



Alternative brændstoffer i den danske transportsektor

En Well-To-Wheel analyse af
brint og el i fremtidens biler



Titel: Alternative brændstoffer i den danske transportsektor.

Undertitel: En Well-to-Wheel analyse af brint og el i fremtidens biler.

Tema: Fremtidens energisystemer.

Projektperiode: P1: 6/10 2008 til 15/12 2008.

Projektgruppe: B227

Deltagere:

Jess Grotum Nielsen

Jens Larsen

Pia Schioldan

Sune Niemann Jensen

Wais Monazam

Hovedvejleder: Henrik Sørensen

Bivejleder: Morten Boje Blarke

Oplagstal: 8

Sideantal:

Bilagsantal og -art: 2 – Apendix og Cd-rom.

Afsluttet den: 15/12 2008

Synopsis:

De fossile brændstoffer, der hidtil har været anvendt til at dække 96 % af behovet for energi i transportsektoren, kommer ikke fra en uudtømmelig kilde. Samtidig opstår der eloverløb, når vindmøllernes og den varmbundne elproduktion overstiger forbruget. Med planer om yderligere udbygning af vindmølleparkerne, som vil kunne give yderligere el-overløb, vil det derfor være interessant at undersøge, hvordan vindmøllestrømmen effektivt kan anvendes i transportsektoren. Der udarbejdes en Well-to-Wheel analyse for en bil med dieselmotor og en bil med elmotor forsynet med henholdsvis batteri og brændselscelle, for på denne måde at belyse tabene undervejs.

Der er beregnet en nyttevirkning for Well-to-Wheel for en elbil med henholdsvis brintlager og brændselscelle contra batteri på 18 % og 77 %. Til sammenligning er diesebilens nyttevirkning på 23-28 %. Med i betragtning, når disse sammenholdes, bør tages de udfordringer, hver teknologi står overfor.

Rapportens indhold er frit tilgængeligt, men offentliggørelse (med kildeangivelse) må kun ske efter aftale med forfatterne.

Forord.

Denne P1 rapport er udarbejdet af gruppe B227 på Energiteknik på den Ingeniør-, Natur- og Sundhedsvidenskabelige basisuddannelse ved Aalborg Universitet. Rapporten er udarbejdet i perioden fra 6/10 2008 til 15/12 2008. Semestrets tema for P1 perioden for Energiteknik er: Fremtidens energisystemer. Hvor denne rapports undertema er: Energi til transport: Well-to-Wheel analyse. Baggrunden for dette valg har været en interesse for at belyse tabene i forsyningskæden for en elbil med henholdsvis brintlagre- og batterier.

En tak til Mads Pagh Nielsen for hans hjælp til besvarelse af spørgsmål.

Læsevejledning:

Kilderne vil optræde som numre i firkantede parenteser [tal] og være vist til sidst i rapporten under litteraturlisten. Litteraturlisten vil være udformet, så kilderne fra de enkelte kapitler er listet under dertilhørende overskrifter med fortløbende numre.

Den 15/12 2008 er det kontrolleret, at internetkilderne er online tilgængelige. De er samtidig til rådighed på den vedlagte cd, hvor en elektronisk model af Well-to-Wheel analysen også findes.

Figurer og tabeller er nummeret i forhold til kapitlerne, så figur 1 i kapitel 2 vil få betegnelsen 2-1, hvor 2-tallet henviser til kapitel 2 og 1-tallet viser, at det er den første figur. Kilderne til figurerne vil findes under en selvstændig overskrift i litteraturlisten, og der henvises derfor ikke til figurerne kilder undervejs.

Teori- og metodeanvendelse:

I forbindelse med udarbejdelsen af rapporten er der blevet anvendt teori ud fra et empiristisk ideal. For at skabe et overblik over forsyningskæderne, laves en Well-to-Wheel analyse, i kombination med en rationel matematisk tilgang til den overordnede effektivitetsbestemmelse, for de udvalgte teknologier.

Indholdsfortegnelse

1. Indledning	7
1.1. Problemformulering	8
1.2. Problemanalyse	8
1.3. Pilotprojekter for el i transportsektoren	12
1.4. Problemafgrensning	14
2. Well-to-Wheel – Dieselbil	17
2.1. Well-to-Tank	17
2.2. Tank-to-Wheel	17
2.3. Well-to-Wheel	19
3. Well-to-Tank - Hydrogen	20
3.1. Fordele og ulemper	20
3.2. Økonomiske og samfundsmæssige perspektiver	20
3.3. Hydrogendistributionskæden	20
4. Well-to-Tank – Elbil med batteri	28
4.1. Fordele og ulemper for elbiler med batterier	28
4.2. Økonomiske og samfundsmæssige perspektiver	28
4.3. Eldistributionskæden	29
4.4. Diskussion af batterier Well-to-Tank	35
5. Tank-to-Wheel	36

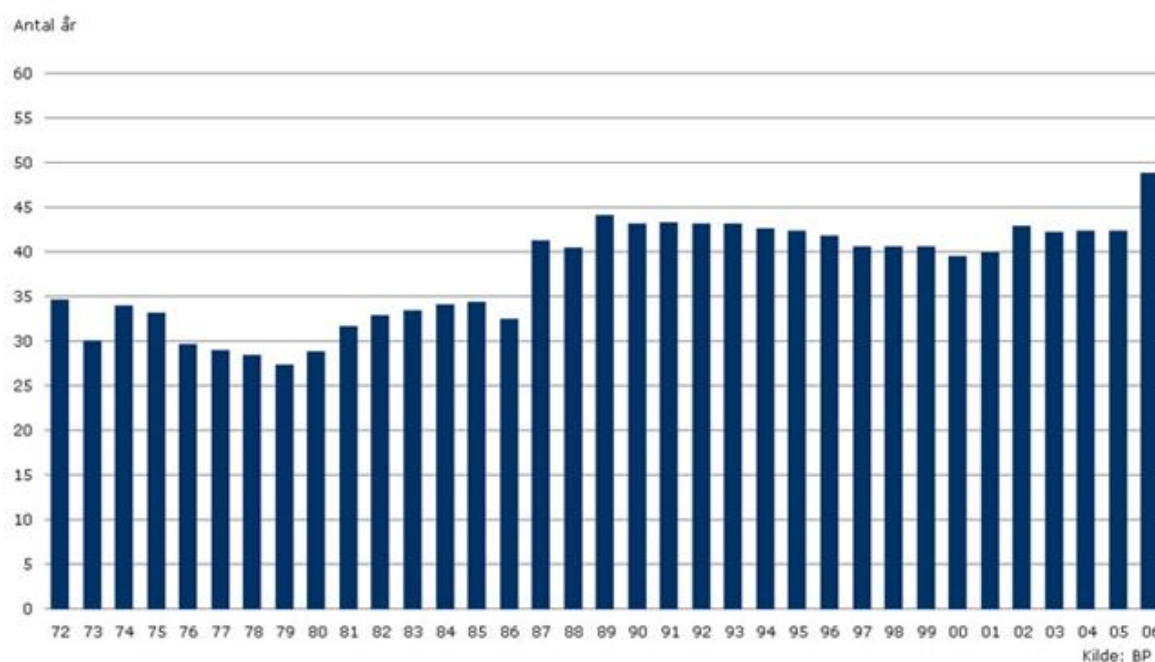


5.1. Elmotor	36
5.2. Elmotorens effekt tab	40
5.3. El-motorens effektivitet	42
5.4. Brændselsceller	43
5.5. Diskussion af Tank-to-Wheel effektiviteten	48
6. Effektivitetsbestemmelse og kørecyklus	50
6.1. Motorbestemmelse for VE-biler	50
6.2. Beregning af energiforbruget over kørecyklisten	56
7. Aktøranalyse	60
7.1. Forsyningsaktører	60
7.2. Bilproducenter	61
7.3. Politiske aktører	61
8. Komparativ diskussion	63
8.1. SWOT analyse	63
8.2. Energiudnyttelsen i forsyningskæden for brint- og batteri	66
9. Konklusion	69
10. Perspektivering	71
11. Litteraturliste	73
Appendix 1. – Well-to-Wheel effektivitetsberegner	77

1. Indledning

I indledningen beskrives hvor mange år olien rækker til, hvad begrebet eloverløb dækker over, samt hvordan eloverløb vil udvikles ved udbygningen af vedvarende energikilder i den danske energiforsyning.

Verdens bilpark anslås at være 875 millioner biler og stadig stigende. Disse bilers energibehov bliver i dag dækket af 96 % olie og 4 % anden energi [1]. Dette har dog ulemper, blandt andet at olien er et fossilt brændstof og en knap ressource, som på et tidspunkt slipper op. Der bliver derfor lavet beregninger, som viser, hvor mange år der endnu er olie tilbage ud fra de kendte reserver og verdensforbruget det pågældende år.



Figur 1-1: Antal år olie rækker til (Reserver/Produktion).

På Figur 1-1 ses at der i 1972 var beregnet, at oliereserverne ville række til ca. 35 år, hvilket jo betød, at olien skulle være sluppet op i 2007, hvilket jo ikke var tilfældet. Udsvingene på figuren og forlængelsen af antal år, der er olie tilbage i, skyldes, at prognosen er beregnet ud fra kendte oliereserver og forbruget i det pågældende år. Figuren tager derfor ikke højde for ændret forbrugsmønstre, udfasning af olie i visse sektorer og begreber som teknologi- og efterforskningsbidrag.

Teknologibidraget er defineret som et skøn over de mængder olie og gas, der vurderes til yderligere at kunne udvindes ved brug af ny teknologi. Efterforskningsbidrag er et skøn af de mængder olie og gas, som vurderes at kunne udvindes fra nye fund. Disse to begreber er behæftede med store usikkerheder, hvilket gør et præcis skøn af verdens oliereserver svært [2].

Hvis det procentvise fald af prisen på en tønde råolie betragtes og sammenlignes med det procentvise fald i listepriisen på benzin i Danmark, ses det, at de ikke falder procentvis lige meget, hvilket skyldes de danske afgifter på benzin, som er 4,103 kr. pr. liter benzin [3]. Det kan derfor formodes, at prisen på benzin holdes kunstig oppe for at være medvirkende til et øget incitament for integration af alternative energikilder i transportsektoren. Knapheden på olie er sammen med andre parametre såsom; pris, miljø, medie- og folkepres, medvirkende til at universiteter og firmaer samarbejder om udviklingen af fremtidens transportmiddel.

Det har længe været frygtet, at de fossile brændstoffer skulle slippe op, og det er blandt andet derfor, der er blevet forsket i at optimere forbrændingsmotorerne. Men hvad vil der ske med Danmarks infrastruktur, hvis elnettet blev udvidet med flere vindmøller? Vil den energi kunne anvendes, eller vil den blive sendt til udlandet.

1.1. Problemformulering

Det er derfor interessant at undersøge:

"Hvordan kan strømmen fra vindmøller effektivt anvendes i transportsektoren?"

1.2. Problemanalyse

I problemanalysen vil der kort blive fokuseret på situationen omkring bunden elproduktion og det deraf følgende eloverløb samt på vindmøller og pilotprojekter.

1.2.1. Eloverløb

Energistyrelsen beskriver eloverløb, som når elektriciten fra varmebunden elproduktion og vindkraftproduktion overstiger elforbruget. Eloverløbet bliver som udgangspunkt til eksport, hvis det er muligt. Er det ikke fysisk muligt at eksportere overløbet, opstår der kritisk eloverløb, hvilket ikke må fremkomme i virkeligheden, da dette vil medføre at elsystemet "går i sort" [4]. I praksis må produkti-

onen derfor enten nedsættes eller forbruget øges. Kritisk eloverløb skal derfor forstås som det eloverløb, der vil opstå, hvis produktionen eller forbruget ikke reguleres.[5] Hvis et kritiske eloverløb opstår, kan det være nødvendigt for energinet.dk at betale udlandet for at aftage eloverløbet, hvilket ikke er en hensigtsmæssig situation.

Regeringens udspil "En visionær energipolitik 2025" samt "Aftale om den danske energipolitik i årene 2008-2011"[6], bør tages i betragtning, da regeringen har foreslået, at andelen af vedvarende energi skal øges til mindst 30 %, samtidig med at forbruget af fossilt brændstof skal nedbringes med 15 % i forhold til i dag [7]. I 2007 blev 19,7 % [8] af den indenlandske elforsyning dækket af el produceret fra vindmøller. Hvis regeringens forslag bliver gennemført vil vindkapaciteten også stige, hvilket kan lede til mere frekventielle eloverløb.

Energistyrelsen har udarbejdet "Rapport fra arbejdsgruppen om kraftvarme- og VE elektricitet. Bilagsrapport.", som det ses på Tabel 1-1 beskriver denne fremskrivningen af eloverløbet ved udbygningen af vedvarende energi, samtidig med at antallet af timer med eloverløb vil stige, hvilket også øger risikoen for kritisk eloverløb. I denne rapport vil der derfor blive taget udgangspunkt i, at eloverløbet fra vindmøllerne enten skal bruges til lagring i batterier eller brint, som kan bruges i transportsektoren.

	2000	2005	2010	2020
Energiindhold i overløb [GWh]	2	194	458	1683
Maksimalt overløb [MW]	140	743	1056	1852
Antal timer med overløb	39	950	1507	2996

Tabel 1-1: Fremskrivning af eloverløb i Danmark

1.2.2. Vindmøller i Danmark

Ifølge Vestas rapport "Discover the unique power of the wind" blev den første europæiske vindmølle bygget omkring år 1100, men den første danske forsøgsvindmølle blev opført i 1891 af Poul la Cour. I 1887-88 opførte Charles F. Brush den første vindmølle til at generere elektricitet i USA. Men først i 1957 blev Gedser-møllen opført af Johannes Juul. Gedser-møllen blev med en generator og tre vinger med drejelige vingetopper forbillede for nutidens vindmøller.

"The Danish Concept", der er en høj, slank og hurtigløbende mølle med tre vinger, der vendte op i vinden, blev eksporteret til det meste af verden og udkonkurrerede andre vindmøller.

Vindmølle størrelse (kW)	Antal vindmøller	Vindmøllernes kapacitet (MW)
- 499	2010	376
500 – 999	2582	1751
1000 – 1999	363	444
2000 -	257	554
Samlet	5212	3124

Tabel 1-2: Vindmøllestørrelse, antal og kapacitet i Danmark

Som det ses på Tabel 1-2 er der ca. 5200 vindmøller, som bidrager til den danske elforsyning. Regeringens planer om en videre udbygning er blevet fulgt op af flere selskaber. Der er ifølge Statens og Kommunernes Indkøbs Service planer om 50 nye vindmølleprojekter i kommunerne i 2008. Deriblandt 6 nye demonstrationshavvindmøller i Frederikshavn, der opstilles i 2009-10. Der er projekteret yderligere 20 møller. Hver af de seks første møller skal minimum være 3 MW. Der er ikke sat nogen øvre grænse, men der regnes med maksimalt 6-7 MW.

Der er ydermere planer om 4 havmølleprojekter som det ses på Tabel 1-3, hvor de tre af projekterne er udbygget med et forsøgsprojekt, der blandt andet tilsigter at vise de nyeste teknologier frem, når Danmark skal være vært ved Klimatopmødet i 2009.

Navn eller location	Antal nye møller	Møllernes kapacitet	Tid for idriftsættelse
Horns Rev 2	91 + 3 forsøgsmøller	91 a 2,3 MW + 3 på mindst 15 MW tilsammen	2009
Rødsand 2	90 + 3 forsøgsmøller	200 MW + 15 MW	2009
Sprogø	6-7	21 MW	2009
Avedøre Holme	3 demonstrationsmøller til erstatning for 13 af 16 eksisterende møller	9-18 MW til erstatning for 4,6 MW	2009

Tabel 1-3: Havvindmølleprojekter i Danmark

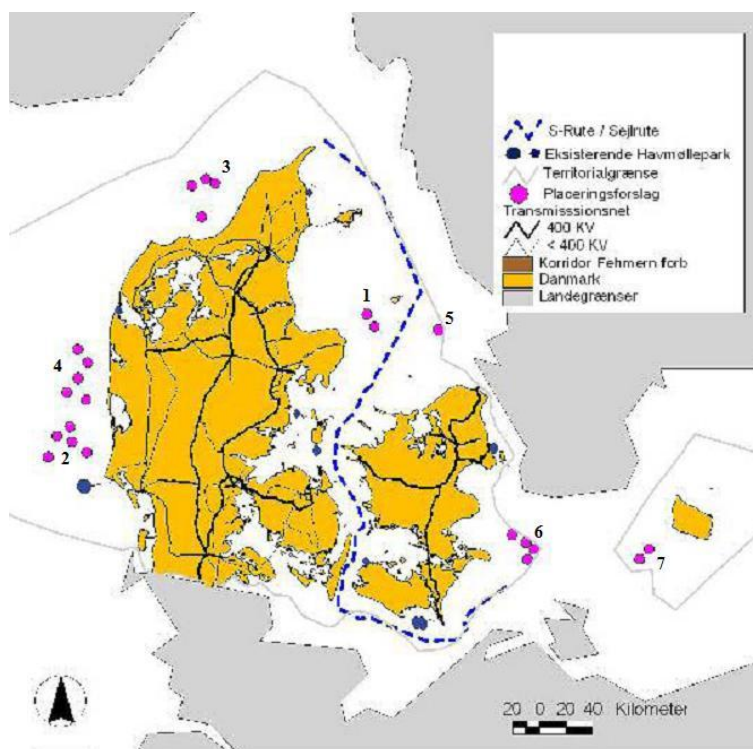
Ydermere nedsatte energistyrelsen i 2005 et udvalg, der har udarbejdet en rapport; "Fremtidens Havmølleplaceringer – 2025", der anviser, hvor nye havvindmølleparker kan placeres:

Nr.	Vindmøllens placering	Kapacitet
1	Kattegat mellem Djursland og Anholt	2 * 200 MW
2	Nordsøen, nord/nordvest for Horns Rev 1 og 2	5 * 200 MW
3	Jammerbugten i Nordsøen	4 * 200 MW
4	Nordsøen ud for Ringkøbing Fjord	5 * 200 MW
5	Kattegat på Store Middelgrund	1 * 200 MW
6	Østersøen i Kriegers Flak	4 * 200 MW
7	Østersøen på Rønne Banke vest for Bornholm	2 * 200 MW

Tabel 1-4: Fremtidige placeringer for havvindmølleparker, deres placering kan ses på Figur 1-2

Alle disse giver en samlet kapacitet på 4600 MW, hvilket formodes at kunne levere 18 TWh om året, hvilket svarer til ca. halvdelen af det danske elforbrug. Hvis de foreslåede vindmøller opføres, er der muligheder i at anvende strømmen fra eloverløbet i transportsektoren til fremdrift.

Hvis placeringerne fra tabel 1-5 indsættes på et Danmarkskort vil det se således ud:



Figur 1-2: Placering af fremtidig havvindmølleparker. Tallene fra billedet henviser til tallene i Tabel 1-4.

Energien fra vindmøllerne skal kunne lagres, og dette kan evt. gøres i transportsektoren. I forbindelse med dette er der allerede en række forsøg i gang.

1.3. Pilotprojekter for el i transportsektoren

I dette kapitel vil pilotprojekterne, som virksomheder og universiteter samarbejder om at kunne fremvise inden for en kort årrække, blive gennemgået.

1.3.1. Better Place

Projekt Better Place er et relativt nystiftet projekt, opstartet i 2007, og hele meningen med projektet er, at de skal gøre verden renere. Det bygger på et samarbejde imellem Danmark og Israel, mens der er forhandlinger i gang med politikerne fra San Francisco, Hawaii og London samt landene Frankrig, Tyskland og Japan. Projektet går i bund og grund ud på, at fossile brændstoffer skal udskiftes med VE brændstoffer på verdensplan. Dette vil de gøre ved at ændre landenes infrastruktur således, at de passer ind i Better Place modellen. Modellen går ud på, at de vil have:

- Integreret elbilerne i hele samfundet.
- Skifte tankstationer ud med ladestationer
- Opstille ladezoner rundt omkring i byerne

Projektet tager udgangspunkt i at al kørsel forgår inden for 65km afstand om dagen. Derfor er projektet bygget på de elbiler, der i dag har en gennemsnitlig aktionsrækkevidde på 150 km.

Tankstationer vil, hvis Better Place infrastrukturen bliver indført, se helt anderledes ud. De vil ikke længere være tankstationer men byttestationer, som fungerer på den måde, at bilen kører ind på en byttestation, hvorefter bilen sættes i frigear, og bliver kørt på et transportbånd i ca. 3 minutter. Imens vil bilens batteri blive byttet med et opladet batteri fra stationen. Byttestationer vil kun være beregnet til de personer, der kører de lange ture f.eks. fra Aalborg til København. Fordelen ved byttestationerne er, at føreren ikke behøver at forlade bilen, samt at det er hurtigere end en almindelig tankning, dog kræver det langt flere udskiftninger af batterier. En 4 dørs komfort bil kan i dag køre 900 km på en tank (Mercedes Benz E280 3,2 liter motor 6 cylinder), hvilket svarer til en tur til København og hjem igen til Aalborg på en tank, hvorimod der med en VE-bil skal "tankes" 6 gange for at nå frem og tilbage.

Udover byttestationer vil der blive opstillet lynladere, der vil have samme størrelse som et parkometer. Det er dem, der skal være den primære opladningstype, hvilket betyder at den vil blive opstillet over alt, i byen, ved arbejdspladser og på offentlige pladser.

