



ØKONOMISK OG ORGANISATORISK ANALYSE AF EL-LAGRES ROLLE I DET DANSKE EL-SYSTEM

En analyse af privatøkonomiske omkostninger ved investering i husstandsbatterier.



SEPTEMBER 5, 2016

Titel: Økonomisk og organisatorisk analyse af el-lagrings rolle i det danske el-system.

Projektperiode: 1. februar 2016 – 5. september 2016

4 semester
Energiplanlægning

Skibbrogade 5
9000 Aalborg

Deltagere:

Kristian Hautorp

Vejledere: Peter Sorknæs

Oplagstal: 3

Sideantal: 58

Bilagsantal og -art: En CD

Afsluttet: 5. september 2016

Synopsis:

Nærværende projekt beskæftiger sig med privatøkonomiske analyser af omkostninger ved, at investere i et husstands batteri.

Den indledende del af projektet belyser en erkendelse af, et energisystemet der fremadrettet skal udvikles til håndtering af større mængder vedvarende energi, som erstatning for fossile brændsler derved nedbringes CO²-emissioner. Denne udvikling skal sikre, at el-systemet i alle timer af døgnet er i balance, selvom tilførslen af vedvarende energi stiger. Batterilagring kan fremme en rolle for integrationen af større mængder vedvarende energi og være med til, at balancere el-systemet i fremtiden.

I analysen er de økonomiske omstændigheder ved privat køb og eje af et husstands batteri blevet undersøgt. I rapporten er økonomien i en case med 2.000 husstands batterier som gennem en 10 årig periode både op- og aflader i 500 timer årligt udregnet. Den samlede nutidsværdi vil efter 10 år være -38.947.604 kr. Det vil derfor ikke vil være rentabelt rent privatøkonomisk, at investere i husstands batterier.

Tildeles husstands batterier støtte for at hjælpe med til, at stabilisere el-nettet, ser økonomien rent privat økonomisk væsentligt bedre ud. I en tilsvarende case med 2.000 husstands batterier og en støtte på 764,23 kr. pr. MWh (1 kr. pr. KWh) strøm solgt til el-nettet, er den samlede nutidsværdi efter 10 år på 12.015.845 kr. Med støtte vil det derfor være rentabelt rent privatøkonomisk, at investere i husstands batterier.

Projektets konklusionen er, at det rent privat økonomisk vil kunne betale sig at investere i et husstands batteri, hvis der tildeles en støtte på 764,23 kr. pr. MWh strøm, som sælges tilbage til el-nettet.

Egenindtægten fra husstands batterier med støtte dækker kun lidt over 1/40 del af de samlede udgifter forbundet med investeringen. For den private ejer af et husstands batteri, kan opretholde en positiv økonomi, vil støtten til husstands batteriet, skulle dække over 95% af de samlede indtægter. Det antages derfor som usandsynligt, med en støtte så høj, så det rent privat økonomisk giver overskud, at investere i et husstands batteri.

Forord

Projektet *økonomisk og organisatorisk analyse af el-lagrings rolle i det danske el-system*, er et projekt udarbejdet af Kristian Hautorp under 10 semester på uddannelsen Sustainable Energy Planning and Management ved Institut for Planlægning på Aalborg Universitet. Rapporten er udarbejdet i perioden 1. februar 2016 til 5. september 2016.

I rapporten er kildehenvisninger lavet ud af Harvard-metode med forfatter og årstal. Dette kan se således ud: (Tesla Motors, 2016).

Bagerst i rapporten er vedlagt en CD med bilag tilhørende projektet. På CD'en findes de økonomiske beregninger for økonomien i et husstands batteri.

Indholdsfortegnelse

1.0	Indledning	1
1.1	Smart Grid	10
1.2	Batterier som en del af smart Grid i fremtidens el-system	10
2.0	Problemformulering.....	13
2.1	Afgrænsning	14
3.0	Metode.....	15
3.1	Data indsamling.....	15
3.2	Økonomiske beregnings metode	16
3.2.1	Nutidsværdi	16
3.2.2	Tilbagebetalingsperiode	16
3.2.3	Diskonteringsrente	16
3.2.4	Interne rente.....	17
4.0	Teoretiske tilgang.....	18
4.1	Markedsforhold for husstands batterier	18
4.1.1	Teknisk	18
4.1.1	Konkurrence	19
4.1.2	Markedsudvikling	20
4.1.3	Politisk.....	20
4.2	Introduktion til governance teori.....	21
4.2.1	Politisk netværks teori.....	22
4.2.2	Indbyrdes afhængighed:.....	23
4.2.3	Koordinering	23
4.2.4	Pluralisme	23
5.0	Analyse	25
5.1	Opladningsstrategier for batterilagring	25
5.1.1	Tilfældig opladning	25
5.1.2	Opladning efter billigste elpris	25
5.2	Aggregaters indvirkning på el-systemet.....	26
5.2.1	Tekniske faktorer	28
5.3	Nord Pool el-marked	29

