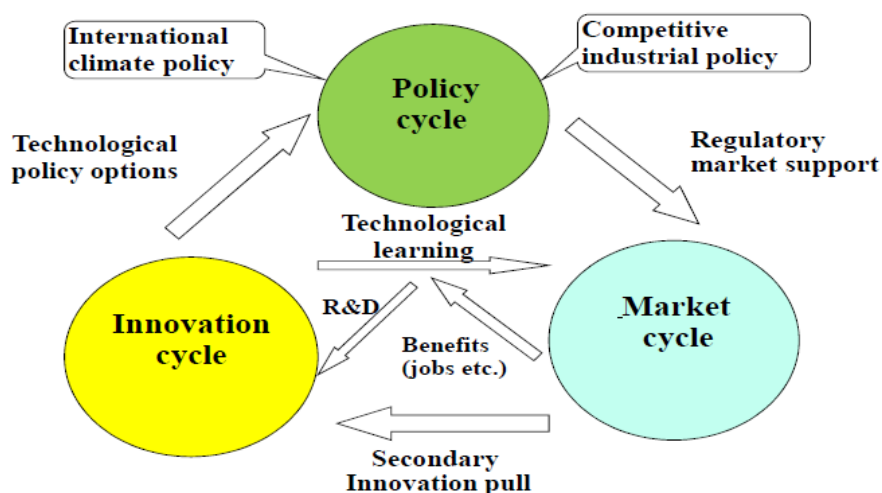
Ifølge International Energy Agency, 2009, kan aktørerne påvirkes af, og samarbejde med, hinanden på tværs af governance-niveauer og på samme niveau. Derudover kan der også identificeres forskellige typer af styring. Et MLG-framework af Bulkeley og Kern, 2006, identificerer fire forskellige typer af styring i et governance system: styring efter myndighed, styring ved bestemmelse, styrende gennem muliggørelse/aktivering og selvstyrende.

- Med udgangspunkt i klimaforandringer har *styring efter myndighed* været set i forbindelse med det nationale governance-niveau, hvor, med Danmarks politiske struktur som eksempel, staten tager styring i de lokale politikker i regioner og kommuner.
- Den næste type af styring har en anden tilgang, men involverer de samme governance-niveauer og aktører. *Styring ved bestemmelse* er, når staten tilbyder tiltag, tilskudspuljer eller anden service med krav om lokale handlinger, der fremmer den ønskede policy.
- Definitionen af *styring gennem muliggørelse og/eller aktivering* er ikke langt fra styring efter bestemmelse. Forskellen er, at tiltag ikke har krav om handling. Denne type af styring definerer når staten stimulerer lokale handlinger ved at skabe de rette betingelser. Et eksempel på dette er når staten tilbyder guidelines til de lokale governance aktører. Frivillige forpligtelser kan også defineres under denne type af styring.
- *Selvstyrende type* af governance ses ved selv motiverede handlinger og sker typisk blandt de lokale governance aktører uden statens indblanding. Denne type af styring opstår blandt andet når de lokale forhold kræver handling, men styring på nationalt governance-niveau er begrænset eller direkte manglende (International Energy Agency, 2009).

Det politiske styre er en grundsten i MLG, og udvikling kræver politisk forstærkning og understøttelse. De politiske mekanismer i MLG understøtter videns- og erfaringsdeling, som er vigtig for udvikling og udbredelse af nye innovationer. Innovationer kan accelereres blandt andet ved at skabe læring på tværs af grupper og landegrænser. Derudover kan udvikling og udbredelse af innovationer også accelereres ved økonomisk understøttelse og/eller konkurrence. At arbejde efter at implementere en innovation under disse omstændigheder sikre dog ikke altid at stabilt og langtidsholdbart system for innovationen (Jänicke, 2015).

Hvordan udbredes en innovation eller forandring i systemet så med stabile langvarige effekter? Især de bæredygtige og klimavenlige teknologier er ofte afhængig af den politiske dagsorden og politiske understøttelse. Grunden hertil er, at disse teknologier og innovationer typisk er dyrere end nuværende løsninger. For at de alligevel kan udbredes kræver det en sammenhæng mellem efterspørgsel og yderligere udvikling af teknologien, hvilket kan være med til at mindske produktionsomkostninger og samtidig øge kvaliteten af produktet. Derfor er et tæt samarbejde i MLG med til at identificere behov for politisk understøttelse af lovende teknologier. Udviklingen af klimavenlige teknologier er som regel mindre markedsdrevet og kræver ambitiøse målsætninger, der skaber et marked (Jänicke, 2015).

Denne udvikling og udbredelse af klimavenlige teknologier illustreres af Jänicke (2015) med følgende figur:



Figur 6: Gensidigt styrkende cyklus af innovation, udvikling og implementering af VE-teknologier (Jänicke, 2015, s. 4).

I afsnit 6.1 udføres en MLG-analyse med fokus på kortlægning af aktører og deres indbyrdes forhold, der påvirker udviklingen og udbredelsen af PtX i Danmark. Denne analyse er en vigtig del af rapportens undersøgelser, fordi det teoretisk set er en barriere at implementere ny politik. MLG er metodisk set et forsøg på at overkomme denne barriere ved at engagere flere aktører på tværs af governance-niveauer samt brancher, både horisontalt og vertikalt (International Energy Agency, 2009).

3.2 Socioteknisk systemteori

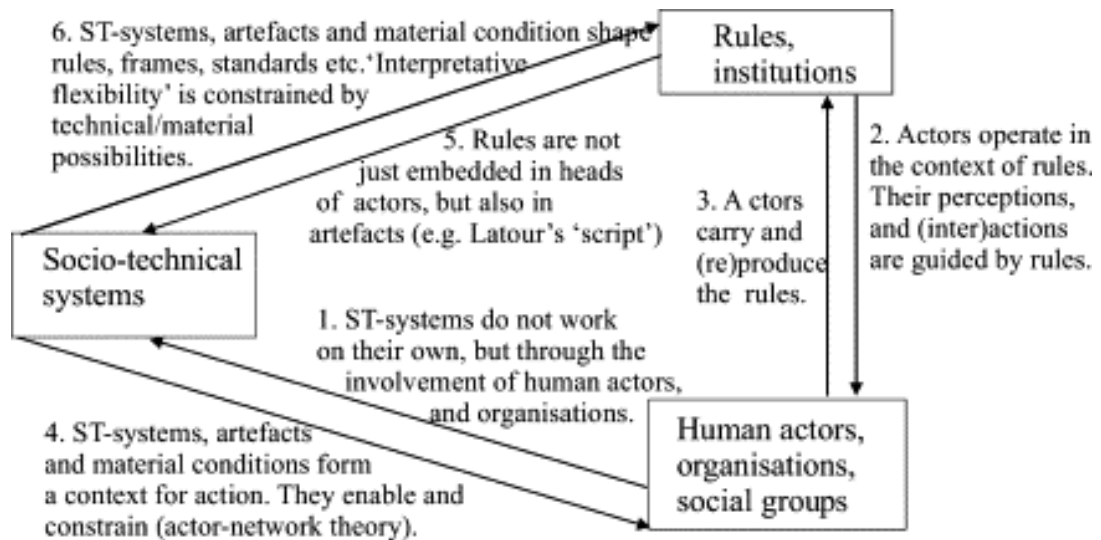
Følgende afsnit har til formål at præsentere Frank W. Geels teori om transitionen af teknologier i deres respektive regimer. Teorien er uddybet og forklaret i en række videnskabelige artikler udgivet af Frank W. Geels, og samlet omtales den på dansk som socioteknisk systemteori. Dette afsnit har derudover til formål at kortlægge teoriens anvendelsesmuligheder, samt hvilke resultater anvendelsen kan give.

Socioteknisk systemteori har til formål at undersøge systemer i et bredt perspektiv og F. W. Geels definerer selv disse således: *"I define ST-systems in a somewhat abstract, functional sense as the linkages between elements necessary to fulfil societal functions (e.g. transport, communication, nutrition)."* (Geels, 2004, s. 899).

Dette citat kan give en simpel forståelse af hvad teoriens formål er, samt hvad størrelsesorden af det pågældende system som regel er. Systemet der undersøges i denne rapport, er energisystemet.

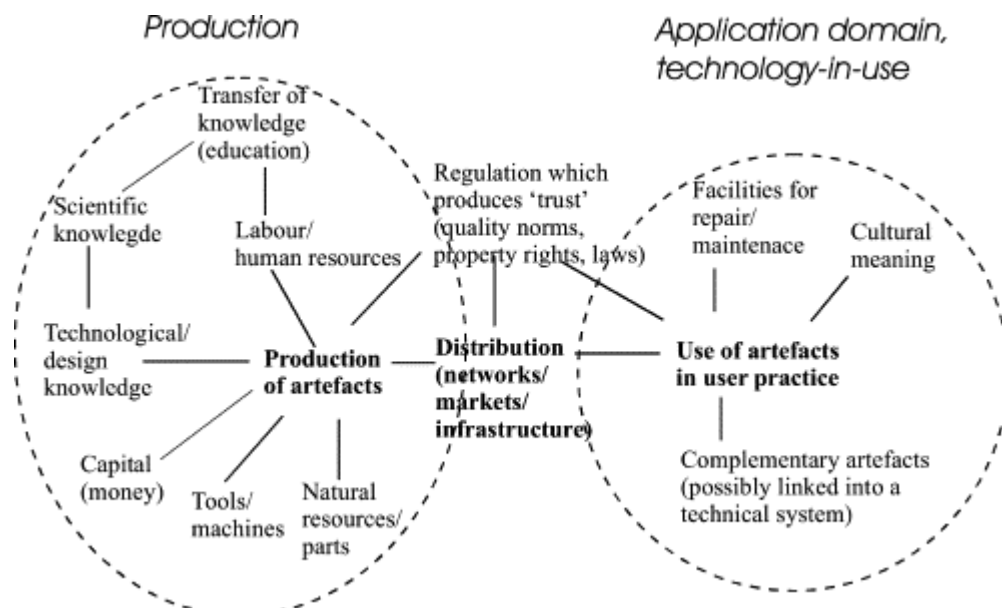
Til at forstå disse forbindelser mellem elementer er der opsat en række modeller og tilgange som er baseret på studier af forskellige systemer. Disse kan anvendes som grundlag for forståelse af relationer i systemet, og ud fra dette vil der skabes indsigt i udvikling og forandring.

Tre indbyrdes forbundne analytiske dimensioner



Figur 7: Frank W. Geels model over interaktioner mellem grupper (Geels, 2004, s. 903).

Ovenstående model illustrerer interaktioner mellem tre grupper: sociotekniske systemer, regler og institutioner, enkeltstående aktører, organisationer og sociale grupper (Geels, 2004). Denne inddeling har til fordel at fremvise de relevante hovedgrupper og hvordan sammenhængen mellem disse udgør udviklingen inden for et system (Ibid.). Til dette kan det virke misvisende at sociotekniske systemer er en enkeltstående gruppe og en yderlig forklaring er derfor passende. Geels opstiller ligeledes en model over hvilke elementer der er inkluderet i et sociotekniske system:



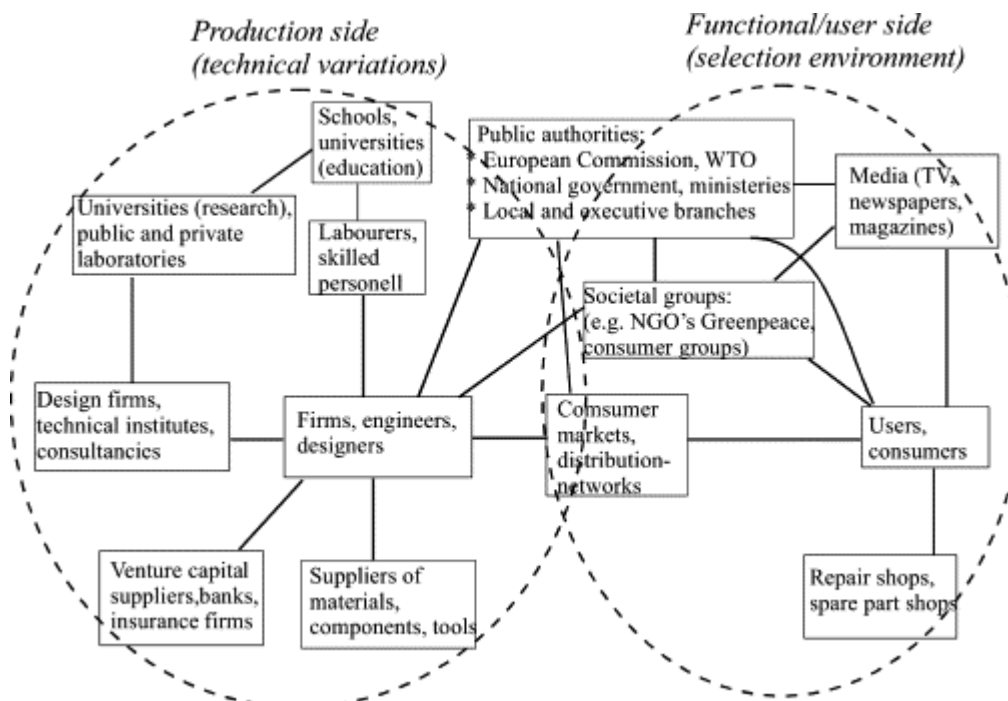
Figur 8: Frank W. Geels model over elementer i det sociotekniske system (Geels, 2004, s. 900).

Modellen indeholder grundlæggende elementer og kan variere for system til system. Ikke desto mindre illustrerer den hvordan det sociotekniske system indeholder viden, ressourcer, kapital, faciliteter, kulturel betydning etc. (Ibid.). Alle disse elementer udgør selve systemet, men uden de

to tidligere præsenterede grupper, aktører og institutioner, fungerer det sociotekniske system ikke, som det kan ses i tidligere præsenteret figur 7.

De tre grupper påvirker hinanden og disse interaktioner kan bruges analytisk til at forstå handlingerne i et system og hvorledes disse kan påvirkes.

Til yderligere at forstå disse grupper er følgende model opsat for gruppen enkeltstående aktører, organisationer og sociale grupper - også kaldet aktør:



Figur 9: Frank W. Geels model over aktører (Geels, 2004, s. 901)

Figuren illustrerer grundlæggende aktører i et system, og deler dem op mellem aktører som producere og aktører som anvender. Figuren præsenteres her for at uddybe hvad aktør-gruppen kan indeholde, samt for at vise fokuset på både produktionen og anvendelsen, og hvad det pågældende system indeholder.

Koordination af aktiviteter

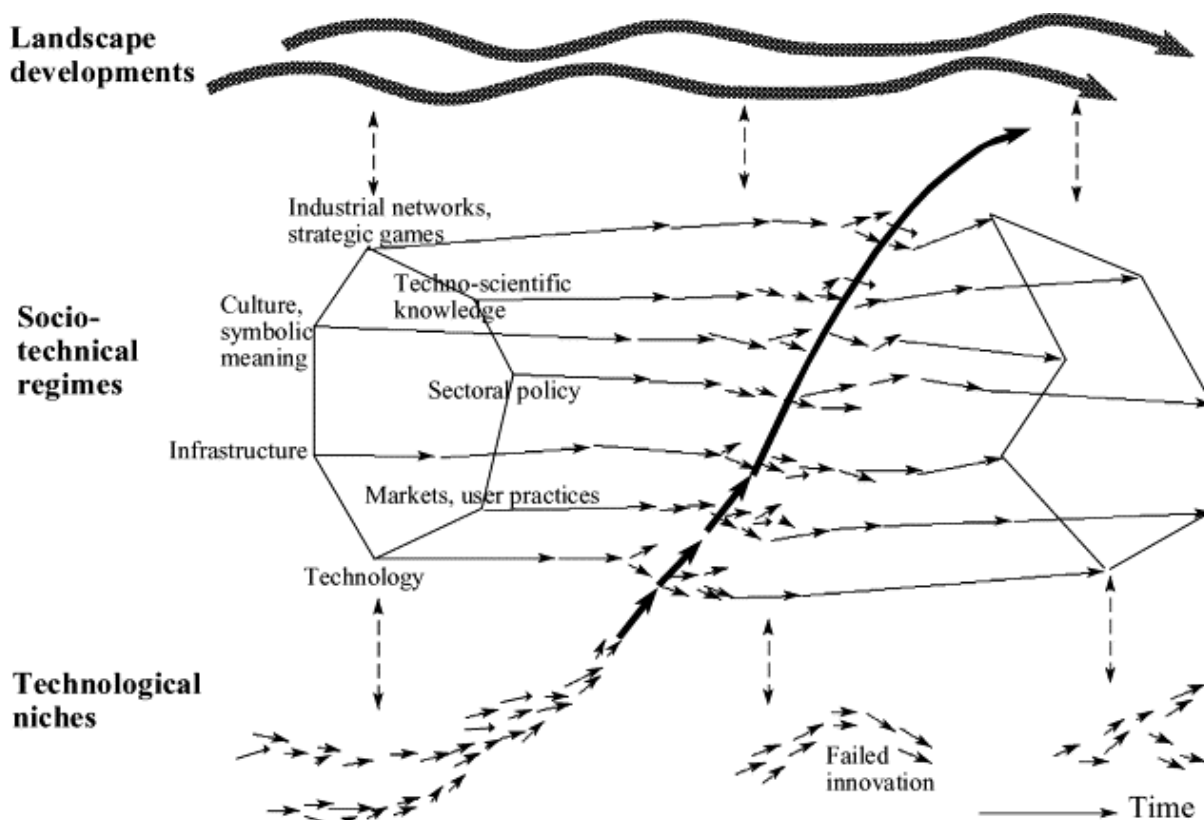
Til den sidste af de tidligere præsenterede grupper, regler og institutioner, er det relevant at forstå typen af regler denne gruppe repræsenterer. I denne sammenhæng skal det bemærkes, at ordet regler ikke skal forstås kun som lovgivning og regulativer, men snarere som de regelsæt som gør sig gældende i det enkelte system. For at forklare dette opsættes tre overordnede kategorier for regler:

- *Regulative regler*: Disse indebærer hvad der i klassisk forstand forstås som regler. Dette indebærer lovgivning, reguleringer, relementer, standarder etc. (Geels, 2004)
- *Normative regler*: Disse indebærer regler funderet typisk i sociale processer. Dette indebærer værdier, rollefordeling, ansvar, rettigheder etc. (Ibid.).
- *Kognitive regler*: Indebærer regler som anvendes til at opfatte og forstå. Dette indebærer forståelse, opfattelse, vidensgrundlag, kategorisering, sprogforståelse etc. (Ibid.)

Denne kategorisering af reglerne anvendes til at illustrere, at reglerne ikke kun er funderet i den klassiske opfattelse af ordet, men tværtimod indeholder en række andre elementer som ligeledes har indflydelse på systemet.

Teknologiske transitioner

Med den grundlæggende forståelse af det teoretiske grundlag for sociotekniske systemer og hvordan dette kan anvendes, vil teknologisk transition nu præsenteres. Dette element af teorien undersøger hvordan nye teknologier kan etablere sig i eksisterende sociotekniske systemer (Geels, 2002). Denne transition er relevant at redegøre for, da denne rapport har det formål at undersøge implementeringen af en ny teknologi i det danske energisystem. Den følgende model undersøger systemet med et såkaldt multilevel perspektiv på teknologisk transition.



Figur 10: Frank W. Geels model for et multilevel perspektiv på teknologisk transition (Geels, 2002, s. 1263).

Modellen illustrerer tre niveauer: *teknologisk niche*, *sociotekniske regimer* og *landskabet*. Øverst i modellen ses landskabet og de lange bølgede pile har til formål at illustrere en langsom udvikling og forandring på dette niveau (Geels, 2002). I landskabet findes elementer som politiske forandringer, kulturelle forandringer, demografiske forhold etc. Landskabet kan derfor forstås som værende generelle forhold, som har indflydelse på det konkrete system. Ved de forandringer som sker i landskabet, kan et pres blive lagt på det eksisterende regime og fremme forandring, hvilket vil blive uddybet senere.

De sociotekniske regimer skal forstås som det nuværende dominerende regime inden for det konkrete sociotekniske system. Dette område udgøres af en række forskellige regimer, såsom *teknologiske regime*, *vidensregime*, *markedsregime* etc. (Geels, 2002: 2004).

Pilene i modellen illustrerer de konstante inkrementelle innovationer og udviklinger som forekommer i et eksisterende system.

Den teknologiske niche er det nederste niveau i modellen og det er her radikale innovationer skabes og udvikles. Grundideen er, at det eksisterende regime kun vedbliver så længe den relevante teknologi og retning ikke kan erstattes af en bedre løsning. På niche-niveauet udvikles

disse kommende løsninger (Geels, 2002). Modellen illustrerer hvorledes innovationer fra niche-niveauet etablerer sig i det sociotekniske regime, samt påvirker landskabet. Ligeledes vises det også hvordan innovationer fejler og aldrig bliver etableret. For at nicher skal kunne etableres i det sociotekniske regime kræves en række faktorer, og de er varierende fra system til system. Som term til dette bruges *window of opportunity* (Ibid.). Dette begreb kan betyde et pres fra landskabet som skaber ændringer i det eksisterende regime, intern konflikt i regimet som åbner op for ændringer eller en helt tredje situation. Essensen i begrebet er, at en ændring skal forekomme for at en niche kan etableres og skabe ændringer, ellers kan den forventes at fejle som ny innovation.

Anvendelse af Socioteknisk systemteori

Med de forskellige elementer af socioteknisk systemteori præsenteret, er det relevant at fremlægge sammenhængen i disse og deres anvendelse. Selve forståelsen af det sociotekniske system og dets samspil med aktører og regler, er en nødvendighed for at forstå forholdene som gør sig gældende i energisystemet. Denne forståelse skaber fundament for at undersøge teknologisk transition, da denne viden er essentiel for at forstå muligheden for ændringer i det eksisterende sociotekniske system. Med den teknologiske transition bliver det muligt at undersøge PtX som en niche, og dermed analysere hvordan et window of opportunity kan blive skabt, således PtX kan etableres i det eksisterende regime.

4. Vidensgrundlag

Rapportens genstandsfelt, PtX, og undersøgelsen heraf er underlagt nuværende regimer. Dette kapitel redegør for hhv. de politiske, industrielle og teknologiske forhold i de respektive regimer. Disse regimer danner rammer for PtX i Danmark på nuværende tidspunkt og planlægningen af teknologien i det danske energisystem på længere sigt. Formålet med dette kapitel er at danne et vidensgrundlag for rapportens videre undersøgelser af genstandsfeltet.

4.1 Det politiske regime

Det politiske regime danner i kraft af Danmarks demokratiske samfund et vigtigt grundlag for implementeringen af PtX i det danske energisystem. Det politiske regime har flere grundelementer, som undersøges ift. de danske klimamålsætninger, lovgivning, det danske energisystem og politiske værktøjer.

4.1.1 Danske målsætninger

I 2020 blev den danske klimalov vedtaget, som er den første danske juridisk bindende klimaaf tale. Klimalovens rammer forpligter den nuværende og de fremtidige Klima-, Energi- og Forsyningsministre til at foretage konkrete handlinger, hvilket sikre at ministeren ikke mindsker indsatsen. Såfremt indsatsen alligevel mindskes, kan Folketinget kræve handlepligt (Energistyrelsen, u.å. A). Klimaloven indeholder mange delmålsætninger, der dækker et bredt område, men overordnet set fastsætter klimaloven følgende nationale reduktionsmålsætninger: I 2030 skal Danmark have opnået 70% reduktion af drivhusgasser siden 1990. I 2050 skal Danmark være klimaneutral defineret som, at vi ikke skal udlede flere drivhusgasser end vi optager. Energisektoren står for 37% af den danske årlige drivhusgasudledning og er derfor et af de områder, der skal være særligt fokus på med henblik på at opnå de nationale målsætninger (Energistyrelsen, u.å. B).

De danske målsætninger i klimaloven fra 2020 indeholder både nationalt satte målsætninger samt målsætninger, der er fastsat i EU-regi med direkte påvirkning på Danmark (Energistyrelsen, u.å. A).

Aftale	Område	Målsætning/forpligtelse
Klimalov 2030- og 2050-mål	Reduktion af drivhusgasser	70% reduktion i 2030 sammenlignet med udledninger i 1990
	Klimaneutralitet	Klimaneutral senest i 2050
Energiaftalen 2030-mål	Reduktion af drivhusgasudledning	Energiaftalen har til formål at reducere den årlige udledning med 1,1 ton i 2021 og reducere med 1,5 ton i 2030 fra ikke-kvotebelagte systemer i energisektoren
	Elproduktion	I 2030 skal kul være udfaset af vores elproduktion 55% af Danmarks energibehov skal dækkes af vedvarende energikilder i 2030
EU 2020-mål	Danske drivhusgasudledninger fra bygninger, landbrug og transport (ikke-kvotefomfattede sektorer)	20% reduktion fra 2005-2020
	Andel vedvarende energi i det samlede energiforbrug	30% i 2020
	Andel vedvarende energi forbrugt i transportsektoren	10% i 2020
EU 2030-mål	EU's udledninger skal reduceres med 40% i 2030 med følgende del-målsætninger:	Målsætningerne er udmøntet i en dansk national reduktionsforpligtelse for de ikke-kvotebelagte sektorer, som skal reduceres med 39% i 2030 sammenlignet med 2005
	<ul style="list-style-type: none"> • 43% reduktion af drivhusgasudledninger ift. 2005 fra de store CO₂-udledere, der er omfattet af EU's system for kvote-handel • 30% reduktion af drivhusgasudledninger ift. 2005 fra ikke-kvotebelagte sektorer (bygninger, landbrug og transport) • Andel af vedvarende energi på 27% 	

Figur 11: Klima- og energimålsætninger (Energistyrelsen, u.å. A.).

Danske målsætninger i relation til basisfremskrivningen

Fra 2021 starter en ny forpligtelsesperiode frem mod 2030, hvor Danmark, som det ses af tabellen, har forpligtet sig til at nedbringe drivhusgasudledningerne med mere end de 30% som EU's målsætninger lyder på. I Danmark skal den ikke-kvotebelagte sektor nedbringe drivhusgasudledningerne med 39% i 2030 sammenlignet med 2005.

Energistyrelsen udarbejder hvert år en basisfremskrivning, og fremskrivningen fra 2020 viser en forventet reduktion på 24% i 2030. Beregningerne i basisfremskrivningen fra 2020 inkluderer ikke de effekter som de politiske tiltag af Klimaaftalen fra juni 2020 forventes at have (Energistyrelsen, u.å. A). I april 2021 udkom en ny Klimastatus og -fremskrivning, der redegør for udviklingen af Danmarks drivhusgasudledninger fra 1990 til 2019. Basisfremskrivningen indeholder en vurdering af, hvordan udledningen vil udvikle sig frem mod 2030 med udgangspunkt i de politiske tiltag som er vedtaget før 1. januar 2021. Den nye fremskrivning benytter nye beregningsmodeller sammenlignet med tidligere, hvilket skaber en konflikt i de data som ellers er benyttet i bl.a. handlingsplaner for PtX (Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, 2021).

4.1.2 Lovgivning omkring PtX

Der er endnu ikke lovgivning der henvender sig direkte til PtX, men flere nuværende bekendtgørelser og lovgivning vil påvirke området.