Fremtiden for Better Place ser lovende ud, da der den 9. december 2008 blev lanceret den første ladestation til projektet. Israel er det første land, der skal have omdannet sin infrastruktur. Den første station blev opstillet i byen Pi-Gililot, hvorefter ladestationerne skal udbredes til hele landet. Hele netværket skulle stå klart i 2010, hvorefter infrastrukturen skal kopieres til det danske samfund, som forventes at stå klart i år 2020 [9]. I 2020 er planen, at Danmark skal have en halv million ladestationer, og der vil derudover blive bygget 200 byttestationer [10], med dette vil infrastrukturen være klar til introduktionen af batteri biler.

Måden, hvorpå en ladestation fungerer:

1. Bilen startes, og der køres til den givne destination, f.eks. arbejde, hvor efter bilens monitor registrerer, om der er ledige pladser på parkeringspladsen.
2. Svaret gives, og der parkeres ved en af de ledige ladere, som har størrelsen som en parkeringsautomat.
3. Bilen opkobles med kabel, hvorved bilen registreres som tilkoblet.
4. Når batteriet er 50 % opladet modtager den registrerede bruger en sms om batteriets tilstand.
5. Når batteriet er 100 % opladet modtager brugeren igen en sms, om at batteriet er fuldt opladet, og derved slås ladestationen fra, og bilen er klar til brug.

1.3.2. HyNor

I Norge er HyNor et national projekt, som arbejder for at fremme brugen af hydrogen i den norske transportsektor. De har som de første været med i et projekt om opførelse af en hydrogenvej fra Oslo til Stavanger. HyNor bliver støttet af en række industrier, kollektive trafikselskaber, regionale myndigheder og flere andre.

HyNor har blandt andet disse punkter som arbejdsområde [11]:

- At integrere hydrogen og dens infrastruktur i den overordnede transportplanlægning.
- At udvikle norske kompetencer inden for produktion af hydrogen.
- At teste brændselscellebiler under de svingende klimaforhold og lave temperaturer i Norge.

På hydrogenvejen mellem Oslo og Stavanger, kører der allerede i dag 13 Toyota Prius biler, som er ombygget fra hybridbiler til at være rene brint biler, samtidig skal Mazda levere 30 RX-8 med

Wankler motor til projektet. (I en wankelmotor kører et trekantet stempel rundet i en svagt ottetalsformet cylinder, som sikrer en rolig og vibrationsfri motorgang, men en dårligere brændstofs økonomi pga. forbrændingskamrets form) Danmark bidrager til projektet, ved at H2 Logic arbejder på at sende en ombygget Think ud på brintvejen [12].

Disse pilotprojekter skal kunne implementeres i samfundet, derfor tages der i rapporten udgangspunkt i, at det kun er beregnet til det danske samfund, samt om det vil være muligt at kunne opfylde regeringens "Visionær energipolitik 2025", og derved udnytte eloverløbet. Det er nu blevet belyst, at der er eloverløb, og at det vil kunne ske oftere, når der implementeres flere vindmøller og dermed mere bunden elproduktion.

1.4. Problemafgrensning

For at vurdere hvor effektive de forskellige forsyningskæder og teknologier er, laves en Well-To-Wheel analyse (WTW-analysen).

En Well-to-Wheel analyse kan bruges til at belyse de forskellige led fra energien produceres (Well) til den bliver brugt til bilens fremdrift (Wheel) med forskellige fokuspunkter, så som tab, emissioner, økonomi og så videre. I denne rapport vil der blive fokuseret på de tab, som opstår ved anvendelse af batterier og brint i transportsektoren. Brint og batterier betragtes som mulige erstatninger for fossilt brændstof. Allerede i 1997 udgav dansk elbil komité rapporten "Med Elbiler i 25 år", hvor de dengang eksisterende teknologierne blev beskrevet, og der blev lavet en Well-to-Wheel analyse af teknikken i 1997. Ifølge rapporten er der lavet følgende beregninger baseret på Well-to-Wheel analyser:

Teknologi anvendt i køretøjet:	Effektivitet:
Benzin	Ca. 14 %
Diesel	Ca. 18 %
Bedste hybrid	Ca. 26 %
Batteri	Ca. 55 – 65 %

Tabel 1-5: Well-to-Wheel effektivitet

På Tabel 1-5 ses nyttevirkninger for 4 biler ved en Well-to-Wheel analyse. Da tallene i figuren er fra 1997, er det interessant at undersøge, hvordan nyttevirkningen er for el i 2008 samt for brint, som ikke er medtaget i "Med Elbiler i 25 år". De forskellige Well-to-Wheel nyttevirkninger vil i den sidste del af rapporten derfor blive diskuteret og sammenlignet.

Der vil udelukkende blive fokuseret på løsninger, der kan anvende overskudsel fra vindmøller, og der vælges derfor brint og batterier som de to mest potentielle lagringsteknologier.

Tabene, fra de forskellige led, vil blive anvendt til at vurdere, hvor meget energi en vindmølle skal stille til rådighed, for at de to biler kan tilbagelægge en strækning, som er baseret på EU's kørecyklus. Samtidig vil der blive fremstillet en model for en elbil med henholdsvis batterier og brint, sammen med en reference diesebil, hvori det vil være muligt at ændre på parametrene for WTW-analysen.

Overordnet opbygges analysen af to underdele:

Well-to-Tank – hvor energien bliver beskrevet ved dens kilde, og der beskrives, hvilke tab der er forbundet med henholdsvis produktion, transport, konvertering og lagring.

Tank-to-Wheel – Hvor de energitab, der sker efter at energien er lagret i bilen (VE-bilen), bliver vurderet, herunder konvertering, elektriske tab og tab i motoren. Der laves beregninger af den mængde energi det kræves at gennemføre en standard kørecyklus til brug ved beregning af Well-to-Wheel effektiviteten.

Afsluttende vil de to teknologier blive sammenholdt, og de forskellige forsyningskæders fordele og ulemper vil blive beskrevet, og problemformuleringen forsøges besvaret.

Til brug ved beregningerne omkring bilernes energiforbrug, anvendes en VW Golf V 1.9 TDI Diesebil som reference bil. En elbil med henholdsvis brint og batterier, vil blive betragtet som havende alle de samme specifikationer som diesebilen bortset fra vægten, som er den faktor som ændres mest, når motoren udskiftes med en elmotor, og tanken udskiftes med henholdsvis batterier og tryktanke.

I denne rapport vil vægtforøgelsen blive betragtet på følgende måde:

Elbilen med batterier vil få en vægtforøgelse på ca 250 kg; når dieselmotoren fjernes, og 4 el-motorer på 15 kg monteres på hvert hjul, giver det en forøgelse på 9 kg, [13] og en battericelle vurderes til at veje 240 kg [14].

Elbilen med Brinttanke vil få en vægtforøgelse på i alt ca. 250 kg, hvoraf udskiftningen til el-motorer giver 9 kg, brændselscellesystemet vil veje omkring 70 kg [15], og tryktankene med brint, omkring ca. 180 kg [16].



Da VE-bilernes vægt stort set bliver ens, vil der i alle beregningerne gælde, at de dækker både elbilen med batterier og med brint.

Overordnet eksisterer følgende specifikationer for bildesignet:

Model:	Volkswagen Golf V 1.9 TDI	El-/brintbil
Motor	Diesel motor: 1896 cm ³	4 x Elmotor, ca. 20 kW hver
Output	77 kW	80 kW
Brændstofforbrug	$5,1 \frac{l}{100 km} \approx 181 MJ$	Beregnes i afsnittet Motorbestemmelse
Tophastighed	187 km/t	140 km/t
Acceleration 0-100 km/t	11,3 s	12 s
Vægt	1251 kg	1500 kg
Aerodynamisk drag (Frontareal * drag koef- ficienten)	0,69	0,69
Rullemodstand i hjulene	$C_0=0,009$ og $C_1=1,75 * 10^{-6}$	$C_0=0,009$ og $C_1=1,75 * 10^{-6}$

Tabel 1-6: Specifikationer for bilerne

2. Well-to-Wheel – Dieselbil

Som reference bil er dieselbilen blevet valgt, dens Well-to-Tank og Tank-to-Wheel vil blive kort beskrevet og samlet i en Well-to-Wheel.

2.1. Well-to-Tank.



Figur 2-1: Well-to-Tank for diesel

En Well-to-Tank består af 6 moduler som er vist på Figur 2-1, hvor olie bliver pumpet op fra undergrunden, hvorefter den enten pumpes eller sejles til raffinaderiet. På raffinaderiet bliver råolien udskilt i dens endelige produkter, hvor diesel er et af produkterne. Når dieselen er produceret bliver den transporteret med tankvogn til tankstationerne, hvor det lagres i tanke under jorden, inden forbrugerne hælder dieselen i tanken.

Den ovenforstående proces kan gennemgås med en energibevarelse på mellem 88 og 92 %. [17]

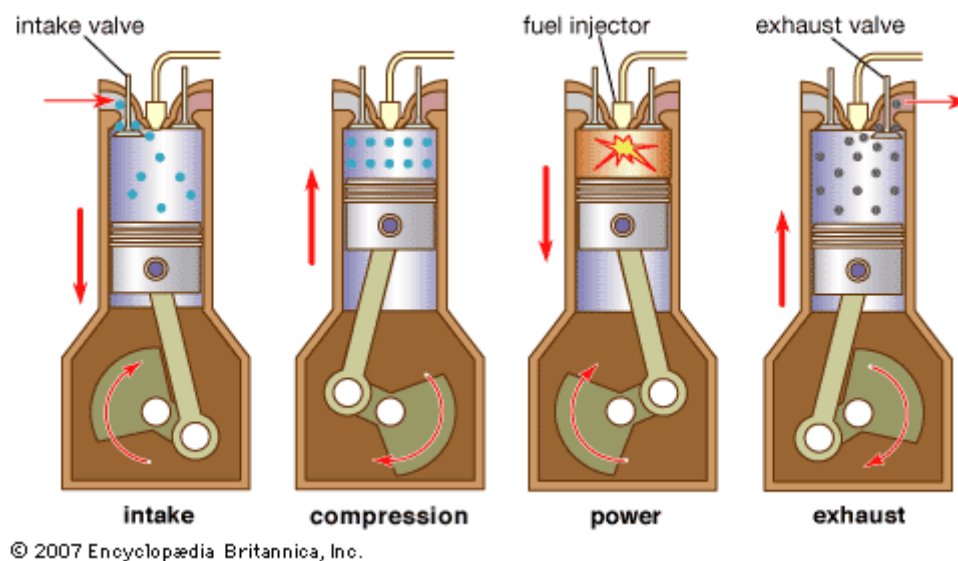
2.2. Tank-to-Wheel

For at dieselbilen kan skabe fremdrift, skal den overvinde dragkraften (vindmodstanden) og rullemodstanden og transmissionstabene i selve motoren, gearkassen og andre dele af bilen. Kraften, som er i overskud, kan derefter bruges til fremdrift af bilen. For at forstå hvordan en dieselmotor virker vil dens grundprincipper, blive kort beskrevet.

2.2.1. Dieselmotoren

Afsnittet er baseret på: <http://search.eb.com.zorac.aub.aau.dk/eb/article-45703> og Gyldendals online leksikon: Dieselmotor

Dieselmotorens energi omdannes ved at diesel bliver indsprøjet i cylinderen, hvor der findes varm komprimeret luft. Denne proces kan enten foregå i en to takts eller fire takts proces. For at forklare dieselmotorens proces vil der blive taget udgangspunkt i en fire takts motor.



Figur 2-2: Firetakts dieselmotor princip.

På Figur 2-2, ses de forskellige processer som en dieselmotor gennemløber. I intake processen suges luften ind, i compression processen bliver den indsugede luft komprimeret, hvorved temperaturen stiger til ca. 526 °C, hvor diesel indsprøjtes (med 7 – 70 megapascal) lige inden stemplet når sin top-position. Ved forbrændingen af diesel og luften i power processen stiger temperaturen og trykket i cylinderen, så stemplet presses tilbage, og derved yder mekaniske arbejde. Til sidst bliver udstødningsgasserne presset ud gennem ventilen, som det ses i exhaust processen.

Ved at installere en turbolader på dieselmotoren kan effekten og nyttevirkningen øges. En turbolader virker ved, at motorens udstødningsgasser driver en turbine, som er sammenbygget med en luft-kompressor. Kompressoren komprimerer motorens indsugningsluft, ved den øgede lufttilførsel kommer en større forbrændingskapacitet og derved mere effekt og bedre nyttevirkning. Når luften passerer igennem turboen og bliver komprimeret, bliver den opvarmet. Dette bliver modvirket ved at installere en intercooler [18].

Overordnet er virkningsgraden i en dieselmotor, begrænset af teorien om Carnot's kredsproces.

Carnots kredsproces siger, at en motor ikke kan gøres 100 % effektivitet, der skal afgives en vis mængde energi. Dette er udtrykket i Carnots nyttevirkningens ligning.

$$\eta = 1 - \frac{Q_{lav}}{Q_{Høj}} \quad (1)$$

Hvor $Q_{Høj}$ er den energi, der bliver tilføjet kredsprocessen, og Q_{lav} er den energi kredsprocessen skal afgive, for at kunne komme tilbage til start positionen. Ligningen (1) viser, at jo mindre Q_{lav} er, jo mere effektiv vil motoren være.

Gearkassen forbinder motoren og hjulene igennem aksler, udveksling af kræfter kan ske gennem tandhjul, så der vil derfor komme tab i form af friktion mellem tandhjulene, som afsættes som varme i gearkassen. Ude ved hjulene afsættes også tab i form af varme ved differentialet.

I "Handbook of Fuel Cells", har en diesel forbrændingsmotor en nyttevirkning på mellem 26 og 30 % [19]. Det er ikke nævnt, om motoren har installeret turbolader, intercooler eller hvilken gearkasse, der benyttes. I de efterfølgende afsnit vil en motoreffektivitet på 30 % blive anvendt.

2.3. Well-to-Wheel

Ved at samle Well-to-Tank og Tank-to-Wheel i en Well-to-Wheel vil det give en samlet nyttevirkning fra råolien hentes op til den omsættes til mekanisk energi i hjulet. Ifølge "Handbook of Fuel cells" har dieselbilen en nyttevirkning på 23 – 28 % [20] for hele Well-to-Wheel delen.

3. Well-to-Tank - Hydrogen

I Well-to-Tank – hydrogen vil der være en kort introduktion til fordele, ulemper og hvor kommerciel teknikken er i dag. Som det sidste i afsnittet vil Well-to-Tank leddene blive beskrevet, og tabene i de forskellige led vil blive belyst.

3.1. Fordele og ulemper

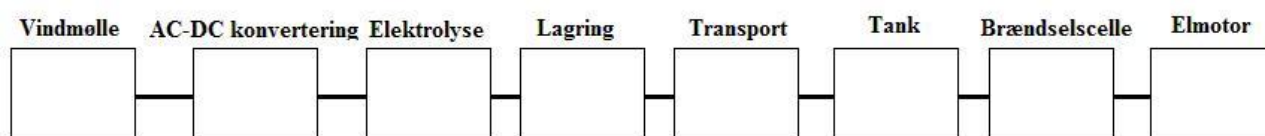
Hydrogen kan være en del af fremtidens lagringsmetoder for vedvarende energi, hvor dens affaldsprodukt kan være vand, ved at forbruge det i en brændselscelle. Problemet med hydrogensamfundet og hydrogen i transportsektoren har været lagringen, samt at teknikken ikke har været konkurrencedygtig på prisen, hvilket skyldes dyre materialer som platin, samt at der mangler masseproduktion [21].

3.2. Økonomiske og samfundsmæssige perspektiver

Den første seriefremstillede brændselscellebil er Honda FCX Clarity [22], som kun kan leases i Californien, hvor den leases til 3000 kr. per måned over en bindingsperiode på 3 år [23]. Honda håber, at prisen på bilen i løbet af et årti bliver ca. 480.000 kr, hvilket kunne være en konkurrencedygtig pris for en bil i sedan klassen, hvor en Audi A4 2.0 TDI 120 koster 426.217 kr [24]. Dette skyldes dog kun, at el og brændselscellebiler er fritaget for de 180 % afgifter, der pålægges nye biler i Danmark [25].

Der er i Danmark ikke etableret en infrastruktur baseret på brint, men der er etableret en enkelt offentligt tilgængelig tankstation i Vestjylland ved Ringkøbing. [26]

3.3. Hydrogendistributionskæden



Figur 3-1: Well-to-Wheel skematisk tegning af kæden

På Figur 3-1, kan Well-to-Wheel kæden for hydrogen ses. Der vil kun blive gennemgået elektrolyse-, lagring- og distributionsleddene i dette afsnit.

3.3.1. Elektrolyse

Ifølge Energistyrelsen, bliver der på verdensplan produceret ca. 50 mio. tons brint, hvilket svarer til 2 % af verdens energiforbrug. Reformering af naturgas er den mest anvendte fremstillingsmetode (90 %)[27]. I denne analyse anvendes elektrolysemetoden, da der arbejdes med overskudsel fra vindmøller.

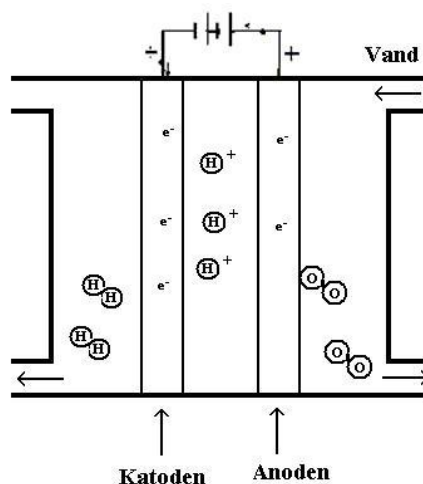
Department of Energy (doe.gov) beskriver tre metoder til fremstilling af hydrogen ud fra elektrolyse med vindmøllestrøm:

- PEM elektrolyse
- Alkalisk elektrolyse
- Solid oxide elektrolyse

3.3.1.1. PEM elektrolyse

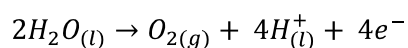
Afsnittet er baseret på: http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/production/electro_processes.html

Protone Exchange Membrane elektrolyseenheden arbejder ved en temperatur på omkring 80 – 100 °C med en fast elektrolyt af plastmateriale.

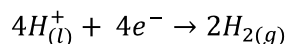


Figur 3-2: PEM Elektrolyse celle.

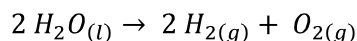
Som det ses på Figur 3-2 er vand forsyningen på anodesiden, hvor der forgår denne reaktion:



Elektroner passerer igennem den eksterne strømforsyning, mens ioner passerer igennem elektrolytten til katoden:



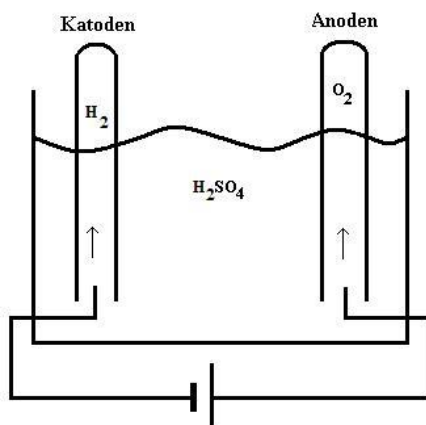
Ved at samle de to reaktioner, fås følgende samlet reaktion:



Som det ses på den samlede reaktion, er forholdet mellem hydrogen og oxygen 2:1.

3.3.1.2. Alkalisk elektrolyse

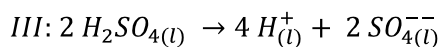
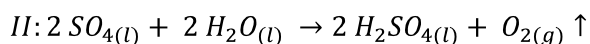
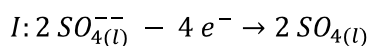
Den alkaliske proces foregår næsten som ved en PEM elektrolyse, dog med en natrium-, svovlsyre- eller kaliumelektrolyt. På Figur 3-3, vises en laboratorieopstilling af alkalisk elektrolyse.



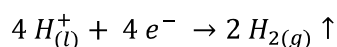
Figur 3-3: Laboratorium opstilling, med alkalisk elektrolyse.

Væsken som findes i elektrolysekarret er fortyndet svovlsyre, der virker som katalysator. Svovlsyren er opløst på ionform i vandet ($2H^{+}$ og SO_4^{-}).

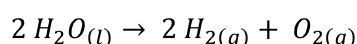
Ved anoden sker følgende reaktioner:



De 4 frigivede hydrogenioner tiltrækkes af katoden, hvor følgende reaktion foregår:



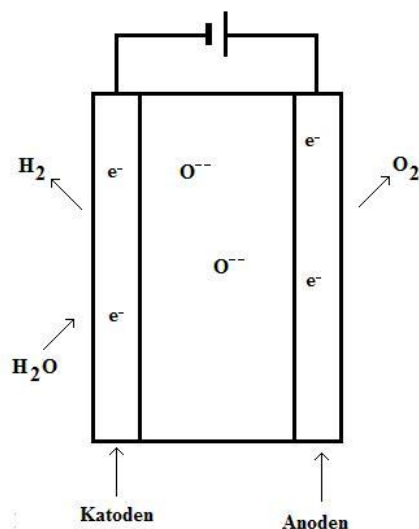
Hvis formlerne fra katoden og anoden sættes sammen, ses det, at det kun er vandet som bliver spaltet, hvilket betyder, at svovlsyrekoncentrationen stiger i vandet. Brintproduktionen vil derfor kunne fortsætte ved en kontinuerlig forsyning af vand.