De overordnede bekendtgørelser, der vil have stor indvirkning på PtX i Danmark er:

- Bekendtgørelse af lov om Energinet, LBK nr 118 af 06/02/2020.
 - Denne bekendtgørelse beskriver hvilke beføjelser Energinet har.
- Bekendtgørelse om tilskud til initiativer, der fremmer integrationen mellem forskellige forsyningssektorer, BEK nr 573 af 29/05/2018.
 - Denne bekendtgørelse beskriver hvordan Energi-, Forsynings-, og Klimaministeriet kan give tilskud til initiativer og projekter, der vil fremme et såkaldt smart energisystem. § 2. stk 1, beskriver ydermere et smart energisystem.
- Bekendtgørelse om betaling for myndighedsbehandling efter lov om fremme af vedvarende energi, BEK nr 1619 af 15/12/2017.
 - Denne bekendtgørelse beskriver hvordan betaling til f.eks. Energinet bliver beregnet sådan, at omkostningerne ved at have energinettet kørende ikke overstiger indtægterne.
- Bekendtgørelse af lov om fremme af vedvarende energi, LBK nr 125 af 07/02/2020.
 - Bekendtgørelsen har til formål at fremme produktionen af vedvarende energi og energikilder i overensstemmelse med klima- og miljømæssige samt samfundsøkonomiske hensyn.

4.1.3 Energisystemet

Dette afsnit har til formål at præsentere det danske energisystem. Dette gøres for at give en forståelse for det nuværende system og de forhold som gør sig gældende for udvikling og planlægning på området. Afsnittet vil kort præsentere den historiske udvikling i det danske system, for at give indblik i grundlaget for den udvikling som ses i dag. Efterfølgende vil et konkret indblik i den nuværende situation fremlægges.

Historisk indblik

For at skabe forståelse for den nuværende udvikling og retning for energisektoren vil et kort tilbageblik på 70'erne og 80'erne være gunstigt. I denne periode var det danske energiforbrug dominerende baseret på fossile brændsler, med 90% af det samlede energiforbrug dækket af importeret olie (QUARTZ+CO, 2015). Denne stærke afhængighed af importerede energikilder påvirkede den danske økonomi i forbindelse med en række oliekriser gennem 70'erne og ind i 80'erne. I disse kriser steg olieprisen med op til seks gange sin egen pris og for at skabe mere stabilitet i energisektoren kom et øget fokus på udvinding af egne energikilder som olie og gas (QUARTZ+CO, 2015). I den følgende periode gik Danmark fra at være importør af energi til at være storeeksportør til andre lande og efter succesen med olie kom kulkraftværkerne op i det danske landskab. Mod slut-90'erne og i 00'erne blev klimaet et centralt emne i energisektoren, med konkrete målsætninger i EU for CO₂-reduktion, såsom de gamle 20-20-20 målsætninger. I dansk kontekst var landvindmøllen allerede begyndt at blive udbredt, og fra starten af det nye årtusinde begyndte arbejdet med havvindmøller. Herefter har arbejdet inden for energisektoren været funderet i klimavenlige løsninger såsom sol, biomasse, elektrificering etc. Ydermere er handel med nabolandene blevet mere udbredt med bedre forbindelse og timebaseret handel på de internationale el børser. Dermed ses den danske energisektor i dag som at være gået fra at være afhængig af importeret olie, til et selvstændigt foregangsland inden for VE-produktion, der samarbejder tæt med sine nabolande.

I energisystemet spiller Energinet en central rolle i planlægningen og de strukturelle forhold i den danske energisektor. Pga. deres rolle er det relevant at forstå virksomheden, hvilke forhold den agerer under, samt hvilke krav der stilles til Energinet.

Energinet præsenterer sig selv som værende følgende:

“Energinet er en selvstændig offentlig virksomhed under Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet. Vi ejer og udvikler el- og gasnet i Danmark for at indpasse mere vedvarende energi, opretholde forsyningssikkerhed og sikre lige markedsadgang til nettene.” (Energinet, u.å. A)

Ud fra dette citat kan det forstås, at Energinet varetager det danske elnet og gasnetværk, samt udvikler på dette. Det er ikke Energinet som leverer elektricitet til de enkelte husstande, men i stedet varetager højspændingsledningerne som anvendes til at transportere el over længere afstande. Som fagterm er Energinet en *Transmission System Operators*, TSO, som sikrer det overordnede netværk, således de kan levere til *Distribution System Operators*, DSO (Le Cadre, 2019).

Energinet har visioner, funderet i den politiske dagsorden, om at fremme udviklingen af vedvarende energi. Samtidig er det et krav for Energinet jvf. LBK nr 118 og BEK nr 1619, at sikre forsyningssikkerheden, og ikke skabe for høje udgifter for borgere og samfund.

Energinet definerer forsyningssikkerhed som:

"Sandsynligheden for, at der er energitjenester til rådighed til konkurrencedygtige priser, når de efterspørges af forbrugerne – uden at Danmark bringes i et uhensigtsmæssigt afhængighedsforhold til andre lande" (Energinet.dk., 2015)

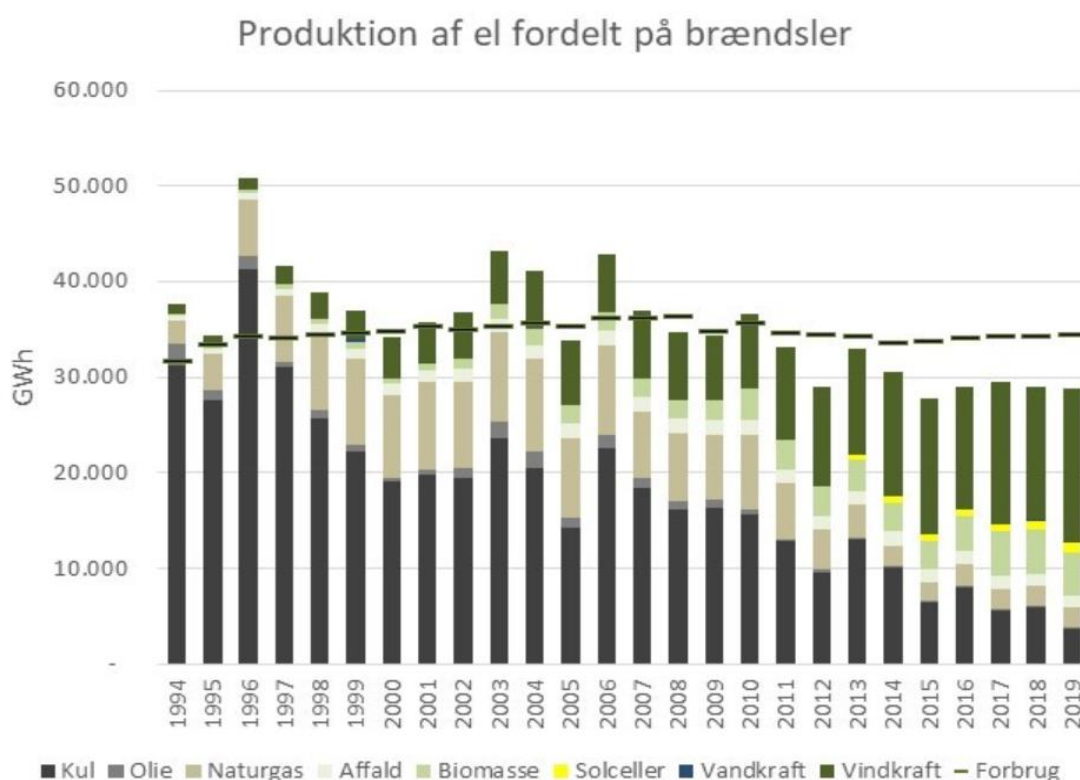
Energinet står derfor til ansvar for at sikre, at der størstedelen af tiden er energi til rådighed til at dække det danske forbrug. Sikringen af dette kan indebære at handle med andre lande, men forsyningssikkerheden bør ikke baseres på andre landes produktion af energi.

Forsyningssikkerheden er i Danmark på et højt niveau, med en elforsyningssikkerhed på omkring 99,99% (Energistyrelsen, u.å. C). Størstedelen af de perioder der forekommer uden elektricitet, foreligger hos de lokale netværker, altså DSO'erne.

Energinet agerer i en energisektor som udvikler sig mod stadig voksende mængder vedvarende energi. VE såsom vind- og solenergi er fluktuerende, og kan derfor skabe udfordringer i sikring af forsyningssikkerheden. Dette kan løses ved en række muligheder, såsom international handel og lagring af energi.

Danmarks energiproduktion og forbrug

På Energinets hjemmeside kan man finde et kort over Danmark, som viser hvor meget el der bliver produceret i landet, lige nu. Danmarks elproduktion skifter meget da størstedelen af den elektricitet der produceres, kommer fra vindmøller rundt om i landet og til havs. På figur 12 nedenfor kan udviklingen af dansk produceret el, fra 1994 til 2019 ses, fordelt på energikilder:

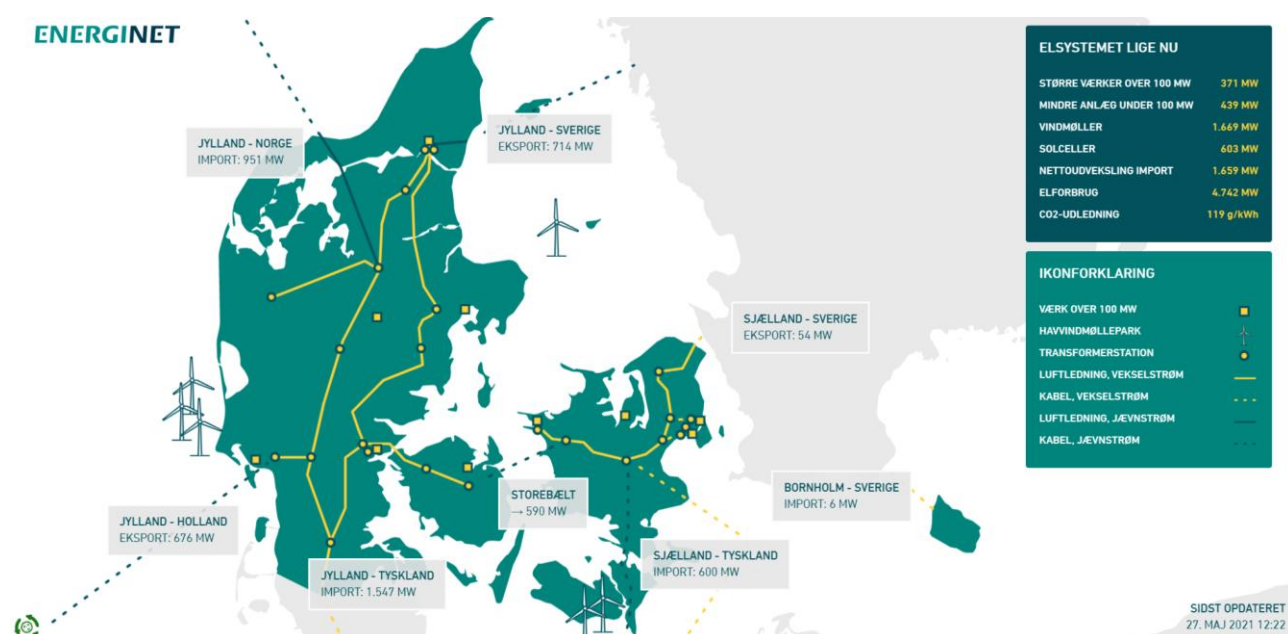


Figur 12: Produktion af el fordelt på energikilder i Danmark gennem 25 år (Energinet, u.å. B).

Det ses også at forbruget i stigende grad er højere end produktionen.

I takt med flere sektorer bliver elektrificeret forventes det, at vores energiforbrug stiger, men samtidig forventes det at flere af de nuværende teknologier forbedres og dermed falder energiforbruget i disse. Et eksempel på en forbedret eller ændret teknologi er overgangen fra kul til vindkraft, da vindkraft giver et mindre energitab (Danmarks Statistik, 2020).

Energisystemet i Danmark er delt op i to systemer, hvorfra der eksporteres og importeres energi hele tiden. Vestdanmark, geografisk vest for Storebælt, består af ét energisystem. Dette energisystem kategoriseres som DK1. Energisystemet i den øvrige del af Danmark øst for Storebælt kategoriseres som DK2. Forbindelserne internt i Danmark og eksternt til nabolande illustreres af figur 13. Energinet opdaterer og overvåger elnettet 24 timer i døgnet med henblik på at sikre forsyningssikkerheden samt undgå overspænding (Energinet, 2021 A).



Figur 13: Øjebliksbillede af det danske elsystem (Energinet, 2021 A).

På figur 13, ovenfor ses det, at der den 27/5-2021 kl. 12:22 i DK1 importeres energi fra Norge og Tyskland, men at der samtidig eksporteres til Holland og Sverige (Energinet, 2021 A).

DK2 importerer energi fra Tyskland og eksportere til Sverige (Ibid.).

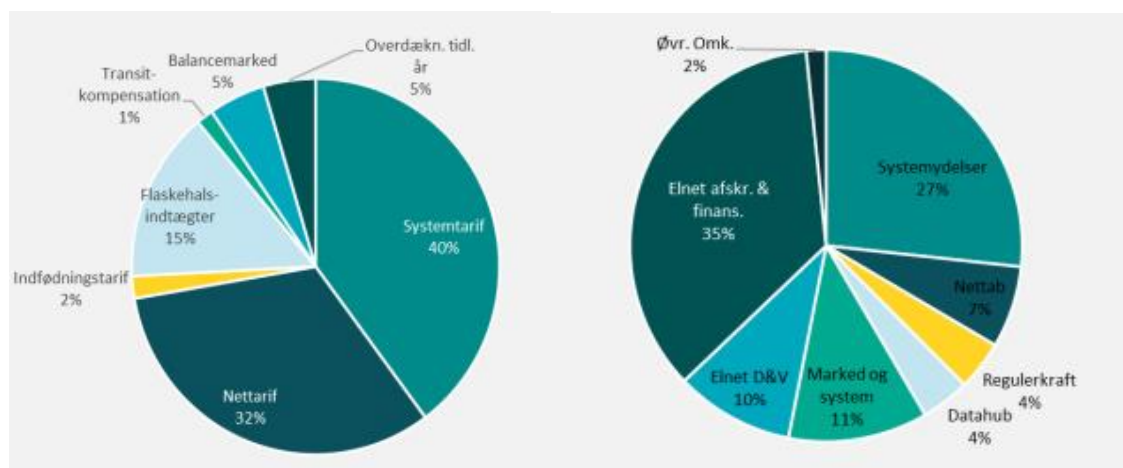
Denne handel af både import og eksport sker for at opretholde balance i systemet.

4.1.4 Politiske værktøjer i relation til energisystemet

Dette afsnit redegør for forskellige politiske værktøjer, der kan benyttes med henblik på at fremme en ønsket udvikling eller adfærd i energisystemet.

Tariffer i energisystemet

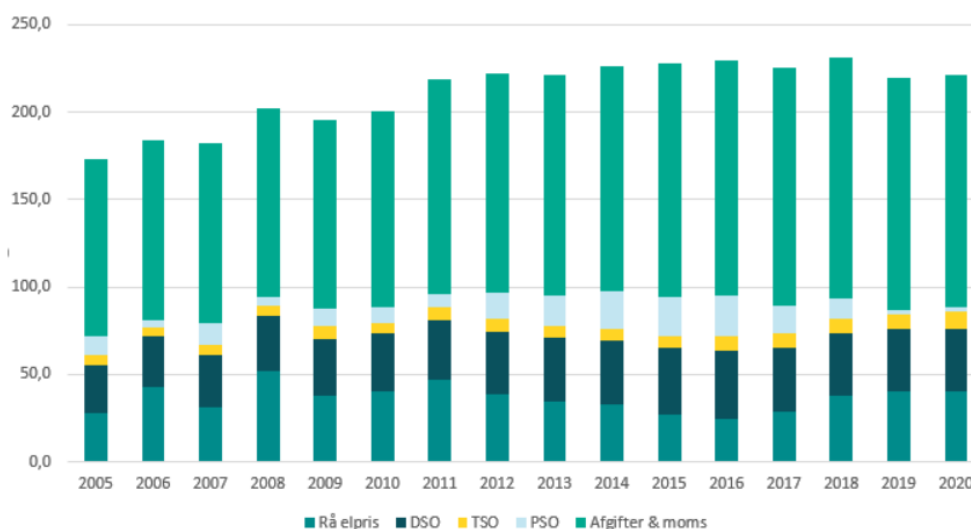
I den danske energisektor er tariffer centrale for økonomien og forholdene for sektoren. Tarifferne i energisektoren betales for at udvikle og vedligeholde elnettet, samt sikre forsyningsikkerheden gennem systemydelser og forbedret systemdrift. Disse to områder er hvad der bliver dækket af nettatariffen og systemtariffen, som den danske TSO, Energinet står for. På figur 14 & figur 15 ses Energinets tariffer og hvordan disse anvendes, samt en model over elprisens sammensætning.



Figur 14: Indtægter fra tariffer og omkostninger til elnettet for Energinet (Energinet, 2021 B, s. 2.)

Fakta om elprisen

Elpris sammensætning



Figur 15: S sammensætningen af den danske elpris (Energinet, 2019 A).

Tarifferne præsenteres i dette afsnit, da disse kan fungere som et politisk værktøj i udviklingen af energisektoren. Tarifferne er som udgangspunkt funderet i at vedligeholde og sikre elnetværket og forsyningsikkerheden, men ikke des mindre kan disse reguleres og der kan udarbejdes tariffer

som støtter op om visse teknologier. I dansk kontekst har der siden 1998 været *Public Service Obligations* - alment kendt som PSO. Denne tarif har haft til formål at give tilskud til VE, forskning i miljøvenlig produktion m.m. (Energinet, u.å. C). Denne tarif har særligt haft en positiv effekt på udbredelsen af vindmøller i dansk kontekst. PSO-tariffen er ved at blive udfaset som afgift og vil fra 2022 ikke længere være en tarif på elprisen, men derimod betalt over skat (Energinet, u.å. C). Ikke desto mindre er en tarif som denne muligt som politisk værktøj, hvis der ønskes en direkte støtte til et område, som skal betales af el-forbrugerne.

Støttepuljer og tilskudsordninger

Et andet politisk værktøj som ses anvendt i det danske energisystem er støttepuljer og tilskudsordninger. Fra politisk side er der udarbejdet en klima- og energiaftale, hvori det afgøres hvilke indsatsområder, der skal fokuseres på, samt hvilket beløb der afsættes til de områder. Disse aftaler bliver udarbejdet politisk, men tager ofte udgangspunkt i ekspertviden fra eksempelvis Klimarådets opfordringer. Støtten kan foregå på en række forskellige måder. Der kan udlægges puljer til forskning på konkrete områder, afsættes penge til konkrete projekter, tilskudsordninger etc.

I den nyeste *Klimaaftale for energi og industri mv. 2020* kan det læses, at minimum 750 millioner kr. bliver afsat til en tilskudsordning for PtX-projekter (Klima- Energi og Forsyningsministeriet, 2020). Disse penge kommer fra en statistisk overførsel af VE-andele fra Danmark til Holland, hvilket betyder Danmark har overopfyldt vores EU VE-mål for 2020 og derfor har solgt vores overskydende VE-andele til Holland som ikke fik opfyldt sine mål.

Disse penge er øremærket til PtX med henblik på at støtte teknologiens udvikling. Denne støtte er nødvendig, da PtX er en nicheteknologi som forsøges udbredt.

En tilskudsordning vil kunne støtte teknologiens udvikling, hvilket f.eks. kan gøres gennem en udbudsrunde. Ved en udbudsrunde vil den enkelte projekt-indehaver fremlægge deres projekt, størrelsen af produktionen og hvilken økonomisk støtte de har brug for pr. enhed for at projektet er rentabelt. Projekterne bliver derefter vurderet ift. output og hvor meget ekstra støtte de kræver, og en eller flere projekter udvælges til tilskudsordningen (Bilag 3.2).

Dette er en simplificeret beskrivelse af processen, men det giver forståelse for hvordan det er muligt at anvende tilskudsordninger som et politisk værktøj i denne sammenhæng. Grundidéen her er ikke at tilskuddene skal være permanente, men derimod at det skal forløbe i en periode mens teknologien modnes. På denne måde skabes gunstige rammer for teknologiens udvikling med en forventning om, at den senere kan konkurrere på lige markedsvilkår med andre energiteknologier (Bilag 3.2).

4.2 Industrielle regime

Det industrielle regime er ikke på samme måde som det politiske regime naturligt defineret på baggrund af det danske samfunds demokratiske styring, men dette afsnit undersøger derimod udvalgte aktører, som projektet har kortlagt i sekundær empiri og i kraft af afgrænsningen. De udvalgte aktører i dette afsnit vil i kraft af deres aktørtype afspejle forskellige MLG-niveauer med henblik på at analysere disse aktører i et MLG-perspektiv i kapitel 6. Alle de valgte aktører har respektive aktiviteter inden for PtX eller tager del i partnerskaber og/eller samarbejder vedrørende PtX.

4.2.1 Relevante aktører

Dette afsnit vil redegøre for de relevante aktører i rapportens undersøgelser. De forskellige aktører redegøres for, ved at præsentere aktørtype, deres rolle i PtX, motivationer samt visioner for PtX, partnerskaber og nuværende PtX arbejde og/eller projekter.

Ørsted A/S

Ørsted er et aktieselskab og et af Danmarks største forsyningsselskaber og energikoncern. Ørsted har en vision om at bidrage til en grønnere fremtid, hvor energiforbruget er baseret på VE-kilder. Virksomheden investerer allerede i og opsætter VE-teknologier, særligt offshore vindmøller (Ørsted, u.å. A). Ørsted har en målsætning om at være CO₂-neutrale i 2025 og har derfor en naturlig interesse i PtX som kan være med til at udnytte deres VE-teknologier bedre end hidtil (Ørsted, u.å. B).

Ørsted har i oktober 2020 udgivet en rapport om PtX, *Decarbonising society with Power-to-X*, som kortlægger mange perspektiver af teknologien. En vigtig pointe fra Ørsted er, at ligesom vindmøller og solcellers udvikling og udbredelse i energisystemet krævede politisk opbakning og økonomisk støtte, så kræver PtX også opbakning fra staten før industrien har mulighed for at investere i at implementere teknologien. Den økonomiske støtte er vigtig for at give industrien og teknologien tid og rum til at modne og opnå højere energieffektivitet som skal være med til at mindske de samlede omkostninger (Ørsted, 2020).

Ørsted arbejder på nuværende tidspunkt med et demonstrationsprojekt kaldt H2RES, der består af et elektrolyseanlæg på 2 MW placeret ved Avedøre Holme i København. I projektet er Ørsted ledende partner, men samarbejder med Everfuel Europe A/S, NEL Hydrogen A/S, GreenHydrogen A/S, DSV Panalpina A/S, Brintbranchen og Energinet Elsystemansvar A/S. Ørsted og partnerne i projektet har fået tilsagn om 34,6 mio. kr. i støtte fra EUDP, der skal være med til at finansiere elektrolyseanlæg og et dertilhørende brintlager. Formålet er at producere fornybar brint, som i dette projekt skal bruges som grønt brændstof i busser og lastbiler (Ørsted, 2019).

Dansk Energi

Som tidligere redegjort for er Dansk Energi en interesse- og erhvervsorganisation. Organisationen repræsenteres af en række danske energiselskaber og arbejder for at udvikle det danske energimarked. Dansk Energi arbejder med at påvirke de politiske rammevilkår som er grundlæggende for energimarkedet. Dette arbejde foregår primært igennem dialog og gode råd samt vidensdeling til og med de forskellige partier i det danske folketing (Dansk Energi, u.å. A: Bilag 2.2). Dansk Energi understøtter medlemmer i energiindustrien, som investerer milliarder i

infrastruktur og energiteknologier, for fortsat at kunne øge mængden af VE i det danske energisystem og eksportere energiteknologier. Eksporten af energiteknologier udgør en vigtig del af Danmarks vareeksport og udgjorde i 2019 14% af den samlede vareeksport, hvor der blev eksporteret energiteknologi for 99,6 mia. kr. Derfor arbejder Dansk Energi både for at det danske energimarked skal blive mere bæredygtigt, men også fastholde konkurrenceevnen på det europæiske marked.

Der er sektorer, der er problematiske og langsomme at omstille til bæredygtige energikilder og det gælder blandt andre transportsektoren (Dansk Energi, u.å. B). Ovenstående danner grundlag for følgende fire punkter, som Dansk Energi mener, at den politiske dagsorden bør understøtte for at reducere Danmarks forbrug af fossile brændsler (Ibid.):

- Skatter og afgifter skal fremme grønt energiforbrug
- Grøn opvarmning ved brug af naturgas og varmepumper mm.
- Massive investeringer i VE
- Elnet der kan løfte fremtidens sammensætning

Dansk Energis medlemmer er hovedsageligt bestående af energiproducenter som derfor er med til at udgøre udbudssiden på det danske energimarked. I forbindelse med udviklingen og udbredelsen af PtX i Danmark er organisationen aktiv med henblik på at understøtte deres medlemmers indsats. Som interesseorganisation har Dansk Energi derfor taget initiativ til at udarbejde en analyse med henblik på at komme med anbefalinger til en dansk strategi for PtX. PtX kræver en samling af flere virksomheder end blot de der udgør udbudssiden, primært i form af produktion, og derfor har Dansk Energi samlet flere virksomheder på tværs af værdikæden, der vil berøre PtX i Danmark. Der er mange perspektiver som er afgørende for en samlet strategi og Dansk Energi pointerer, at PtX skal bidrage til at mindske udledningen af drivhusgasser, men uden det er på bekostning af de danske virksomheders konkurrencekraft på energimarkedet (Dansk Energi, 2020 A). Dansk Energis strategi kan opsummeres i fire indsats:

- Ambitiøse indsats som skal understøtte en udledningsreduktion på 2,5 mio. ton CO₂ i 2030
- National indsats til at kickstarte produktion og forbrug med statslig støtte
- International indsats der etablerer regler og markedsrammer med henblik på øget efterspørgsel efter PtX-produkter og -teknologi.
- Dansk governance der er handlekraftig og involverer erhvervslivet løbende i processen (Dansk Energi, 2020 A).

Udover denne analyse har Dansk Energi også samarbejdet med Energinet om at udarbejde analysen *Gamechangere for PtX og PtX-infrastruktur i Danmark*, som blev udgivet i maj 2020. Dansk Energi agerer sekretariat for klimapartnerskabet for energi og forsyning, hvor organisationen samarbejder med de andre deltagende virksomheder og organisationer om at mindske erhvervslivets drivhusgasudledninger i energi- og forsyningssektoren. Dette klimapartnerskab er én ud af 13, som er etableret af regeringen i samarbejde med erhvervslivet, hvor deres formål er at komme med anbefalinger til regeringen på det specifikke erhvervsområde (Dansk Energi, u.å. C).

Dansk Gasteknisk Center

Dansk Gasteknisk Center, herefter forkortet DGC, er et selskab som rådgiver, understøtter udvikling og udfører målinger inden for energi og miljø med særligt fokus på gas. Selskabet blev dannet tilbage i 1988 og ejes i dag af Evida og Energinet. Evida ejer størstedelen af selskabet med 86,1% og Energinet ejer de resterende 13,9% (Dansk Gasteknisk Center, u.å. B).

Evida er det nationale gasdistributionsselskab i Danmark. Selskabet distribuerer gas til både private hjem og virksomheder. Udover distribution er Evida også ansvarlig for at vedligeholde og anlægge gasdistributionsnettet i hele Danmark som er en del af den kritiske infrastruktur. Selskabet er underlagt Finansministeriet og er en statsejet og offentligt reguleret virksomhed (Evida, u.å. B).

DGC udfører bl.a. opgaver for forsyningsselskaber, industri, organisationer og myndigheder. DGC udgør derfor en anden rolle i udviklingen og udbredelsen af PtX end de andre aktører, fordi selskabet hverken er et forsyningsselskab, en organisation eller en myndighed. Selskabet arbejder for at fremme miljøvenlighed og energieffektivitet i forbindelse med anvendelse af gas i det danske energisystem. En af DGC's missioner er "*At styrke samspillet mellem gassystemerne og de vedvarende energiformer*" (Dansk Gasteknisk Center, u.å. C)

Denne mission kan bl.a. opnås via PtX, hvorfor DGC har afholdt workshops om PtX i samarbejde med blandt andre Rambøll og Energinet, hvor brugen af brint i gasnettet er blevet debatteret. DGC pointerer, at PtX er en afgørende brik i overgangen til grøn energi i det danske energisystem, og en af de oplagte måder at transportere brint på er via gasnettet. Der er mange forbehold og gasnettet kræver en vis omstilling for at kunne håndtere store mængder brint (Dansk Gasteknisk Center, 2020).

DGC har derudover ikke publiceret rapporter eller andre projekter vedrørende PtX, men deres rolle i det danske energisystem og i det industrielle regime er alligevel vigtig at have med i helhedsperspektivet for at kunne kortlægge aktørernes samspil.

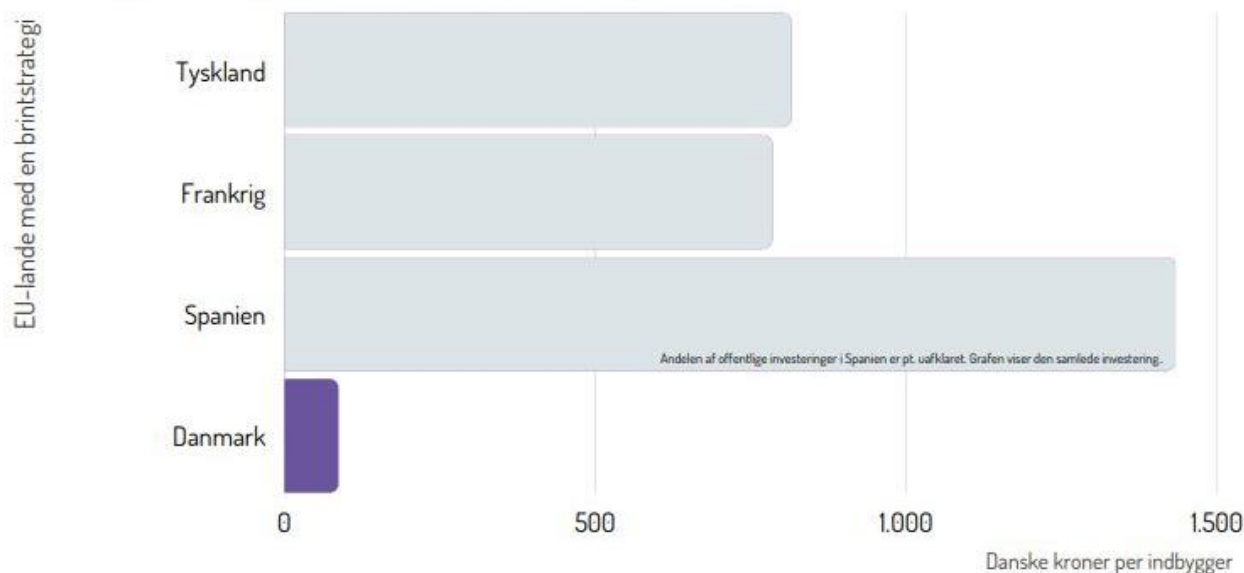
Brintbranchen - Hydrogen Denmark

Brintbranchen er en erhvervsorganisation, hvis medlemmer beskæftiger sig med brintindustrien. Medlemmerne tæller flest virksomheder, men der er også både forskningsinstitutioner og netværksorganisationer iblandt. Brintbranchen søger at samle disse medlemmer, som arbejder med brint og forskellige brintløsninger, heriblandt PtX. Denne erhvervsorganisation er derfor tæt forbundet med brintmarkedet og virksomhederne, der beskæftiger sig med brint i Danmark. Brintbranchen besidder derfor også et stort indblik i, hvilke behov og ønsker industrien har, med henblik på udviklingen og udbredelsen af PtX (Brintbranchen, u.å.).

På baggrund af Brintbranchens indblik i brintindustrien og medlemmernes perspektiver har organisationen udarbejdet en analyse med henblik på at skabe et overblik over status quo af brintmarkedet både i Danmark og Europa. Endvidere for at komme med anbefalinger til en samlet dansk strategi for udvikling og udbredelsen af brint. Rapporten hedder *Analyse af potentialerne for storskala brint og PtX i Danmark*. Analysen pointerer, at vi i Danmark har adgang til de nødvendige CO₂-kilder, der skal bruges til produktionen af brint og brintbaserede brændsler. Den afgørende brik for at udbrede PtX er, at det politisk besluttet at dedikere minimum fem mia. kr. (Brintbranchen, 2020). af Danmarks andel af EU's Recovery midler til at udføre en offentlig strategi for PtX og brint. Sammen med denne støtte skal energisystemet opdateres, således at eltariffer og reguleringer af gasinfrastruktur ikke skaber uhensigtsmæssige barrierer for PtX. Brintbranchen anerkender, at der på nuværende tidspunkt er et begrænset marked for brint nationalt i Danmark,

men anbefaler, at transportsektoren reguleres i fremtiden med henblik på at skabe et marked for brint og flydende PtX-brændstoffer til transport (Brintbranchen, 2020).

Ifølge Brintbranchens analyse er markedet for brint og PtX i Europa i rivende udvikling. Lande som Tyskland, Frankrig og Spanien investerer flere penge i udvikling og udbredelse end Danmark på nuværende tidspunkt.



Figur 16: Offentlige investeringer i brint og Power-to-X per indbygger (Brintbranchen, 2020, s. 15).

Som det ses på ovenstående figur, er konkurrencen på det europæiske marked stærk, men Danmark har mange fordele på grund af den store mængde af VE-produktion fra vindmøller og solceller. Kort sagt pointerer Brintbranchens analyse, at der mangler storskala-indsatser i Danmark for at skabe efterspørgsel, og at branchen er klar til at implementere en politisk strategi når den kommer (Brintbranchen, 2020).

Green Hydrogen Systems

Ørsteds projekt, H2RES, består af flere aktører, bl.a. Green Hydrogen A/S, forkortet GHS. GHS blev grundlagt i 2007 og er en teknologisk virksomhed, der producerer og leverer standardiserede og modulerbare elektrolyseanlæg. Det særlige ved selskabets anlæg er, at de er skabt til at producere grøn brint med vedvarende energi som input. GHS er ejet af flere investorer, blandt andre Norlys Holding og Nordic Alpha Partners. Selskabet har elektrolyse-teknologier, der er taget i brug i Europa og der arbejdes på at udvikle og opskalere anlæg. GHS er en dansk virksomhed, der udover at være partner i H2RES-projektet også er i gang med at levere teknologi til andre projekter i Danmark (Green Hydrogen Systems, u.å. A).

Selskabet spiller en væsentlig rolle i udviklingen af PtX og er en vigtig partner i flere danske PtX-projekter. Det er selskabet, der bringer de teknologiske løsninger til produktionen af brint og besidder en vigtig viden og mulighed for at udvikle teknologien yderligere med den rette støtte og efterspørgsel.

4.3 Det teknologiske regime

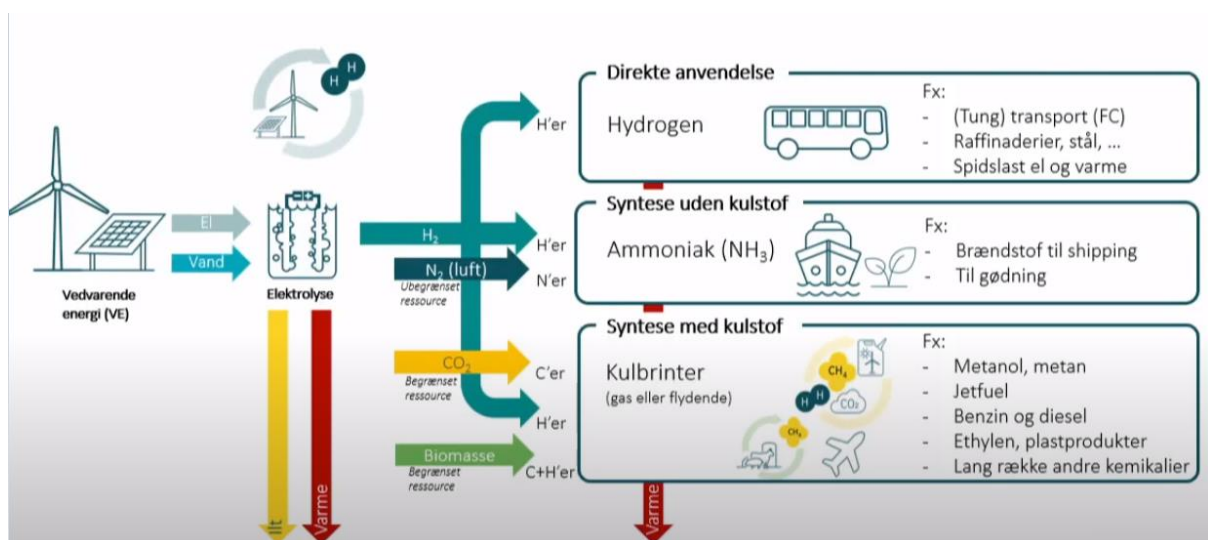
Det sidste regime er det teknologiske regime, som i rapportens undersøgelser af genstandsfeltet vil redegøre for PtX-teknologien samt de økonomiske aspekter heraf. Informationerne der bliver redegjort for i følgende afsnit, vil blive brugt i det efterfølgende kapitel 5 i massebalance-beregningerne.

4.3.1 Power-to-X

PtX består af mange forskellige teknologier og processer, det går i alt sin enkelthed ud på at omdanne *power* til *X*, altså fra el til brint, hvorefter det kan forædles yderligere (Dansk Energi & Energinet, 2020).

Ved at omdanne elektricitet fra en VE-kilde til brint og derefter forædle til e-brændsler, kan sektorer som ikke umiddelbart kan elektrificeres, f.eks. tung transport, også køre på grønne energikilder. Det vil ydermere være muligt at producere gas, som til en vis grad kan benyttes i det allerede eksisterende gasnetværk.

Nedenfor på figur 17 ses det hvordan den vedvarende energi gennem elektrolyse omdannes til det ønskede slutprodukt (Ibid.).

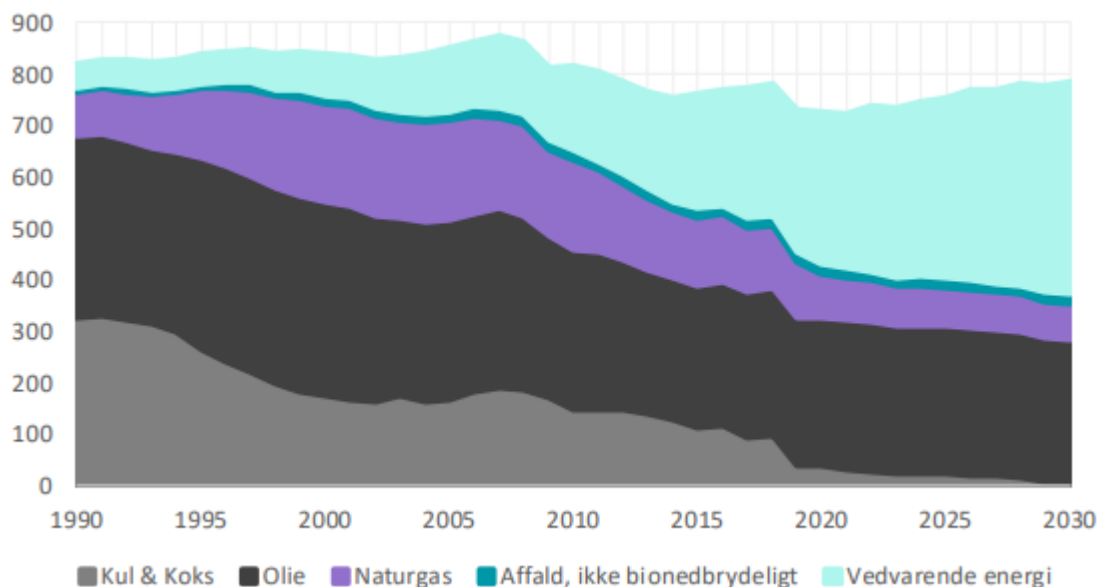


Figur 17: PtX proces (Dansk Energi & Energinet, 2020).

PtX kan ud over at hjælpe med omstillingen i de sektorer, der ikke kan elektrificeres, også hjælpe med forsyningsikkerhed af VE i de sektorer der bliver elektrificeret. PtX gør det muligt at lagre energien, som f.eks. brint eller e-brændsel, og dermed sikre forsyningen også når der ikke produceres el via de fluktuerende energikilder som sol og vind. Varmen der dannes under processerne vil ydermere kunne bruges i fjernvarmenettet, men hvis varmen ikke benyttes i fjernvarmenettet, skal varmen stadig fjernes fra PtX-systemet og vil dermed være en uudnyttet ressource, hvor det kan være nødvendigt at bruge ekstra energi på at køle anlægget (Ibid.).

Da PtX som teknologi kræver el som input, vil PtX-anlæggene blive storforbrugere af el. Dette kan blive en udfordring for energisystemet, da samfundets elforbrug forventes at stige over de næste par år, i takt med at flere sektorer bliver elektrificeret. Som M. Wied siger " (...) *der er ingen tvivl om det bliver en storforbruger, som der skal tages hensyn til.*" (Bilag 2.2, s. 9).

Energistyrelsen fremskriver i deres basisfremskrivning 2020, at bruttoenergiforbruget vil stige fra 2023 til 2030, som vist på figur 18 nedenfor:



Figur 18: Basisfremskrivning af bruttoenergiforbrug (Energistyrelsen, 2020 C, s. 48).

Det ses på figuren, at brugen af kul, koks og olie reduceres markant, hvorefter de VE-kilder i stigende grad dominerer produktionen.

Dansk Energi forventer en fordobling af elforbrug fra 35 TWh i 2019 til 71 TWh i 2030, især hvis klimamålet om en CO₂-reduktion på 70% skal opnås (Hinrichsen, 2020).

Ved produktionen af grøn brint vil der være en energibalance på et sted mellem 75% til 84%, alt efter hvilken type elektrolyse der anvendes.

I forbindelse med transport af flydende brint, f.eks. i forbindelse med eksport til andre lande, kan der ydermere forventes et tab på 30% til 40% af energien (Energinet, 2020).

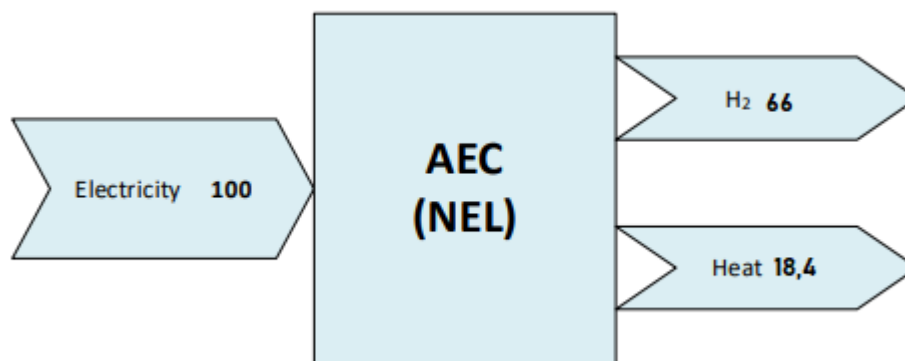
Alkaline Electrolyzer Cell

Den mest anvendte type elektrolyse er alkaline, denne type har været i brug siden 1800-tallet (Energistyrelsen, 2021 C). Teknologikataloget er et katalog der løbende opdateres med de nyeste data inden for kritiske teknologier ift. f.eks. den grønne omstilling. Kataloget er udgivet af Energistyrelsen og det anvendes i dette projekt til at redegøre for teknologien samt at indhente nødvendige data til massebalance analyse i kapitel 5.

Driftstemperaturen på et alkaline anlæg ligger på 80 grader celsius og med et tryk på 30 bar som den industrielle standard. Der bruges to ressourcer som input i forbindelse med produktionen; elektricitet og vand (Ibid.).

Som output får man så; brint (H₂), oxygen (O₂) og varme (Ibid.).

På figur 19 nedenfor ses et eksempel på energibalancen i et alkaline anlæg. Eksemplet er Energibalancen på Energiøen, som senere bliver bearbejdet i kapitel 5, afsnit 5.2.1.



Figur 19: Egen udarbejdelse på baggrund af tal fra kapitel 5 (Energistyrelsen, 2021 C).

Et alkaline anlæg ligger typisk på en kapacitet på mellem 1 MW og op til 100 MW (Ibid.). Anlægget har en hurtig opstartstid, hvilket gør den hensigtsmæssig at bruge i forbindelse med produktionen af VE i Danmark, da den danskproducerede VE ofte er fluktuerende i forbindelse med vejret (Ibid.).

4.3.2 H2RES

H2RES er som tidligere nævnt et af Ørstedes brintprojekter, og anlægget skal ifølge planen stå færdigt i udgangen af 2021 (Wind Denmark, 2021). Anlægget vil kunne producere op mod 1.000 kg. grøn brint dagligt, og dette vil kunne bruges til blandt andet vejtransport på Sjælland (Ibid.). Anlægget vil benytte el fra de to 3.6 MW havvindmøller som Ørsted allerede ejer ved Avedøre Holme. Ifølge Anders Nordstrøm, chef for Ørstedes brintaktiviteter er H2RES-projektet et godt eksempel på hvordan samarbejde mellem det offentlige og det industrielle kan lede til en vigtig grøn milepæl (Ibid.). Nedenfor ses en række nøgletal for projektet:

Nøgletal
Periode: 2020-2023
Bevillingsår: 2019
Egen finansiering: 38,13 mio.
Støttebeløb: 34,62 mio.
Støtteprocent: 48%
Projektbudget: 72,75 mio.

Figur 20: Nøgletal H2RES (Energiforskning.dk, u.å.).

H2RES er, som det ses ovenfor, på trods af projektets mindre størrelse, et afgørende projekt på flere parametre. Som figur 20 ovenfor viser er støttebeløbet på næsten halvdelen af projektets finansiering, hvilket i høj grad skyldes dets status som demonstrationsprojekt. Projektet skal gå forrest i processen og udvikler teknologien (Wind Denmark, 2021 & Energiforskning.dk, u.å.).

Som Anders Nordstrøm, siger:

"H2RES will be a small, but very important first step in realising Ørsted's large ambitions for renewable hydrogen, which has fast proven itself as a centrepiece in the green transformation of the European economy to net-zero emissions by 2050." (Ørsted, 2021).

H2RES skal undersøge hvordan der bedst kombineres effektiv elektrolyse og fluktuerende VE fra offshore vindmøller (Ørsted, 2021).

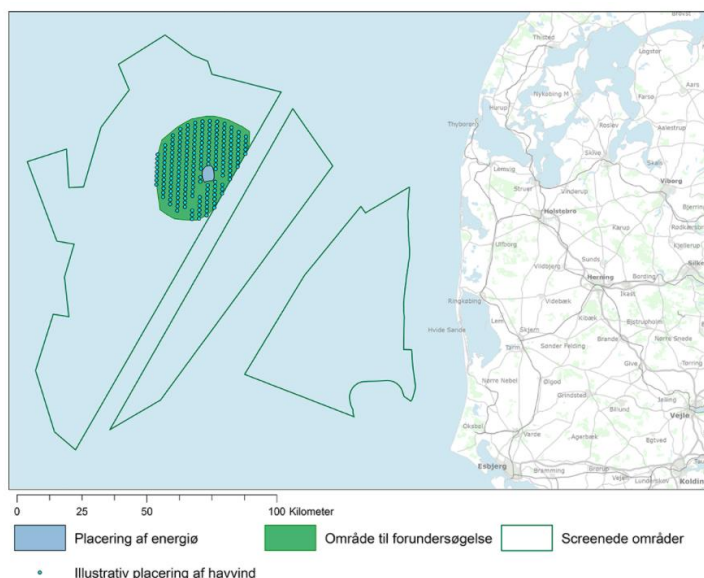
4.3.3 Energiøen

Energiøen er et projekt, der på sigt skal kunne producere nok elektricitet til at sikre 10 millioner husstandes forbrug. Ydermere skal Energiøen bidrage til elektrificeringen af samfundet, og udfase de fossile brændsler (Energistyrelsen, u.å. D). Øen skal ligge ca. 80 km. ude for Thorsminde og skal i første omgang være forbundet til Danmark, men med mulighed for at udbygge og kombinere flere af denne type ø'er og lave flere energi-hubs i Nordsøen (Ibid.). Øen, som skal stå færdig i 2033, vil have udstyr der kan lagre elektriciteten, når vindmøllerne producerer mere el end der kan afsættes til nettet (Ibid.). Der er i den forbindelse stort fokus på PtX, og selv om forventningerne til øen er store, lægges der også vægt på, at PtX-teknologien er underudviklet ift. at sige hvad udstyr der præcis kommer til at være på øen (Ibid.). Nedenfor ses en række nøgletal for øen.

Nøgletal	
Periode:	færdig senest i år 2033
Kapacitet:	3 GW, udvides til 10 GW i løbet af sin 30 års levetid
Projektbudget:	210 mia. kr.
Ejerskab:	Staten skal eje minimum 50,1% af øen

Figur 21: Nøgletal Energiøen (Energistyrelsen, u.å. D).

Den danske stat skal som minimum eje 50,1% af øen, dette skal sikre offentligt majoritetsejerskab og dermed stor bestemmelsesret over hvordan øen udvikles (Ibid.). Ved Energiøen er det ikke muligt at sælge den overskydende varme til fjernvarmenettet, varmen skal dog stadig fjernes fra anlægget. At Energiøen ikke kan sælge varmen betyder, at der mistes en indtægt og varmen skal stadig væk fra anlægget, dette giver en mindre cirkulær og effektiv proces. Nedenfor ses et kort over hvor Energiøen skal placeres.



Figur 22: Kort over Energiøen i Nordsøen (Energistyrelsen, u.å. D).

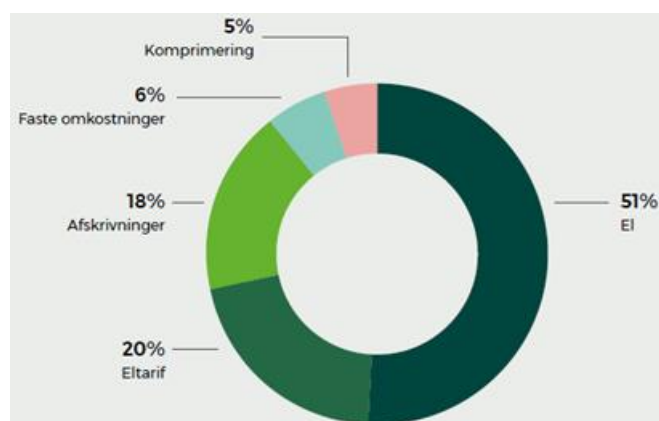
4.3.4 Økonomisk perspektiv

For at undersøge om det er økonomisk rentabelt at benytte grøn brint i storskala er det nødvendigt at sammenligne de nuværende priser mellem grå brint, der produceres vha. fossile brændsler, samt blå brint, der produceres vha. fossile brændsler kombineret med CO₂-fangst og -lagring. I figuren herunder, figur 23, ses forskellene mellem de tre.

	Grå brint	Blå brint	Grønt brint
Navn i EU's brintstrategi	Fossil-based hydrogen	Fossil-based hydrogen with carbon capture Low-carbon hydrogen	Renewable hydrogen Clean hydrogen
Definition	Brint produceret med fossile brændsler, primært fra naturgas via steam methane reforming (SMR)	Brint produceret med fossile brændsler kombineret med CO ₂ -fangst og -lagring ved langtidsdeponering (carbon capture and storage, CCS)	Brint produceret ved: <ul style="list-style-type: none"> elektrolyse med grøn el biogas via SMR biokemisk konvertering af bæredygtig biomasse
Udledning af drivhusgasser	Høj: 9 kg CO ₂ e/kgH ₂	Afhænger af, hvor effektivt CO ₂ fanges, 90% effektivitet: 1 kg CO ₂ e/kgH ₂	Meget tæt på nul: 0 kg CO ₂ e/kgH ₂

Figur 23: Udledning fra de tre typer brint (Dansk Energi, 2020, s. 11).

I *The Future of Hydrogen* af International Energy Agency, 2019, anslås det, at omkostningerne for grå brint er 0,33 kr./kWh, men at det samtidig afhænger meget af naturgasprisen og at der ikke tages hensyn til omkostningerne ved CO₂. Omkostningerne for blå brint anslås til at være 0,45 kr./kWh og omkostningerne ved grøn brint anslås til at være fra 0,56 til 1,23 kr./kWh. Det er også vigtigt at sammenligne med naturgas på sigt. Naturgas koster 0,15 kr./kWh og udleder 0,204 kg. CO₂/kWh (Energistyrelsen, 2020 B). For at grøn brint skal blive konkurrencedygtig med først grå brint og på sigt andre energikilder, er det nødvendigt med en udvikling af teknologien for at øge virkningsgraden, men som det ses på den følgende figur 24, går en 51 % af omkostningerne ved produktionen af grøn brint til den elektricitet der benyttes af elektrolyseanlæggene (Dansk Energi, 2020).



Figur 24: Fordeling af produktionsomkostninger for grøn brint i 2020 i procent (Dansk Energi, 2020, s. 11).

Elprisen, samt andre faktorer, har tidligere stået i vejen for grøn brintproduktion i storskala, da det ikke har været økonomisk rentabelt eller konkurrencedygtigt ift. nuværende alternative energikilder (Energinet, 2019 B). Med den store udbygning af VE i Danmark og faldende omkostninger for vindkraft og solceller er der nye muligheder for en udbredelse af PtX-teknologien i Danmark med en billigere elpris fra VE-kilder. Eltarifferne udgør også en relativt stor del, 20%, af de samlede omkostninger ved grøn brint (Ibid.).

Samtidig udvikles elektrolyseteknologien konstant og man har set en nedgang af elektrolyseomkostningerne på 60% over de sidste 10 år og Europa Kommissionen forventer, at omkostningerne i 2030 vil falde til halvdelen af hvad den var i 2020 i kraft af stordriftsfordele. I 2040 forventes det, at omkostninger vil være faldet yderligere til 20% ift. 2020 (Europa Kommissionen, 2020). Med denne udvikling forventes det, at grøn brint er konkurrencedygtigt med grå brint omkring 2030 (Ibid.).

Hvis grøn brint skal udfase naturgas og dieselolie, er det nødvendigt at det også er konkurrencedygtigt med disse.

I boksen nedenfor ses priserne for disse.

Type	Markedsprisen:
Naturgas	0,15 kr/kWh
Dieselolie	0,68 kr/kWh
Grøn brint (min.)	0,56 kr/kWh

Figur 25: Markedspris for relevante energibærere (Energi styrelsen, 2020 B: Kjær, 2021).