3.3.1.3. Solid oxide elektrolyse

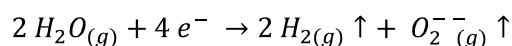
Afsnittet er baseret på: http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/production/electro_processes.html

Risø har stor forskningsaktivitet indenfor denne elektrolysemetoder[28], da de forventer, at det kan blive den billigste måde at fremstille brint på igennem elektrolyse. Princippet i SOEC elektrolyse er forklaret på Figur 3-4.

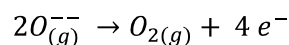


Figur 3-4: SOEC elektrolyse enhed

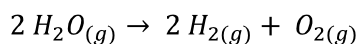
SOEC elektrolysens elektrolyt er fremstillet af et keramisk materiale, som lader oxygenioner passere igennem ved høje temperaturer. Ved katoden dannes vand, og elektronerne anvendes til at producere hydrogengas og negative oxygenioner.



Oxygenionerne passerer derefter igennem elektrolytten og danner oxygenmolekyler ved anoden.



Sættes de to ligninger sammen fås det samme som ved PEM og alkalisk elektrolyse:



SOEC elektrolyseenheder arbejder bedst ved temperaturer på omkring 500 – 800 °C. Disse temperaturer kan f.eks. opnås ved at udnytte overskudsvarmen fra kraftværker, og derved formindskes forbruget af el til hydrogenproduktion.

3.3.1.4. Systemvirkningsgrad af elektrolyseenhed

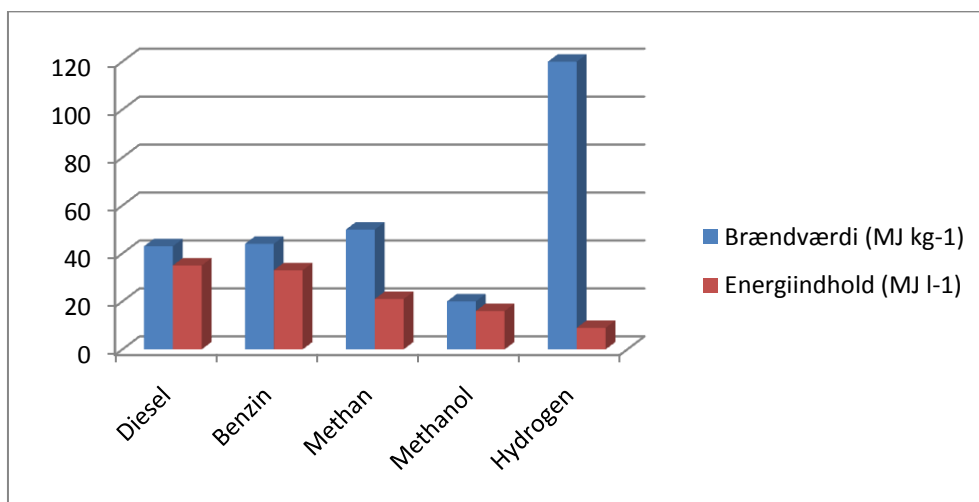
De bedste elektrolyseenheder af alkaline typen har en nyttevirkning for selve enheden på 65-75 % ved optimale betingelser (som den ikke altid opererer ved). Det er dog nødvendigt at medtage andre tab ved brintfremstillingen for at få et udtryk for den samlede nyttevirkning for elektrolyseenheden (systemvirkningsgraden). Der skal medregnes tab ved elkonvertering af AC-DC og DC-DC samt til destilleringen af vandet.

Det må derfor antages, at elektrolyseenheden har en systemvirkningsgrad på ca. 50 % [29] (der ses bort fra vandforbruget, i beregningen af virkningsgraden).

3.3.2. Hydrogenlagring

Ved elektrolyse er der blevet produceret ren brint, hvilket betyder, at der i denne rapport undersøges tryklagring eller væskelagring (flydende). Der vil derfor ikke blive fokuseret på andre lagringsmetoder.

En af brints fordele er dens høje brandværdi på 120 MJ kg⁻¹ [30], hvilket er 3 gange så stor som sammenlignelige data for benzin og diesel. På Figur 3-5 ses brandværdien og energidensiteten for forskellige brændstoffer. Som det ses på Figur 3-5, har hydrogen en energidensitet på 9MJ l⁻¹, hvilket betyder, at der skal lagres mere hydrogen for at få det samme energiindhold i forhold til diesel og benzin.



Figur 3-5: Diagram over brændværdi og energidensitet.

3.3.2.1. Tryklagring

Energidensiteten kan øges ved, at hydrogen bliver lagret ved højere tryk. De kendte ståltrykbeholdere, der anvendes i dag, kan lagre mellem 200 og 350 bar, som kan vælges, hvis vægten er afgørende for systemet. Har vægten derimod ikke så stor betydning, kan der vælges de nyudviklede komposit-beholdere, som kan lagre brint med et tryk på 700 bar.[31]

Da vægten er afgørende for de kommende udregninger af motoren, vil det være optimalt at vælge tryklagring ved ca. 350 bar, det er derfor interessant at kigge på nyttevirkningen.

I artiklen "Fuel cycle efficiencies of different automotive on-board hydrogen storage options"[32] (FCE), beskrives en nyttevirkning på 84,3 %. Der er dog visse forudsætninger for denne nyttevirkning:

- I artiklen er det forudsat, at brinten bliver fremstillet ved reformering af naturgas, som har et udgangstryk på 20 bar. Dette kan dog ikke opnås ved elektrolyse.
- Tryklagringen foregår i to faser: 20 bar til 180 bar og 180 bar til 425 bar (da flasken lagres til 125 % af det listede tanktryk). Dette skyldes, at processen skal køles ned til 25 °C, samt at hydrogen skal transporteres, hvilket vil kunne ske mellem de to faser.
- Nyttevirkningen er beregnet ved en 50 % markedsandel, hvilket er beskrevet i artiklen.

3.3.2.2. Flydende lagring

Da brint først bliver flydende ved 20 Kelvin, kræver det på grund af nedkølingen meget energi at lagre det som flydende. Det kan opvejes af, at der kan lagres mere brint på flydende form end på tryklagring. Der kan f.eks. lagres 0,070 kg/l for flydende brint i forhold til 0,030 kg/l for tryklagret brint.[31]

I FCE for 50 % markedsandele har lagring af flydende brint en nyttevirkning på 58,5 %.

3.3.3. Hydrogendistribution

Når hydrogen er på gasform og ved en markedsandel på 50 %, har FCE forudsat, at distribution gennem rørledninger er blevet rentabelt. Der vil derfor kun blive brugt lidt el til at drive kompressorerne. Distributionen har derfor en nyttevirkning på 93,5 %.

Hydrogen på flydende form, bliver i FCE-modellen distribueret med lastbil, som i 50 % scenariet kører en strækning på 100 km med en flydende hydrogenkapacitet på 3800 kg, hvor det forudsættes, at den kører 6 miles per gallon. (2,54 km pr liter)[33]. Disse forudsætninger giver en nyttevirkning på 99,6 %.

3.3.4. Diskussion: Well-to-Tank for hydrogen

Nyttevirkningen er defineret som:

$$\eta = \frac{\text{energi}_{\text{nytte}}}{\text{energi}_{\text{samlet}}} \cdot 100\%$$

Hvis formelen omskrives så $\text{energi}_{\text{nytte}}$ isoleres, ser formelen sådan ud:

$$\text{energi}_{\text{nytte}} = \eta \cdot \text{energi}_{\text{samlet}}$$

I Tabel 1-3 er det forudsat, at der er 100 enheder energi, som sammen med nyttevirkningen indsættes i formelen ovenfor. Til at bestemme den samlede nyttevirkning for WTT, divideres $\text{energi}_{\text{nytte}}$ med $\text{energi}_{\text{samlet}}$ og ganges med 100 %. Derved findes den samlede nyttevirkningen.



Nyttevirkning	Elektrolyse	Lagring	Distribution	Samlet(WTT)
Tryklagret hydrogen (350 bar): 100 enheder	50 %	84,3 %	93,5 %	
	50 enheder	42,2 enheder	39,4 enheder	39,4 %
Flydende hydrogen: 100 enheder	50 %	58,5 %	99,6 %	
	50 enheder	29,2 enheder	29,1 enheder	29,1 %

Tabel 3-1: WTT skema for udregning af nyttevirkning.

På denne simple udregning kan det ses, at tryklagret hydrogen ved 350 bar har den bedste Well-to-Tank nyttevirkning (WTT) i forhold til flydende hydrogen. Derfor vil tryklagret hydrogen blive brugt til den samlede beregning af Well-to-Wheel-analysen.

Der kan måske være mulighed for at optimere produktionen af hydrogen både på selve elektrolyse-enheden samt på rensningsprocessen af vand. Hvis vandet ikke umiddelbart er til rådighed, skal der også forbruges energi på, at få vandet distribueret, hvilket vil betyde, at systemvirkningsgraden vil falde. Omvendt vil denne kunne effektiviseres ved enten at placere anlægget i nærheden af vandet eller ved at føre vand hen til anlægget, hvis det første ikke er muligt.

4. Well-to-Tank – Elbil med batteri

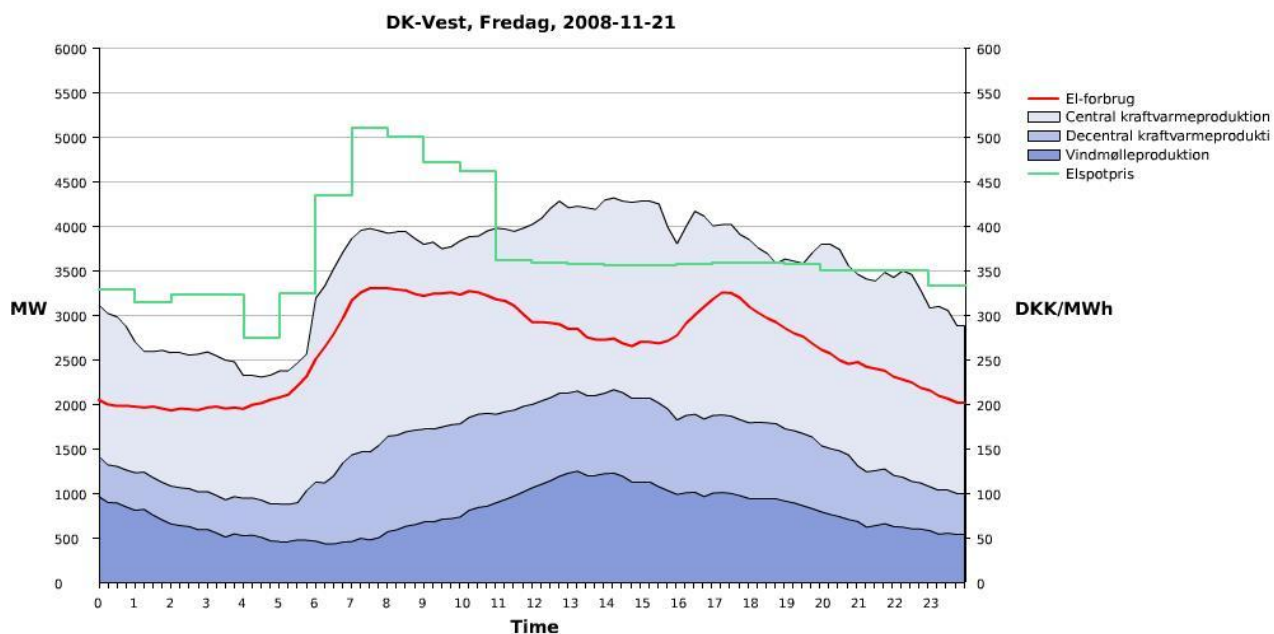
I Well-to-Tank – el vil der være en kort introduktion til fordele, ulemper og hvor kommerciel teknikken er i dag. Som det sidste i afsnittet vil Well-to-Tank leddene blive beskrevet og tabene i de forskellige led vil blive belyst.

4.1. Fordele og ulemper for elbiler med batterier

Batterier har længe været en kendt teknologi, den har eksisteret i mere end halvanden hundrede år [34]. Dette betyder, at teknologien har haft tid til at blive en stabil ressource, der bruges verden over i dag. Dette gør det til en pålidelig lagringsmetode. At den allerede nu findes i fjernstyrede biler, betyder at det kan være muligt at skalere det op og derved skabe et overblik over, hvilke komplikationer der eventuelt måtte være med batteri biler. Med dette in mente skal det påpeges, at de elbiler der findes på markedet nu, beregnet til den almindelige borger har en begrænset aktionsradius på imellem 40 [35] og 180 km [36]. Hertil skal det medregnes, at den korte aktionsrækkevidde betyder, at bilen skal oplades tiere end en almindelig benzin/diesebil skal optankes. Selve opladningen af batteriet kan tage fra ca. 10 minutter [37] og op til en hel nat, hvilket betyder, at elbilen pga. den nuværende infrastruktur ikke er velegnet til ture, hvor der skal tilbagelægges mere end 200 kilometer. Infrastrukturen kan dog ændres, da Danmarks elnet allerede nu kan optimeres og derved gøre det muligt for den almene borger at genoplade sit køretøj hjemme i garagen. Og derved lagre energien fra vindmøllerne direkte i batterier og i transportsektoren. Desuden er batteri biler afgiftsfrie frem til 2012 [38], hvilket skulle være et favorabelt grundlag for at vælge en elbil, og alligevel er elbilerne meget lidt udbredt i Danmark, hvilket eventuelt skyldes, at det først er nu, batteri bilerne begynder at kunne hamle op med dieslbilerne, samt at batterierne slides op og har en gennemsnitlig levetid på 500-1000 opladninger.

4.2. Økonomiske og samfundsmæssige perspektiver

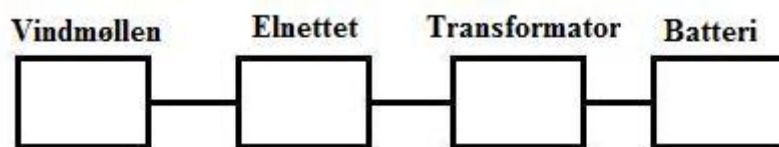
Økonomisk set vil en elbil kunne konkurrere med nutidens biler, da det vil være ca. 3 [39] gange så billigt pr. kilometer, dog vil der komme en udgift for leje af batteri. En af hindringerne med elbiler er at få den opladet og hurtigt nok.



Figur 4-1: Danmarks forbrug og produktion for fredag d. 21/11-08

På Figur 4-1 er Danmarks el forbrug vist over en 24 timers periode, hvor det ses, at i nattetimerne er energi forbruget lavt, mens det stiger, når befolkningen står op og stiger yderligere, når befolkningen kommer hjem fra arbejde. En ulempe ved plugin elbiler, hvor der ikke er installeret en intelligent el-måler er, at størstedelen af befolkningen, når de kommer hjem, sætter bilen til opladning, hvilket kun vil gøre peaken omkring kl. 17-19 endnu større end i dag, og det vil ikke være hensigtsmæssigt, da det ikke kan garanteres, at vinden blæser på det tidspunkt.

4.3. Eldistributionskæden

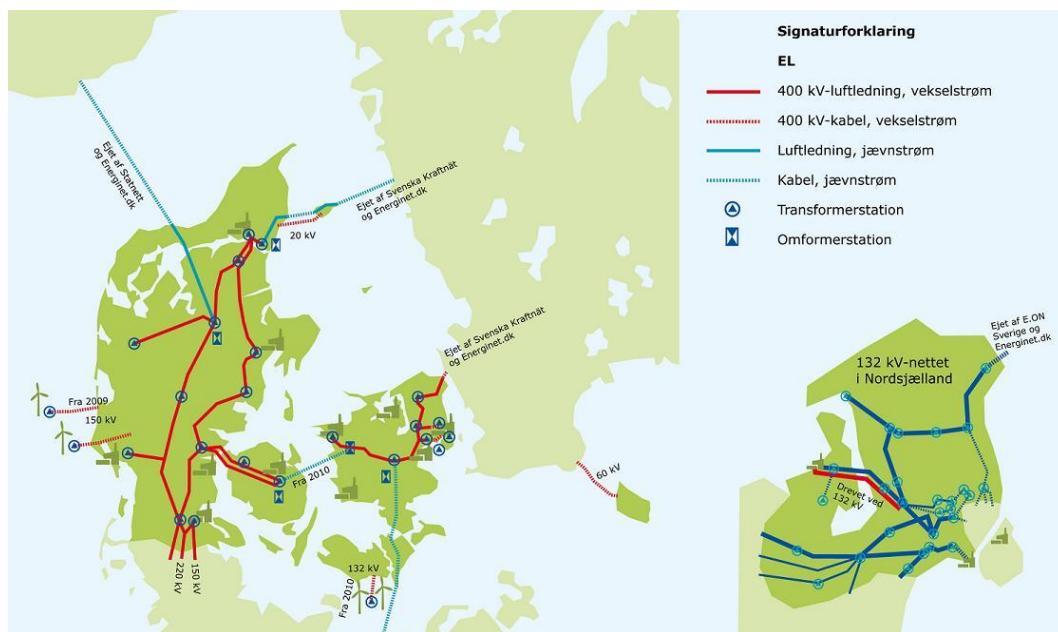


Figur 4-2: Distributionskæden for el fra vindmølle til batteri.

4.3.1. Elnettet

Elnettet i Danmark kan deles i to dele, det overordnede eltransmissionsystem og eldistributions-systemet, som ejes henholdsvis af energinet.dk og lokale distributions selskaber.

Eltransmissionsnettet består af 400 kV vekselstrømsledninger (både luftledning og kabel), som er markeret som røde streger på Figur 4-3. De blå streger på Figur 4-3 repræsenterer jævnstrømsledninger (både luftledninger og kabler), som også viser forbindelserne til Norge, Sverige og Tyskland. I Danmark er der to eltransmissionsnet, Vestdanmark og Østdanmark, som hver især er koblet til udlandet. Energinet.dk er ved at etablere en jævnstrømsforbindelse over Storebælt, så Øst- og Vestdanmark kan kobles sammen, dette forventes færdigt i 2010 [40].



Figur 4-3: Det danske eltransmissionssystem.

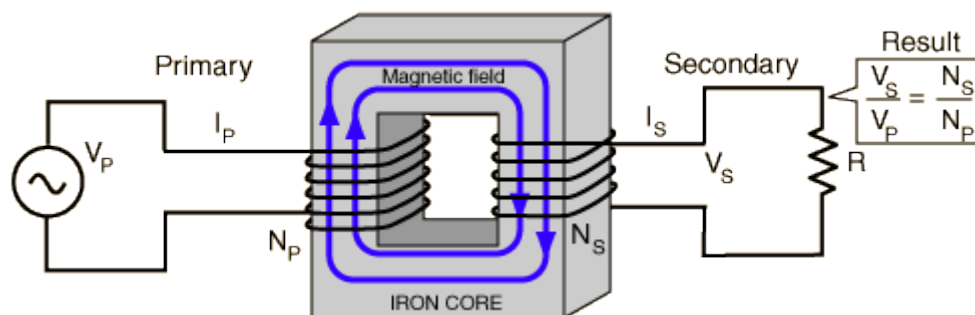
4.3.1.1. Kablerne

Når el transporteres i ledninger afsættes energitabet i form af varme. Energi tabet formindskes ved at transformere spændingen op, og derved strømstyrken ned. Øges spændingen med en faktor 10, formindskes strømstyrken tilsvarende med en faktor 10, hvilket betyder, at den afsatte effekt i ledningen bliver formindsket med en faktor 100 på grund af formelen for effekt:

$$P = R \cdot I^2 \quad (2)$$

Hvor P er effekten [W] i ledningerne, R[Ω] er ledningsmodstanden og I [A] er strømstyrken.

Transformere er en vigtig del af elnettet, da de nedsætter ledningstabet under eltransporten. Dette gør det muligt at have et samlet elnet, der kan transportere vindmøllestrøm til batteriet i elbilen.



Figur 4-4: Princippet i en transformator

En transformator består af to jernstænger, med en spole af ledninger på hver af dem. De to jernstænger er sat sammen af to andre jernstænger uden spoler, som det er illustreret på Figur 4-4. De to sider af transformeren med spoler, deles i en primær og en sekundær, hvor den primære er den side, hvor strøm bliver tilført, og den sekundære er den strømmen udsendes fra. Afhængigt af om spændingen skal sættes op eller ned, reguleres antallet af vindingerne ved den primære og sekundære side. Dette kan bestemmes ud fra Faraday's lov:

$$\frac{U_s}{U_p} = \frac{N_s}{N_p} \quad (3)$$

Hvor U_p er spændingen ved primær siden og U_s er spændingen ved sekundær siden, N_p og N_s er antallet af vindinger om henholdsvis den primære og sekundær spole.

En transformator virker ved, at denne tilsættes strøm til den primære side af den, hvilket skaber et homogent magnetisk felt i jernstangen. Dette magnetfelt vil løbe over til den sekundære side, hvor den danner strøm i spolerne, da den bevæger sig i forhold til spolen. Dermed overføres der strøm fra primær siden til sekundær siden, med den ønskede spænding [41].