4.4 Delkonklusion 1

Dette kapitels formål var at redegøre for de relevante forhold som gør sig gældende i forbindelse med implementeringen af PtX i Danmark. Til at skabe ramme for dette kapitel har følgende problemstilling været central: *Hvilke politiske, teknologiske og industrielle forhold er der for PtX i Danmark på nuværende tidspunkt?*

I det politiske regime kunne læses en kort præsentation af de danske målsætninger for energi og klimaområdet. Nogle af de vigtigste danske målsætninger der er med til at drive interessen for PtX er 70% reduktion af drivhusgasser i 2030 og klimaneutralitet i 2050. Der er endnu ikke lovgivning direkte for PtX, men en række bekendtgørelser er relevante for implementeringen af PtX. Lovgivningen og målsætningerne udgør de nuværende rammer for det politiske regime. Politiske værktøjer såsom tariffen og afgifter i energisystemet har en stor indflydelse på implementeringen af PtX. Det samme gælder værktøjer som støttepuljer og tilskudsordninger, der har mulighed for at skabe balance i systemet og fremme udviklingen.

I det industrielle regime blev en række centrale aktører i energisektoren, samt aktører med særlig relevans for PtX præsenteret. Aktørerne; Ørsted, Dansk Energi, Dansk Gasteknisk Center, Brintbranchen og Green Hydrogen Systems er udvalgt med henblik på at præsentere forskellige typer af aktører i systemet. Aktørerne agerer på forskellig vis dagligt i den danske energisektor, og påtager sig forskellige opgaver og ansvar der kan relateres til PtX. Disse aktører vil senere blive undersøgt yderligere i forbindelse med deres interne relationer, samt hvilken relevans disse kan have for implementeringen af PtX.

Det teknologiske regime redegjorde for PtX-teknologiens potentialer og udfordringer, og det konkluderes at Alkaline er den eneste relevante teknologiske løsning på nuværende tidspunkt. Afsnittet præsenterede også de to projekter; H2RES og Energiøen, som i det næste kapitel danner grundlag for to forskellige massebalance scenarier. Det teknologiske regime er tæt knyttet til markedsgrundlaget for PtX, og på baggrund af en økonomisk sammenligning af grøn brint produceret via PtX og fossilbaseret grå brint, konkluderes det at den grønne brint forventes konkurrencedygtig i 2030.

5. Massebalance H2RES og Energiøen

Dette kapitel er rapportens første delanalyse, hvor massebalanceprincippet anvendes metodisk til at beregne den samlede produktionspris, for grå og grøn brint, med eksempler på PtX-anlæg. Kapitlet vil ikke alene besvare problemstilling to, om PtX-teknologien, anskuet i et massebalanceperspektiv er miljømæssigt og økonomisk rentabelt, men også analysere dele af genstandsfeltet med fokus på det teknologiske regime. Dette vil kunne bruges til at forstå teknologiens modenhed og eventuelle behov for støtte og yderlig udvikling. Delkonklusionen vil i følge af disse undersøgelser se på den videre udvikling af PtX og dets potentiale i den danske energisektor.

5.1 Massebalancen præsenteret

Afsnittene nedenfor er opdelt i en række forskellige eksempler inden for hhv. Energiøen og H2RES. I hvert eksempel opstilles en række variable forudsætninger for at give læseren et indblik i, hvilke forhold der spiller en rolle når den økonomiske rentabilitet af et PtX-anlæg skal beregnes. De miljømæssige aspekter af hvert eksempel vil også blive belyst, disse diskuteres i afsnit 7.3. Der opsættes to scenarier i dette kapitel, et scenarie med H2RES og et scenarie med Energiøen. For begge scenarier laves en massebalance analyse efterfulgt af forklaringer på de forskellige økonomiske forholds indflydelse på hinanden, samt fremtidsudsigter og forventninger til eventuelle forbedringer af teknologien.

Slutproduktet af massebalance analyserne er produktionsprisen på hhv. grå og grøn brint, hvor der her lægges vægt på den grønne brint, med yderligere eksempler på hvordan prisen på den grønne brint kan stige eller falde alt efter de økonomiske forhold for anlægget.

5.1.1 H2RES massebalance

I dette scenarie gennemgås et eksempel på H2RES anlægget som er et mindre anlæg med henblik på lokalt forbrug af den producerede brint. Der er i dette eksempel lavet en række antagelser:

- H2RES indgår i lokale samarbejder og kan derfor komme af med alt produceret brint samt varme.
 - Der vil altså være en indtægt på overskudsvarmen anlægget producerer.
- Anlægsprisen antages at være 1.25 mio. kr/MWh (Bilag 4).
- Elprisen er 21,17 øre, hvis der kun bruges selvproduceret el (Nord Pool, 2021).
 - Dette producerer grøn brint.
- Ved produktion af grå brint kører anlægget 95% af tiden og ved produktion af grøn brint kører anlægget 37,5% af tiden (Energistyrelsen, 2021 B).
 - Driftstiden er på maksimum 95%, da det antages, at de sidste 5% af tiden bruges på vedligeholdelse mm.
- Det antages, at der vil være fuld refusion af afgifter ved fuld leverance over nettet (Forsyningstilsynet, 2021). EU har dog én elafgift på 0,4 øre som ikke refunderes.

Nedenfor ses de forventede refunderede afgifter:

- PSO-tarif
 - Elafgift
 - Moms
- Det antages at levetiden altid er på 100.000 driftstimer på trods af slitage (Energistyrelsen, 2021 C). Denne slitage der kan vanskeliggøre mulighederne for at køre et anlæg i f.eks. 30 år, frem for 12 år.

H2RES budget ved 100% og 37,5% drift.					
Antagelse: Fuld leverance over nettet (refusion af afgifter).					
Køre 100% af tiden		Køre 37,5% af tiden			
Anlægsøkonomi:					
Anlægsøkonomien er baseret på fem HyProvide Serie A90-anlæg fra GHS med antagelsen om de hver er 420 kW. [2]					
- AEC - Alkaline Electrolyser					
Størrelse	2,1	2,1	MWe	62,2%	energieffektivitet (LHV) [3]
Virkningsgrad (2020-tal):	62,2%	62,2%	brint udbytte	16,4%	varme [4]
Anlægsomkostninger	10.230.000	10.230.000	kr. pr. MW	1.250.000	€/MWe [5]
Driftsomkostninger	42.625	15.984	kr pr. MW installeret kapacitet p.a.		[6]
Max. kapacitetsudnyttelse:	8.322	8.322,00	timer/år	95%	rådighedsf.
Udnyttelse af kapaciteten i %:	100%	37,5%			[7]
Faktisk kapacitetsudnyttelse:	8.322	3.120,8	timer/driftsår		
Antaget anlægsstørrelse:	2,1	2,1	MWe		
Forventet elpris:	0,80	0,21	kr/kWh		[8][9]
Driftsbudget					
Driftsomkostninger:	Enheder:		Omkostninger:		
Råvareforbrug (el):	17.476	6.553,6	MWh	13,9	1,39 mio.kr
Priser; Vedligehold, faste:	511.500	511.500	kr pr. MW	1,1	1,1 mio.kr
Priser; Vedligehold, variable:	0	0	mio. kr/MW	0	0 mio.kr
Anlægsomkostninger:					
Anlæg & Afskriv.+rente:	21,5	21,5	mio kr	2,3	1,2 mio.kr
- Levetid på anlæg:	12,02	32,04	år		[10]
- Afskrivningsperiode:	12,00	32	år		
- Forrentning:	4,0%	4,0%	p.a.		
Samlede omkostninger:				17,3	3,7 mio.kr
Indtægter fra varmesalg:					
Varmeproduktion:	2.866,1	1.074,8	MWh.	-0,54	-0,20 mio.kr
Salg af varme:	190	190	kr/MWh		[11]
Brintproduktion	10.870,2	4.076,3	MWh.		
Forventet pris pr. kWh brint:				1,54	0,85 kr/kWh
Kilder					
[1] Nord Pool, 2021: <i>Day ahead prices</i> .					
[2] Green Hydrogen Systems, u.å. B: <i>Brochure om HyProvide Serie A-anlæg</i> .					
[3] Green Hydrogen Systems, u.å. B: <i>Brochure om HyProvide Serie A-anlæg</i> .					
[4] Energistyrelsen, 2021 C: <i>Technology Data. Renewable Fuels</i> .					
[5] Pris-estimat baseret på empiri fra Bilag 4.					
[6] Energistyrelsen, 2021 C: <i>Technology Data. Renewable fuels</i> .					
[7] Energistyrelsen, 2021 B: <i>Stamdataregister for vindkraftanlæg</i> .					
[8] Forsyningstilsynet, 2021: <i>Prisstatistik 1. kv. 2021</i> .					
[9] Nord Pool, 2021: <i>Day ahead prices</i> .					
[10] Energistyrelsen, 2021 C: <i>Technology Data. Renewable Fuels</i> .					
[11] Pris-estimat baseret på den forventelige salgspris af overskudsvarme til VEKS-systemet, baseret på deres regnskabs- og budgettal.					
VEKS, 2020 - Revideret Budget 2021 & Budget 2022.					

Figur 26: Massebalance analyse for elektrolyseanlægget H2RES (Bilag 5).

Ovenfor ses den mest forventede realistiske massebalance analyse for elektrolyseanlægget H2RES, af analysen ses det at der er en produktionspris på grå brint på 1,54 kr/kWh og på grøn brint er prisen 0,85 kr/kWh.

Med disse priser ligger tilbagebetalingstiden på anlægget på hhv. 12 og 32 år, begge disse tilbagebetalingstider ligger tæt på den respektive forventede levetid. Levetiden på anlægget

afhænger af hvor mange timer i døgnet et anlæg kører, som udgangspunkt er der en forventet driftslevetid på 100.000 timer. Det forventes at anlægget kan køre 37,5% af tiden hvis der produceres grøn brint, dette skyldes at vindmøller som forsyner anlægget vil køre i denne tid, pga. vejret.

Nedenfor opstilles en række eksempler hvor enkelte dele af massebalance analysen vises, med henblik på at give et indblik i hvordan elementer hver især påvirker slutprisen.

I alle nedenstående eksempler tages der udelukkende udgangspunkt i produktion af grøn brint, på trods af at det ikke er realistisk i alle eksemplerne på nuværende tidspunkt.

Den grønne brint der produceres hos H2RES vil give en CO₂ reduktion, alt efter hvilke fossile brændsler der fortrænges, på:

Hvis grå brint fortrænges til fordel for grøn brint, vil der være en reduktion på 36.686,7 ton CO₂.

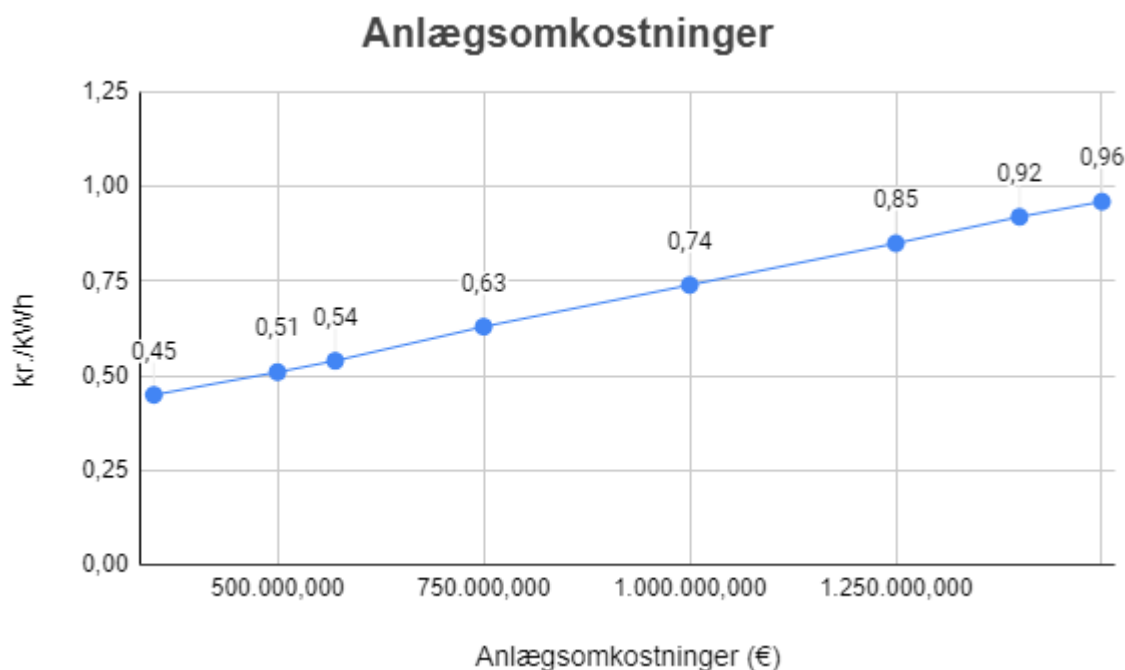
Hvis naturgas fortrænges, vil der være en reduktion på 831,6 ton CO₂.

Hvis dieselolie fortrænges, vil reduktionen være på 1.084,2 ton CO₂.

Anlægsomkostninger

Anlægsomkostningerne for et anlæg på 1 MW, står til €500.000-€1.400.000/MW med en gennemsnitspris på €750.000/MW i Teknologikataloget fra 2021, men da der benyttes HyProvide Serie A90 anlæg i H2RES er gennemsnittet af omkostningerne på €1.000.000-€1.500.000/MW, altså €1.250.000/MW, valgt i dette scenarie (Bilag 4).

De €1.250.000 svarer til 9.300.000 danske kr.



Figur 27: Sammenhængen mellem anlægsomkostninger og produktionsprisen af brint (Bilag 6).

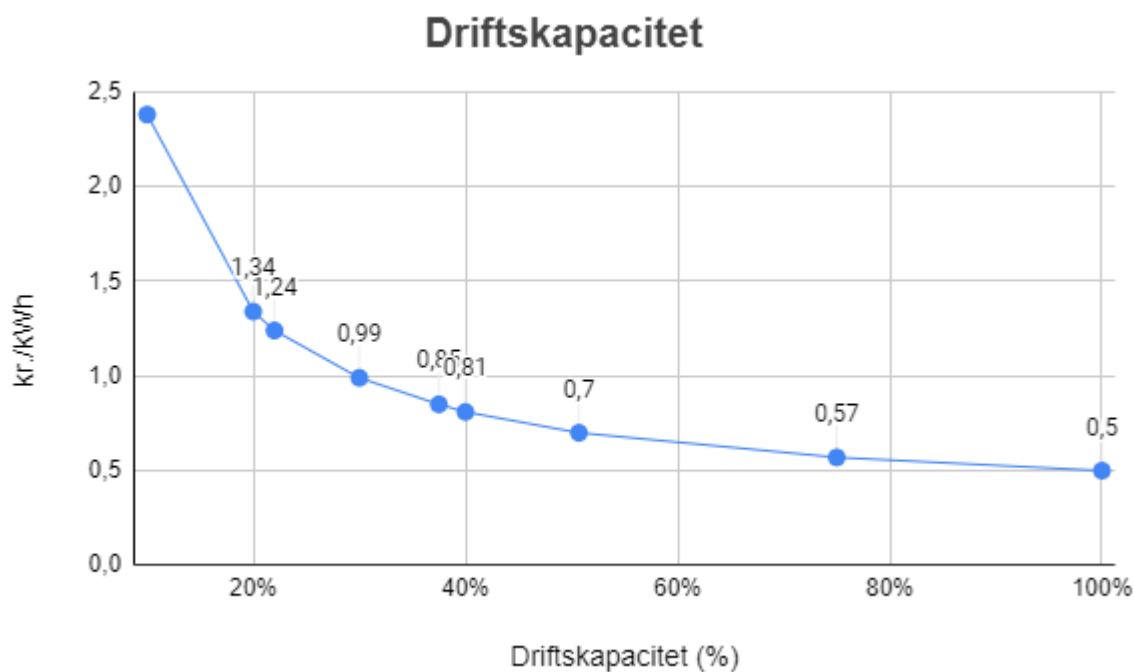
Ovenstående graf viser en lineær påvirkning af produktionsprisen på brint, hvor brintpriserne stiger stabilt som følge af højere elpriser. Ved *lower cost* fra Teknologikataloget, 2021, på €500.000/MW vil brinten koste 0,51 kr/kWh, ved gennemsnittet på €750.000 vil brinten koste 0,63 kr/kWh og ved *upper cost* på €1.400.000 vil den koste 0,92 kr/kWh.

Anlægsomkostningerne udgør en stor procentuel del af de samlede omkostninger i mindre anlæg som H2RES, hvorfor ændringer i anlægsomkostningerne påvirker brintprisen som den gør. Dette er dog også afhængigt af driftskapaciteten, hvor anlægsøkonomien i et anlæg, der producerer brint 100% af tiden, ikke vil blive påvirket i lige så høj grad som et anlæg, der kører 37,5% af tiden, fordi anlægsomkostningerne er en lavere procentuel del af de samlede omkostninger.

Energistyrelsen skriver i deres Teknologikatalog, at de forventer anlægsprisen på et elektrolyseanlæg vil falde frem mod 2030. Det forventes, at prisen vil falde fra €750.000/MW til €570.000/MW i 2030, hvilket giver en brintpris på 0,54 kr/kWh med samme energieffektivitet. Hvis man også inkluderer den forventede øgede energieffektivitet i 2030, fra 62,2% til 68%, vil brinten koste 0,50 kr/kWh.

Driftskapaciteten

Driftskapaciteten er hvor stor en del af tiden anlægget er operationelt og er i stor grad bestemt af de energikilder, der benyttes til brintproduktionen. Den fulde driftskapacitet for et anlæg er maksimum 95% grundet vedligeholdelse, og undersøgelsen i dette scenarie tager udgangspunkt i en driftskapacitet på 37,5%. Som kort nævnt i afsnittet ovenfor om anlægsomkostningerne, har anlæggets driftskapacitet indflydelse på om anlægget er økonomisk rentabelt og hvor stor en andel af den samlede investering, der består af anlægsomkostninger.

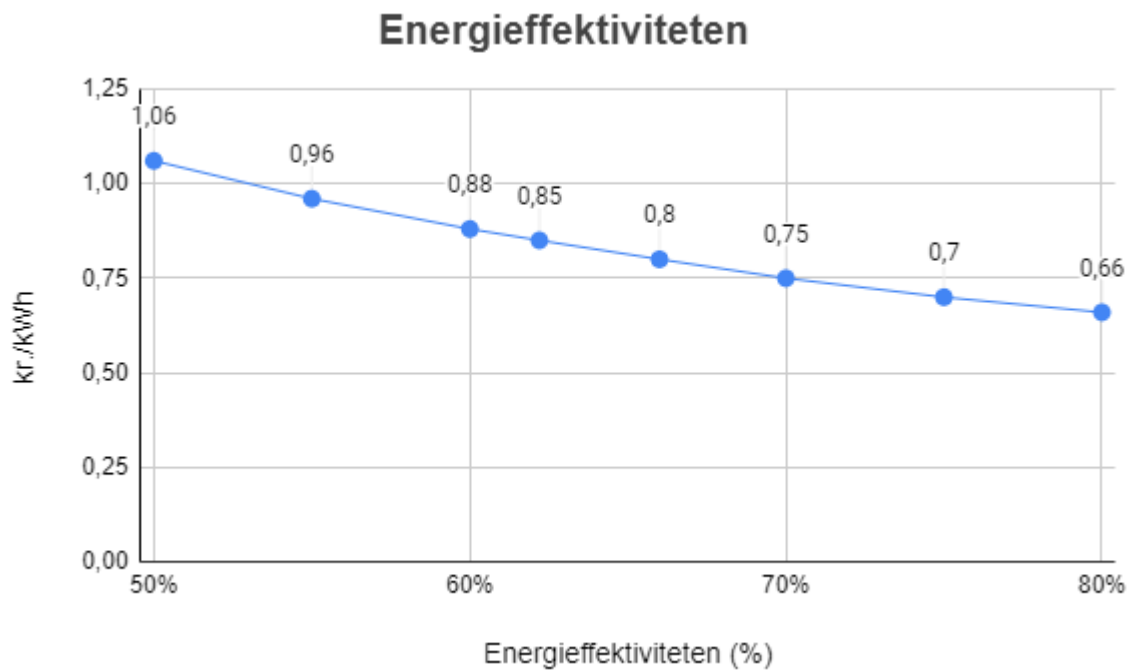


Figur 28: Sammenhængen mellem driftskapacitet og produktionsprisen af brint (Bilag 6).

På figur 28 ovenfor ses at driftskapaciteten har en relativ stor indflydelse på brintprisen, hvis driftskapaciteten er under 40% og især under 30%. Dette hænger netop sammen med den øgede procentuelle andel af anlægsomkostninger ift. en lavere driftskapacitet. Såfremt H2RES anlægget kunne have samme gunstige forhold som Energiøen, jvf. afsnit 5.1.1, med en driftskapacitet på 50,7%, ville produktionsprisen af brinten koste 0,70 kr/kWh. Med en driftskapacitet på 75% ville brinten koste 0,57 kr/kWh og med en driftskapacitet på 100%, af de 95% grundet vedligeholdelse mm., ville brinten koste 0,50 kr/kWh.

Ved en høj anlægsomkostning er det nødvendigt med en høj driftskapacitet for at opnå økonomisk rentabilitet.

Energieffektiviteten



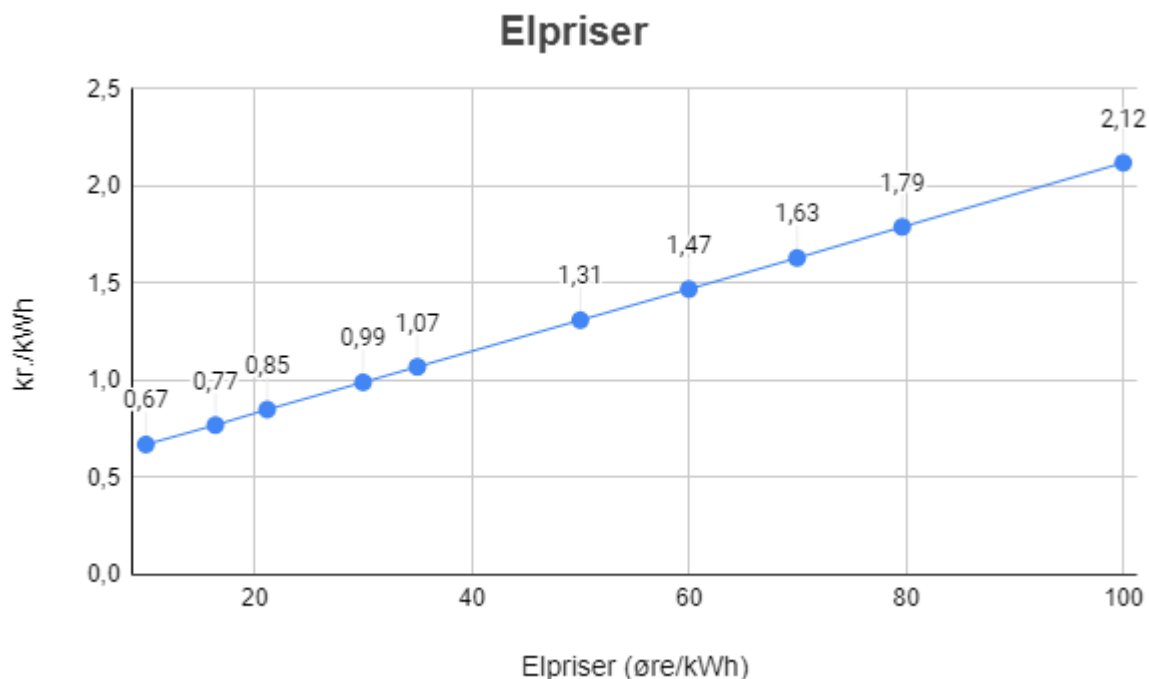
Figur 29: Sammenhængen mellem energieffektiviteten og produktionsprisen af brint (Bilag 6).

Med en virkningsgrad på 62,2% og en elpris på 0,21 kr/kWh er brintprisen, som vist ved eksemplet med H2RES scenariet, på 0,85 kr/kWh hvis der produceres grøn brint.

Hvis effektiviteten forhøjes fra de 62,1% til de forventede 66% til 68% ses det at produktionsprisen på brint falder til 0,8 kr/kWh (Energistyrelsen, 2021 C).

Ved at udnytte overskudsvarmen forhøjes energieffektiviteten ydermere.

Elpriser



Figur 30: Sammenhængen mellem elprisen og produktionsprisen af brint (Bilag 6).

I figuren ovenfor ses at priserne har en lineær påvirkning på brintprisen, dette skyldes at en stor del af udgifterne ved brintproduktionen er udgifter til el.

Ved produktion af grøn brint er prisen på el sat til 0,21 kr. i dette scenarie, dette skyldes at H2RES har egen elproduktion gennem vindmøller og derfor kan trække elafgifter fra.

Med en elpris på 10 øre vil brintprisen ligge på 0,67 kr/kWh, hvorimod en elpris på 21,17 øre får brintprisen til at ligge på 0,85 kr/kWh.

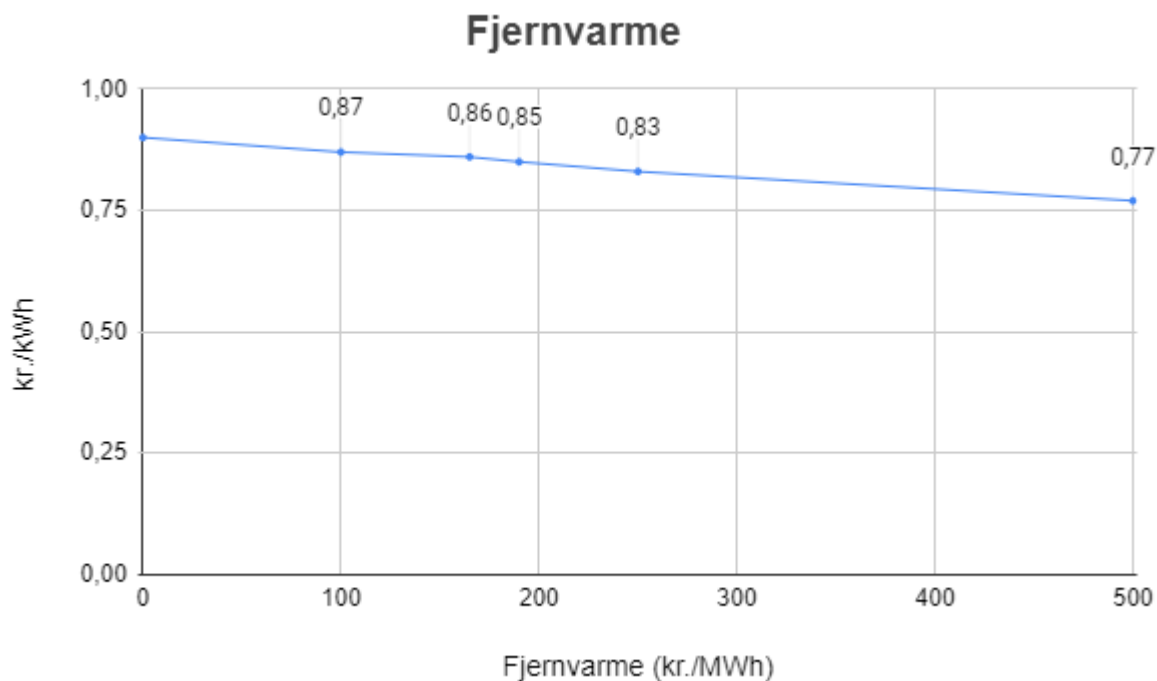
Disse priser er dog afhængige af driftskapaciteten, som i scenariet ligger på 37,5%.