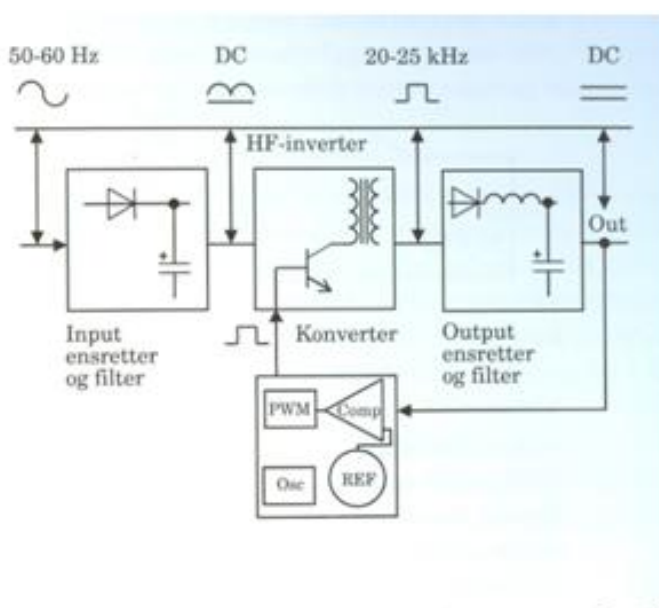
COWI har i en rapport om alternative brændstoffer i transportsektoren til energistyrelsen, antaget at distributionstabet i Danmark er på 9 %. [42]

4.3.1.2. Batterilader

Afsnittet er baseret på kilde: Analog teknik 2, Elektronik-serien af Egon Rasmussen, Industriens forlag, ISBN 87-600-0125-9

Den regulerer på den tid, den er tændt, således at middelværdien vil udgøre den ønskede spænding. Ved hjælp af udglatning og filtrering kan spændingen blive ren DC.

Et styrekredsløb kan overvåge udgangsspændingen, og hvis den begynder at falde på grund af belastningen, kan det modvirkes ved at "work duty cyclüs" øges og derved lader switchen være åben i længere tid. På denne måde vil udgangsspændingen stige igen.



Figur 4-5: Blokdiagram over en simpel lader

Det første, der sker, er, at AC spændingen (netspændingen) omsættes til DC spænding via en ensretter og et filter.

DC spændingen føres til HF-inverteren. Den deler DC spændingen i stykker med en frekvens på 20 kHz op til 200 kHz. Indgangsspændingen transformeres op eller ned til det niveau, der ønskes.

Ud af inverteren kommer en firkantlignende spænding med en del støj. Denne spænding ensrettes og filtreres i udgangsensretteren og filterblokken. Nu er spændingen brugbar.

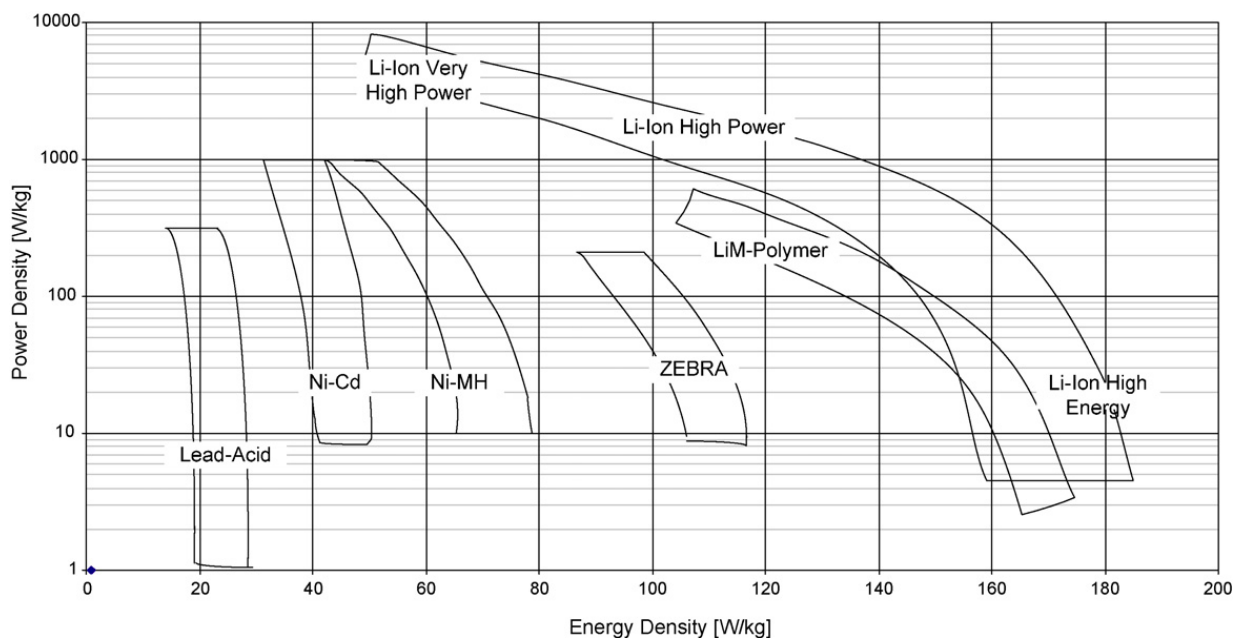
Det er nødvendigt at have en reguleringsenhed for at holde udgangsspændingen konstant. Denne regulering foretages i kontrolblokken. En comparator sammenligner udgangsspændingen med en referencespænding, og resultatet styrer en firkantgenerator, der giver switch-transistoren dens signal. Når det skal reguleres, sker dette ved, at reguleringsblokken ændrer på firkantgeneratorens frekvens (pulsbredde) og dermed den energiladning, der vil være i spole / transformatoren.

Effektivitet på en oplader ligger på de 70-80 %.

4.3.2. Batteri

Et batteri er meget simpelt opbygget. Det består af nogle celler, hvori der finder nogle kemiske processer sted, hvorved batteriet kan optage eller afgive energi. Forskellige typer batterier anvender forskellige kemiske processer til det. Når et batteri til elbilen skal vælges, er det vigtig, at det har en god energitæthed og effekttæthed.

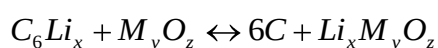
På Figur 4-6 er der vist de mest almindelige batterier og deres effekttæthed i forhold til deres energitæthed. På figuren ses det, at Li-ion batteriet kan fås i tre udgaver alt efter, hvilken af de to parametre der vægtes højest. Der vil derfor i denne rapport blive brugt et Li-ion batteri, pga. dens høje effekttæthed og energitæthed, som vil blive beskrevet.



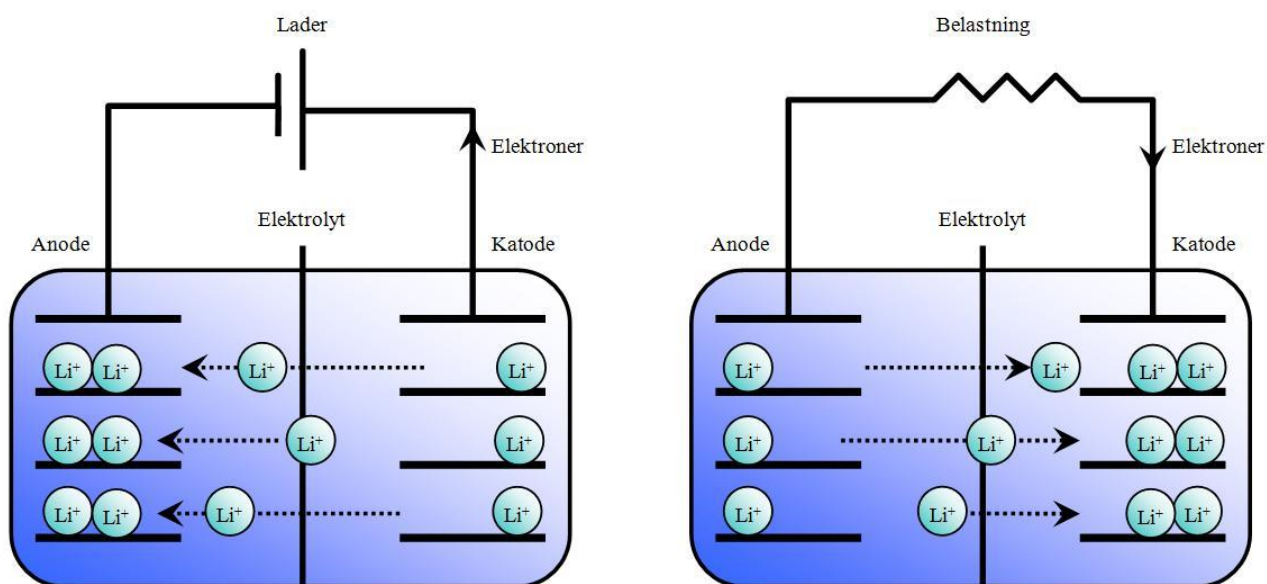
Figur 4-6: Effekt tæthed vs. energi tæthed for almindelig batterier.

4.3.2.1. Litium batterier

Der findes forskellige litium batterier, som anvender forskellige katoder, anoder og elektrolyt materialer. Hvis der tages udgangspunkt i et Litium ion batteri, består anoden af litium metal oxider og katoden af litium carbon forbindelser. Elektrolytten kan enten være organisk flydende eller en solid polymer. Den elektriske energi opstår ved at litium carbon og litium metal oxider danner carbon og litium oxider, som kan udtrykkes sådan kemisk:



Ved en opladning forgår processen den anden vej [43]. Den kemiske vandring af litium ioner kan også vises ud fra denne tegning:



Figur 4-7: Af og opladning af Litium batteri

Et batteris nyttevirkning igennem op og afladningsperioder er påvirkede af tabet, som skyldes den indre modstand, og der er i artiklen fra Power Sources: "Energy analysis of electric vehicles using batteries or fuel cells through well-to-wheel driving cycle simulation" udregnet en effektivitet på 92 % [44].

4.4. Diskussion af batterier Well-to-Tank

Nyttevirkningen er defineret som:

$$\eta = \frac{\text{energi}_{\text{nytte}}}{\text{energi}_{\text{samlet}}} \cdot 100\% \quad (4)$$

Hvis formelen omskrives, så $\text{energi}_{\text{nytte}}$ isoleres ser formelen sådan ud:

$$\text{energi}_{\text{nytte}} = \eta \cdot \text{energi}_{\text{samlet}} \quad (5)$$

I Tabel 4-1 er det forudsat, at der er 100 enheder energi, som sammen med nyttevirkningen indsættes i formelen ovenfor. Til at bestemme den samlede nyttevirkning for WTT, divideres $\text{energi}_{\text{nytte}}$ med $\text{energi}_{\text{samlet}}$, og ganges med 100 %. Derved findes den samlede nyttevirkningen til:

Nyttevirkning	Elnet og transformation	Oplader	Batteri	Samlet WTT.
Elektricitet oplagret i batteri 100 enheder.	91 %	80 %	92 %	
	91 enheder	72,80 enheder	66,98 enheder	66,98 %

Tabel 4-1: WTT skema for udregning af nyttevirkning.

Udregningerne i Tabel 4-1 viser, at WTT for elektricitet lagret i batterier har en nytte virkning på 66,98 %. Som vil blive anvendt i beregningsarket.

5. Tank-to-Wheel

I dette afsnit vil der blive redegjort for opbygning og effektiviteten af en AC/DC elmotor, og en PEM brændselscelle.

5.1. Elmotor

Afsnittet er baseret på kilde: Hybrid, electric and fuel-cell vehicles af Jack Erjavec og Jeff Arias

Elmotorer deles i to kategorier, AC motorer og DC motorer, men selv under disse kategorier kan motoren være bygget på forskellige måder, dog ud fra det samme grundprincip. I dette afsnit vil der blive beskrevet en permanent stationær magnet DC motor med børste, og en trefaset AC motor uden børste.

Elmotorens hastighed og acceleration styres af et elektronisk system, der modtager signalinput fra alle bilens dele, blandt andet fra inverter og speederen. Speederens signal kommer igennem en transistor, der regulerer på spændingen som en variabel modstand. En transistor anvendes, da den er mere effektiv end en variabel modstand.

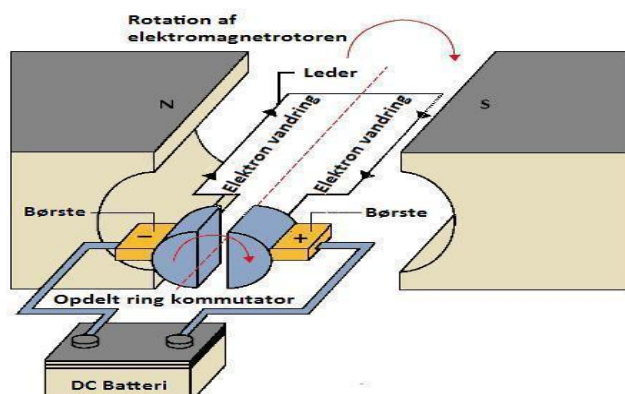
5.1.1. DC motor

Afsnittet er baseret på kilde: Hybrid, electric and fuel-cell vehicles af Jack Erjavec og Jeff Arias

En DC motor adskilles fra AC motor på bl.a. deres effekt. En DC motor kan ikke arbejde med mere end 192 volt, hvilket begrænser dennes ydeevne, da effekten afhænger af spænding.

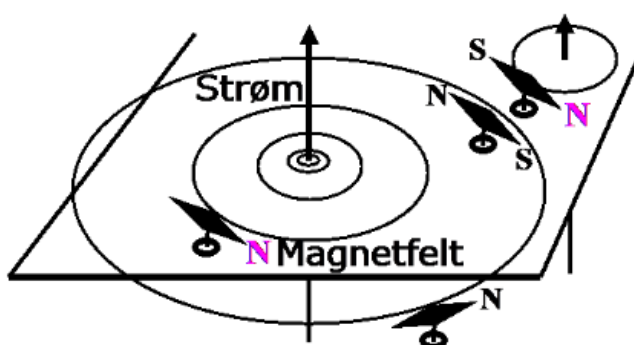
$$P = I \cdot U \tag{6}$$

Hvor P er effekt i watt, I er strømstyrke i ampere og U er spænding i volt.



Figur 5-1: Viser en skitsering af DC motor med permanentmagnet og børste.

På Figur 5-2 er grundprincippet i en DC motor vist. En DC motor består af to stationære permanentmagneter, som mellem deres poler danner homogene magnetiske fluxlinjer. Imellem magneternes poler, er der placeret en elektromagnetrotor, som danner et magnetfelt ved strømmen fra kommutator og børsterne. En kommutator sidder direkte på elektromagnetrotoren. Den overfører strøm fra børste til elektromagnetrotoren samtidig med, at den skifter strømretningen i elektromagnetrotoren. Den har en ringform, som er delt i to, så strømmen ikke kan cirkulere i den. Hver del er placeret på enderne af elektromagnetrotoren således, at når den drejer rundt mellem en negativ og en positiv børste skiftes strømretningen.



Figur 5-2: Viser magnetfeltets rotation om en strømledning.

En DC elektromagnetrotor består af en leder, som skaber fluxlinjer rundt om sig, ved at strøm løber igennem den, som det ses på Figur 5-2. Elektromagnetrotorens rotation skabes ved, at lederens fluxlinjer frastøder de stationære homogene fluxlinjer. Fluxlinjernes retning i en elektromagnetrotor ændres med strømretningen igennem lederen. En elektromagnetrotor består af en leder, men virker

som to ledere på grund af dens form som et U. Det kan ses på Figur 5-1. Begge ben virker som en selvstændig leder, med hver sin retning af fluxlinjer rundt om den. Dermed skal de ændre retningen på fluxlinjerne, når de skifter plads ved rotation.

En DC motors hastighed afhænger af:

- Spænding.
- Lasten på rotores støttepunkt.

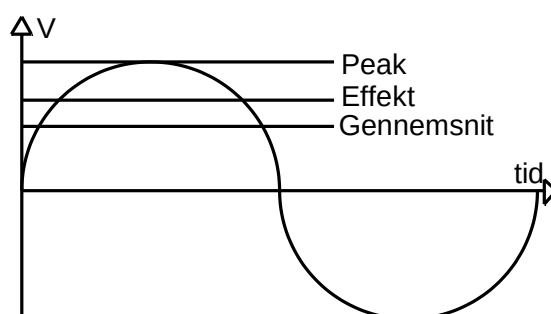
En DC motors kraftmoment afhænger af:

- Motorens rotationshastighed
- Strømstyrken der passerer igennem lederen.

5.1.2. AC motor

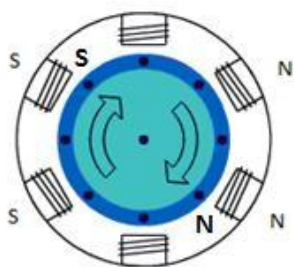
Afsnittet er baseret på kilde: Hybrid, electric and fuel-cell vehicles af Jack Erjavec og Jeff Arias

En AC motor kan arbejde med flere tusinde volt, og kan dermed også yde en højere effekt end DC motoren.



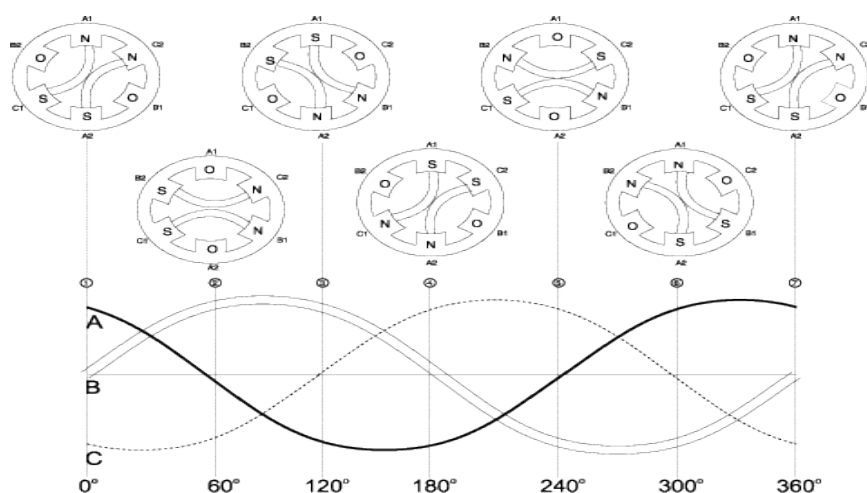
Figur 5-3: En AC spænding kurve

Vekselstrøm adskiller sig fra jævnstrøm ved, at strømmen kontinuerligt skifter retning, dette er et grundlæggende princip i en AC motor. Som det ses på Figur 5-3, følger strømmen en sinus kurve, hvor den går fra høj mod nul først, og derefter mod lav. Derfor angives en AC strøms spænding med dennes gennemsnitsspænding. Effekten ligger ikke ved det maksimale udsving, men lidt over gennemsnittet.



Figur 5-4: Viser en roterende og en stationær magnet der frastøder hinanden.

En AC motor fungerer ved, at der er en magnetisk rotor inde i en cirkelformet stationær magnet, som har 3 eller 6 elektromagnetiske poler rundt om. De elektromagnetiske poler cirkler rundt i stationærmagneten, på grund af AC strømmens svingende strømretning, hvilket ændrer polernes polaritet. Dette gør, at magnetrotoren roterer inde i stationærmagneten.



Figur 5-5: Ses en trefaset elektromagnets rotationer.

En trefaset AC motor har tre selvstændige strømkredse, som magnetiserer hver deres magnet par, som sidder overfor hinanden i stationærmagneten, som det ses på Figur 5-4. De tre strømkredse har samme amplitude og frekvens, men er 60° forskudte fra hinanden, som det er illustreret på figur 5-5. De vil derfor ikke få den samme pol mod magnetrotoren.

En AC motors hastighed afhænger af:

- Antallet af kobbersvingninger per pol og antal af poler indbygget i stationærmagneten.
- Frekvensen af vekselstrømmens spænding.
- Lasten på rotorens støttepunkt.

En AC motors kraftmoment afhænger af:

- Motorens rotationshastighed
- Strømstyrken, der passerer igennem pol svingningerne, som forstærker magnetfeltet.

5.2. Elmotorens effekt tab

Dette kapitel er baseret på bogen: Electric vehicle technology explained af James Larminie og John Lowry, ISBN: 0-470-85163-5

En elmotor har en teoretisk høj effektivitet, idet den ikke er under indflydelse af Carnots kredsproces.

En elmotor har dog stadigvæk mekaniske tab, og disse vil blive forsøgt beskrevet ud fra en DC motorens effekttab.

Følgende fire slags effekttab forekommer i en elmotor:

- Ledningstab
- Elektrisk magnetisering af rotoren
- Vindmodstand for rotoren og friktion mellem børste og kommutator
- Konstante tab

Ledningstabet skyldes den elektriske modstand, der er i kobberledningerne i motoren. Det tab forekommer i form af varme, hvilket er uønsket dette kræver mere energi til nedkøling.

Tabet i ledningerne kan regnes ved Joules lov.

$$P = I^2 \cdot R \quad (7)$$

Hvor (I) er strømstyrken og (R) er en konstant modstand. Strømstyrken kan erstattes med et kraftmoment (T), ved at isolere strømstyrken i ligning (8), hvor strømstyrken og kraftmomentet er proportionale og de andre led er konstanter. Kraftmomentets ligning er givet ved:

$$T = 2 \cdot n \cdot r \cdot B \cdot I \cdot l \quad (8)$$

Hvor (n) er antal kobbervindinger om magnetfeltet, (r) er radiussen på vindingerne, (l) er længden af kobberledningen og (B) er fluxtætheden (magnetfeltets styrke). $2Brl$ er flux (magnetfeltets størrelse), som erstattes med betegnelsen Φ .

$$I = \frac{T}{n \cdot \phi} \quad (9)$$

Dette erstattes med strømstyrken i ligning (7):

$$P = \left(\frac{T}{n \cdot \phi} \right)^2 \cdot R \Rightarrow P = T^2 \cdot R \cdot \frac{1}{n^2 \cdot \phi^2} \Rightarrow P = T^2 \cdot k_c \quad (10)$$

Hvor k_c er kobbermodstanden, der afhænger af modstanden i motorens børste, spole og den magnetiske flux.

Der er to slags tab ved brug af en elektrisk rotormagnet. Når polariteten ændres, ændres retningen på de små jernstykker inde i kernen, hvoraf det ene tab består af magnetisering og afmagnetisering af rotoren; det koster energi at ændre på jerns orden i rotoren. Det andet tab skyldes strømdannelse i rotoren, på grund af det ændrede magnetfelt rundt om den. For at mindske det tab, deles rotoren i små dele med tynde lag af plastik, da strømmen ikke kan komme igennem plastik, men det kan magnetismen. De to tab kaldes til sammen for Jerntab, da de opstår i jernet. Jerntab sættes i ligningen for effekt, for at finde effekttabet. Ligningen for effekt:

$$P = F \cdot \bar{v} \quad (11)$$

Jerns effekttab er proportional med rotorens vinkelhastighed, dermed gælder der:

$$Effekttab_{Jerntab} = k_i \cdot w \quad (12)$$

Hvor w er vinkelhastigheden og k_i er jernmodstanden. Denne er ikke konstant, da den ændres med fluxtætheden. Jerntab findes ikke i permanentmagnet rotoren.

Rotorens rotation skaber to andre effekt tab: vindmodstand og friktion. Vindmodstanden opstår ved, at rotoren støder på luft i motoren. Dette er udtrykt ved ligningen for drag:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho w^2 A C_d \quad (13)$$

Hvor F_d er vindmodstandes kraft på rotoren, ρ er luftens densitet, w er rotorens vinkelhastighed, A er det areal rotoren roterer over, og C_d er vindmodstandskonstanten. Alle disse led er konstanter, undtagen vinkelhastigheden i anden potens, som derfor er proportional med vindmodstandskraften. Ved at sætte alle konstanter sammen til en konstant k_w og sætte den i ligningen (11) for effekt giver det:

$$Effekttab_{vind} = k_w \cdot w^2 \cdot w = k_w \cdot w^3 \quad (14)$$

Friktionstabet opstår mellem motorens børste og kommutator, når de glider over hinanden. Dermed er friktionstabet proportional med rotorens vinkelhastighed. Ved at sætte den i ligning (11) for effekt giver det:

$$Effekttab_{Friktions} = T_f \cdot w \quad (15)$$

Hvor T_f er friktionsmomentet og w vinkelhastigheden. Dette tab findes dog ikke ved permanentmagnet rotor.

Derudover eksisterer der nogle konstante tab(C), der kun er gældende i AC motoren, som også finder sted, når bilen holder helt stille. Dette skyldes blandt andet, at magnetfeltet omkring elektromagten konstant skal opretholdes, også når bilen eksempelvis holder for rødt. Dette tab findes dog ikke ved motorer med permanente stationære magneter.

Ligningerne for effekttabet i elmotoren sættes sammen, for at finde det totale effekttab. Ligning (15) sættes sammen med ligning (12), da de begge er proportionelle med vinkelhastigheden, kan dette gøres med god approksimation.

$$Effekt_{total\ tab} = T^2 \cdot k_c + k_i \cdot w + k_w \cdot w^3 + k_f \cdot w + C \quad (16)$$

5.3. El-motorens effektivitet

For finde en motors effektivitet ses der på dens ydelse i forhold til dens energiforbrug. Dette kaldes for nyttevirkning.

$$\eta = \frac{Energi_{nytte}}{Energi_{brug}} * 100\% \quad (17)$$

$$\eta = \frac{\text{Output}}{\text{Output} + \text{tab}} * 100\%$$

Indsættes motorens totale effekttab i ligning (17), sammen med motoreffekten giver det motorens nyttevirkning.

$$\eta = \frac{T \cdot w}{T \cdot w + (T^2 \cdot k_c + k_i \cdot w + k_w \cdot w^3 + k_f \cdot w + C)} \quad (18)$$

Hvis effekttabets konstanter skal findes, måles de på bilerne, forskellige motorer vil have forskellige værdier for dem. Der antages, at der findes en effektivitet for elmotoren på 92 % [45]

I en elbil afsættes der energitab i transmissionsleddene fra motoren til hjulene, som er antaget til at være 2 %, som derved giver en nyttevirkning på 98 % [45].

5.4. Brændselsceller

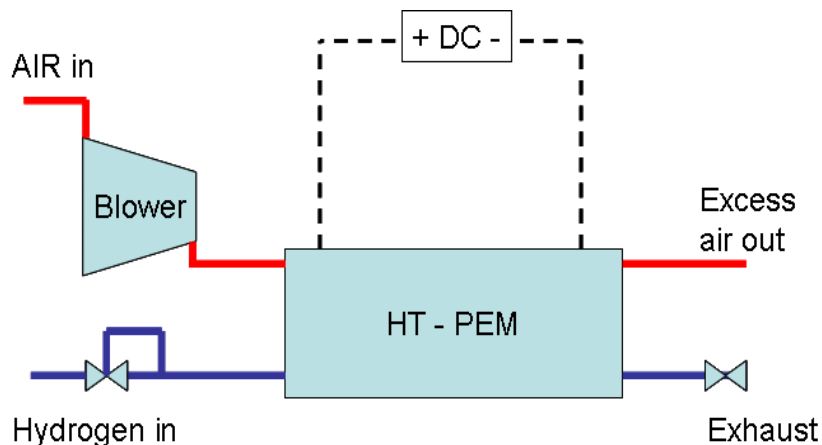
Der findes flere forskellige typer af brændselsceller, som alle producerer energi ud fra hydrogen og oxygen. Brændselsceller kan deles i høj- og lavtemperatursenheder. Solid oxide (SOFC) og Molten Carbonate (MCFC) har arbejdstemperaturer mellem 600 °C og 1800 °C, hvilket gør, at de ikke er egnede til anvendelse i bilen. Polymer electrolyte membrane/proton exchange membrane (PEM), Alkaliske (AFC) og Phosphoric Acid brændselsceller (PAFC) har arbejdstemperaturer, som passer bedre til installation i biler. PEM brændselscellen er den optimale af de 3 pga., at den har en fast membran i stedet for PAFC, som har en flydende membran, og derfor kræver den at stå i vand for at arbejde. Den alkaliske brændselscelle fravælges på grund af, at den kræver ren forsyning af oxygen. [46] Der vil derfor blive beskrevet en PEM brændselscelle.

5.4.1. PEM brændselscelle

PEM brændselscellen kan deles i to kategorier, en høj temperatur PEM brændselscelle (HT-PEM), som virker ved 100-200 °C og en lav temperatur PEM brændselscelle (LT-PEM), som virker ved 70-80 °C.

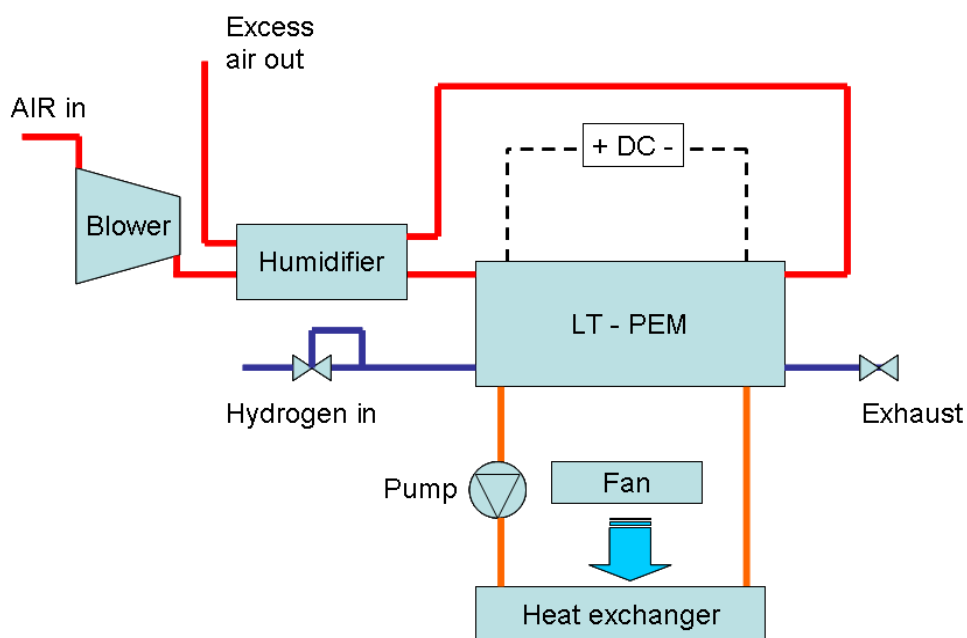
På henholdsvis Figur 5-6, og Figur 5-7 ses systemopbygningen af HT-PEM brændselscelle og en LT-PEM brændselscelle. Som det ses på de to forskellige billeder har LT-PEM brændselscellen et mere

komplikeret systemdesign end HT-PEM brændselscellen, hvilket skyldes at LT-PEM har behov for en befugtning af elektrolytten for at kunne fungere optimalt.

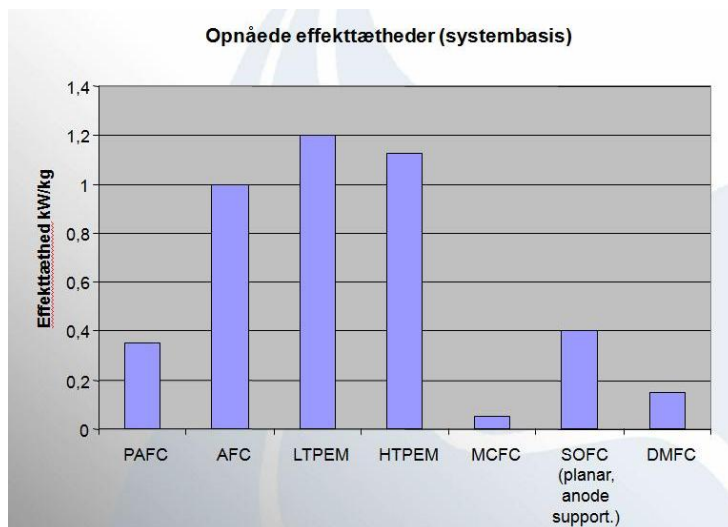


Figur 5-6: HT-PEM brændselscelle system.

HT-PEM brændselscellen har en større tolerance end LT-PEM over for CO forgiftning som midlertidigt nedsætter dens ydeevne, men som kan genoprettes med en ren forsyning af H_2 . Dette har ingen betydning for dette projekt, da der forudsættes, at brint er lagret rent ved tryk. I stedet skulle det tages i betragtning ved metanol som brintbærer.

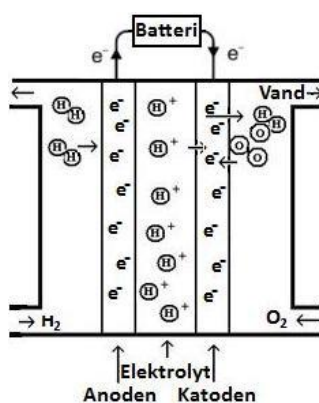


Figur 5-7: LT-PEM brændselscelle system



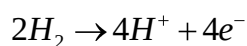
Figur 5-8: Opnåede effekttætheder (systembasis)

På Figur 5-8 ses det, at LT-PEM har en højere effekttæthed i forhold til HT-PEM [16], så PEM brændselscellen skal vælges ud fra hvilke egenskaber, som vægtes højest. PEM brændselscellerne består af en anode og katode, som er fremstillet af grafit eller carbon, som er beklædt med platin. Platinen virker som katalysator, som spalter hydrogen og oxygen molekylerne. Elektrolyttens egenskaber er at lade hydrogen protoner passere fra anoden til katoden. Elektrolytten kan være lavet af materialet Nafion [47].

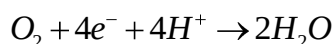


Figur 5-9: Viser hvordan en PEM brændselscelle omdanner energien i hydrogen til elektrisk strøm.

På Figur 5-9 ses det, at brændselscellen fødes med hydrogen på anode siden, hvor H_2 molekylerne bliver spaltet i positive hydrogen ioner (H^+) og elektroner (e^-):



De $4H^+$ ioner vandrer igennem membranen til katoden, mens elektronerne indgår i det eksterne kredsløb, f.eks. en elmotor. Katoden forsynes med luft, hvor oxygen molekylerne sammen med elektronerne og protonerne danner vand:



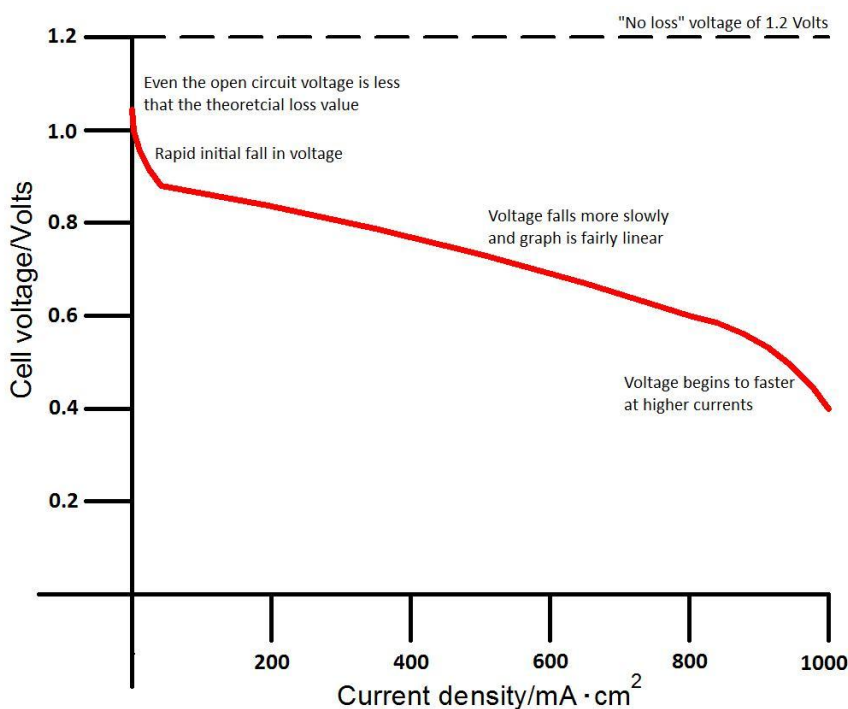
En PEM brændselscelle bliver slidt ved anvendelse. Forskellige producenter har opnået forskellige levetider, dog kan anoden, katoden og elektrolytten udskiftes og brændselscellen kan køre igen [48].

5.4.2. Tab og nyttevirkning for PEM brændselscelle

Dette kapitel er baseret på bogen: Electric vehicle technology explained af James Larminie og John Lowry, ISBN: 0-470-85163-5

En brændselscelle producerer ikke kun strøm og vand, men også varme, som er tab, hvis den ikke anvendes internt i bilen system. I denne rapport anvendes varmen ikke og er derfor et tab, som skyldes:

- Aktiveringsenergi
- Modstand i elektrolytten.
- Spændingstab forbundet med en utilstrækkelig forsyning af oxygen til brændselscellen.



Figur 5-10: Viser spændingen af en PEM brændselscelle ved 80 °C.

På Figur 5-10 kan det ses, at spændingen i starten falder fra 1,2 volt til 0,9 volt. Dette skyldes, at der bruges energi på at sætte reaktionerne i gang mellem hydrogen og platin. Efter opstarts-faldet falder spændingen næsten lineært, dette fald skyldes den modstand som elektronerne og protonerne møder fra anoden til katoden, og faldet følger derved ohms lov med god tilnærmelse. Til sidst på Figur 5-10 ses et større fald i spændingen som skyldes en høj produktion af energi, hvilket betyder at oxygenindholdet på katode side falder, og kvælstofkoncentrationen stiger og blokerer for frisk forsyning af oxygen, som medfører det sidste energitab.

En PEM brændselscelle, som har en arbejds-spænding, på mellem 0,65 og 0,70 V jævnspænding, har en nyttevirkning på ca. 50 %.

Når der bruges 1 mol H_2 i brændselscellen, sendes der 2 mol elektroner ud i det eksterne kredsløb. For at finde nyttevirkningen skal energiligningen bruges:

$$Energ_i = Q \cdot U \quad (19)$$

Hvor U er spændingen som skal betragtes, hvis al energien i hydrogen omsættes ($U_{100\%}$). Q er ladningen på et mol H_2 , som kan udtrykkes ved 2 mol elektroner, der kan udregnes ved Faradays konstant F , som giver ladningen af et mol elektroner (96.485 coulombs). Energiligningen kan så skrives sådan:

$$Energ_i = 2F \cdot U_{100\%} \quad (20)$$

Energien kan også udtrykkes sådan:

$$Energ_i = \Delta H \quad (21)$$

Hvor ΔH er den energi, som der frigives ved afbrænding af hydrogen (Lower Heating Value, der er, når et stof udsættes for en total forbrænding, og vandet forbliver på gasform):



Faradays konstant og ΔH indsættes, og $U_{100\%}$ findes, som er den maksimale spænding, brændselscellen kan yde:

$$\Delta H = 2F \cdot U_{100\%} \Rightarrow U_{100\%} = \frac{\Delta H}{2F}$$

$$U_{100\%} = \frac{241,83 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{mol}} \right]}{2 \cdot 96485 \left[\frac{\text{C}}{\text{mol}} \right]} = 1,25 \text{ V} \quad (22)$$

$U_{100\%} = 1,25 \text{ V}$, er den maksimale spænding som PEM brændselscellen kan yde. Som skrevet tidligere skulle PEM brændselscellen have en nyttevirkning på ca. 50 % ved afgivelse af 0,65-0,7 V.

Det kan nu vises ved at benytte formelen for nyttevirkning:

$$\text{Effektivitet} = \frac{U_c}{U_{100\%}} \cdot 100\% \quad (23)$$

Hvor U_c er den spænding, som leveres ved brændselscellen:

$$\begin{aligned} \text{Effektivitet}_{0,65\text{V}} &= \frac{0,65 \text{ V}}{1,25 \text{ V}} \cdot 100\% = 52\% \\ \text{Effektivitet}_{0,70\text{V}} &= \frac{0,70 \text{ V}}{1,25 \text{ V}} \cdot 100\% = 56\% \end{aligned} \quad (24)$$

Findes gennemsnittet af de to nyttevirkninger, fås en nyttevirkning på 54 %. Nyttvirkningsudregningen har også vist, at nyttevirkningen på en brændselscelle er lastafhængig.

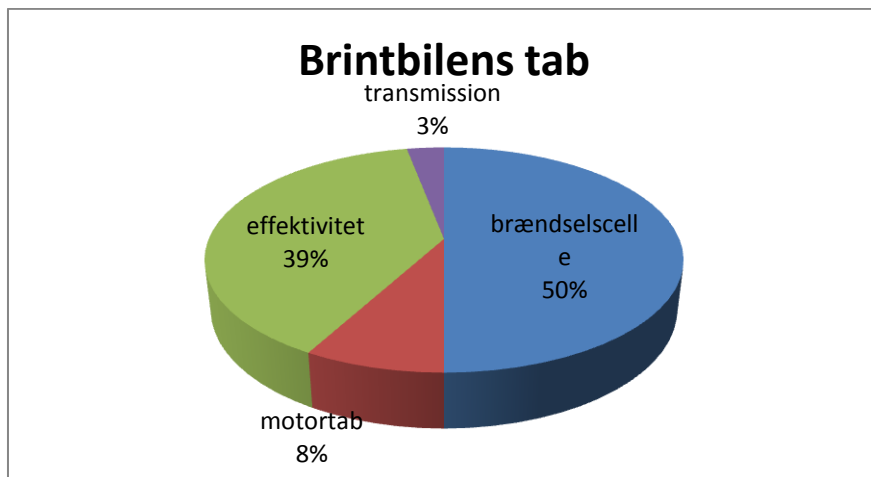
I de efterfølgende afsnit antages det, at nyttevirkningen for brændselscellen er 50 % [43]

5.5. Diskussion af Tank-to-Wheel effektiviteten

Der er ikke nogen stor forskel mellem en AC og en DC motor ud over deres effektivitet, hvor DC motoren ikke kan arbejde med mere end 192 volt.

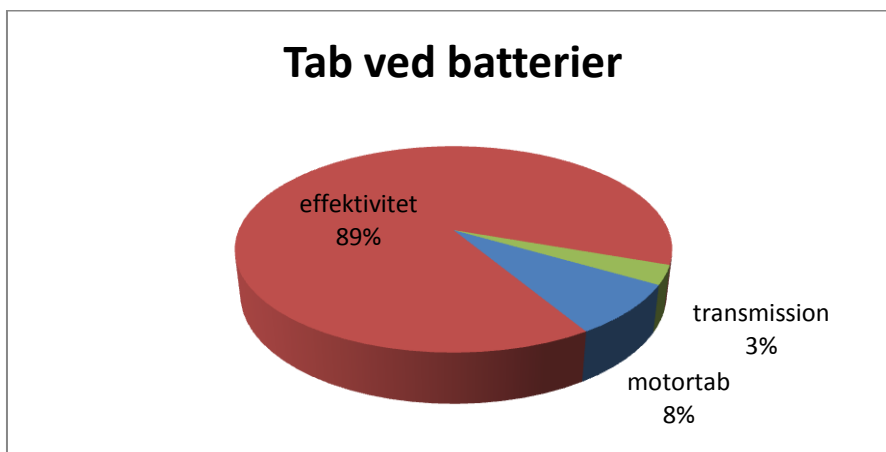
I forhold til forskellene mellem batterier og brændselsceller, ses det på henholdsvis Figur 5-11 og Figur 5-12, at en langt større del af energiforbruget i en brintbil, optages af interne tab, og derved ska-

bes et større energibehov. I forhold til bilens design, betyder det, at lagringsteknologien vil veje og fylde mere i systemet.