Hvis anlæggets driftskapacitet sættes over de forventede 37,5% vil prisen på el altså ændre sig, da den indkøbte el ikke længere kommer fra vindmøller.

H2RES er et mindre anlæg som vil operere på lokalt niveau, derfor vil anlægget heller ikke, som enkeltstående anlæg, kunne benyttes som regulerkraft på samme måde som det senere beskrevne Energiøen scenariet. Hvis der oprettes flere mindre anlæg som H2RES, ville de kunne benyttes som regulerkraft. Her er det altafgørende at disse anlæg kun kører når der er lavpris-el, i dette tilfælde vil den lave pris på el afspejle den overskuds-el der er i nettet.

Fjernvarme

I dette scenarie er det muligt at sælge den overskudsvarme som produceres af elektrolyseanlægget, og dermed få endnu en indtægt. Nedenfor ses en graf der viser prisen på brinten alt efter hvor meget varmen sælges til.

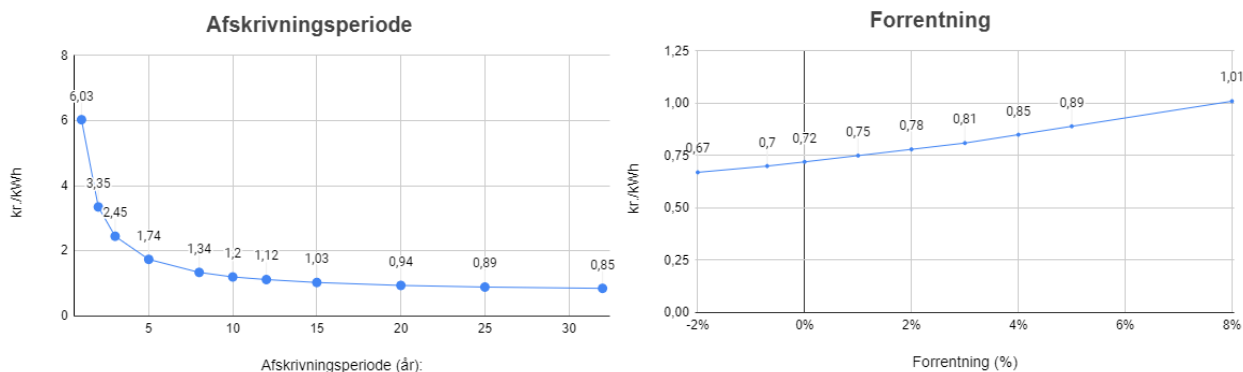


Figur 31: Sammenhængen mellem fjernvarmeprisen og produktionsprisen af brint (Bilag 6).

På figur 26 ses det at salg af varme er sat til en pris på 190 kr/MWh, dette er den mest realistiske pris overskudsvarmen kan forventes at sælge til. Hvis priserne skulle stige, og overskudsvarmen kan sælges dyrere, vil produktionsprisen på grøn brint kunne komme ned i pris, denne sammenhæng ses på figur 31 ovenfor.

Produktion af overskudsvarmen fra anlægget forventes at falde i takt med at energieffektiviteten stiger, men der vil altid være et mindre tab gennem varmeproduktion og det er derfor vigtigt at anvende for at øge anlæggets effektivitet.

Afskrivningsperiode og Forrentning



Figur 32: Sammenhængen mellem afskrivningsperiode og produktionsprisen af brint (Bilag 6).

Figur 33: Sammenhængen mellem forrentning og produktionsprisen af brint (Bilag 6).

Afskrivningsperioden for et anlæg der producerer grøn brint er sat til 32 år i dette scenarie, dette skyldes at anlæggets forventede levetid er 32,4 år. Som det ses på figur 32 påvirkes produktionsprisen i mindre grad af afskrivningsperioden når denne er over fem år.

Afskrivningsperioden vil altså have den største effekt på prisen når den er under fem år, herefter bliver påvirkningen lavere fra år til år, i en mere lineær udvikling. Afskrivningsperioden sættes så højt som muligt for at opnå den lavest mulige produktionspris på brint.

Forrentningen vil påvirke produktionsprisen, men mere lineært end afskrivningsperioden.

Ydermere vil forrentningen på et mindre PtX-anlæg, som H2RES påvirke prisen i højere grad end på et stort anlæg som ved eksemplet med Energiøen scenarie som ses i afsnit 5.1.2.

Forrentningen kan være afgørende for hvem der har mulighed for at opføre et anlæg.

En høj forrentning vil kunne lede til et ønske om lavere afskrivningsperioder for at minimere de samlede omkostninger. Renterne udgør, i dette scenarie, en procentuelt større del af udgifterne end ved scenariet med Energiøen.

5.1.2 Energiøen massebalance

Dette scenarie er det mest sandsynlige og her antages det at:

- Der skal føres rør til fastlandet, da brintproduktionen foregår på øen.
 - Der er ingen indtjening på salg af varme
- Anlægsprisen er på 1.25 mio. kr/MWh (Bilag 4).
- Elprisen er 18,62 øre, hvis der kun bruges selvproduceret el (Nord Pool, 2021).
 - Dette producerer grøn brint.
- Ved produktion af grå brint kører anlægget 95% af tiden og ved produktion af grøn brint kører anlægget 50,7% af tiden (Energistyrelsen, 2021 B).
 - Driftstiden er på maksimum 95% da det antages at de sidste 5% af tiden bruges på vedligeholdelse mm.
- Det antages, at der vil være fuld refusion af afgifter ved fuld leverance over nettet (Forsyningstilsynet, 2021). EU har dog én elafgift på 0,4 øre som ikke refunderes. Nedenfor ses de refunderede afgifter:
 - PSO-tarif
 - Elafgift
 - Moms

Manglende salg af varme og udgift til rørføring er antaget, fordi brintproduktionen i dette scenarie ligger på Energiøen, frem for ved en indfødningszone på fastlandet (Bilag 3.2).

Energjøens budget ved 100% og 50,7% drift.					
Antagelse: Fuld leverance over nettet (refusion af afgifter).					
	Køre 100% af tiden og betragtes som grå brint.	Køre 50,7% af tiden og betragtes som grøn brint.			[1]
Anlægsøkonomi:					
Anlægsøkonomien er baseret på HyProvide Serie X anlæg fra GHS. [2]					
AEC - Alkaline Electrolyser					
Størrelse:	3.000	3.000	MWe	66,0%	energieffektivitet (LHV) [3]
Virkningsgrad (2020-tal):	66%	66%	brint udbytte	18,4%	varme [4]
Rørføring:	420	420	mio. kr.	100	km. rør [5]
Anlægsomkostninger:	16.368	16.368	mio. kr.	733.333	€/MWe [6]
Anlægsomkostninger i alt:	5,6	5,6	mio. kr for hver 1 MWe		
Driftsomkostninger:	9.989	5.064	kr./MWh installeret kapacitet p.a. i levetiden		[7]
Max. kapacitetsudnyttelse:	8.322	8.322	timer/år	95%	Rådighedsf. [8]
Udnyttelse af kapaciteten i %:	100%	50,7%			
Faktisk kapacitetsudnyttelse:	8.322	4.219,3	timer/driftsår		
Antaget anlægsstørrelse:	3.000	3.000	MWe		
Forventet elpris:	0,70	0,19	kr/kWh		[9][10]
Driftsbudget					
Driftsomkostninger:	Enheder:			Omkostninger:	
Råvareforbrug (el):	24.966.000	12.657.762	MWh	17.468,7	2.356,6 mio. kr.
Priser, Vedligehold, faste:	120.032	120.032	kr pr. MW	360,1	360,1 mio. kr.
Priser, Vedligehold, variable:	0	0	mio. Kr/MW	0	0 mio. kr.
Anlægsomkostninger:					
Anlæg & Afskriv.+rente:	16.788	16.788	mio kr	1.788,8	1.130,0 mio. kr.
- Levetid på anlæg:	12,02	23,70	år		[11]
- Afskrivningsperiode:	12	23	år		
- Forrentning:	4,0%	4,0%	p.a.		
Samlede omkostninger:				19.617,6	3.846,7 mio. kr.
Indtægter fra varmesalg:					
Varmeproduktion:	4.593.744	2.329.028	MWh.	0,00	0,00 mio. kr.
Salg af varme:	0	0	kr/MWh		
Brintproduktion	16.477.560	8.354.123	MWh.		
Forventet pris pr. kWh brint:				1,19	0,46 kr/kWh
Kilder					
[1] Energistyrelsen, 2021: <i>Stamdataregister for vindkraftanlæg.</i>					
[2] Bilag 4 HyProvide Serie X anlægget er under udvikling, så dataen er behæftet med usikkerheder.					
[3] Bilag 4 og Energistyrelsen, 2021 C: <i>Technology Data. Renewable Fuels.</i>					
[4] Energistyrelsen, 2021 C: <i>Technology Data. Renewable Fuels.</i>					
[5] Energinet, 2020: <i>Nye vinde til brint, PtX strategisk handlingsplan.</i>					
[6] Pris-estimat ud fra Bilag 4 og Energistyrelsen, 2021 C. <i>Technology Data. Renewable Fuels.</i>					
[7] Energistyrelsen, 2021 C: <i>Technology Data. Renewable Fuels.</i>					
[8] Energistyrelsen, 2021 B: <i>Stamdataregister for vindkraftanlæg.</i>					
[9] Forsyningstilsynet, 2021: <i>Prisstatistik 1. kv. 2021.</i>					
[10] Nord Pool, 2021: <i>Day ahead prices.</i>					
[11] Energistyrelsen, 2021 C: <i>Technology Data. Renewable Fuels.</i>					

Figur 34: Massebalance analyse for elektrolyseanlægget på Energjøen (Bilag 7).

Af massebalance analysen ovenfor ses det at den grå brint har en produktionspris på 1,19 kr/kWh og den grønne brint har en pris på 0,46 kr/kWh. Denne prisforskel skyldes i høj grad forskellene i elpriserne, men også forhold som eltariffer og afgifter, der skal betales når dele af strømmen kommer fra nettet, hvilke er tilfældet ved den grå brint. Et anlæg har en forventet driftslevetid på 100.000 timer, og levetiden angivet i år afhænger altså af hvor mange timer i døgnet anlægget kører.

Med en produktionspris på 0,46 kr/kWh vil et elektrolyseanlæg have en tilbagebetalingstid på 23 år, og der tjenes ikke mange penge på anlægget, når anlægget har en forventet levetid på 23,7 år. Tilbagebetalingstiden sættes så højt som muligt for at opnå den lavest mulige produktionspris på brint. Den grønne brint er produceret 100% på VE og er altså helt CO₂-neutral, hvorimod den grå brint er produceret med elektricitet fra elnettet som består af både VE og fossile brændsler, og

derfor har det grå brint et CO₂ aftryk på 9 kg CO₂e/kg brint, se figur 23, afsnit 4.3.4. Hvis det antages at alt den grønne brint bliver aftaget og erstatter grå brint vil CO₂-reduktionen ligge på 2.257.871,08 ton CO₂ årligt, hvilket er 4,8% af den danske årlige udledning (Energistyrelsen, 2020 A).

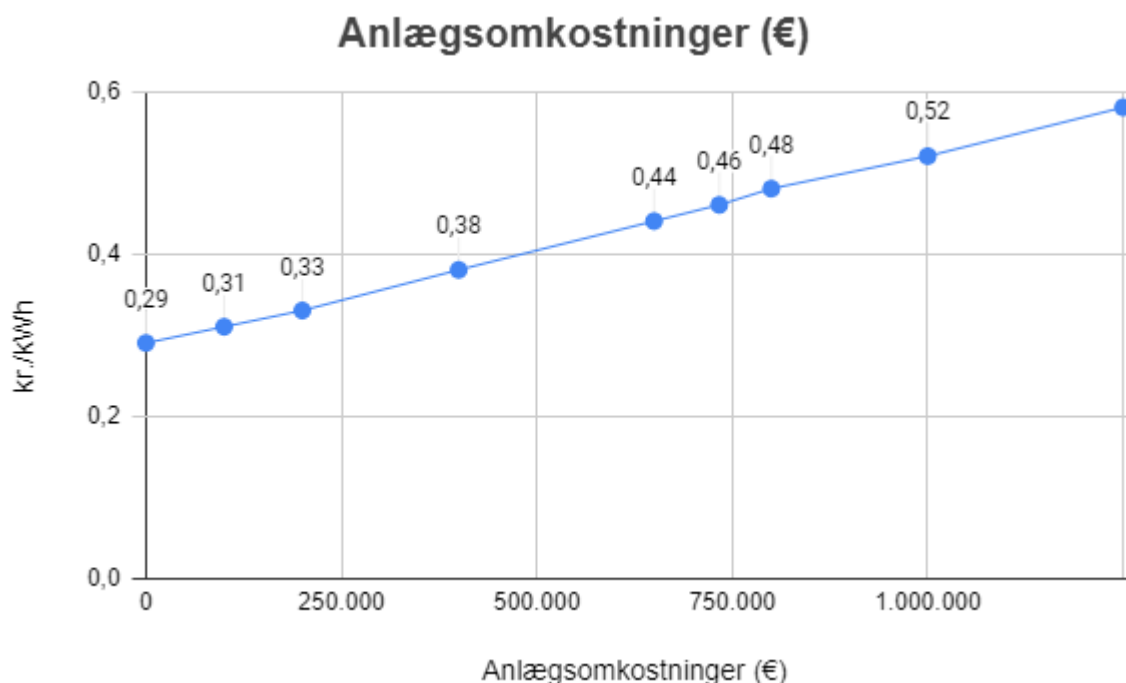
Hvis man sammenligner udledningen fra grøn brint med udledningen fra naturgas, vil der årligt blive sparet 51.132,34 CO₂e/kg (CeDEPI, u.å.).

Hvis dieselolie bliver erstattet med grøn brint, vil der årligt være en besparelse på 66.421,92 CO₂e/kg (Ibid.).

For at undersøge hvilke faktorer der især påvirker anlægsøkonomien er der nedenfor opstillet en række eksempler. Disse vil vise hvor der især er mulighed for at forbedre anlæggets økonomiske rentabilitet.

Anlægsomkostninger

I Teknologikataloget står anlægsomkostningerne til at være €400.000–€800.000 for et anlæg på 100 MW, men da der benyttes anlæg fra GHS, HyProvide Serie X i dette scenarie, er der valgt en pris på €733.333. Dette tal er omregnet fra GHS' egne tal ift. deres 1 MW anlæg, så de procentuelt er det samme ift. *lower* og *upper cost* i Teknologikataloget for 100 MW anlæg (Energistyrelsen, 2021 C & Bilag 4).



Figur 35: Sammenhængen mellem anlægsomkostninger og produktionsprisen af brint (Bilag 8).

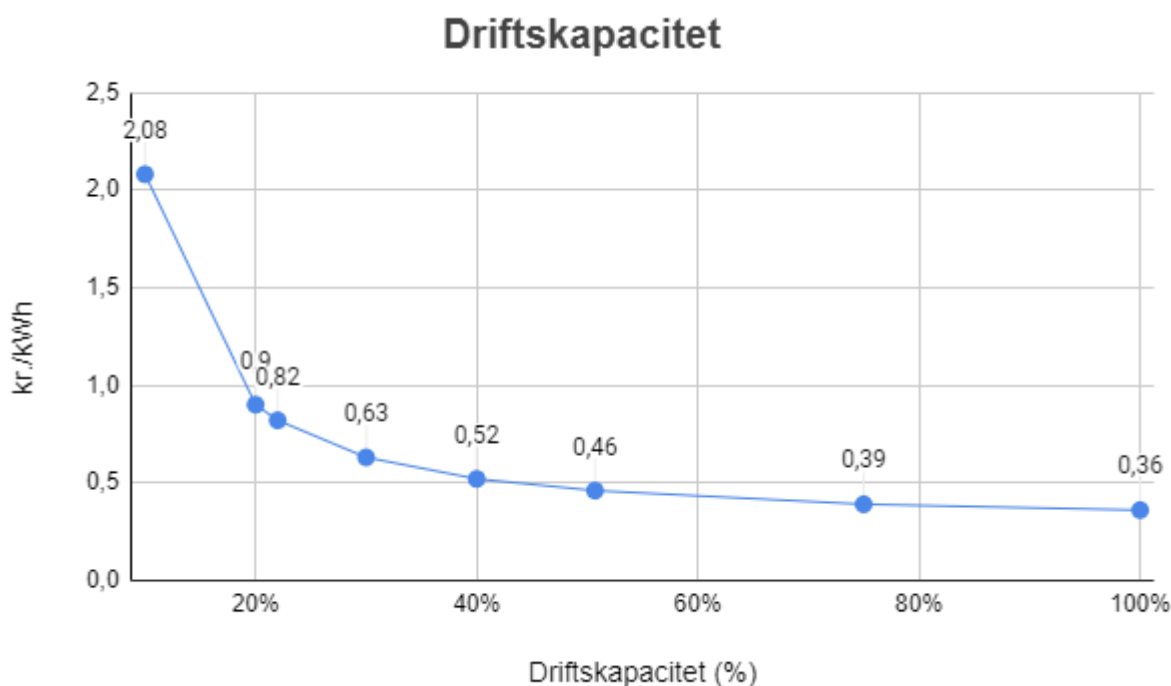
Som det ses ovenfor af figur 35 har anlægsomkostningerne en lineær påvirkning på produktionsprisen. Det ses, at der fra *lower cost* på €400.000/MW og til *upper cost* på €800.000/MW vil være en forskel på brintprisen fra 0,38 til 0,48 kr/kWh, og for den gennemsnitlige anlægsomkostning på €650.000/MW vil brinten koste 0,44 kr/kWh.

Anlægsomkostningerne har en lavere effekt på brintprisen, jo højere driftskapaciteten er. Dette skyldes, at anlægsomkostningerne procentuelt bliver mindre ift. driftskapaciteten og de samlede udgifter.

Energistyrelsen skriver i Teknologikataloget, at det forventes at anlægsprisen på et elektrolyseanlæg vil falde frem mod 2030. Her forventes en prisreduktion med 30,8%, fra €650.000/MW til €450.000/MW, hvilket vil give en brintpris på 0,39 kr/kWh med en driftskapacitet på 50,7%. Hvis man også inkluderer den øgede energieffektivitet i 2030, fra 62,2% til 68%, vil brintens produktionspris falde til 0,38 kr/kWh (Energistyrelsen, 2021 C).

Driftskapaciteten

Undersøgelsen i dette scenarie tager udgangspunkt i en driftskapacitet på 50,7%, da dette er driftskapaciteten for vindmøllerne i Horns Rev 2, der producerer energi til elektrolysen på Energiøen. Anlæggets størrelse har indflydelse på hvor store driftsomkostningerne er, jo større anlægget er, jo mere overvurderet bliver driftsomkostningerne grundet storskala fordele.



Figur 36: Sammenhængen mellem driftskapacitet og produktionsprisen af brint (Bilag 8).

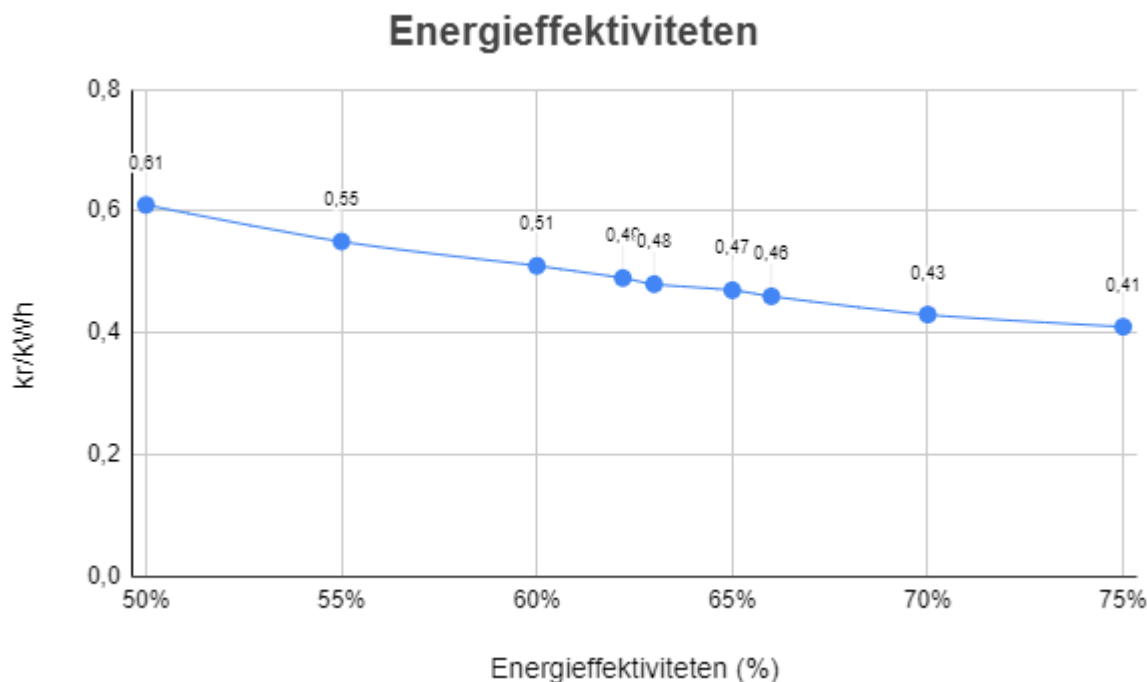
Som det ses på grafen i figur 36 har driftskapaciteten en stor effekt på brintprisen med eksponentiel aftagende udvikling. Ved en driftskapacitet over 40% ses en faldende prisreduktion for brint, og en mindre stigning der finder over 40% vil derfor have mindre indflydelse på brintprisen i dette scenarie. Ved 20% driftskapacitet koster brinten 0,90 kr/kWh, ved 40% er prisen 0,52 kr/kWh og ved 50,7% er prisen 0,46 kr/kWh.

Driftskapaciteten og anlægsomkostningerne hænger sammen og er afgørende for anlægsøkonomien. Ved en høj anlægsomkostning er det nødvendigt med en høj driftskapacitet for at opnå økonomisk rentabilitet.

Energieffektiviteten

Energieffektiviteten på PtX-anlægget påvirker produktionsprisen, da brintens pris især afhænger af elpriserne dette ses i figur 37.

Figuren viser hvordan en lavere effektivitetsgrad på anlægget vil få prisen på brint til at stige.



Figur 37: Sammenhængen mellem energieffektiviteten og produktionsprisen af brint (Bilag 8).

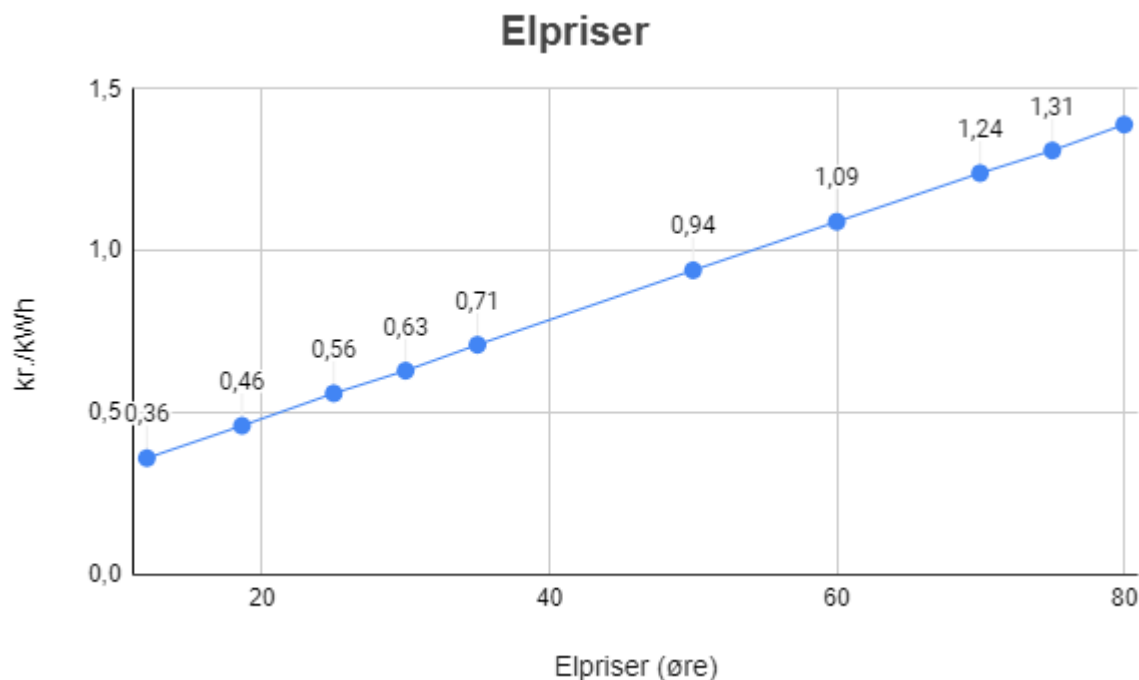
Som det ses, vil en effektivitet på de forventede 66%, og med en elpris på 18,6 øre/kWh, ende på 0,46 kr/kWh. Hvorimod en energieffektivitet på 50% vil give en pris på 0,61 kr/kWh.

En del af det tab der findes i processen, er produktion af varme, hvorfor det også ses at varmeproduktion og salg indgår i eksemplerne. Salg af varme er ikke muligt ved eksemplet.

Det er forventet at energieffektiviteten vil stige i takt med at teknologien bliver udviklet, i Teknologikataloget skriver Energistyrelsen at den forventede udvikling frem til 2030 er en reduktion i varmetab fra det nuværende tab på 21,4% ned til 19,6% (Energistyrelsen, 2021 C).

Elpriser

I dette scenarie er der blevet benyttet en elpris på 18,6 øre/kWh, da det svarer til gennemsnitsprisen på årsbasis for DK1, Vestdanmark (Nord Pool, 2021).



Figur 38: Sammenhængen mellem elpriser og produktionsprisen af brint (Bilag 8).

I figur 38 ses det, at elprisen er en forholdsvis stor andel af de samlede udgifter grundet den relativt store stigning i produktionsprisen, når elprisen stiger. I scenariet er elprisen sat til 18,62 øre/kWh, hvilket giver en produktionspris på 0,46 kr/kWh. Med en elpris på 12 øre/kWh vil brinten koste 0,36 kr/kWh, med en elpris på 30 øre/kWh vil brinten koste 0,63 kr/kWh og med en elpris på 69,97 øre/kWh, som pt. er salgsprisen ekskl. moms, PSO-afgift og elafgift i Vestdanmark, vil brinten koste 1,24 kr/kWh. Disse tal forudsætter dog, at det er den samme driftskapacitet, hvilket ikke altid er muligt. F.eks. er det ikke muligt at købe strøm til 12 øre/kWh i gennemsnit fra markedet, hvis man har en driftskapacitet på 50,7%.

I Danmark er VE-produktionen fluktuerende da den hovedsageligt består af vind og solenergi og pga. disse fluktuationer kan der i perioder være enten over- eller underproduktion ift. til det danske forbrug.

Når der er overskydende produktion af VE i systemet, vil prisen på el falde og det kan derfor antages, at hvis prisen er lav kommer en stor del af energien fra VE.