Figur 5-11: Viser et cirkeldiagram over tabene i en bil med en brændselscelle.

Figur 5-11 er lavet på basis af de tab, der er beregnet for PEM brændselscelle og tabet i en elmotor, hvilket viser en nyttevirkning på 39 % for en hydrogen bil.



Figur 5-12: Viser et cirkeldiagram over tabene i en elbil med batterier.

Figur 5-12 er lavet på basis af de tab, der er beregnet for lithium-ion batteri og tabet i en elmotor, hvilket viser en nyttevirkning på 89 % for en elbil.

6. Effektivitetsbestemmelse og kørecyklus

I dette afsnit vil der blive forklaret de kræfter som påvirker en bil, når den er i fremdrift så som luftmodstanden (drag) og rullemodstanden. Bilens motorstørrelse bestemmes ud fra EU's kørecyklus.

6.1. Motorbestemmelse for VE-biler

De følgende afsnit er baseret på kilde: Electric and Hybrid Vehicles - Design fundamentals; Iqbal Hussain; 2003, ISBN: 0-8493-1466-6

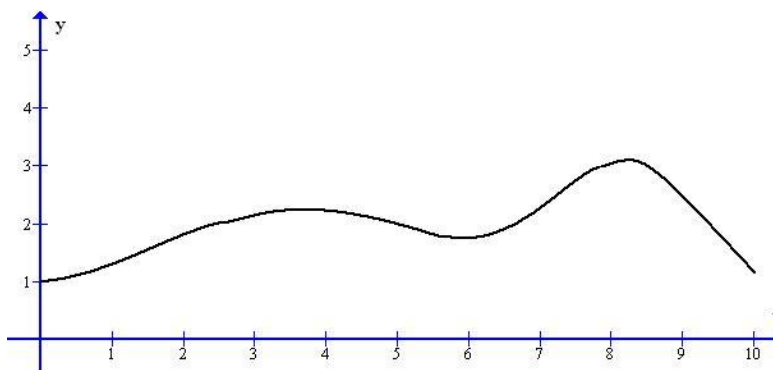
Uanset om der betragtes et system med et brintlager eller et batteri, så sker transmissionen fra den lagrede energi til omdrejninger på hjulet gennem en elektrisk motor. Når størrelsen på denne skal bestemmes, er det nødvendigt at tage en lang række faktorer i betragtning. I dette kapitel behandles og forklares følgende faktorer i motorbestemmelsen på et teoretisk og formelbaseret plan.

- Strækningstype
- Nødvendig kraft bestemt af strækningstypen
- Vægt
- Gravitationspåvirkning
- Rullemodstand
- Aerodynamisk Drag
- Nødvendig effekt

6.1.1. Strækningstypen

Det er væsentligt for resultatet, at der foretages en vurdering af kørecyklingen, hvis der er stigninger eller fald over vejstrækningen, ændrer det bilens dynamik. Der findes standarder for kørecyklinger, som anvendes af bil- og motorfabrikanter, og disse vil også anvendes i denne rapport til at basere motorvalget på.

Hvis en strækning betragtes uden at tage højde for svingene, kan den beskrives som en funktion i et xy-koordinatsystem, hvor tiden findes ud af x-aksen og højden over vandoverfladen findes på y-aksen.



Figur 6-1: Viser et eksempel på en vejstrækningsudvikling

Ovenfor ses hvordan en vejstræknings højdeniveau(y) forløber som en funktion af køretiden(t), ($y=f(t)$).

Denne kan beskrives ved hjælp af retningsvektoren:

$$\vec{r}(x) = t \cdot \vec{i} + f(x) \cdot \vec{j} \quad (25)$$

Da tyngdekraftens påvirkning af bilen ændres væsentligt alt efter, hvor stor stigningen eller faldet over vejstrækningen er(hvis der er et fald, vil tyngdekraftens påvirkning blive positive, og derved mindske den nødvendige kraft til fremdriften), så det er vigtigt at kunne medregne stigningsindekset som en del af funktionen, derfor introduceres begrebet Tangentvektor. Tangentvektoren indikerer direkte, hvilken retning bilen kører, ikke blot at der køres fremad, men i hvilken vinkel til horisontal-aksen. Tangentvektoren kaldes også for hastighedsvektoren.

Tangentvektoren bliver:

$$\vec{T}(x) = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{i} + \frac{df}{dt} \vec{j} \quad (26)$$

Denne funktion er vigtig for det videre arbejde med motorbestemmelsen, og vil blive anvendt senere.

6.1.1.1. Afgrænsning

I de følgende eksempler vil der for simpelhedens skyld blive betragtet en flad vejstrækning (dvs. en strækning med hældningen = 0). Det bliver retfærdiggjort af, at rapporten udarbejdes i forbindelse

med en analyse af implementeringen af alternative brændsler i den danske transportsektor, hvor der ikke findes markante stigninger på vejstrækningerne.

6.1.2. Den nødvendige kraft

Newtons 2. Lov fastsætter kraft som et produkt af vægt og acceleration:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (27)$$

I dette tilfælde, hvor der skal vurderes, hvad den nødvendige kraft er over en strækning med varierende acceleration og kørehastigheder, er det nødvendigt at se den nødvendige kraft som summen af hver etapes kraft:

$$\sum_i \vec{F}_i = m \cdot \vec{a} \quad (28)$$

Accelerationen findes ved at differentiere hastighedsvektoren $\vec{v}$ (tangentvektoren):

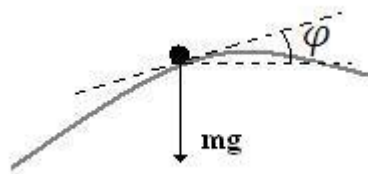
$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \rightarrow \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (29)$$

I alle udregninger betragtes en acceleration altid som udført med maksimal belastning (så hurtig som mulig), og som en lineær funktion af tiden.

Motoren i VE-bilen yder en bestemt kraft for at drive køretøjet fremad, denne kraft må overkomme de modsatrettede kræfter, der består af tyngdekraften, rullemodstanden ved hjulene og luftmodstandens påvirkning på bilens frontareal.

6.1.2.1. Tyngdekraften

Tyngdekraftens påvirkning afhænger af hældningen på vejen, så hvis der ses en stigning over en vejstrækning, er påvirkningen på den samlede kraft negativ og positiv, hvis der er et fald.



Tyngdekraftens påvirkning i et punkt bestemt ud fra tangentvektoren er:

$$\vec{F}_{gT} = m \cdot g \cdot \sin|\varphi| \quad (30)$$

P1 Projekt

Hvor m er bilens masse,

g er tyngdekraftspåvirkningen: $9,82 \frac{m}{s^2}$, og

φ er et udtryk for vinklen mellem horizontalaksen og tangenten. φ er defineret ved:

$$\varphi = \text{Arctan}\left(\frac{df(t)}{dt}\right) \quad (31)$$

6.1.2.2. Rullemodstanden

Rullemodstanden beskriver den friktion, der sker mellem hjulene og vejen, og er afhængig af, hvilken situation bilen er i.

$$\text{Hvis } v_T = 0, \text{ er } \bar{F}_{rulle} = C_0 \cdot \bar{F}_{gT} \quad (32)$$

$$\text{Hvis } v_T \neq 0, \text{ er } \bar{F}_{rulle} = \text{sgn}(v_T) m g (C_0 + C_1 v_T^2) \quad (33)$$

C_0 ligger typisk mellem 0,004 og 0,02. C_1 er tilsvarende C_0 , men udvikles eksponentielt i forhold til hastigheden.

Signumfunktionen er defineret ved, at $\text{sgn}(v_T) = \begin{cases} 1 & \text{for } v_T \geq 0 \\ -1 & \text{for } v_T < 0 \end{cases}$

Normalt når der regnes på kræfterne, skal motoren ved start overvinde $C_0 \cdot \bar{F}_g$ for at begynde at accelerere, og begge ligninger for rullemodstanden vil derfor være til stede i motorbestemmelsen.

6.1.2.3. Aerodynamisk Drag

Det aerodynamiske drag er et resultat af luftmodstanden, og hvordan luftens tryk fordeles over bilens front.

$$F_{AD} = \text{sgn}(v_T) \left(\frac{1}{2} \rho C_D A_F (\bar{v}_T + \bar{v}_0)^2 \right) \quad (34)$$

ρ er luftens densitet.

C_D er den aerodynamiske drag koefficient, som er en konstant, der varierer efter bilens design.

A_F er frontarealet af bilen.

v_0 er hastigheden på vinden som rammer frontarealet (Denne vil ikke blive medregnet i følgende eksempel).

6.1.2.4. Opsummering

Når de kræfter, som påvirker kørslen, er fundet, kan den nødvendige kraft bestemmes ved at isolere motorkraften i newtons 2. Lov:

$$\sum F = m \cdot \bar{a} \quad (35)$$

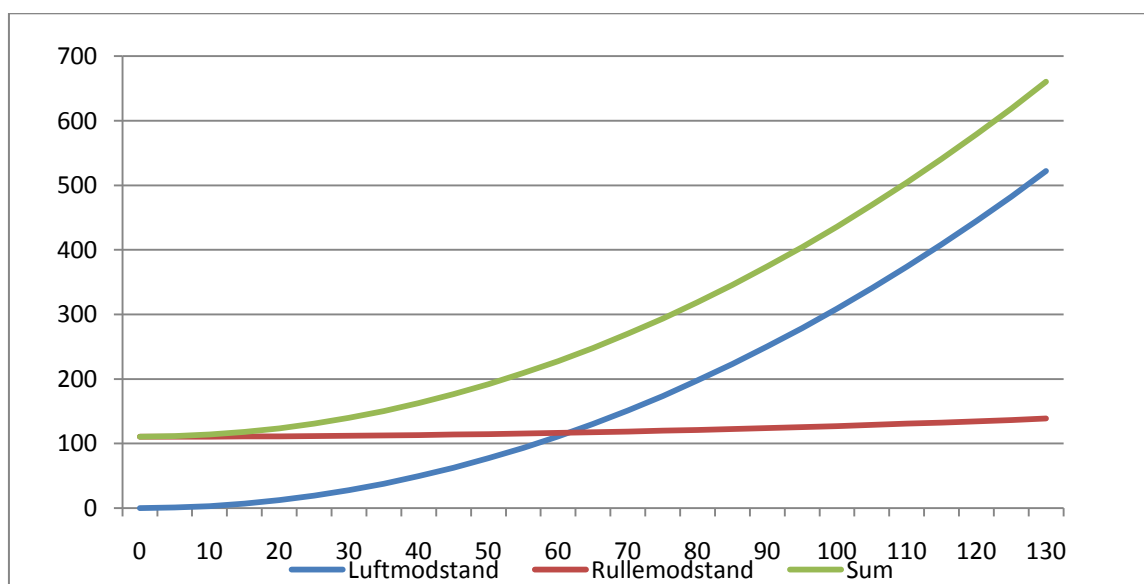
$$F_{motor} + F_g + F_{rulle} + F_{AD} = m \cdot \bar{a} \quad (36)$$

Da de ydre kræfters påvirkning er modsatrettede bliver de sat som negative, og funktionen bliver

$$F_{motor} - F_g - F_{rulle} - F_{AD} = m \cdot \bar{a} \quad (37)$$

$$F_{motor} = m \cdot \bar{a} + F_g + F_{rulle} + F_{AD} \quad (38)$$

Hvis der ses på, hvordan de forskellige kræfter påvirker bilen under kørsel ved forskellige hastigheder, ses det på Figur 6-2, at tidligt i accelerationen vil rullemodstanden være den største påvirkende kraft op til cirka 60 km/t, hvor luftmodstanden bliver den største. Det skyldes den initierende rullemodstand ved start, som motoren skal overvinde.



Figur 6-2: De påvirkendes kræfters størrelse, som en funktion af hastigheden.

6.1.3. Bestemmelse af motorens effekt

Når effekten i en motor skal bestemmes, skal det først gøres klart, hvilke krav, der er til slutresultatet. Eksempelvis, hvad tophastigheden skal være, hvor lang tid det må tage at accelerere fra 0 til 100 km/t, maksimal hældning, osv.

I dette afsnit vil de forskellige krav blive gennemgået, og blive sammenholdt med værktøjerne for bestemmelsen af den nødvendige kraft.

6.1.3.1. Den maksimale hældning

Når et køretøj nærmer sig den maksimale hældning, hvorved fremdriften ikke længere kan vedholdes, må hastigheden og accelerationen blive = 0, og derfor betragtes $\bar{F}_{AD}$ og $\bar{F}_{rulle}$ også som 0. Kræfterne, der påvirker bilen, må derfor blive:

$$\sum \bar{F} = \bar{F}_{motor} - \bar{F}_{gT} = 0 \quad (39)$$

Den nødvendige motorkraft for at holde $a = 0$ ved maksimalhældning bliver derfor:

$$\bar{F}_{motor} = mg \sin\varphi \quad (40)$$

Og den maksimale hældning bliver

$$\sin\varphi = \frac{\bar{F}_{motor}}{mg} \quad (41)$$

$$maks.hældning \text{ i grader} = \text{Arcsin}\left(\frac{\bar{F}_{motor}}{mg}\right) \quad (42)$$

6.1.3.2. Tophastigheden

Når bilen når tophastigheden, er accelerationen $\frac{dv}{dt} = 0$, og der fås derfor:

$$\sum \bar{F} = 0 \quad (43)$$

Dette kan endnu en gang omskrives for at isolere og finde den nødvendige motorkraft i forhold til interessante kræfter.

$$F_{motor} - F_g - F_{rulle} - F_{AD} = 0 \quad (44)$$

$$F_{motor} = F_g + F_{rulle} + F_{AD} \quad (45)$$

$$F_{motor} = \frac{1}{2} \rho C_D A_F (\bar{v}_T + \bar{v}_0)^2 + m g (C_0 + C_1 v_T^2) + m \cdot g \cdot \sin \varphi \quad (46)$$

Heri kan hældningen på vejen indsættes, og det kan derved bestemmes, hvilken motorkraft, der er nødvendig, for at køre ved en bestemt hastighed op ad en bestemt hældning.

6.1.3.3. Maksimal effekt

Den største effekt, som motoren skal kunne yde, kan bestemmes ud fra de parametre, der er nævnt ovenfor, ud fra følgende regel:

$$P = F_{motor} \cdot \bar{v} \quad (47)$$

I det følgende eksempel vil et scenario med en lige vejstrækning, der har en hældning på 5 grader blive betragtet, og effekten for en acceleration op til topfarten bestemmes.

6.1.4. Energiforbruget

Den nødvendige mængde energi for at tilbagelægge den givne kørecyklus måles i joule, der er givet som produktet af kraften i newton og strækningen i meter.

$$\Delta e = s \cdot \bar{F} \quad (48)$$

Eller ved:

$$\Delta e = P \cdot t \quad (49)$$

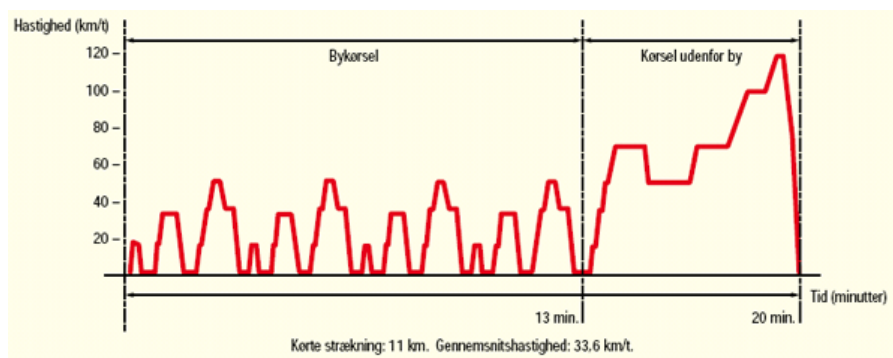
Hvor P er effekten, og t er tiden i sekunder.

6.2. Beregning af energiforbruget over kørecyklussen

I de følgende afsnit vil de formler for motorbestemmelse og effektbestemmelse blive anvendt til at illustrere, hvilken type elmotor en VW Golf skal have for at kunne leve op til de krav, der er sat for VE-bilerne. Specifikationerne for bilen er beskrevet i Problemafgrænsningen side 14.

6.2.1. Kørecyklussen

Kørecyklussen beskriver en bestemt prøvecyklus for både bykørsel og landevejskørsel/motorvejskørsel. Kørecyklussen, som ses på Figur 6-3 er i alt 11 km langt, hvor de fire af dem køres i byen med en gennemsnitshastighed på 19 km/t. De resterende 7 km køres med en gennemsnitshastighed på 63 km/t både på landevej og motorvej.



Figur 6-3: En graf over en kørecyklus

For simpelhedens skyld vil der ikke blive fokuseret og regnet på decelerationerne, selvom dette kunne påvirke energiforbruget. Det antages, at der ikke forbruges energi til at bremse bilen, eller at bremseenergien lagres i et batteri.

6.2.2. Motorbestemmelse

Først ønskes motoreffekten bestemt, det gøres ud fra et krav om, at bilen skal kunne køre 130 km/t op ad en vej med en hældning på 5 grader.

$$F_{motor} = \frac{1}{2} \rho C_D A_F (\bar{v}_T + \bar{v}_0)^2 + m g (C_0 + C_1 v_T^2) + m \cdot g \cdot \sin \phi \quad (50)$$

$$F_{motor} = \frac{1}{2} 1,16 \cdot 0,69 \left(\frac{130}{3,6} \right)^2 + 1500 \cdot 9,82 \left(1,75 \cdot 10^{-6} \left(\frac{130}{3,6} \right)^2 \right) + 1500 \cdot 9,82 \cdot \sin(5) \quad (51)$$

$$F_{motor} = 1840 \text{ N} \quad (52)$$

Den nødvendige motor effekt for at kunne opfylde det stillede mål bliver:

$$1840 \cdot \frac{130}{3,6} = 66444,4 \text{ W} = 66,4 \text{ kW} \quad (53)$$

P1 Projekt

Hvis effekten ønskes leveret af en motor placeret på hvert hjul, kunne det eventuelt ske ved at bruge fire 20 kW's elmotorer.

Dernæst ønskes det at finde den mængde energi, der forbruges i løbet af kørecyklussen.

Som det ses på Figur 6-3, består bykørslen af 3 typer accelerationer der i alt udføres 4 gange, og landevejskørslen er sammensat af 4 accelerationer og 4 perioder med konstant hastighed. Da der beregnes på en elmotor, der har en mere eller mindre lineær acceleration, kan accelerationerne over hele cyklussen deles ind i intervaller (Δv), efter hvor stor accelerationen er, og der udvælges en gennemsnitshastighed som er repræsentativ for det pågældende interval (denne sættes til cirka 75 % af $\Delta v + v_0$).

Accelerationer	Konstante hastigheder
$4 \cdot f(\Delta \bar{v}_{20})$ med $v = 15$	$4 \cdot f(\bar{v}_{35})$
$f(\Delta \bar{v}_{20})$ med $v = 65$	$1 \cdot f(\bar{v}_{50})$
$f(\Delta \bar{v}_{20})$ med $v = 115$	$4 \cdot f(\bar{v}_{70})$
$f(\Delta \bar{v}_{30})$ med $v = 92,5$	$1 \cdot f(\bar{v}_{100})$
$4 \cdot f(\Delta \bar{v}_{35})$ med $v = 26$	
$4 \cdot f(\Delta \bar{v}_{50})$ med $v = 37,5$	
$1 \cdot f(\Delta \bar{v}_{80})$ med $v = 52,5$	

For at finde den nødvendige motorkraft tages ligning (38) i brug:

$$\sum \bar{F} = m \cdot \bar{a} \rightarrow \bar{F}_{motor} - \bar{F}_{AD} - \bar{F}_{rulle} - \bar{F}_{gT} = m \cdot \bar{a} \quad (54)$$

$$\bar{F}_{motor} = \bar{F}_{AD} + \bar{F}_{rulle} + \bar{F}_{gT} + m \cdot \bar{a} \quad (55)$$

Da kørecyklussen er bestemt til at foregå over en flad strækning undlades tyngdekraftspåvirkningen.

Herudfra findes den nødvendige kraft for hver enkelt acceleration og køreperiode:

$$F_{v=20} = \frac{1}{2} 1,16 \cdot 0,69 \cdot \frac{20^2}{3,6} + 1500 \cdot 9,82 \left(0,009 + 1,75 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{20^2}{3,6} \right) + 1500 \cdot \frac{100/3,6}{12} \approx 3,62 \text{ kN} \quad (56)$$

Den samme fremgangsmåde anvendes på de resterende typer accelerationer.