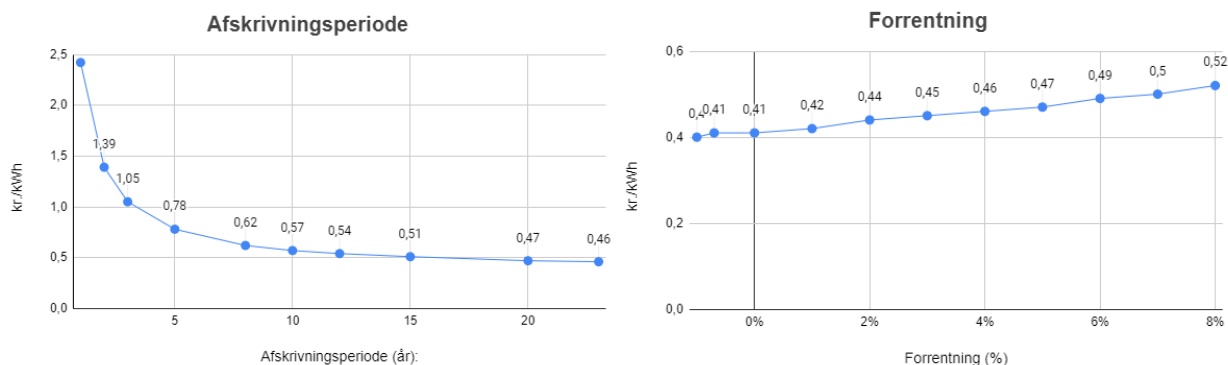
I disse perioder kan det være fordelagtigt at benytte den overskydende el til at producere brint og på den måde bruge PtX-teknologien som regulerkraft i det danske energisystem.

For at benytte PtX-teknologien som regulerkraft forudsættes det, at der ikke betales nogen afgifter. Figur 39 nedenfor viser to eksempler på produktionsprisen for brint, hvor PtX benyttes som regulerkraft.

Udnyttelse af driftskapaciteten sammenlagt med elprisen			
	Gns af øre/kWh	Driftskapacitet	kr./kWh
Under 15 øre	12 øre	20%	0,63
Under 25 øre	16,4 øre	22%	0,66

Figur 39: Udnyttelse af driftskapaciteten sammenlagt med elprisen (Kjær, 2021: Bilag 8).

Afskrivningsperiode og forrentning



Figur 40: Sammenhængen mellem afskrivningsperioden og produktionsprisen af brint (Bilag 8).

Figur 41: Sammenhængen mellem forrentningen og produktionsprisen af brint (Bilag 8).

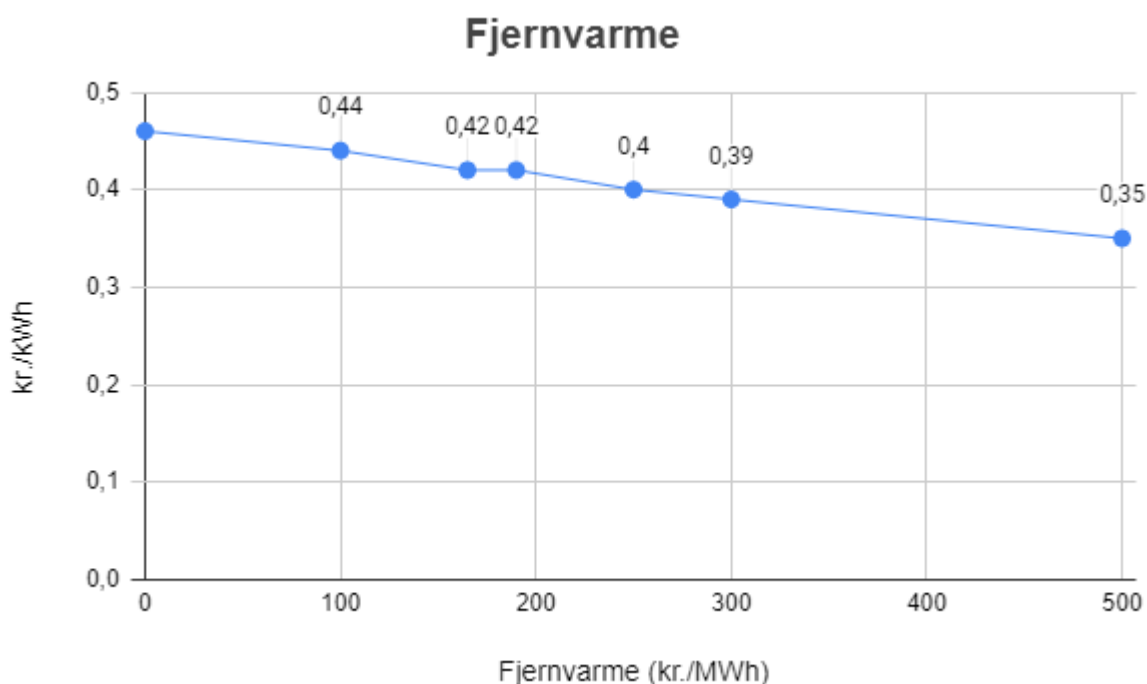
Afskrivningsperioden for et anlæg, der producerer grøn brint, er sat til 23 år i Energiøen scenariet. Dette skyldes, at anlæggets forventede levetid er 23,7 år, jo længere afskrivningsperioden er, jo mindre bliver prisen på brint, dette fremgår af figur 40 ovenfor, hvor det ses at en afskrivningsperiode på fem år vil give en slutpris på 0,78 kr/kWh, frem for de 0,46 kr/kWh ved en afskrivningsperiode på 23 år. Forrentningen vil ligeledes kunne påvirke slutprisen, her ses dog af figur 41, en mere lineær stigning i prisen, hvis renteprocenten stiger. Pga. projektets størrelse vil forrentningen af Energiøen have en mindre indflydelse for produktionsprisen i samme grad som ved mindre projekter, da de samlede omkostninger til forrentning reduceres procentuelt i de samlede udgifter.

Energiøen med fjernvarme

I et cirkulært perspektiv er det vigtigt at udnytte alle ressourcer som er tilgængelige, ift. til PtX-teknologien handler dette blandt andet om at udnytte overskudsvarmen, da denne ellers vil være tabt energi.

Hvis overskudsvarmen fra Energiøen skal udnyttes betyder det at selve PtX-anlægget skal ligge på land, hvor varmen kan afsættes til fjernvarmenettet eller hvor der kan laves en lokal symbiose med andre aftagere. Hvis dette er tilfældet, er det ikke nødvendigt at lave rørføring til anlægget, da anlægget vil kunne kobles på den eksisterende fjernvarmeinfrastruktur. Dette vil give en mindre besparelse på anlægsomkostningerne samt en indtjening på salg af varmen.

Med disse ændringer vil produktionsprisen alt efter varmeprisen ligge på:



Figur 42: Sammenhængen mellem fjernvarmeprisen og produktionsprisen af brint (Bilag 8).

Fjernvarmeprisen ligger normalvis omkring 165-195 kr/MWh og som det ses ovenfor i figur 42 har varmesalget kun en mindre indflydelse på brintprisen, når prisen ligger indenfor dette interval (VEKS, 2020). Det ses at prisen på overskudsvarmen skal stige markant, hvis salg til fjernvarmenettet skal trække produktionsprisen ned hvor den kan konkurrere med andre energikilder.

5.1.3 Sammenligning af de to anlæg og miljømæssige forhold

Ved H2RES scenariet er den forventede produktionspris på grå og grøn brint følgende:

Forventet pris pr. kWh brint:					1,54	0,85 kr/kWh
-------------------------------	--	--	--	--	------	-------------

Ved Energiøen scenariet er den forventede produktionspris på grå og grøn brint følgende:

Forventet pris pr. kWh brint:					1,19	0,46 kr/kWh
-------------------------------	--	--	--	--	------	-------------

Her ses det at grøn brint produceret på Energiøens anlæg, vil være billigere end brinten på H2RES anlægget.

Ift. det miljømæssige perspektiv vil brugen af grøn brint frem for naturgas reducere drivhusgasudledningerne med:

831,6 ton CO₂e i H2RES scenariet.

1.704.241,1 ton CO₂e i Energiøen scenariet, hvilket svarer til 3,6% af Danmarks samlede drivhusgasudledninger.

Af de to scenarier ses det, at der er en række muligheder og barrierer ved begge typer anlæg. Ved H2RES scenariet ses det, at anlægsomkostningerne og driftskapaciteten vil have en relativ større indvirkning på produktionsprisen grundet den større procentuelle andel af

anlægsomkostningerne ved en lavere driftskapacitet ift. de samlede omkostninger. Det modsatte ses i Energiøen scenariet, hvor anlægsomkostningerne ikke har lige så stor indflydelse på den endelige produktionspris, grundet den lavere procentuelle andel af de samlede omkostninger. I dette scenarie vil elprisen være den mest afgørende faktor for produktionsprisen, primært fordi Energiøen har en højere driftskapacitet end H2RES. Det ses også, at udnyttelsen af overskudsvarmen er bedre ved H2RES eksemplet frem for ved storskala driften på Energiøen scenariet og er dermed mere cirkulær og miljømæssig rentabel.

Prisforskellen fra H2RES til Energiøen skyldes især placeringen, da Energiøen vil have vindenergi i flere timer i døgnet end H2RES, og dermed en højere driftskapacitet. Hvis H2RES havde Energiøens placering, og dermed samme høje driftskapacitet, ville produktionsprisen hos H2RES, med en elpris på 18,62 øre, være følgende:

Forventet pris pr. kWh brint:				1,42	0,50 kr/kWh
-------------------------------	--	--	--	------	-------------

Eksemplet ovenfor er med H2RES' nuværende energieffektivitet på 62,2%, hvis anlægget havde samme energieffektivitet som Energiøen vil produktionsprisen ligge på 0,47 kr/kWh.

Energiøen scenariet har ydermere en række storskala fordele der gør, at prisen på den grønne brint er lavere og derudover kan Energiøen, pga. anlæggets størrelse, bruges som regulerkraft i et energisystem med fluktuerende energiproduktion. Hvis dette skal lade sig gøre stiger prisen på brint som følgende:

Hvis lavpris-el indkøbes til 15 øre eller derunder:

Forventet pris pr. kWh brint:					0,63 kr/kWh
-------------------------------	--	--	--	--	-------------

Hvis lavpris-el indkøbes til 25 øre eller derunder:

Forventet pris pr. kWh brint:					0,66 kr/kWh
-------------------------------	--	--	--	--	-------------

Hvis man benytter PtX som regulerkraft, og derfor producerer en mindre mængde brint, vil reduktionen af drivhusgasudledningen være mindre. Hvis der kun købes lavpris-el til under 15 øre, i gennemsnit 12 øre, vil reduktionen være:

443,5 tons CO₂e i H2RES scenariet.

662.284,4 tons CO₂e i Energiøen scenariet, hvilket svarer til 1,42% af Danmarks samlede drivhusgasudledninger.

Hvis der kun købes lavpris-el til under 25 øre, i gennemsnit 16,4 øre, vil reduktionen være:

487,8 tons CO₂e i H2RES scenariet.

739.512,9 tons CO₂e i Energiøen scenariet, hvilket svarer til 1,58% af Danmarks samlede drivhusgasudledninger.

Reduktionerne skal ses i sammenhæng med Danmarks nuværende udledning, som i 2020 lå på 46.700.000 ton CO₂e og her ses det, at de reduktioner Energiøen scenariet, med en driftskapacitet på 50,7%, alene kan stå for at udgøre 3,6%, og ifølge Dansk Energi, se figur 3, s. 7, er det over de 3% som er nødvendig for at opnå den nationale 2030-målsætning (Energistyrelsen, 2020 A).

5.2 Delkonklusion 2

Hvis anlæggene i de to scenarier ikke bruges som regulerkraft, men blot producerer grøn brint billigst mulig, vil det være nødvendigt med en støtte på hhv. 0,70 kr/kWh hos H2RES og 0,31 kr/kWh hos Energiøen for at gøre produktionsprisen på brint konkurrencedygtig med naturgas, som er den billigste fossile brændsel brinten skal udfase.

Hvis Energiøen bruges som regulerkraft vil den nødvendige støtte ligge på 0,51 kr/kWh, pga. den forhøjede produktionspris. Den økonomiske rentabilitet af PtX-teknologien anskuet i de to forskellige massebalance scenarier er derfor afhængig af støtte.

I et cirkulært perspektiv vil udnyttelsen af overskudsvarmen fra PtX-teknologien være nødvendig for at gøre den mere miljømæssig rentabel. Udnyttelsen af overskudsvarmen har en mindre indflydelse på anlæggets økonomiske rentabilitet i de to scenarier, dette diskuteres i afsnit 7.3. Udover udnyttelsen af overskudsvarmen har begge scenarier også mulighed for at bidrage til reduktion af drivhusgasudledning, hvilket også skal medtages i anlæggenes miljømæssige rentabilitet.

Samlet set betyder det at hverken Energiøen eller H2RES vil være økonomisk rentable uden støtte, men at begge anlæg vil kunne bidrage til Danmarks målsætninger om en reduktion i drivhusgasudledning.

6. Aktørernes indflydelse på Power-to-X

Følgende kapitel udgør rapportens anden delanalyse, hvor det teoretiske udgangspunkt i Multilevel Governance aktiveres i en aktøranalyse. Analysen vil primært fokusere på de tidligere redegjorte aktører i det politiske og industrielle regime med henblik på at undersøge, hvordan de forskellige aktører involveret i udviklingen af PtX i Danmark arbejder og kommunikere individuelt og med hinanden. MLG-analysen suppleres af socioteknisk systemteori, hvor PtX som nicheteknologi analyseres.

6.1 Multilevel Governance struktur

I kapitel 4 afsnit 4.2.1 blev flere forskellige aktører med PtX redegjort for. Disse aktører arbejder ikke selvstændigt, men samarbejder indbyrdes og på tværs af governance-niveauer. For at opnå et helhedsperspektiv af aktørerne i den multilevel governance struktur der gør sig gældende i Danmark, så opsættes en hierarkisk multilevel governance figur i dette afsnit. Figuren afspejler strukturer, der er dynamiske og for at give et mere dynamisk indblik i aktørkortlægningen efterfølges figuren af en uddybende analytisk tekst, hvor rapportens interviewpersoner inddrages.

Med udgangspunkt i rapportens teoretiske perspektiv på Multilevel Governance kan de forskellige aktører indeles efter tre forskellige governance-niveauer; overnationalt, nationalt og lokalt governance (Jänicke, 2015). I kraft af Danmarks medlemskab af EU, fremgår denne aktør i toppen af hierarkiet som udgør det overnationale niveau. EU er med til at sætte en fælles retning for klimadagsordenen i medlemslandene, men er ikke styrende for en dagsorden for PtX i Danmark. Dog kan EU agere som vidensplatform og støttefond for udviklingen af PtX på tværs af landegrænser og er derfor stadig en vigtig aktør at medtage i rapportens undersøgelser (Ibid.). Dette forsøger EU allerede at gøre i kraft af European Clean Hydrogen Alliance, herefter EU's brintalliance, som er en alliance med henblik på at mobilisere industri, investorer og interessenter. Alliancen har EU etableret i forbindelse med deres Brintstrategi vedtaget i juli 2020. Danmark blev medlem af Brintalliancen i september 2020 (European Clean Hydrogen Alliance, u.å.).

På det nationale niveau er den øverste aktør i det hierarkiske system den danske stat. Staten udgøres af den siddende regering samt Folketinget, som styrer den nationale klimadagsorden på baggrund af nuværende klimalovgivning og energistrategier. Den danske stats klimadagsorden udarbejdes delvist og udmøntes af det underliggende Klima- Energi- og Forsyningsministeriet. Det danske energisystem ejes og styres delvist af den selvstændige offentligt ejede virksomhed Energinet, der som tidligere redegjort for er ansvarlig for el- og gasnettet. Energinet er underlagt Klima- Energi- og Forsyningsministeriet som det ses af figur 43 på det nationale governance-niveau.

Rapportens undersøgelser af litteratur har kortlagt det offentligt ejede gasselskab Evida, der i dag er det eneste gasselskab i Danmark som resultat af en sammenlægning af flere tidligere private gasselskaber. Evida er derfor også placeret på det nationale governance-niveau underlagt Finansministeriet.

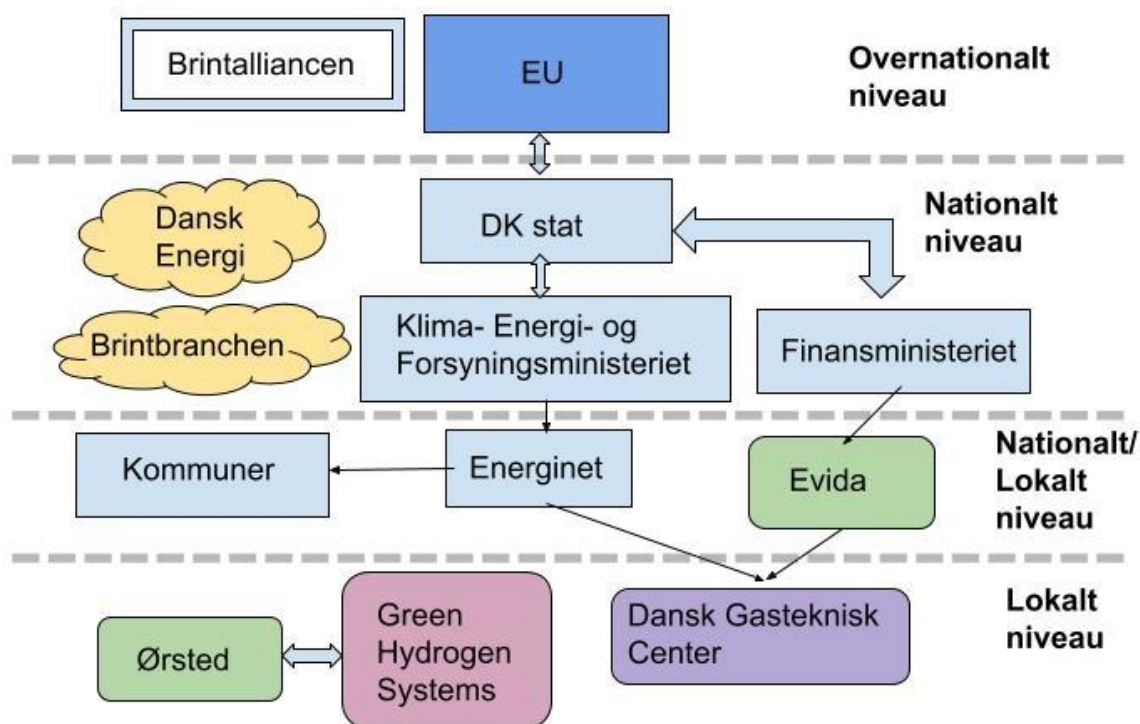
Dansk Gasteknisk Center er som tidligere nævnt ejet af Evida og Energinet, og selskabet er derfor underlagt disse to aktører i figur 43. Selskabet er indirekte offentligt ejet, men agerer på

markedsvilkår og er derfor en aktør på det lokale governance-niveau på trods af ejerskab fra det nationale governance-niveau (Jänicke, 2015).

I venstre side af figuren ses kommuner nævnt, som der ikke tidligere er redegjort for. Årsagen til at kommuner som aktør er blevet kortlagt i MLG-figuren er, at kommuner i flere tilfælde har mulighed for at agere som facilitator og understøttende aktør i projekter vedrørende det lokale forsyningsområde. Kommuner er en aktør som på trods af og på grund af deres offentlige virke placeret på det lokale governance-niveau (Ibid.).

Placeret på det lokale governance-niveau under kommunerne er Ørsted. Ørsted agerer styringsmæssigt på det lokale governance-niveau, men er på grund af deres mange aktiviteter i governance-feltet, bl.a. samarbejde med Dansk Energi og Brintbranchen, og rolle i det danske energisystem, en aktør med mulighed for indflydelse på energisystemets udvikling, også set ud fra et nationalt perspektiv. Ørsted samarbejder med mange andre virksomheder på det lokale governance-niveau, bl.a. Green Hydrogen Systems.

De to gule aktører i figur 43, Dansk Energi og Brintbranchen, er placeret frit fra de resterende governance aktører. Denne placering skal ikke forstås som at disse aktører ikke kommunikerer eller samarbejder med de resterende aktører, tværtimod. Årsagen er, at deres eksistensgrundlag adskiller sig markant fordi de begge er interesse- og erhvervsorganisationer. Dansk Energi er en bredere organisation med flere medlemmer, som har en stærk indflydelse på det nationale governance-niveau og den politiske cyklus. Brintbranchen er mere fokuseret, men har også en indflydelse på den politiske dagsorden som eksperter på deres område og repræsentant for branchen (Ibid.).



Figur 43: Multilevel Governance struktur for PtX med udgangspunkt i rapportens undersøgelser (Egen udarbejdelse).

De følgende afsnit vil uddybe de forskellige aktører i MLG-systemet, som kan støtte udviklingen og udbredelsen af PtX i Danmark. Disse afsnit er inddelt efter de tre governance-niveauer, som det ses af figuren. Rapportens informanter fra de udførte interviews bliver inddraget til at analysere de nuværende forhold for aktørerne og PtX i et MLG-perspektiv.

EU og Brintalliancen

På EU, det overstatslige niveau, ses forskellige styringsformer, hvor den mest fremtrædende er styring ved bestemmelse. Den ses i forbindelse med forskellige tilskud og puljer, som EU giver til lande og projekter vedrørende PtX.

Næstmest fremtrædende styringsform er styring gennem muliggørelse/aktivering, der ses på EU-niveau i forbindelse med frivillige forpligtelser, som EU-landene kan vælge at være en del af. Der findes også en overordnet europæisk linje og målsætning som gør, at der ofte ses forpligtelser som ikke er frivillige at deltage i, hvis et land er med i EU.

European Clean Hydrogen Alliance er navnet på den alliance, som har til formål at skabe et europæisk lederskab inden for produktionen af grøn brint, og dermed også hjælpe med at opnå EU's egne forpligtelser til at være CO₂-neutrale i 2050 (European Commission, u.å. A).

Gennem Brintalliancen kan forskellige aktører fra alle niveauer af governance kommunikere med hinanden, hvilket kan tydeliggøre forhindringer, flaskehalse til opskalering af grøn brint, give input til arbejdet med standardisering samt forsknings- og innovationsprioriteter.

Brintalliancen er en åben gruppe såfremt den organisation, der ønsker at være med i alliancen, har væsentlig relevans for grøn brint samtidig med, samtidig med at organisationen underskriver en erklæring (European Commission, 2020). Brintalliancen er derfor forholdsvis tilgængelig, men kræver en handling fra den organisation, der ønsker at tage del i netværket.

Styringsformerne som EU og Brintalliancen består af, kan hjælpe EU til at udbrede PtX i medlemslandene, men fra det danske erhverv ses et ønske om en mere omfattende planlægning og styring, enten fra EU's side eller fra det nationale niveau.

Som S. Christoffersen fra Ørsted udtaler:

"(...) der mangler ligesom der hvor, at man går skridtet længere og siger som Europa så ønsker vi den her udvikling, men hvordan får vi som Europa skabt en industri som er stærk." (Bilag 1.2 s. 7)

Det som S. Christoffersen siger her, er ikke i direkte kontekst med Brintalliancen og det ses i alle interviews, at ingen informanter nævner Brintalliancen direkte.

Den danske stat

Den danske stats nationale styring kan beskrives og kategoriseres under flere af de fire typer defineret af International Energy Agency (2009), som redegjort for i det teoretiske kapitel. Staten kan styre efter myndighed i de situationer, hvor den tager styring i lokalpolitik i både regioner og kommuner, og sætter således dagsordenen.

PtX er ikke en integreret del af energisystemet endnu, og staten udøver derfor ikke på dette område styring efter myndighed over det lokalpolitiske område. Styring ved bestemmelse udøves i dette tilfælde, når staten tilbyder tilskudspuljer via de underliggende aktører og myndigheder, Energistyrelsen og Energinet. Et eksempel herpå er tilskudspuljen, som flere projekter har opnået støtte til PtX-projekter. Med denne tilskudspulje tildeler den danske stat via Energistyrelsen

ressourcer med henblik på at støtte udviklingen af PtX og andre teknologier, der fremmer bæredygtig energi i fremtiden (Klima- Energi- og Forsyningsministeriet, 2019).

Horisontalt set i den hierarkiske MLG-struktur, er den danske stat nationalt set højest placeret med mest magt. Staten agerer på baggrund af de underliggende ministerier, og i relation til den politiske dagsorden om PtX, er det primært Klima- Energi og Forsyningsministeriet samt Finansministeriet, der bidrager til beslutningsgrundlag. Alligevel er det vigtigt at have for øje, at PtX og brint involverer mange værdikæder på tværs af brancher og sektorer, og derfor omhandler udviklingen også områder, der vedrører Transportministeriet og Erhvervsministeriet, som M. Wied fra Dansk Energi pointerer (Bilag 2.2).

Selvom erhvervet og brancheorganisationer ikke har en direkte forbindelse og kommunikation til den danske stat i et MLG-system, har disse aktører alligevel mulighed for at påvirke den politiske dagsorden ved at skabe fokus på f.eks. PtX og ønsker om retning for fremtiden. Store danske virksomheder, såsom Mærsk, er med til at øge trykket på den danske stat til at prioritere PtX på den politiske dagsorden. Mærskes ønsker er påvirket af deres kunders efterspørgsel og fokus på et grønt image som virksomhed, hvilket er med til at skabe økonomisk motivation for udviklingen af PtX (Bilag 2.2).

Energinet

Energinet er en offentlig aktør, der primært styrer ved bestemmelse samt efter muliggørelse og aktivering. Energinet styrer gennem disse to typer af styring, når staten har afsat en pengesum, som Energinet skal definere en tilskudspulje til og være ansvarlig for. Når der er tale om tilskudsordninger er hensigten at fremme specifikke politikker og retninger i samfundet med specifikke krav der skal overholdes. Energinet kan også agere som facilitator, der er med til at sætte rammerne for udviklingen og skabe guidelines for andre aktører med henblik på at fremme en udvikling i en vis retning uden der er nogen krav om handling.

Energinet har det store tekniske og samfundsmæssige overblik over det danske el- og gasnet, og derfor er de en vigtig aktør i debatten om PtX og en eventuel fremtidig udvidelse af brint-infrastruktur. Energinet har dog et benspænd i lovgivningen der på nuværende tidspunkt gør deres bidrag til arbejdet med udviklingen og implementering af PtX problematisk. Energinet er en monopolreguleret virksomhed og deres beføjelser er derfor som tidligere redegjort for i afsnit 4.1.2 defineret af LBK nr 118. Ifølge informanten C. Vittrup fra Energinet, må Energinet lave el- og naturgasnet (Bilag 3.2).

PtX, produktionen af brint og implementering af brint-infrastruktur falder ikke ind under Energinets tilladte arbejdsopgaver.

C. Vittrup fra Energinet udtaler i et interview, at fordi brintinfrastruktur kommer til at give rigtig god mening i det danske energisystem, prioriterer Energinet alligevel at arbejde med sagen i det tilladte omfang og har udarbejdet en handlingsplan samt dertilhørende materiale (Bilag, 3.2).

C. Vittrup pointerer, at der er en chance for, at det politisk bliver vedtaget, at brintinfrastruktur bliver en del af den kritiske infrastruktur, hvilket vil kræve styring af en monopolvirksomhed. I det tilfælde vil det være oplagt, at Energinet påtager sig opgaven (Bilag 3.2).

En af Energinets vigtigste ansvarsopgaver er, at det danske energinet er i balance, og derfor har de ansvar for at styre tilslutning til el- og gasnettet fra et anlæg og til det store net.

I forbindelse med denne sammenkobling fra et anlæg til det store net, opkræver Energinet tariffer og afgifter på vegne af den danske stat. I forbindelse med udbredelsen af mindre producerende

anlæg baseret på VE-kilder, såsom solceller, har der været flere ordninger, der tilgodeser ejeren af anlægget. Disse ejere kaldes også egenproducenter af Energinet og lempelser på tariffer og afgifter har været en del af den incitamentsstruktur, der er politisk besluttet på området. Når der ikke betales tariffer og/eller afgifter af en egenproducent, samtidig med at egenproducenten får nytte af det store net, som Energinet betaler drift og vedligeholdelse af, er tilslutningen en omkostning for Energinet uden tilsvarende indkomst som normalt ville komme gennem tariffer og afgifter.

C. Vittrup pointerer i interviewet, at det er vigtigt at der laves en incitamentsstruktur, der er fordelagtig både for egenproducenten og for Energinet, således at tilslutningen og omkostninger er kostægte (Bilag 3.2).

Dansk Energi og Brintbranchen

Dansk Energi og Brintbranchen er begge erhvervs-/interesseorganisationer og analyseres derfor sammen. Disse organisationer arbejder ikke ud fra styringsform, men som informanter, som M. Wied siger i et interview:

“Altså vi arbejder som så mange andre brancheorganisationer, lobbyorganisationer, med at påvirke og give informationer til politikere og det kan være regeringen, det kan være styrelser, det kan være ministerier, eller det kan sågar også være oppositionen.” (Bilag 2.2, s. 5).

De kan altså påvirke det nationale niveau ved at videregive relevant information til f.eks. politikere. Organisationerne fungerer også som vidensplatform og netværk fra organisationen til medlemmerne, fra medlem til organisation samt fra medlem til medlem.

I handleplanen *Fra Hype til handling*, udgivet af Brintbranchen i 2021, skrives, at brintbaserede brændstoffer bliver afgørende for den grønne omstilling i Europa og resten af verdenen (Brintbranchen, 2021).

Når Brintbranchen udgiver en handlingsplan, er det en plan, hvor de taler på vegne af deres medlemmer. I planen skriver de bl.a., at der er akut brug for statslige investeringer i brint og PtX for at sætte udviklingen i gang (Ibid.). Da Brintbranchen taler på vegne af deres medlemmer, har de et bredt netværk fordelt på flere forskellige sektorer, og netop derfor kan de give et indblik i hvordan disse kobles sammen.

Da Brintbranchen er en betydningsfuld aktør inden for feltet med brint og PtX i Danmark, har de mulighed for at påvirke feltet gennem videns- og erfaringsdeling (Ibid.).

Ørsted og Green Hydrogen Systems

Ørsted og GHS er begge to virksomheder, der opererer på det lokale governance-niveau. Disse virksomheder udøver ikke styring på samme måde som de resterende aktører i denne MLG-kortlægning. Ifølge rapportens teoretiske udgangspunkt kan virksomhedernes styring kategoriseres som selvstyrende governance (International Energy Agency, 2009).

Årsagen er, at særligt Ørsted udfører selv motiverede handlinger i kraft af deres analytiske arbejde om og investeringer i PtX, der lige nu kommer til udtryk i form af projektet H2RES.

S. Christoffersen understreger problematikkerne ved, at det danske regulatoriske regi udgør et benspænd for udviklingen af det danske energisystem henimod VE-kilder og -teknologier. Da Ørsted er indehaver af mange vindmøller oplever virksomheden disse udfordringer på tæt hold og han pointerer, at det er ganske problematisk, at det ikke er tilladt for virksomheden at forbinde deres egne vindmøller til deres eget elektrolyseanlæg, som sågar ville foregå i deres eget netværk.

En af årsagerne er, at det danske energisystem er forbundet således, at Ørsted vil skulle gøre brug af det lokale elnet som i det geografiske område tilhører virksomheden Radius Elnet A/S, og aktiviteten skal derfor afregnes. For at overkomme dette benspænd for Ørsteds bidrag til udviklingen og udbredelsen af PtX i Danmark, pointerer S. Christoffersen, at der er behov for handling fra det nationale governance-niveau, som kan ændre disse forhold (Bilag 1.2).

Informanten S. Christoffersen oplyser, at forbindelsen mellem energiproducerende anlæg ikke er det eneste benspænd. Hvis PtX skal have en chance for at blive implementeret i det danske energisystem, skal teknologiens sammenspil med og kompleksitet i energisystemet afspejles i tariffene, således energisystemet motiverer udviklingen og ikke er en udfordring. Ørsted foreslår et mere fleksibelt tarifsysteem, der afspejler den reelle belastning af infrastrukturen. Denne holdning deles også af rapportens informant fra Energinet, som tidligere nævnt i ovenstående afsnit. PtX som energiteknologi har mulighed for at bidrage med en nødvendig fleksibilitet og kan være med til at afbalancere det danske energisystem som regulerkraft afhængig af hvordan anlægget driftes. Denne egenskab af PtX bør, ifølge S. Christoffersen, tillægges værdi og belønnes mere end systemet vil gøre på nuværende tidspunkt (Bilag 1.2).

Udover et behov for et mere fleksibelt tarifsysteem mener Ørsted også, at der fra det nationale governance-niveau kan tages flere politiske værktøjer i brug for at understøtte udviklingen og øge udbredelsen af PtX. Det danske energisystem består af mange forskellige energikilder og komponenter, og PtX med produktion af brint kan spille ind og erstatte dele af vores naturgas forbrug. Til sammenligning med produktion af brint i et PtX-anlæg er naturgas ikke bæredygtigt, fordi det ikke er en fornybar kilde. Brugen af naturgas kan beskattes, således energikildernes bæredygtighed og samlede drivhusgasudledning afspejles i samfundsøkonomien. Økonomisk set er brint produceret via PtX ikke rentabelt sammenlignet med naturgas, og derfor er det en nødvendighed at afbalancere omkostninger via skatte- og tarifsysteem og således mindske en økonomisk skævvridning (Bilag 1.2). Denne pointe af S. Christoffersen bekræftes af massebalance analysen i kapitel 5.

6.2 Socioteknisk systemteori

Følgende afsnit tager udgangspunkt i F. W. Geels teori om sociotekniske systemer, hvilken er præsenteret i afsnit 3.2. Ydermere anvendes viden fra kapitel 4 og den ovenstående MLG-analyse. Afsnittet vil analysere relationerne mellem aktørerne for at fremme nichens, PtX, gennembrud i det eksisterende regime.

De tre indbyrdes forbundne analytiske dimensioner, jvf. figur 7, blev præsenteret i teori-afsnittet og vil her blive anvendt. Modellen indeholder tre grupper som påvirker hinanden internt, og disse påvirkninger er hvad former systemet. Gruppen: enkeltstående aktører, organisationer og sociale grupper, efterfølgende kaldt aktører, er blevet repræsenteret i MLG-analyse afsnittet og vil derfor tage udgangspunkt i dette.

Med udgangspunkt i at aktører er præsenteret i MLG-analysen vil regler bliver undersøgt først. Indenfor de tre typer af regler har dette projekt fundet frem til en række regler som gør sig gældende. Inden for regulative regler ses først og fremmest de danske klimamålsætninger præsenteret i afsnit 4.1.1. Disse målsætninger er centrale for udviklingen i det danske energisystem. Dette kan gennem modellen forstås som en proces, hvor den danske regering

udvikler politiske målsætninger som aktører i systemet skal agere inden for. Ydermere kan det forstås, at de politiske handlinger også er påvirket af de muligheder som det sociotekniske system tilbyder. Med dette kan det ses, at PtX er en niche-teknologi, der er ved at modnes og derfor snarligt kan have en rolle i det danske energisystem. Det kan derfor forstås, at midlerne fra Holland, som er afsat til PtX, vil være med til at fremme nichens gennembrud i regimet. Dette er funderet i afsnit 3.2 og i C. Vittrups udtalelse:

“TJ: Tænker du at der skal være en form for støtteordning til teknologien?”

C: Jeg tror meget af det kommer af sig selv. Der kommer jo faktisk, og det er også annonceret, et PtX udbud for de hollandske milliarder. Hollænderne har købt nogen VE-point som Danmark havde overfyldt i forhold til 2020 målsætningerne og Holland have under opfyldt. Så kan man overføre fra det ene land til det andet til en aftalt pris. Det er den pulje penge man har valgt at dedikere til det. Det bliver et udbud hvor man formentligt lader folk byde på hvor mange kilo brint vil du lave til en vis mark-up på brintprisen. Så kan det være de sige: jeg skal have en halv euro pr. kilo ekstra. Hvis det så var den laveste pris i det her udbud får de lov til at stille så meget op og lave så meget.” (Bilag 3.2, s. 10)

Derudover kan det ses, at det sociotekniske system har haft påvirkning på aktørerne. Dette ses i forbindelse med, at PtX-teknologien er blevet mere rentabel at anvende, hvilket gør det relevant for de aktuelle aktører at overveje anvendelsen af denne teknologi (Brintbranchen, 2021).

Endvidere kan det også ses i undersøgelserne, at aktørerne fremmer det sociotekniske system i forbindelse med deres involvering i teknologien. Dette kan ses ved adskillige demonstrationsprojekter med PtX, samt udgivelser fra eksempelvis Energinet, som peger på teknologien som en mulig løsning for de mere udfordrende sektorer ift. reduktion af drivhusgasudledning.

Dette projekts undersøgelser viser derfor, at interaktioner mellem de tre grupper i de tre indbyrdes forbundne analytiske dimensioner er til stede og skaber udvikling og forandring i den pågældende sektor. Men hvad betyder dette for implementeringen af PtX i Danmark?

I forbindelse med figur 7 og teorien bag denne, skal det forstås at disse interaktioner mellem grupperne altid er til stede, og er med til at skabe rammen for sektoren. Hvad der derfor bliver relevant at undersøge er, hvilken retning disse interaktioner tager udviklingen i - altså konkret hvorvidt interaktionerne fremmer implementeringen af PtX eller bremser denne.

Projektets undersøgelse og herefter analyserende arbejde viser dermed, at interaktionerne i skrivende stund er til fordel for implementeringen af PtX. Dette skyldes særligt, at teknologien giver potentiale for at håndtere en problematik i klimapolitikken, som på nuværende tidspunkt mangler en klar løsning. Her omtales sektorer som industri og transport, hvilket har været nævnt gennem rapportens problemfelt og afsnittet om vidensgrundlag.

PtX er på nuværende tidspunkt ikke økonomisk rentabel uden støtte, men da løsningen potentielt kan håndtere et problem som gør sig gældende for hele sektoren, og ultimativt som en del af landskabet, bliver denne relevant at fremme. Derfor demonstrerer denne rapport bl.a., at PtX på nuværende tidspunkt er i en gunstig periode hvor den har potentiale til at gå fra niche til det etablerede regime.

Transition for Power-to-X

Med en forståelse af de interne interaktioner i det sociotekniske system, kan det nu, med udgangspunkt i figur 10, undersøges hvilke muligheder og betingelser, der kan skabe et window of opportunity i rapportens genstandsfelt.

For at se hvilke handlinger, der kan fremme transitionen af PtX fra niche til det eksisterende regime, kan følgende uddrages fra rapportens undersøgelser:

- PtX er på nuværende tidspunkt ikke økonomisk rentabelt uden støtte eller videre effektivisering. Dette kan konkluderes ud fra undersøgelser som blandt andet kan findes i afsnit 5.2, samt fra dialogen med de tre informanter (Bilag 1.2: 2.2: 3.2).
- Det nuværende energisystem er fokuseret på elektrificering og udbredelsen af VE-kilder, herunder særligt vindenergi. Dette er i sig selv ikke en udfordring, men en omstilling af planlægning og de regler det nuværende system agerer under, kan være en nødvendighed. Det kan herunder nævnes tariffer og afgifter hvilke udgør en stor del af den nuværende elpris, som det kan læses i 4.1.3 og 4.1.4. En mulighed for PtX ville være at undgå dele af disse ved f.eks. en direkte tilkobling. En sådan løsning siger S. Christoffersen følgende om:

“Man bliver nødt til at finde omveje af alle de der ting i det regulatoriske regi, og der må jeg sige det regulatoriske det gør jo som udgangspunkt at vi f.eks. har svært ved bare at forbinde vores vindmøller, vores egne vindmøller, vores egne elektrolyse igennem vores eget netværk, altså det kan man ikke få lov til” (S. Christoffersen, Bilag 1.2, s. 3).

- For at PtX skal kunne implementeres skal der være efterspørgsel i form af aftagere til slutproduktet, samt infrastruktur til transport og eventuelt lagring. Dette kan allerede ses fungerer i projekter som H2RES, men dette er lokalt anvendt og i relativ lille skala. Der skal derfor være mere omfattende planer for hvem der kan anvende slutproduktet, hvor dette produceres og hvis ansvar transporten eventuelt er hos, hvis dette skal fremme transitionen. Dette nævnes blandt andet af C. Vittrup i følgende citat:

“Det er jo en kæmpe optimeringsøvelse, og det er det der gør PtX så svært. Altså jeg siger tit om PtX, at den største udfordring ved elektrolyse og PtX, det er ikke så meget teknologien og sådan nogen ting, det er mere det der med at koordinering og samarbejde på tværs, altså det er helt nye værdikæder og der er så mange værdistrømme i det, at hvordan pokker er det at man arbejder med dem alle sammen samtidigt.” (C. Vittrup, Bilag 3.2, s. 6)

Disse punkter skal ikke nødvendigvis alle ageres på, men ud fra rapportens undersøgelser er de mulige window of opportunity, som kan sikre implementeringen af PtX i det danske energisystem. Disse vil videre undersøges og diskuteres i kapitel 7. Her vil potentialet for hvert element undersøges baseret på muligheder og barrierer, samt hvilken er mest realistisk ud fra den opnåede viden.

6.3 Analytisk opsummering

Det teoretiske grundlag for MLG har mulighed for at skabe de optimale rammer for implementeringen af PtX i det danske energisystem, men alligevel efterspørger industrien flere rammer og planer for udviklingen og implementeringen af teknologien. Danmark har en omfattende vidensbase i form af EU, hvor den europæiske Brintalliance også er etableret. På trods af Brintalliances gode intentioner om tværfaglig kommunikation for alle governance-niveauer, efterspørger rapportens informanter, særligt S. Christoffersen fra Ørsted, en fælles europæisk retning for udbredelsen af PtX. Den danske stat kan også påvirke mulighederne for PtX i det nuværende regime, men på trods af flere industrielle udspil, har staten endnu ikke udarbejdet et udkast til en handlingsplan for PtX. Den danske stat forventer at udgive en PtX-strategi ultimo 2021. Det vil sige, at den eneste form for styring af PtX udført af den danske stat på nuværende tidspunkt kommer til udtryk i tilskudspuljer til demonstrationsprojekter samt planen om Energiøen. Der er afsat en pengesum til PtX, der tyder på at den danske stat anerkender muligheden for teknologiens fremtidige overgang som niche til en del af regimet.

Der er alligevel flere barrierer for implementeringen af PtX i det nuværende sociotekniske system. Bl.a. udgør det regulatoriske regi en problematik for teknologiens rentabilitet, fordi det ikke er tilladt for vindmølleejere at benytte den producerede el direkte i et PtX-anlæg, da der skal betales nettariffer for tilkoblingen til Energinets elnet. Der er derfor behov for kostægte løsninger, der skaber en incitamentsstruktur med fordele både for egenproducenten og Energinet. PtX er på nuværende tidspunkt ikke rentabel uden støtte, men teknologiens potentiale til fordel for hele det danske energisystem taler for etablering af både kort- og langsigtet støtte.

7. Power-to-X i et helhedsperspektiv

Med henblik på at kunne besvare rapportens tredje problemstilling vil dette kapitel diskutere analyseresultaterne i et helhedsperspektiv for PtX. Formålet er at diskutere hvordan aktørerne kan støtte udbredelsen af PtX med forbehold for de teknologiske aspekter samt markedsaspekterne. Implementeringen af PtX kræver planlægning ud fra et helhedsperspektiv, hvor værdikæder, sektorer, aktører, systemer samt teknologier indtænkes i en større helhed. Det er utrolig kompliceret at opnå en samlet balance i energisystemet, og rapportens analyseresultater fra massebalanceberegningerne, MLG og analyse af det sociotekniske system vil derfor også blive diskuteret i dette kapitel.

7.1 Udviklingsrammer

På trods af, at PtX er baseret på elektrolyse som ikke er en ny metode eller teknologi, er teknologien, som en del af et bæredygtigt energisystem, alligevel først blevet en realitet inden for de senere år grundet en øget andel af VE-produktion i energisystemet og effektivisering af elektrolyseteknologien. Derfor er mængden af erfaringer knyttet til PtX baseret på VE-teknologier i storskala begrænset. Det danske energisystem skaber gode rammer med potentiale for implementering af PtX i storskala, men en succesfuld implementering kræver nøje planlægning. PtX har potentiale til at agere som regulerkraft i et energisystem med øget VE-andel, som skaber en fluktuerende energiproduktion. PtX output i form af brint har som tidligere nævnt mange anvendelsesmuligheder, men for at udnytte PtX optimalt er der mange værdikæder på tværs af sektorer, der skal arbejde sammen (Bilag 3.2). Implementeringen af PtX i storskala i det danske energisystem kræver en vis strømlining. Derudover kan PtX også på længere sigt bidrage til at sikre forsyningssikkerheden, hvilket er et offentligt ansvar og primært ligger hos Energinet. Energinet er derfor oplagt til at varetage den overordnede planlægning af placering og har med deres strategiske handlingsplan for PtX; *Nye vinde til brint*, kortlagt deres perspektiver for den fremtidige planlægning af PtX i Danmark. Det er muligt at PtX, såfremt det implementeres i en vis størrelse i det danske energisystem, bliver en del af den kritiske infrastruktur. Det er derfor også relevant at overveje perspektiver, såsom ejerskab og ledelse af PtX-anlæg, hvor en virksomhedsmodel, der sikrer delvis privat/offentligt ejerskab kan være en fordel. I denne form for virksomhed vil det nationale governance-niveau have mulighed for at påvirke det lokale niveau indirekte.

Som medlem af EU har Danmark en platform for videns- og ressourcedeling, men initiativerne fra EU er spæde. EU's Brintalliance er forholdsvis ny og er et forsøg på at skabe en fælles vidensplatform for medlemslandene og dertil knyttede virksomheder og aktører. Det er oplagt, at aktører, som for eksempel Ørsted med projektet H2RES, er en del af den europæiske brintalliance, men interviewpersonen S. Christoffersen fra Ørsted mener alligevel, at der mangler mere konkrete tiltag eller retningslinjer, som skal være med til at sikre global konkurrenceevne med udgangspunkt i Europa for PtX (Bilag 1.2). Brintalliancen som et forsøg på at skabe en fælles europæisk vidensplatform er for ny i MLG-systemet til at have opbygget en stærk nok struktur og netværk, og dermed dominans i regimet, til at have en indflydelse på udviklingen og udbredelsen af PtX i Danmark endnu, vurderet på baggrund af rapportens undersøgelser.

Important Projects of Common European Interest, IPCEI, er et internationalt industrisamarbejde drevet via EU. M. Wied fra Dansk Energi nævner samarbejdet, hvor der på nuværende tidspunkt arbejdes på at godkende et eller flere store danske testprojekter. Der er allerede igangsat projekter i flere europæiske industrilande, som f.eks. Holland og Tyskland, og ifølge M. Wied er det vigtigt, at Danmark følger trop og bidrager med nogen af de første store testprojekter (Bilag 2.2). En af årsagerne er, at Danmarks energisystem og VE-andel skaber fordelagtige rammer for produktionen af brint vha. PtX-teknologien. PtX har potentiale til at tilføre det danske energisystem mere regulerkraft, som bliver et stort behov desto større andelen af VE bliver. Danmark har rammerne for produktionen, men hvad med forbruget af brint?

Tyskland har allerede et væsentligt større forbrug af brint end Danmark, og det kan derfor være nærliggende at undersøge mulighederne for eksport. Brintbranchen anbefaler at etablere eksportmuligheder til Tyskland, da det vil være med til at åbne rammerne for implementeringen af PtX i Danmark på trods af et på nuværende tidspunkt minimalt forbrug af brint inden for de danske landegrænser (Brintbranchen, 2021).

Der er også ulemper ved denne løsning, da eksporten af brint fra PtX ikke bidrager til at opnå den danske reduktionsmålsætning på 70% i 2030.

C. Vittrup fra Energinet pointerer, at selvom der ikke på nuværende tidspunkt eksisterer et dansk forbrug af brint i størrelse til at aftage produktionen fra PtX i storskala, skal det alligevel overvejes ikke at investere mere end højst nødvendigt i eksportinfrastruktur. Argumentet herfor er målsætningen om klimaneutralitet i 2050, som er et mere realistisk tidsperspektiv at regne med, da PtX på længere sigt kan opnå sit fulde potentiale og blive mere konkurrencedygtig (Bilag 3.2).

7.2 Konkurrencedygtighed

For at PtX skal anvendes i anden skala end som demonstrationsprojekt kræver det, at teknologien er økonomisk rentabel. Dette antages da en investering i et anlæg som skal være aktiv i 20-25 år, skal kunne tjene nok til at have en tilbagebetalingstid som er kortere end dets levetid. Før dette er muligt, skal salget af slutproduktet kunne konkurrere med tilsvarende produkter.

PtX-teknologien er de senere år begyndt at være udviklet nok til, at det bliver relevant at kunne anvende, som det kan læses i afsnit 4.3.1. Teknologien udvikler sig yderligere og den forventes at blive mere effektiv og rentabel i løbet af det næste årti. Dog har dette projekt undersøgt teknologien på nuværende tidspunkt og undersøgt de to konkrete projekter, H2RES og Energiøen. Undersøgelserne af disse kan læses i kapitel 5 og resultaterne skaber grundlag for hvorvidt teknologien er moden nok til at være konkurrencedygtig i den danske energisektor.

Ud fra disse analyseresultater kan en række observationer udledes:

- Energiøen er et mere økonomisk rentabelt scenarie end H2RES på baggrund af projektets størrelse og elprisen ved den geografiske placering
- På baggrund af antagelserne beskrevet i kapitel 5 viser analysen, at det er mest rentabelt at drive et anlæg, der kun benytter selvproduceret vindmølleenergi. Dette skyldes, at prisen for el til anlægget vil være billigere grundet afgiftsfritagelse.
- Ingen af de to undersøgte scenarier, H2RES med en pris for brint på 0,85 kr/kWh og Energiøen med 0,46 kr/kWh, er konkurrencedygtige ift. naturgas med en pris på 0,15 kr/kWh. Det er derfor nødvendigt med støtte til slutproduktet for at kunne være konkurrencedygtig med naturgas og for at udbrede teknologien, og brugen, af PtX. Scenariet valgt for Energiøen er dog allerede konkurrencedygtig med prisen på dieselolie,

0,68 kr/kWh, og har derfor mulighed for at fortrænge dieselolie fra markedet i de industrier, der kan omlægges til at benytte brint.

Disse observationer kan udtrages til en række forslag for hvordan planlægningen og etableringen af nye anlæg bør foregå i skrivende stund.

Energjøen scenariet er baseret på en driftskapacitet på 50,7%, som er afhængig af hvornår vindmøllerne genererer energi og har en relativt stor indflydelse på den samlede anlægsøkonomi. Endvidere kan det ses, at de to anlæg ikke er konkurrencedygtige med naturgas. Derimod ses det, at scenariet for Energjøen producerer brint 0,22 kr/kWh billigere end dieselolie, hvorfor det synes muligt, at det kan hjælpe fortrængningen af fossile brændsler i form af dieselolie i industrien og den tunge transportsektor, hvor det, som tidligere nævnt, er her PtX-teknologien bl.a. kan hjælpe den grønne omstilling. Derfor er det relevant i planlægningen først at sikre brintinfrastrukturen til industri og den tunge transport. Samtidig er det vigtigt at holde for øje, at flere aktører i disse sektorer, ikke direkte kan omlægges til brint, men har behov for en videre forædling af den grønne brint til e-brændsler, for at kunne omlægges deres drivmiddel. Denne videre forædling til e-brændsler vil reducere den samlede energieffektivitet og forøge prisen pr. kWh, hvilket kan hæmme konkurrenceevnen for den grønne brint i scenariet for Energjøen.

Som det ses af ovenstående, er teknologien tæt på at kunne konkurrere med de fossile brændsler på markedet. Ydermere jævnfør teknologikataloget kan det ses, at både energieffektiviteten og anlægsomkostningerne er i udvikling og teknologien vil derfor blive mere konkurrencedygtig i fremtiden.

Ørsted har vundet tilskud til H2RES via EUDP, som er med til at skabe et finansielt kortsigtet grundlag for udviklingen af PtX, men de langsigtede rammer for implementeringen af PtX i Europa er mangelfulde. Ørsteds selv motiverede handling i forbindelse med investering af ressourcer, både i form af tid og penge, kan ifølge MLG være et udtryk for forhold, der kræver handling. Dette tyder på mangel på handling fra de højereliggende nationale og overnationale governance-niveauer jvf. afsnit 3.1.

Risikoen ved der ikke udarbejdes fælles retningslinjer for implementeringen af PtX kan være, at de enkelte virksomheder bliver udkonkurreret af større spillere på markedet. Der er derfor mangel på en strategisk plan fra EU, der skal være med til at skabe en stærk industri og på den måde sikre PtX i energisystemet på den lange bane (Bilag 1.2).

For det sikrer den videre udvikling af PtX og den bæredygtige udvikling vil det være effektivt at støtte brintproduktionen med min. 0,31 kr/kWh og 0,50 kr/kWh for hhv. Energjøen og H2RES, for at brinten er konkurrencedygtig med naturgas. Dette kunne være med til at skabe en begyndende ændring i det eksisterende regime. På denne måde vil en proces kunne påbegyndes hvori erhvervet kan omstilles til at anvende e-brændsler sideløbende med, at produktionen af disse bliver etableret og udbredt.

I Danmark er den økonomiske investering i PtX hidtil begrænset. Ifølge Brintbranchens analyse fra oktober 2020 er Danmarks planer om offentlige investeringer i brint og PtX, pr. indbygger, langt bagud ift. nærliggende lande jvf. figur 16, som tidligere redegjort for i afsnit 4.2.1.

I forbindelse med IPCEI-projekter under EU bidrager den danske stat med et beløb på 77,6 mio. kr. til et europæisk storskalaprojekt. Erhvervsstyrelsen indkaldte i marts 2021 ansøgninger til PtX-projekter, som skal udgøre den danske deltagelse i IPCEI brintprojektet. Det pointeres dog i indkaldelsen, at den danske stat endnu ikke kan sikre yderligere finansiering af de danske projekter, men mulighederne for støtte og størrelsen heraf undersøges (Erhvervsstyrelsen, 2021).

Intentionerne bag den danske deltagelse er gode, men S. Christoffersen fra Ørsted er bekymret for, at initiativerne langt fra er nok til at støtte udviklingen og udbredelsen af PtX i Danmark. S. Christoffersen udtaler således:

“Et andet element er jo at der er masser af gode intentioner men størrelsen er jo gået fra at være sjov forskning til at nu skal det jo være konventionelle projekter og det vil sige at der har været en del støtteordninger til at man har kunne lege med metaller og tilsvarende at stå i laboratoriet, men når vi er i en investering som over en årrække skal betale sig så er udsigten til hvad er det der sker over årene vigtig.” (S. Christoffersen, Bilag 1.2, s. 3).