Bestemmelsen af den nødvendige kraft for at vedligeholde en bestemt hastighed findes til:

$$F_{v=35} = \frac{1}{2} 1,16 \cdot 0,69 \cdot \frac{35^2}{3,6} + 1500 \cdot 9,82 \left(1,75 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{35^2}{3,6} \right) \approx 40 \text{ N} \quad (57)$$

Samlet set opnås følgende resultater for de forskellige udregninger:

Acceleration	Konstant hastighed
$4 \cdot \bar{F}_{\Delta \bar{v}_{20}} = 4 \cdot 3612 = 14448 \text{ N}$ $\bar{F}_{\Delta \bar{v}_{20}} = 3744 \text{ N}$ $\bar{F}_{\Delta \bar{v}_{20}} = 4039 \text{ N}$ $\bar{F}_{\Delta \bar{v}_{30}} = 3886 \text{ N}$ $4 \cdot \bar{F}_{\Delta \bar{v}_{35}} = 4 \cdot 3627 = 14508 \text{ N}$ $4 \cdot \bar{F}_{\Delta \bar{v}_{50}} = 4 \cdot 3651 = 14604 \text{ N}$ $\bar{F}_{\Delta \bar{v}_{50}} = 3695 \text{ N}$	$\bar{F}_{v=35} = 40 \text{ N}$ $\bar{F}_{v=50} = 82 \text{ N}$ $\bar{F}_{v=80} = 161 \text{ N}$ $\bar{F}_{v=100} = 329 \text{ N}$
$\sum \bar{F} = 59 \text{ kN}$	$\sum \bar{F} = 612 \text{ N}$
Den totale kraft, motoren skal yde, er: 59,6 kN Energiforbruget over kørestrækningen, findes ved at gange den nødvendige kraft for hver enkelt acceleration med hastigheden. Det totale energiforbrug bliver: 3,542 MJ	

Dieselmotorens energiforbrug findes på en lidt anden måde end VE-bilernes. Da bilen bruges til reference ved sammenligningen af bilerne med henholdsvis brintlagre og batterier, kan fabriksspecifikationerne anvendes.

VW Golf er oplyst til at køre 100 km på 5,1 l, og hvis den skal køre den samme strækning, og ud fra de samme antagelser, som findes i kørecyklussen, bliver energiforbruget cirka 3,1 MJ.

6.2.3. Delkonklusion

Det samlede energiforbrug, for at gennemføre den opstillede kørecyklus, er fundet for de to VE-biler og for referencebilen til:

3,542 MJ for en elbil med henholdsvis et brintlager og batterier

3,1 MJ for en standard dieselbil

Alle formlerne for disse udregninger er samlet i et beregningsark der er vedlagt rapporten på en cd-rom, og vil blive anvendt til at finde Well-to-Wheel effektiviteten.

7. Aktøranalyse

I forbindelse med omlægning fra fossile brændstoffer til vedvarende energi i transportsektoren, vil det have betydning for flere aktører, for nogle økonomiske og for andre politiske. I dette afsnit vil nogle af disse aktører, samt deres motiver blive beskrevet.

7.1. Forsyningsaktører

Elselskaber som DONG Energy og Østkraft er gået ind i transportsektoren ved at komme med løsningsforslag til at implementere vedvarende energi i biler. DONG Energy er med i projektet "Better Place", mens Østkraft sammen med energinet.dk, vil gøre Bornholm til test- og videnscenter for elbiler.

DONG Energy og Østkraft er nye forsyningsaktører til transportsektoren, som vil gå ind og true de etablerede forsyningsaktører, såsom Shell, Statoil osv. I dag er DONG Energy ejer af Horns rev 1, samtidig er de også ejer af det kommende Horns rev 2, som bliver verdens hidtil største vindmøllepark[49]. Energi fra vindmøller bliver produceret, når vinden blæser, og det er ikke altid, at produktion og forbrug er samtidig, derfor opleves der allerede nu eloverløb, hvor overskudsstrøm mange gange må sælges billigt, foræres til udlandet. DONG Energy kunne derfor se en fordel ved at lagre eloverløbet i batterier, og derved bruge overskudsstrømmen på en fornuftig måde samtidig med, at de kan få en økonomisk gevinst.

DONG Energy kan også komme til at fremstå som et "grønnere" selskab i offentligheden ved at være en aktiv spiller i nedsættelse af Danmarks samlede CO₂ udslip. Når forsyningsselskaber såsom DONG Energy pludselig skifter retning for deres virksomheds mål, påvirker det også andre aktører, både på et nationalt og internationalt plan. Eksempelvis er de lokale kraftvarmeværker bundet af en forpligtigelse om varmeproduktion, og hvis infrastrukturen blev opbygget til at indeholde en stor mængde decentrale ellagre, i form af elbiler, kan overskuds el ved varmeproduktionen lagres i stedet for at sælge den til udlandet.

7.2. Bilproducenter

Blandt bilproducenterne er der blandede meninger om, hvilket brændstof, der skal bruges i fremtidens biler. Ifølge VW-forskningschef Jürgen Leohold[50] vil forbrændingsmotoren stadig om 50 år være dominerende, men elbilen vil have overhalet brintbilen. Honda er ikke enig i Jürgen Leoholds udtalelse, da de har produceret verdens første seriefremstillet brintbil: FCX Clarity [51], og viste en ny brændselscelle sportsvogns prototype frem på Los Angeles Auto Show [52].

De forskellige bilproducenter har dog gennem tiden kommet med forskellige udtalelser om, hvad fremtidens brændstof bliver. B.la. kom General Motors' direktør i 1980 med denne udtalelse: *"There would be an electric car at every General Motors showroom in 1984"* [16]. Senere i 2001 udtalte en ny direktør ved General Motors: *"At General Motors, we believe that hydrogen will eventually become a mainstream fuel simply because it is an almost ideal fuel candidate: Hydrogen's feedstock, water, is extremely plentiful. Hydrogen can be made renewably. And when used in a fuel cell produces no emissions."*

Bilproducenter kan ved implementeringen af vedvarende energi i transportsektoren både blive økonomiske vindere eller tabere alt afhængig af, hvilken teknologi de satser på, og hvilken der slår folkeligt igennem.

For, at en teknologi kan slå igennem folkeligt, skal den udfylde det hul, som den nuværende teknologi udfylder, og helst billigere. Bilproducenterne kan være med til at fremme en teknologi ved igennem forskning at forbedre teknologien og reducere dens produktionsomkostninger. De kan også vælge at påvirke politiske beslutninger igennem lobbyist arbejde.

7.3. Politiske aktører

På Venstres landsmøde 2008 fremlagede statsministeren Anders Fogh Rasmussen et forslag om, at Danmark skal være et transportteknisk forsøgscenter for elbiler, som drives af strøm fra vindmøllerne [53]. På samme landsmøde fremlagde Anders Fogh Rasmussen forslag om en grønnere skattereform, hvor det f.eks. betaler sig at købe miljøvenlige biler [54]. Det er dog ikke kun Venstre og Anders Fogh Rasmussen, som ønsker at gøre Danmark selvforsynende med vedvarende energi. Politikerne kan have interesse i at skabe miljøvenlige pilotprojekter op til FN's klimatopmøde (COP 15) d. 30. november – 11. december 2009, hvor mødet helst skal ende ud i en opfølgelse til Kyoto-aftalen [55].



Politisk støtte fra staten, regionerne og kommunerne til f.eks. elbilprojektet på Bornholm, hvor det forventes, at kommunen vil udskifte en del af hjemmepleje-bilerne til elbiler, kan være med til at starte øget eksport af dansk energiteknologi, ligesom det har været gældende for vindmøllerne.

Politikerne kan vælge også at lave lovgivning, som favoriserer en teknologi frem for en anden. Biler der kører på el (herunder både brint og batterier) er frem til 2012 fritaget for registreringsafgift samt vægt- og ejerafgift [56]. Hvilket kan være medvirkende til at favorisere disse biler i forhold til benzin- og dieselmotorer, hvis altså afgifts fritagelsen bliver forlænget eller en permanent ordning. Dog kræver disse to typer biler en betydelig udvidelse af infrastrukturen.

Det er derfor vigtigt, at afgiftsfritagelsen bliver fulgt op af økonomisk støtte til en udvikling af den danske infrastruktur, samt at teknologierne udvikles konstant og derved blive konkurrencedygtig med nutidens fossile brændstoffer. Det kræver et sammenspil imellem mange aktører, før disse to teknologier kan blive en global realitet.

8. Komparativ diskussion

I dette kapitel sammenlignes resultaterne for Well-to-Wheel effektiviteten for de to teknologier, og der laves en vurdering af parametrene i en SWOT-analyse.

8.1. SWOT analyse

	Brint bil	El-bil	Diesebil
Strength	Afgiftsfri. Høj brandværdi Politisk bevågenhed	Høj virkningsgrad. Afgiftsfri. Projekter på internationalt plan.	Et større energiindhold Eksisterende teknologi
Weakness	Lav virkningsgrad. Svært at implementere i infrastrukturen.	Taber energi over tid. Udfordringer ved opkobling til elnettet.	Lav virkningsgrad Udleder drivhusgasser ved forbrænding
Opportunities	Vindmølleenergi kan lagres	Byttestationer, hvor man kan bytte sit batteri. Vindmølleenergi kan lagres.	Muligheder for hybrider.
Threats		Lang optankningstid.	Begrænsede oliereserver

8.1.1. Tekniske udfordringer

Grundet eloverløbet i forbindelse med elproduktion i vindmøller, kan denne energi anvendes i transportsektoren, hvis der udvikles måder til at lagre den på.

To teknologier der udvikles med henblik på anvendelse i transportsektoren er brint og batterier, hvoraf elbiler med batterier har været anvendt i mindre omfang i en del år, og brintbilerne er på forsøgsbasis i mange lande.

De elbiler der kører på vejene i dag, fungerer alle ved at lagringen sker ved opkobling til elnettet gennem et almindeligt strømstik. Denne metode er ikke hensigtsmæssig, hvis det gælder en situation hvor størstedelen af bilerne på vejene bliver elbiler, da vil opladningen, som sandsynligvis sker i forbindelse med at ejeren kommer hjem fra job, skabe et myldretids syndrom på elnettet, og da der fokuseres på at en større andel af strømmen skal komme fra vindmølle, vil der ikke være nogen sikkerhed for at der er strøm nok, og der vil ske et blackout på elnettet, hvis ikke produktionen forøges i tide. Det er derfor nødvendigt at udvikle et intelligent system i bilerne, der sørger for at lagre strøm på bilens batterier, når presset på elnettet er mindst og derved også billigst, og udvikle en teknologi til at lagre vindmøllestrømmen, så den kan forbruges hele døgnet, og ikke blot når vinden blæser.

Hvis energien fra vindmøllerne i stedet skal lagres i brint, er problemet ikke at producere brinten, men at lagre den på en måde så den kan anvendes i biler. De fleste lagringsteknologier der er udviklet til brint, vil gøre systemet så stort og tungt, at det ikke er hensigtsmæssigt at bruge i biler. De to mest potentielle løsninger som er tilgængelige nu, er tryklagring og methanolreforming, og hvis disse skal anvendes i større omfang i transportsektoren, opstår der et problem ved transporten fra producent til tankstationerne. Den tryklagrede brint vil fylde så meget, at transport med tankvogne vil være for omfattende, og det må antages, at den derimod skal transporteres rundt i et underjordisk rørnet. Enten skal det eksisterende naturgas system tages i brug, dette kræver dog en ny indvendig beklædning af alle rørene, eller også skal der bygges et helt nyt system til formålet. Uanset hvad er der nogle store økonomiske problemer forbundet med begge valg.

8.1.2. Samfundsmæssige udfordringer

Når en person skal købe en ny bil, tages valget om hvilken bil det skal være, ud fra hvad denne person vægter højest. Det kan eksempelvis være bilens ydeevne, hvor hastighed og acceleration er vigtige, det kan være komfort, hvis bilen skal bruges til pendling, det kan være økonomi, hvor valget af brændstof er en betydende faktor for pris pr. kilometer forholdet, eller det kan helt basalt være antallet af personer i husholdningen. En anden væsentlig faktor er også det signal som ejeren ønsker at sende, det kan for eksempel være at sende et økonomisk signal, at være miljøbevidst og så videre, det er i rapporten blevet beskrevet, at en elbil med batterier har et cirka 3 gange så effektivt forbrug af energi som en standard diesel bil, fra Well-to-Wheel. Hovedsageligt har VE-biler svært ved at konkurrere med bilerne med en forbrændingsmotor på ydeevnen, men en af de punkter, hvor de er konkurrencedygtige er eksempelvis pris pr. kilometer forholdet.

Hvis det antages, at de fleste bilkøbere ikke regner med at beholde den bil de køber i mere end 40 år, vil oliereservernes knaphed sandsynligvis ikke være incitament nok, til at bruge flere penge på en VE-bil. Det er derfor mere det signal, som køberen sender til omverdenen, der er vigtig. Hvis en person kører i en elbil med batterier, signalerer det til omverdenen, at personen er miljøbevidst, da det er blevet bevist at elbilerne med batterier har cirka 3 gange større nyttevirkning end biler med forbrændingsmotorer.

Det store problem i at gøre miljøbevidsthed mainstream er at det ofte er både dyrere og mere besværligt, VE-biler kan ikke leve op til nutidens standarder, uden at det går markant ud over prisen, derfor vil der altid være en stor mængde af befolkningen, som vil foretrække at kunne komme hurtigt frem, frem for at undgå at skade miljøet. Derfor skal der foretages nogle politiske tiltag, som eksempelvis højere miljøbelastningsafgifter, tilskud til opsætning af vindmøller, roadpricing og andre kampagner der kan være med til at gøre, VE-biler mere fordelagtige rent økonomisk set. Dette vil også påvirke de forskellige aktører, som er påvirket af markedet, og skabe generel fokus på energisituationen. De forskellige aktører indenfor energiforsyningen, skal prioritere bæredygtige teknologier, som på sigt kan blive gode eksportvarer, og være med til at forme en helt ny infrastruktur bygget på vedvarende energi.

8.1.3. Teknologiernes styrker og svagheder

Hvis der ses på de to teknologier, som om at de er det eneste alternativ, og muligheden for at bruge fossilt brændstof er opbrugt, vil teknologierne hver for sig have nogle fordele og ulemper frem for hinanden.

Elbilen med batterier kræver ikke så store designmæssige ændringer i forhold til standardbiler med en forbrændingsmotor, dog vil ønsket om en længere rækkevidde kunne betyde, at størrelsen på bilen skal mindskes for at opnå et minimalt energiforbrug. Dette kan komme til at betyde, at elbiler ikke bliver populære som pendler biler, da komforten ofte er en væsentlig faktor der. Alternativt vil elbilen udmærke sig ved bykørsel, da den er nem at komme rundt med, ikke fylder meget, og da den heller ikke skal klare længere kørestrækninger, kan den lades op i ejerens hjem. Det faktum, at elbilernes rækkevidde er betydeligt mindre end eksempelvis dieselmotorer, med en største rækkevidde for Teslaen på 400 km, betyder også, at de ikke vil være praktiske til lange ture, da opladningstiden er for lang. Da er det nødvendigt med et system af byttestationer, som f.eks projekteres af Dong Energy.

Brintbiler har den fordel, at de minder mere om biler, der kører på fossilt brændstof, og derved er nemmere at integrere i transportsektoren. Optankningen kan ske næsten som ved en almindelig tankstation, uanset om brinten skal pumpes i en tryktank på gasform eller om det skal lagres på væskeform under meget lave temperaturer. De tekniske udfordringer ved lagringen er dog et område, hvor der bør udvikles en bedre teknologi, førend den implementeres i infrastrukturen.

Generelt for de to teknologier kan der nævnes at de ikke udleder drivhusgasser, og de kan produceres ud fra vedvarende energikilder. Den overordnede effektivitet sammen med de forskellige tab, der er forbundet med energikæderne, er en vigtig faktor for teknologiernes succes, og disse vil blive beskrevet i det efterfølgende afsnit.

8.2. Energiudnyttelsen i forsyningskæden for brint- og batteri

Når vinden blæser og der produceres el i vindmøllerne, kan elektriciteten gå af flere veje for at ende som omdrejninger i hjulene på en bil, i denne rapport er to af disse kæder blevet beskrevet, nemlig gennem brint og batterier. Hvis processen vendes på hovedet, og der betragtes to biler, begge forsynet med en elmotor, men med et lager af elektricitet, i henholdsvis batterier eller brint. Så kan den nødvendige mængde energi, lageret skal indeholde bestemmes ud fra en ønsket kørecyklus, og de efterfølgende led i forsyningskæden kan beskrives ud fra det tab i energi, der er henover dem.

Fra afsnittet omkring motorbestemmelse og nødvendig energi, blev følgende mængder af energi udregnet for en kørecyklus:

3,542 MJ for en elbil forsynet med batterier

3,542 MJ for en elbil med et brintlager

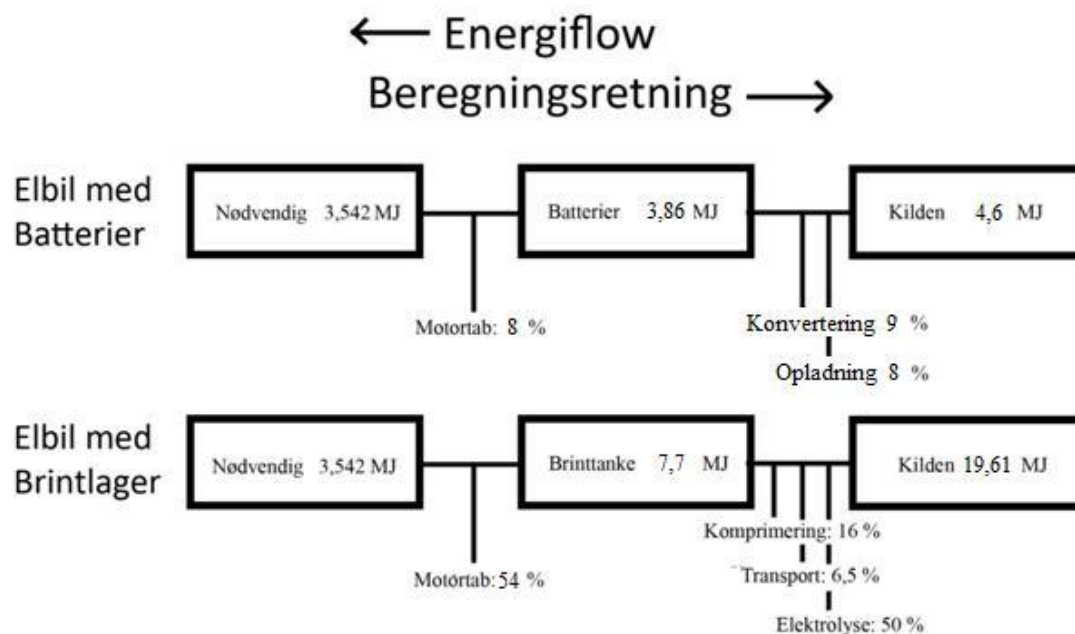
3,1 MJ for en standard dieselbil

Ud fra disse værdier kan det overordnede energiforbrug bestemmes, og derved også den overordnede Well-to-Wheel effektivitet.

Hvis der tages udgangspunkt i bilen med batterier, vil der først og fremmest være et tab henover motoren, denne er fundet og beskrevet i afsnittet Elmotorens effektivitet side 42. Når tabet henover elmotoren er lagt til, kendes den mængde energi, der skal være lagret i batterierne. Når der tages endnu et skridt tilbage i kæden, påvirkes den lagrede energi af det tab, der sker ved konverteringen til en

passende spænding, og af konverteringen fra AC til DC. Derefter er der kun tabet i strømkablerne, førend energien er sporet tilbage til kilden.

For bilen med brintlageret er der lidt flere led, først er der tabet i elmotoren som er den samme som ved bilen med batterierne, men denne er også påvirket af det elektrolysesystem, der konverterer brint til elektricitet, og når denne medregnes bliver tabet over motoren større. Når energien er lagret, må den mængde energi det kræves at komprimere brinten i trykflaskerne, og den mængde energi, der kræves for at transportere brinten til tankstationerne, betragtes som et tab, og de lægges derfor til den lagrede mængde energi. Derved findes hvor meget energi der skal sendes ud af elektrolyse stationen ved vindmøllen og endeligt giver elektrolyse enhedens effektivitet, hvor meget energi, der skal findes i kilden, for at bilen med brintlageret kan gennemføre kørecyklussen. Effektiviteten og den mængde energi, der ligger over de forskellige led i forsyningskæderne for brint og batterier, er indsat i diagrammet nedenfor.



Figur 8-1 Opstilling af energiforbruget fra Well-to-Wheel

Når alle disse værdier er kendte, findes det, at den overordnede Well-to-Wheel effektivitet bliver:

For bilen med batterier: 77 %

For bilen med brintlager: 18 %

For dieselbilen: 27 %

Hvis disse virkningsgrader sammenlignes med dem, der blev fundet af Dansk Elbils komité i 1997, ses det at elbilerne der havde batterier, lå på mellem 50 og 65 % WTW-effektivitet, hvorimod denne Well-to-Wheel analyse har fundet nyttevirkningen til 77 %. Nyttevirkningen er dog beregnet med udgangspunkt i en biltype, der ikke er designet eller optimeret til kørsel på en elmotor, og har fundet nyttevirkningen til 77 %, og derfor sandsynligvis vil være større.

9. Konklusion

I rapportens indledning blev der dokumenteret, at eloverløb er et økonomisk og teknisk problem for den danske stat, og hvis de politiske planer om at udbygge energisektoren med en stor mængde vedvarende energi gennemføres, vil der til tider være en meget stor mængde elektricitet, der må eksporteres ud af landet. Det er derfor afgørende, at flere sektorer, der forbruger energi i større omfang, kan udnytte den elektricitet, der produceres af vindmøllerne. Herunder vil transportsektoren i fremtiden muligvis være den største aftager, og det er derfor vigtigt at se på, hvordan energien, som rammer vindmøllerne, effektivt kan udnyttes i biler.

Der er igennem rapporten vist, hvordan brint og kemiske batterier kan anvendes effektivt i elbiler. For at få belyst hvordan vindmølleenergi effektivt kan anvendes i den danske transportsektor, er der lavet en Well-to-Wheel analyse, hvor alle leddene i forsynings- og forbrugskæden er beskrevet med fokus på de eksisterende tab.

Der er fundet en overordnet virkningsgrad for en elbil med batterier på ca. 77 % fra elektriciteten produceres i vindmøllen til den forbruges i bilen. Virkningsgraden er baseret på de energitab, der eksisterer i elmotoren, i konverteringen og i elkablerne.

For brintbilen er der fundet en virkningsgrad på 18 %, hvilket er lavere end den reference bil, der er brugt i udregningerne. Brint har dog den fordel, at det minder mere om et almindeligt brændstof, som skal tankes på bilerne, og hvis der kommer nye lagringsteknologier, der kan indeholde mere brint pr. liter vil brintbilens køreegenskaber nærme sig benzin- og dieslbilernes.

At lagre strømmen på batterier, har den fordel, at flere konverteringsled undgås, og at den derved får en bedre kørselsøkonomi og miljøvenlighed. Ulemperne er, at batteriets energidensitet falder langt under brint og diesel, og der skal bruges et fysisk større lager for at køre den samme strækning. Ofte betyder dette, at elbiler med batterier har en kortere rækkevidde.

Det er blevet beskrevet i rapporten, hvordan teknologiernes succes har meget at gøre med, hvordan de bliver integreret i infrastrukturen. For begge teknologier er der ikke nogen færdig løsning på, hvordan bilerne skal tankes eller oplades på landsplan. For brint, skal der opstilles tankstationer, hvor komprimeret brint pumpes i bilernes tryktanke. Men da energiindholdet pr. liter for brint er mindre end for diesel, skal der større tanke til, og det kræver igen mere energi at komprimere det. Hvis der



skal anvendes batterier, skal det besluttes, hvorvidt opladningen skal ske i hjemmet, eller på en tankstation/byttestation. Hvis det sker i hjemmet, skal der udvikles en form for intelligent ladesystem, der automatisk oplader batteriet, når belastningen på elnettet er mindst, så blackouts undgås i peak-intervallerne (når folk kommer hjem fra arbejde eksempelvis).

Generelt viser det sig, at der er gode muligheder for at anvende både brint og batterier i fremtidens biler, men for at det kan anvendes i praksis, skal der ske en omfattende udbygning af infrastrukturen. Det er derfor vigtigt at finde opbakning blandt politikere og andre aktører, der har interesse i energi- og transportsektoren.

10. Perspektivering

Et fremtidigt projekt kunne tage udgangspunkt i en undersøgelse af, hvilke krav der vil være til ladestationer, for at de vil være i stand til at lade alle typer af elbiler. Der skal laves en ladning, der på en gang er hurtig nok, men samtidig skal være mest hensigtsmæssig for samfundet og have en anordning, der automatisk stopper, når batterierne er fuldt opladet. Dansk Elbil Komite anbefaler en installation, som består af 3 * 16 ampere, med et tre-faset CEE-udtag. Men vil det række i fremtiden? Vil det være tilstrækkeligt hurtigt for den fremtidige ejer af en elbil?

Det kunne endvidere være interessant at lave en analyse af, hvilken teknologi hver enkelt bilproducent satser på og evt. hvorfor netop denne. Umiddelbart er der under udarbejdelse af denne rapport stødt på flest bilproducenter, der satser på elbil, nemlig Mega, Ford, Citroën, BMW og VW. Mens Honda har satset på en ren brint bil, har Fiat satset på en hybrid af batteri og brint.

Der vil snart komme en ny type solceller på markedet. De skulle have en væsentlig bedre nyttevirkning, end de nuværende. Med de nye typer af solceller kunne det være interessant at undersøge, om de kan levere en tilstrækkelig mængde energi til at holde en elbil kørende f.eks. til at kunne tage på bilferie i Sydeuropa. Altså om solens energi alene vil kunne oplade batterierne ligeså hurtigt, som de aflades under kørsel – eller om det vil kræve et vist antal pauser undervejs, hvor solcellen leverer energi.

Der vil også være muligheder i at undersøge andre transportgrupper end den daglige persontransport i biler. Det kunne undersøges, hvorvidt det ville være muligt at etablere eltog, der løbende kunne lades enten via skinnerne, via wirer eller på hver station, når det holder stille. Tilsvarende kunne det undersøges hvilke muligheder, der kunne være for flytransporten, skibsfarten, lastbiler og busser.

Der er desuden alle de parametre, der er fravalgt i denne rapport: psykologi – vil danskere køre i en elbil eller en brintbil pga. eksplosionsfare? Hvordan er sikkerheden for befolkningen? Er det på nogen måde mere farligt, end en benzin- eller dieselbil? Hvordan er danskernes kørselsvaner? Hvordan passer det sammen med de enkelte teknologier og deres begrænsninger? Hvordan er miljøpåvirkningen ved de enkelte teknologier? Hvor genanvendelig er den enkelte teknologi eller bil? Hvordan er fremtidsaspektet for den enkelte teknologi? Hvordan ser det for nuværende ud med import / eksport af energi, og hvordan vil det se ud i fremtiden? Hvad sker der, når det store rev leverer bølgeenergi



med en forventelig nyttevirkning på 90-95 %? Dertil kommer forsyningssikkerheden – hvordan sikres den? Hvor meget vil det hjælpe at lagre energi i biler? Hvad skal der ellers til?

Det vil måske være mere sandsynligt, at det vil være hybridbiler af forskellige slags, der vil præge bybilledet i fremtiden for på den måde at eliminere ulemperne og drage fordel af forskellige teknologier – måske vil der endda blive mere end to teknologier i én bil.

Såfremt Danmark forbliver selvforsynende med energi, vil Danmark være i stand til at føre en mere aggressiv udenlandspolitik. Hvad vil det kunne føre med sig?

Der kunne også vælges en tilgang, hvor fokus blandt andet kunne være på optaget af energi under opbremsning, hvilket vil blive anvendt i nogle elbiler.

Der sker konstant forbedringer for de fleste komponenter, derfor vil det kontinuerligt være interessant at undersøge effektiviteten i alle Well-to-Wheel analyserne.

Der kunne også udarbejdes et projekt med udgangspunkt i en grøn fremtid, og derved undersøge, hvilket alternativ, der er bedst for miljøet.

11. Litteraturliste

Indledning:

- | Nr. | Kilde. |
|-------|---|
| [1]: | http://www.business.dk/article/20080224/fritid/80221088/ |
| [2]: | Rapport fra energi styrelsen: "Danmarks olie- og gasproduktion 07"
http://www.ens.dk/graphics/Publikationer/Olie_Gas/danmarks_olie_og_gasproduktio_n_07/html/kap05.htm |
| [3]: | http://www.oliebranchen.dk/Priser/Priser_og Afgifter/Benzin.aspx |
| [4]: | http://www.ens.dk/sw15171.asp |
| [5]: | http://www.ens.dk/graphics/energiforsyning/el_varme_naturgas/el/eloverlobsrappor_t_11-10-01.pdf |
| [6]: | http://www.ens.dk/graphics/Energipolitik/dansk_energipolitik/politiske_aftaler/Energiaftale%2021.feb08/energiaftale-21022008_final.pdf |
| [7]: | Regeringens energipolitik "En visionær energi politik 2025" udgivet d. 19. januar 2007
http://ens.dk/sw68153.asp |
| [8]: | http://ens.dk/sw14080.asp |
| [9]: | http://ing.dk/artikel/94085 |
| [10]: | http://mobil.ing.dk/mobil.php?article=84901 |
| [11]: | http://www.hynor.no/prosjektet |
| [12]: | http://ing.dk/artikel/83161-japanere-ruller-30-sportsvogne-ud-paa-norsk-brintvej |
| [13]: | Ivan Loncarevic, Business Development Director ved Lithium Balance i Viden om d. 6. maj 2008, kl. 20.00 på DR 2. |
| [14]: | http://think.no/think/TH!NK-city/Specifications/Technical-data |
| [15]: | http://ing.dk/artikel/89099 |
| [16]: | Slide fra forelæsning i FE nr. 3 ved Mads Pagh Nielsen. |

Well-to-Wheel – Dieselmobil:

- | Nr. | Kilde. |
|-------|--|
| [17]: | Handbook of Fuel cells, volume 3 side 250. ISBN: 0-471-49926-9 |
| [18]: | Gyldendals online leksikon: Turbolader opslag |
| [19]: | Handbook of Fuel cells, volume 3 side 249. ISBN: 0-471-49926-9 |
| [20]: | Handbook of Fuel cells, volume 3 side 251. ISBN: 0-471-49926-9 |

Well-to-Tank - Hydrogen:

- | Nr. | Kilde. |
|-------|---|
| [21]: | http://www.rfidvidensbank.dk/sw11348.asp |
| [22]: | http://ing.dk/artikel/89099 |
| [23]: | http://automobiles.honda.com/fcx-clarity/drive-fcx-clarity.aspx |
| [24]: | http://bilmagasinet.dk/bilbasen/shownewcar/9790/1 |
| [25]: | http://www.skm.dk/publikationer/notater/6316.html |

- [26]: <http://ing.dk/artikel/91510?highlight=brint+biler>
- [27]: <http://www.ens.dk/sw16350.asp>
- [28]: http://www.risoe.dk/News_archives/News/2008/0813_SOEC.aspx?sc_lang=da
- [29]: Mail fra Mads Pagh Nielsen
- [30]: Handbook of Fuel cells, volume 3 side 89. ISBN: 0-471-49926-9
- [31]: http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/storage/hydrogen_storage.html#compressed
- [32]: International Journal of hydrogen, Issue 32 side 3592-3602
- [33]: 1 miles = 1,6 km og 1 gallon = 3,78 liter

Well-to-Tank – Elbil med batteri:

- | Nr. | Kilde. |
|-------|---|
| [34]: | http://www.historie-online.dk/nyt/en_tiger.htm |
| [35]: | http://www.e-pages.dk/ejendomsavisen/255/16 |
| [36]: | http://think.no/think/TH!NK-city/Specifications/Technical-data |
| [37]: | http://www.hydrogennet.dk/home.asp?ContentID=221 |
| [38]: | http://ing.dk/artikel/94063 |
| [39]: | http://www.dr.dk/P1/klimaogmiljoe/Udsendelser/2008/10/01164327.htm |
| [40]: | http://www.energinet.dk/da/menu/Transmission/Elanl%C3%A6g/Elanl%C3%A6g.htm |
| [41]: | http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/transf.html#c2 |
| [42]: | COWI Excel beregningsmodel, http://ens.dk/sw69236.asp |
| [43]: | Electric Vehicle Technology Explained af James Larminie og John Lowry, ISBN: 0-470-85163-5 |
| [44]: | S. Campanari, et al., J. Power Sources (2008), doi:10.1016/j.jpowsour.2008.09.115 |

Tank-To-Wheel:

- | Nr. | Kilde. |
|-------|--|
| [45]: | S. Campanari, et al., J. Power Sources (2008), doi:10.1016/j.jpowsour.2008.09.115 |
| [46]: | http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/pdfs/fc_comparison_ch
art.pdf |
| [47]: | http://www.risoe.dk/About_risoe/research_departments/ABF/Fuel_cells/types.aspx?
sc_lang=daBrændselscelle |
| [48]: | Forlæsning I FE nr. 3 ved Mads Pagh Nielsen |

Aktøranalyse:

- | Nr. | Kilde. |
|-------|---|
| [49]: | http://www.dongenergy.dk/privat/energiforum/energiiforandring/elbiler/Pages/horn
srev2%E2%80%933verdenshdtilstoerstedhavmoellepark.aspx |
| [50]: | http://ekstrabladet.dk/biler/bil_nyheder/article1083714.ece |
| [51]: | http://ing.dk/artikel/89099 |
| [52]: | http://ekstrabladet.dk/biler/bil_nyheder/article1087484.ece |

- [53]: <http://www.bt.dk/article/20081116/politik/81116008/>
 [54]: <http://www.bt.dk/article/20081116/politik/81116007/>
 [55]: Pressemeldelse fra Miljøministeriet d. 21 marts 2007 "Danmark vært for FN's klimatopmøde"
http://www.mim.dk/Nyheder/Pressemeldelser/2007/2007-03-21_COP15_vaertskab.htm
 [56]: <http://www.skm.dk/publikationer/notater/6316.html>

Figur:

- | Nr. | Kilde. |
|------------|---|
| Figur 1-1: | http://oliebranchen.dk/Statistik%20og%20tal/Energiforbrug/Reserver_R_P%20verden.aspx |
| Figur 1-2: | Fremtidens havmølleplacering 2025 – Udvalgt for fremtidens havmølleplacering, side 6, nummerne er tilføjet specielt til denne rapport. |
| Figur 2-2: | Fra Britannica Online Encyclopedia |
| Figur 3-2: | Er inspireret fra http://www.emu.dk/sem/fag/fys/billeder/pem1.png |
| Figur 3-4: | Er inspireret fra http://www.risoe.dk/News_archives/News/2008/0813_SOEC.aspx?sc_lang=da |
| Figur 3-5: | Handbook of Fuel cells, volume 3 side 90 figur 2. ISBN: 0-471-49926-9 |
| Figur 4-1: | http://www.emd.dk/el/main.php?date=2008-11-21&lang=DK |
| Figur 4-3: | http://www.energinet.dk/da/menu/Transmission/Elanl%C3%A6g/Elanl%C3%A6g.htm |
| Figur 4-4: | http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/transf.html#c2 |
| Figur 4-5: | Analog teknik 2, Elektronik-serien af Egon Rasmussen, Industriens forlag, ISBN 87-600-0125-9 |
| Figur 4-6: | S. Campanari, et al., J. Power Sources (2008), doi:10.1016/j.jpowsour.2008.09.115 |
| Figur 4-7: | P0 rapport, Energi 2008: Lagring af overskudsenergi som alternativ til mobile generator. |
| Figur 5-1: | http://cache.eb.com/eb/image?id=63375&rendTypeld=4 |
| Figur 5-2: | http://home19.inet.tele.dk/vikinger/AtomFysik/FeltStroem.htm |
| Figur 5-3: | Er inspireret af: Hybrid, electric and fuel-cell vehicles af Jack Erjavec og Jeff Arias |
| Figur 5-4: | http://www.eu.necel.com/applications/industrial/01_motor_control/030_general_motor_control/020_3_phase_asynchronous/index.html |
| Figur 5-5: | http://www.maintenanceworld.com/Articles/reliance/maintenance.htm |
| Figur 5-6: | Slides fra FE forelæsning nr. 3 ved Mads Pagh Nielsen |
| Figur 5-7: | Slides fra FE forelæsning nr. 3 ved Mads Pagh Nielsen |
| Figur 5-8: | Slides fra FE forelæsning nr. 3 ved Mads Pagh Nielsen |
| Figur 5-9: | http://www.risoe.dk/About_risoe/research_departments/ABF/Fuel_cells/types.aspx?sc_lang=da |



Figur 5-10: Er inspireret af: Electric vehicle technology explained af James Larminie og John Lowry ISBN: 0-470-85163-5

Figur 6-3: <http://www.hvorlangtpaaliteren.dk/sw100941.asp>

Tabel:

Nr.	Kilde.
Tabel 1-1:	Rapport fra arbejdsgruppen om kraftvarme- og VE elektricitet bilagsrapport
Tabel 1-2:	Discover the unique power of wind
Tabel 1-3:	http://ens.dk/sw48082.asp
Tabel 1-4:	Fremtidens Havmølleplaceringer – 2025
Tabel 1-5:	Med Elbiler i 25 år
Tabel 1-6:	Oplysninger om VW oplyst ved telefonsamtale

Figurkilder til forside:

Tesla:	http://aboutteslacars.com/images/2007TeslaRoadster-full.jpg
Oliepumpe:	http://insightbridge.com/images/Oil-Refinery-Pump-Image.jpg
Sukkerrør:	http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/Sugarcane_field.jpg
Tankpistol:	http://www.interviewchatter.com/wp-content/uploads/2008/05/gas-pump2.jpg

Appendix 1. – Well-to-Wheel effektivitetsberegner

Til brug under vurderingen af de forskellige teknologier, er der udformet et databeregningsark i Microsoft Excel, der ud fra oplysninger om bilerne og information om de forskellige led i forsyningskæden for teknologierne, beregner energiforbruget for en given kørestrækning og viser effektiviteten over de enkelte led, sammen med den overordnede Well-to-Wheel (WTW) effektivitet.

Arket er bygget op af 3 dele:

1. Dataindtastningsdelen
2. Kørecyklus opbygningen
3. WTW effektivitet resultatet

Dataindtastningsdelen er udelukkende til input:

Acceleration:	2,314815 m/s ²	Vægt:	
100 km/t på:	12 s		
Drag * Front areal	0,69 m ²	Dieselbil	1251 kg
Luft densitet	1,16 kg/m ³	Elbil	1311 kg
rullemodstand C0	0,009	Brintbil	1500 kg
Rullemodstand C1	1,75E-06 s ² /m ²		



De variabler som er tilgængelige ved bildesignet er mulige at ændre på, og derved se hvordan de påvirker den nødvendige kraft, motoreffekt, og energiforbrug over kørecyklussen:

F[N]	P[W]	E[J]	F[N]	P[W]	E[J]	F[N]	P[W]	E[J]	# reps	time [s]	acc. (dv)[km/t]	dv[m/s]	v. mean [km/t] / [m/s]
3013,718	12557,16	120548,7	3157,927	13158,03	126317,1	3612,188	15050,78	144487,5	4	2,4	20	5,555556	15 4,166667
3143,872	56764,35	136234,4	3288,4	59373,88	142497,3	3743,662	67593,9	162225,4	1	2,4	20	5,555556	65 18,05556
3436,718	109784	263481,7	3581,962	114423,8	274617,1	4039,48	129038,9	309693,5	1	2,4	20	5,555556	115 31,94444
3428,973	88105,56	317180	3429,676	88123,63	317245,1	3886,024	99849,24	359457,3	1	3,6	30	8,333333	92,5 25,69444
3028,818	22085,13	371030,2	3173,064	23136,93	388700,4	3627,441	26450,09	444361,5	4	4,2	35	9,722222	26,25 7,291667
3052,154	31793,27	763038,5	3196,457	33296,43	799114,4	3651,014	38031,39	912753,4	4	6	50	13,88889	37,5 10,41667
3096,081	45151,18	379269,9	3240,492	47257,17	396960,2	3695,386	53891,05	452684,8	1	8,4	70	19,44444	52,5 14,58333
39,85961	387,524	11625,72	39,95707	388,4716	11654,15	40,26408	391,4563	11625,72		30			35 9,722222
81,34615	1129,808	101682,7	81,54505	1132,57	101931,3	82,17159	1141,272	101682,7		90			50 13,88889
159,4385	3100,192	372023,1	159,8283	3107,772	372932,7	161,0563	3131,65	372023,1		120			70 19,44444
325,3846	9038,461	271153,8	326,1802	9060,561	271816,8	328,6863	9130,176	271153,8		30			100 27,77778
22806,36	379896,7	3107269	23675,49	392459,2	3203787	26867,37	443700	3542149		299,4			

Figur A-0-2: Viser første del af beregningsarket.

De data der indtastes indsættes i ligningerne:

$$F_{motor} = m \cdot \bar{a} \cdot \frac{1}{2} \rho C_D A_F (\bar{v}_T + \bar{v}_0)^2 + m g (C_0 + C_1 v_T^2) + m \cdot g \cdot \sin \phi$$

$$P = F_{motor} \cdot v$$

Figur A-0-1: Viser andel del af beregningsarket.

$$e = P \cdot t$$

Og anvendes for de forskellige typer accelerationer og køreperioder som er bestemt.

Den fundne mængde energi overføres derefter til den sidste del:

	Nødvendi	Motor	Lager	Lagring	Transport	Produktio	Transport	Kilde	Effektivitet
Diesel effektivteter		30	100	100	100	100	92		
Energi	3107269	10357562	10357562	10357562	10357562	10357562	11258220	11258220	27,6 %
Elbil effektivteter		79	100	95	100	90	97		
Energi	3203787	4055426	4055426	4268869	4268869	4743188	4889885	4889885	65,51865 %
Brintbil effektivteter		42	100	84	93,5	50	100		
Energi	3542149	8433687	8433687	10040104	10738079	21476158	21476158	21476158	16,4934 %

Figur A-0-3: Viser tredje del af beregningsarket.



Som tager udgangspunkt i den nødvendige energi for at gennemføre kørecyklussen, og ligger derefter en procentdel oveni på baggrund af effektiviteten for det enkelte led ved følgende ligning:

$$e_2 = e_1 \cdot \frac{100}{\text{effektivitet i \%}}$$

Til sidst findes den overordnede effektivitet ved:

$$\text{effektivitet} = \frac{e_{\text{nødvendig}}}{e_{\text{kilde}}}$$