De offentlige investeringer afspejler ikke størrelsen af PtX-projekterne og er for usikre til at understøtte implementeringen af PtX. Industriens investering i et PtX-anlæg skal kunne betale sig over en længere årrække og ikke kun på kort sigt, og her er statens støtte altafgørende for at drive udviklingen. Teknologien bliver ikke nødvendigvis konkurrencedygtig af sig selv, men kræver ligesom mange andre VE-teknologier langsigtet politisk støtte for at kunne integreres i og være med til at forme regimet for mere bæredygtig energi. Danmark som stat har i mange år investeret i vindmøller som primær VE-teknologi, på trods af, at teknologien i lang tid ikke var konkurrencedygtig. Den statslige påvirkning på markedets udvikling i regimet er en svær balance, og solceller som VE-teknologi er endnu et eksempel på en måske lidt mindre vellykket, set i et helhedsperspektiv, understøttelse af udvikling og udbredelse af en teknologi i energisystemet. Informanten S. Christoffersen fremhæver dette eksempel, fordi solceller modtog stærk støtte af staten i form af lempelser af afgifter i en kort periode, hvilket gav markedet og teknologien de rette muligheder for at etablere sig i regimet. Problemet opstod da støtten over en kort periode blev delvist frataget og mindsket, hvilket satte teknologiens udbredelse i stå (Bilag 1.2).

Derfor er tilskud og støtte nødt til at understøtte teknologien i en længere periode og ikke kun støtte opstart og implementering, men også produktionsfasen indtil teknologien og produktet er velimplementeret nok i regimet til at kunne være konkurrencedygtig.

Hvis ikke støtten er langsigtet og bidrager til en vis sikkerhed, kan det afholde mange virksomheder fra at investere i nye VE-teknologier i Danmark og vil måske vælge at investere i andre lande, hvor lovgivningen, herunder tilskud og støtte, skaber bedre rammer og betingelser for konkurrenceevnen. Støtteordningerne til PtX i Danmark er altså mangelfulde, men der findes flere parametre, der kan bidrage til en mere rentabel økonomi for et PtX-anlæg.

7.3 Overskudsvarme

Overskudsvarmen spiller en rolle i forbindelse med økonomien i det konkrete anlæg, men det har ikke den største indflydelse jvf. afsnit 5.1. Det har derimod en stor del at sige for den samlede energieffektivitet, og dermed den miljømæssige rentabilitet af anlægget, da et varmetab på ca. 15% ikke længere vil gå tabt, men derimod blive anvendt som varme i fjernvarmenettet. Dette kan have en positiv påvirkning for anlægsøkonomien, men det kræver en række forhold gør sig gældende.

Først og fremmest skal anlægget være placeret således, at anlægget er nærliggende boliger eller erhvervsområder. Hvis dette ikke er tilfældet, vil der ikke være nogen potentielle aftagere til overskudsvarmen og det vil derfor ikke kunne anvendes. Dette betyder, at projekter som placeres på havet som udgangspunkt ikke kan anvende overskudsvarmen og der vil derfor argumenteres for, at der med fordel fremadrettet kan placeres PtX-anlæg på land frem for vand. Dette skyldes

først og fremmest de økonomiske perspektiver, men ydermere vil dette være mere fordelagtigt i et miljømæssigt- og cirkulært perspektiv, da energien udnyttes optimalt.

Så længe PtX foregår med el fra VE-kilder vil slutproduktet være grøn brint og denne energibærer vil kunne erstatte andre mindre klimavenlige brændsler, såsom dieselolie og naturgas. Dette kræver dog, at der er nok VE-energi tilgængeligt og da vi endnu ikke har et system med 100% VE-energi, kan dette ses som en mangelvare i et bæredygtighedsperspektiv. Derfor bør den udnyttes bedst muligt og der er lige nu op mod 30% spild til varme som ikke anvendes. Endvidere vil udnyttelsen af overskudsvarmen til eksempelvis fjernvarme hjælpe med at skabe et mere klimavenligt samfund. Dette er funderet i tanken om, at husstandene ellers anvender andre opvarmningsformer, hvor andre ressourcer skal anvendes. Et eksempel kan være elvarme, hvorved der endnu engang skal anvendes el, som kan spares gennem anvendelse af overskudsvarme. Det vil derfor også for planlægning af fremtidens energisystem være fordelagtigt at sikre placeringer, hvor det gøres muligt at anvende overskudsvarmen.

Med denne opfordring kan Dansk Fjernvarmes anbefalinger til dette læses:

“Nye anlæg med overskudsvarme skal placeres ved fjernvarmen I denne grønne omstilling af blandt andet transporten kan nye former for brændsler produceret på baggrund af elektricitet, PtX, komme til at udgøre en stor del af løsningen på klimaudfordringerne. For at styrke økonomien i kommende PtX-projekter vil udnyttelsen af overskudsvarmen kunne være et afgørende element. Skal det lykkes, skal de kommende PtX-anlæg geografisk placeres, så overskudsvarmen kan anvendes i fjernvarmenettene.” (Dansk Fjernvarme, 2020 s. 8).

Rapportens massebalance analyse påviste dog, at udnyttelsen af overskudsvarmen ikke er et direkte afgørende element for økonomien, men blot er med til at styrke rentabiliteten.

7.4 Udbud og efterspørgsel

I forbindelse med, at PtX-teknologien bliver implementeret i det danske energisystem er det relevant at undersøge hvorvidt behovet for produktet er nødvendigt. Det er derfor nødvendigt at indtænke dette element i planlægningen af kommende anlæg og strategier. Heri findes to hovedområder som spiller sammen: eksisterer der et behov for brint, og hvor er dette behov lokaliseret?

Brint er i dag ikke en dominerende energikilde i industrien og tung transport, hvor potentialet for PtX ses som værende størst. Dette potentiale skyldes som tidligere nævnt, at disse sektorer er svære at omstille i forbindelse med et klimaneutralt Danmark. Dette skyldes særligt, at fossile brændsler i disse sektorer på nuværende tidspunkt ikke kan erstattes af el på gunstig vis. Derimod kan PtX-processen danne brint og derfra andre e-brændsler, som har potentialet til at erstatte de nuværende fossile brændsler - herunder eksempelvis dieselolie.

Dog opstår her hvad omtales som PtX-paradokset: Skal PtX-anlæg bygges før industrien og transporten er omstillet til at modtage slutproduktet eller skal industrien og transporten omstille sig før PtX-anlæg er klar til at levere?

For at overkomme dette er det essentielt, at aftagerne inkluderes i planlægning af anlæg. Dette kan indebære aftaler med aftagere før anlægget opføres, eller geografisk placering af anlægget således, at forbrugere er nærliggende. Dette kunne eksempelvis være nær en større havn hvis slutproduktet forventes at anvendes til skibe, eller som H₂RES, som i fremtiden potentielt kan producere brændsel til luftfarten, nærliggende Københavns lufthavn. Det er derfor vigtigt med

videre analyse af hvor slutforbrugerne findes udover denne rapport. På nuværende tidspunkt henviser Dansk Energi til, at skibs- og flytransport har det største potentiale, men videre studier af dette kan være nødvendige (Dansk Energi, 2020 B).

7.5 Delkonklusion 3

Dette kapitel har haft til formål at besvare problemstillingen: *Hvordan kan relationerne mellem relevante aktører styrkes med henblik på at fremme implementeringen af PtX?*

PtX har mulighed for at fungere som regulerkraft i det danske energisystem, hvilket vil kunne afhjælpe problematikken ved fluktuerende energikilder fra VE. For at dette skal være muligt kræves nye værdikæder og samarbejde mellem sektorens aktører. I kraft af Energinets ansvar for forsyningssikkerheden er det oplagt, at de kan varetage overordnet planlægning såfremt PtX kan bidrage til forsyningssikkerheden. Udover dette perspektiv er det også relevant at overveje muligheder for offentlige/private partnerskaber, hvorved det nationale governance-niveau indirekte kan påvirke det lokale niveau. Udover den nationale påvirkning, skal EU som repræsentant for det overnationale niveau også være med til at støtte udviklingen ved at udarbejde retningslinjer og på den måde styrke det europæiske marked. Brintalliancen er et forsøg på at styrke relationerne mellem aktørerne, men initiativet er for nyt til at have opbygget en dominans i regimet og dermed have en indflydelse på udbredelsen af PtX i Danmark på nuværende tidspunkt. Ørsted forsøger at styrke udviklingen af PtX med investeringer i demonstrationsprojekter, men mangler stærkere relationer og sikkerhed via langsigtet støtte fra den danske stat. Da ingen af de to undersøgte scenarier er konkurrencedygtige med naturgas, vil det være nødvendigt med politisk økonomisk støtte af PtX med eksempler fra de to scenarier på 0,31 kr/kWh og 0,50 kr/kWh for hhv. Energiøen og H2RES.

Det er også vigtigt at styrke relationerne mellem producent og aftager med henblik på at sikre balance mellem udbud og efterspørgsel. Der er mulighed for at udnytte relationen mellem Danmark og Tyskland og skabe en eksportmulighed, men det primære fokus skal være at udnytte potentialet af PtX indenrigs. Såfremt PtX skal udnyttes i Danmark er det essentielt, at aftagerne inkluderes i planlægningen, hvor parametre som faste aftagere og geografisk placering kortlægges.

8. Konklusion

Rapporten har til formål at besvare følgende: *Hvorledes kan PtX implementeres i Danmark med henblik på at opnå de danske reduktionsmålsætninger for 2030 og 2050, og sikre miljømæssig- og økonomisk rentabilitet af teknologien på lang sigt?*

Der er en række politiske værktøjer som kan være med til at fremme implementeringen af PtX i Danmark. Disse indebærer; tariffer og afgifter i energisystemet, støttepuljer samt tilskudsordninger. Særligt relevante aktører, der kan have indvirkning på udbredelsen af PtX og modningen af teknologien i Danmark er blandt andre Energinet, Ørsted, Dansk Energi, Brintbranchen og Green Hydrogen Systems. Disse aktører kan gennem samarbejde vertikalt og horisontalt fremme implementeringen af PtX. Teoretisk set er der et godt grundlag for at skabe optimale rammer for implementeringen af PtX i det danske energisystem, på trods af dette efterspørger industrien flere rammer og planer for udviklingen og implementeringen af teknologien. På det europæiske plan har EU som aktør mulighed for at påvirke udviklingen ved at udarbejde retningslinjer, der kan styrke det europæiske marked. Sammenlignet med andre europæiske lande er Danmark bagud med planlægningen af PtX med få investeringer og mangel på en politisk PtX-strategi, på trods af flere industrielle udspil samt stort potentiale i kraft af den store andel af VE i energisystemet. Den store andel af VE i energisystemet er både nødvendig for at opfylde reduktionsmålsætningerne for 2030 og 2050, men udgør også en udfordring i kraft af fluktuerende energikilder. PtX har mulighed for at afhjælpe denne problematik ved at blive benyttet som regulerkraft, dette kræver nye værdikæder og samarbejde på tværs af sektorer og aktører. Det regulatoriske regi afspejler ikke feltets kompleksitet og der er behov for kostægte løsninger med henblik på at skabe incitament både for producenter og Energinet.

Med udgangspunkt i rapportens analyser af de to scenarier; H2RES og Energiøen, identificeres et behov for langsigtet støtte såfremt der skal sikres en positiv anlægsøkonomi. Såfremt de to anlæg ikke bruges som regulerkraft vil det være nødvendigt med en støtte på hhv. 0,70 kr/kWh og 0,31 kr/kWh for at gøre produktionsprisen af brint konkurrencedygtig ift. naturgas. Såfremt Energiøen bruges som regulerkraft vil den nødvendige støtte ligge på 0,51 kr/kWh, pga. den forhøjede produktionspris.

Når den grønne brint bliver konkurrencedygtig med naturgas og dieselolie kan brinten være med til at skabe en begyndende ændring i det eksisterende regime. På denne måde vil en proces kunne påbegyndes, hvori erhvervet kan omstilles til at anvende e-brændsler sideløbende med at produktionen af disse bliver etableret og udbredt. Dette kan være med til at mindske problemet med PtX-paradokset.

Den miljømæssige rentabilitet af PtX kan på lang sigt udbedres ved at udnytte overskudsvarmen fra anlæggets proces. Denne udnyttelse har en mindre indflydelse på den økonomiske rentabilitet, men kan bidrage til en mere cirkulær proces. Udnyttelsen kræver dog yderligere planlægning af anlæggets placering og kobling til infrastruktur, og begge scenarier har uden denne alligevel mulighed for at bidrage til reduktionen af drivhusgasudledning, som også bør medtages i den miljømæssige rentabilitet.

Hvis det antages, at den grønne brint, produceret ved lavpris-el, bruges frem for naturgas, vil der kunne opnås en reduktion i drivhusgasudledningerne på 3,6% af den danske samlede udledning, for Energiøen scenariet, og således vil det danske 70%-reduktionsmål i 2030 kunne opnås jvf. figur 3.

Hvis 2050-målsætningerne skal opnås kræver det flere storskala projekter og det bliver nødvendigt med en forædling af den grønne brint sådan, at transportsektoren og industrien, kan omstilles til at bruge brændsler produceret på elektricitet fra VE.

På baggrund af disse konklusioner kan følgende anbefalinger til fremtidig planlægning og udvikling uddrages:

- Langsigtet politisk økonomisk støtte, der gør grøn brint konkurrencedygtig med de fossile brændsler der skal udfases.
- PtX skal anvendes som regulerkraft.
- PtX-anlæg skal placeres ved optimale forhold for produktion af VE.
- PtX-anlæg skal placeres hvor der er mulighed for at udnytte overskudsvarmen.
- Den producerede brint skal så vidt muligt benyttes inden for landegrænsen.
- Aftagere af grøn brint og e-brændsler og producenter skal indgå aftaler og sikre sammenhæng mellem udbud og efterspørgsel.

Litteraturliste

Atlantsammenslutningen, 2020: *Hvad er dansk kritisk infrastruktur?*

BEK nr 573 af 29/05/2018 - *Bekendtgørelse om tilskud til initiativer, der fremmer integrationen mellem forskellige forsyningssektorer.*

BEK nr 1619 af 15/12/2017 - *Bekendtgørelse om betaling for myndighedsbehandling efter lov om fremme af vedvarende energi.*

Brintbranchen, 2020: *Analyse af potentialerne for storskala brint og PtX i Danmark.* VE. 2.0. Brint og PtX strategi, oktober 2020. Brintbranchen.

Brintbranchen, 2021: *Fra Hype til Handling. Handlingsplan for dansk brint og PtX.* Marts 2021. Brintbranchen.

Brintbranchen, u.å: *Om Brintbranchen.* Tilgængelig på: <https://brintbranchen.dk/om-brintbranchen/> [04-04-2021]

Børsen, 2021: *Mærsk rykker klimaambition syv år frem: CO2-neutralt skib skal ramme vandet i 2023.* Katrine Grønvald Raun, 17. februar 2021. Tilgængelig på: <https://borsen.dk/nyheder/baeredygtig/maersk-rykker-klimaambition-syv-aar-frem-co2-neutralt-skib-skal-ramme-vandet-i-2023> [29-04-2021]

CeDEPI, u.å.: *Notat vedr. beregninger af CO2-emissioner.*

Dansk Energi, 2020 A: *Anbefalinger til en dansk strategi for Power-to-X.* Rapport fra nov. 2020

Dansk Energi, 2020 B: *Gamechangere for PtX og PtX-infrastruktur i Danmark.* Rapport udgivet af Dansk energi i samarbejde med Energinet.

Dansk Energi 202: *17 virksomheder i Power-to-X-partnerskab med Dansk Energi.* Tilgængelig på: https://www.danskeenergi.dk/nyheder/pressemeddelelse/17-virksomheder-power-to-x-partnerskab-med-dansk-energi?fbclid=IwAR1okAsCH5WXKERXbXO078vnVgU_Vn-8OpZc2m_F70cB1bSR_MvPmtuwil4 [26-5-2021]

Dansk Energi, u.å. A: *Om Dansk Energi.* Tilgængelig på: <https://www.danskeenergi.dk/om-danske-energi> [18-03-2021]

Dansk Energi, u.å. B: *Dansk Energi mener: Grøn el skal gøre Danmark fri af fossile brændsler.* Tilgængelig på: <https://www.danskeenergi.dk/dansk-energi-mener-groen-el-skal-goere-danmark-fri-fossile-braendsler> [29-03-2021]

Dansk Energi, u.å. C: *Klimapartnerskab Energi og forsyning.* Tilgængelig på: <https://www.danskeenergi.dk/klimapartnerskab-energi-forsyning> [29-03-2021]

Dansk Energi & Energinet, 2020: *Hvad skal der til, for at Power-to-X bliver en del af det danske energisystem?* Webinar 4. juni 2020.

Dansk Fjernvarme, 2020: *Udnyttelse af overskudsvarme*. Rapport udarbejdet af Dansk Fjernvarme i samarbejde med Grøn Varme.

Dansk Gasteknisk Center, 2020: *Online workshop om brint i gasnettet*. Tilgængelig på: <https://www.dgc.dk/nyhed/2020/online-workshop-om-brint-i-gasnettet> [31-03-2021]

Dansk Gasteknisk Center, u.å. A: *Brint*. Tilgængelig på: <https://www.dgc.dk/brint> [25-05-2021]

Dansk Gasteknisk Center, u.å. B: *Om DGC*. Tilgængelig på: <https://www.dgc.dk/om-dgc> [31-03-2021]

Dansk Gasteknisk Center, u.å. C: *Mission og Vision*. Tilgængelig på: <https://www.dgc.dk/mission-og-vision> [31-03-2021]

Erhvervsstyrelsen, 2021: *Projekter til dansk deltagelse i et vigtigt projekt af fælleseuropæisk interesse (IPCEI) for brint*. Indkaldelse af ansøgninger. Erhvervsstyrelsen, 16. marts 2021.

Energiforskning.dk, u.å.: *H2RES - Demonstration af bæredygtig brintproduktion til vejtransport baseret på havvind*. Tilgængelig på: <https://energiforskning.dk/projekter/h2res-demonstration-baeredygtig-brintproduktion-til-vejtransport-baseret-paa-havvind> [10-05-2021]

Energinet, 2019 A: *Eltransmission bliver dyrere fra 2020*. Tilgængelig på: <https://energinet.dk/Om-nyheder/Nyheder/2019/11/29/Eltransmission-bliver-dyrere-fra-2020> [27-05-2021]

Energinet, 2019 B: *PtX i Danmark før 2030*.

Energinet, 2020: *Nye vinde til brint, PtX strategisk handlingsplan*.

Energinet, 2021 A: *Energisystemet lige nu*. Tilgængelig på: https://energinet.dk/energisystem_fullscreen [27-05-2021]

Energinet, 2021 B: *Forventet udvikling i Energinets eltariffer*.

Energinet, u.å. A: *Om os*. Tilgængelig på: <https://energinet.dk/Om-os> [09-02-2021]

Energinet, u.å. B: *Hvor kommer strømmen fra*. Tilgængelig på: [Hvor kommer strømmen fra | Energinet](https://energinet.dk/Hvor-kommer-strømmen-fra) [25-05-2021]

Energinet, u.å. C: *Spørgsmål og svar om PSO*. Tilgængelig på: <https://energinet.dk/EI/Elmarkedet/Tariffer/PSO> [27-05-2021]

Energinet.dk., 2015: *Energikoncept 2030 - baggrundsrapport*.

Energistyrelsen, 2020 A: *Hovedtal fra Energistyrelsens foreløbige energistatistik for 2020*

Energistyrelsen, 2020 B: *Standardenergipriser og CO2-emissionsfaktor*.

Energistyrelsen, 2020 C: *2020 Basisfremskrivning*.

Energistyrelsen, 2021 A: *Danmark bliver en ø rigere: verdens første energi ø etableres 80 km ude i Nordsøen*.

Energistyrelsen, 2021 B: *Stamdataregister for vindkraftanlæg*.

Energistyrelsen, 2021 C: *Technology Data. Renewable Fuels*.

Energistyrelsen, u.å. A: *Dansk Klimapolitik*. Tilgængelig på:

<https://ens.dk/ansvarsomraader/energi-klimapolitik/fakta-om-dansk-energi-klimapolitik/dansk-klimapolitik> [04-03-2021]

Energistyrelsen, u.å. B: *Fakta om drivhusgasser*. Tilgængelig på:

<https://ens.dk/ansvarsomraader/energi-klimapolitik/fakta-om-drivhusgasser> [15-03-2021]

Energistyrelsen, u.å. C: *Den danske elforsyningssikkerhed*. Tilgængelig på:

<https://ens.dk/ansvarsomraader/el/elforsyningssikkerhed> [09-02-2021]

Energistyrelsen, u.å. D: *Danmarks energiøer - Energiøen i Nordsøen*. Tilgængelig på:

<https://ens.dk/ansvarsomraader/vindenergi/udbud-paa-havvindmoelleomraadet/energieoer> [14-05-2021]

European Clean Hydrogen Alliance, u.å.: *Mission & Vision*. Tilgængelig på:

<https://www.ech2a.eu/missionandvision> [14-04-2021]

European Commission, 2018: *A Clean Planet for all A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*.

European Commission, 2020: *Declaration of the European Clean Hydrogen Alliance*.

European Commission, u.å. A: *Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs*. Tilgængelig

på: https://ec.europa.eu/growth/industry/policy/european-clean-hydrogen-alliance_en [19-04-2021]

Europa Kommissionen, 2020: *En strategi for brint med henblik på et klimaneutralt Europa*.

Evida, u.å. A: *Om os*. Tilgængelig på: <https://evida.dk/om-evida/> [04-04-2021]

Evida, u.å. B: *Historien bag Evida*. Tilgængelig på: <https://evida.dk/om-evida/historien-bag-evida/> [04-04-2021]

Forsyningstilsynet, 2021: *Prisstatistik 1. kv. 2021*. Tilgængelig på:

<https://forsyningstilsynet.dk/tal-fakta/priser/elpriser/prisstatistik-1-kv-2021> [21-05-2021]

Geels, 2002: *Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study*. Geels, Frank W. Udgivet i *Research Policy*, Vol 31, udgave 8-9, side 1257-1274, december 2002

Geels, 2004: *From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory*. Geels, Frank W. Udgivet i Research Policy, Vol 33, udgave 6-7, side 897-920, september 2004

Green Hydrogen Systems, u.å. A: *About us*. Afsnit på hjemmesiden greenhydrogen.dk.
<https://greenhydrogen.dk/company/> [04-04-2021]

Green Hydrogen Systems, u.å. B: *HyProvide A series*.

Hindrichsen, 2020: *Det elektriske Danmark*. Udgivet den 11. August i Magasinet Energi.

Information, 2019: *Klimaforsker om nyt klimamål om 70 procent reduktion: Det er historisk ambitiøst*. Tilgængelig på: <https://www.information.dk/indland/2019/06/klimaforsker-nyt-klimamaal-70-procent-reduktion-historisk-ambitioest> [05-03-2021]
Artikel i Information 20 juni 2019 skrevet af Martin Bahn.

International Energy Agency, 2009: *Innovations in Multi-level Governance for energy efficiency - Sharing experience with multi-level governance to enhance energy efficiency*. Informationspapir, Energy Efficiency Series, December 2009, Nigel Jollands, Emilien Gasc, Sara Bryan Pasquier.

International Energy Agency, 2019: *The Future of Hydrogen*.

Ingeniøren, 2021: *Danmark risikerer at mangle grøn strøm til Power-to-X*. Artikel skrevet af Martin Bernth i Ingeniøren fra d. 26. feb. 2021

Jänicke, 2015. *Horizontal and Vertical Reinforcement in Global Climate Governance*. Tilgængelig på: <https://doi.org/10.3390/en8065782> [25-05-2021]
Energies 8, 5782–5799.

Kjær, 2021. *Forslag til beregninger og optimeringer*. Powerpoint fra den 23. marts 2021.

Klima- Energi- og Forsyningsministeriet, 2019: *128 mio. kr. til udvikling af grønne brændstoffer*. Tilgængelig på: <https://kefm.dk/aktuelt/nyheder/2019/dec/128-mio-kr-til-udvikling-af-groenne-braendstoffer/> [25-05-2021]
Nyhedsartikel publiceret 18-12-2019.

Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, 2020: *Klimahandlingsplan 2020*.

Klima-, Energi- og Forsyningsministeriet, 2021: *Danmark er nærmere klimamålet end først antaget*. Tilgængelig på: <https://www.regeringen.dk/nyheder/2021/danmark-er-naermere-klimamaalet-end-først-antaget/> [05-05-2021] Nyhedsartikel publiceret 26-04-2021.

Klimarådet, 2020: *Kendte veje og nye spor til 70 procents reduktion*. Udgivet i marts 2020.

Kvale & Brinkmann, 2009: *Interview – introduktion til et håndværk*. Kvale, Steiner & Brinkmann, Svend. Hans Reitzels Forlag, 2. udgave, 1. oplag, København, 2009.

Københavns Universitet, u.å.: *Kildekritik*. Tilgængelig på:
<https://kub.ku.dk/biblioteker/frederiksberg/vejledninger/kildekritik/> [04-04-2021]

LBK nr 118 af 06/02/2020 - *Bekendtgørelse af lov om Energinet.*

LBK nr 125 af 07/02/2020 - *Bekendtgørelse af lov om fremme af vedvarende energi.*

Leontief, 1966: *Input-Output and Economic Planning.*

Le Cadre, 2019: *A game-theoretic analysis of transmission-distribution system operator coordination.* Le Cadre, Helene, Mezghani, Ilyes & Papavasilio, Anthony. Udgivet i European Journal of Operational Research, Volume 274, Issue 1, 1 April 2019, Pages 317-339.

Nord Pool, 2021: *Day ahead prices.* Tilgængelig på: <https://www.nordpoolgroup.com/Market-data1/Dayahead/Area-Prices/DK/Yearly/?view=table> [21-05-2021]

Brunner & Rechberger, 2017: *Handbook of Material Flow Analysis: For Environmental, Resource, and Waste Engineers.*

Ritzau & Danmarks Statistik, 2020: *Fakta om Danmarks udledning af drivhusgasser samt energiforbrug (opdateret).* <https://via.ritzau.dk/pressemeddelelse/fakta-om-danmarks-udledning-af-drivhusgasser-samt-energiforbrug-opdateret?publisherId=3274962&releaseId=13602663> [5-3-21]

Thurén, 2013: *Videnskabsteori for begyndere.* 2. udgave, 5. oplag. forlag: Rosinante

VEKS, 2020: *Revideret Budget 2021 & Budget 2022.*

Ørsted, 2019: *Ørsted og partnere sikrer støtte til projekt om bæredygtig brint.* Tilgængelig på: <https://orsted.com/da/media/newsroom/news/2019/12/945369984118407> [07-03-2021]

Ørsted, 2020: *Decarbonising society with Power-to-X.* Rapport. Version 1 oktober 2020.

Ørsted, 2021: *Ørsted breaks ground on first renewable hydrogen project.* Nyhedsartikel udgivet 17. maj 2021.

<https://orsted.com/en/media/newsroom/news/2021/05/953942245693267?fbclid=IwAR2i1fRKxqffW BjCzHhoGgJbqiWMZD430Ni3WQ9AHmsxhw6KHMOKA0AOFrc> [19-05-2021]

Ørsted, u.å. A: *Vores vision - og hvem er vi.* Tilgængelig på: <https://orsted.dk/om-orsted/vision-og-vaerdier> [17-03-2021]

Ørsted, u.å. B: *Ørsteds arbejde med bæredygtighed.* Tilgængelig på: <https://orsted.dk/baeredygtighed/orsteds-arbejde-med-baeredygtighed> [31-03-2021]

WECD, 1987: *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future.* Udgivet af WECD under FN.

Wind Denmark, 2021. *H2RES bliver Ørsteds første brintprojekt i drift.* Tilgængelig på: <https://winddenmark.dk/nyheder/h2res-bliver-oersteds-foerste-brintprojekt-drift> [10-05-2021]