5.3.1 Day-ahead market (El-spot).....	30
5.3.2 Intraday Market (Elbas)	31
5.3.3 Regulating power market (RPM)	32
5.3.4 Reserve Market (Regulering af kapacitet)	33
5.3.5 Primære Reserve (Frequency Reserve)	34
5.3.6 Sekundære Reserve (Frequency Restoration Reserve)	34
5.3.7 Tertiære Reserve (Manual Reserve)	35
5.3.8 Oversigt over markedskarakteristika samt afgræsning.....	36
6.0 Udregningen af økonomien i husstandsbatterier.....	38
6.1 Investeringsomkostninger.....	38
6.1.4 Opstilling af case	38
6.2 Udregning af økonomien for husstandsbatterier	39
6.2.1 Investeringsudgiften	40
6.2.2 Elprisen	40
6.2.3 Realistisk vurdering af årlig ydelse af et husstandsbatteri.....	41
6.2.4 Oversigt over indtægter og udgifter gennem køb og salg af strøm	42
6.2.5 Udregningen af nutidsværdi	42
6.2.6 Husstandsbatteriers økonomi med støtte	45
6.2.8 Politisk opbakning til husstandsbatterier	47
6.3 Opsamling samt diskussion	48
7.0 Konklusion.....	50
8.0 Perspektivering	52
9.0 Bibliografi	54

1.0 Indledning

Der har gennem de sidste årtier, været et stigende fokus på udledningen af CO²-emmissioner, for at undgå væsentlige klimatiske problemer. I takt med den stigende fokus på nedbringelsen af CO²-emmissioner, er der opstået en erkendelse af energisystemet fremadrettet skal udvikles til, håndtering af større mængder vedvarende energi som erstatning for fossile brændsler. (Lund, R. S., Sperling, K., Mathiesen, B. V., & Connolly, D, 2013). For at reducere CO²-emmissioner og udbygge energisystemet fremadrettet, kræves der politisk opbakning. Den 22. marts 2012 blev flertallet af folketinget enige om en energiaftale som skulle underbygge og støtte udviklingen af fremtidens energisystem. I aftalen fra 2012 blev der opnået enighed om en række initiativer for perioden 2012-2020. Disse initiativer skal sikre, at energisystemet i 2020 når følgende mål: (Klima-, Energi- og Bygningsministeriet, 2012)

- * Bruttoenergiforbruget reduceres med 12 %.
- * 35 % af energiforbruget er dækket af vedvarende energi.
- * Produktionen fra vindmøller udgør knap 50 % af det danske elforbrug.

En omstilling af energisystem således det primært er baseret på vedvarende energi, vil betyde ændringer i den måde der energiplanlægges på. I CEESA (Coherent Energy and Environmental System Analysis) fra 2011 konkluderes, at det rent teknisk og samfundsøkonomisk er muligt, for omstilling af det danske energisystem til udelukkende, at være baseret på vedvarende energi i 2050. Dette vil kræve reducere af det danske energiforbrug med 45% frem mod 2050 og energiproduktionen primært baseres på biomasse, vind-, og solenergi (Lund, et al., Coherent Energy and Environmental System Analysis, 2011). Et energisystem baseret på 100% vedvarende energi vil dog ikke kunne klares, udelukkende gennem energibesparelser og udbygning af vedvarende energikilder. Ifølge Henrik Lund vil det kræve overvindelse af flere problemstillinger i både el-, varme- og transportsektoren. I elsektoren vil det ifølge Henrik Lund kræve overvindelse af blandt andet følgende problemstillinger:

- Vedvarende energikilder som sol- og vindenergi er fluktuerende energikilder hvilket medfører at energien skal anvendes eller lagres når den er til stedet. Det vil sige at hverken sol- eller vindenergi kan lagres direkte, men gennem konvertering kan forbruget forskydes fra produktionen (Lund, 2007).
- Den stigende andel af sol- og vindenergi vil reducere behovet for el produceret fra kraft- og kraftvarmeværker. Dette vil påvirke økonomien for disse værker herunder påvirke driftsøkonomien væsentligt. Det vil dog være essentielt at beholde dele af

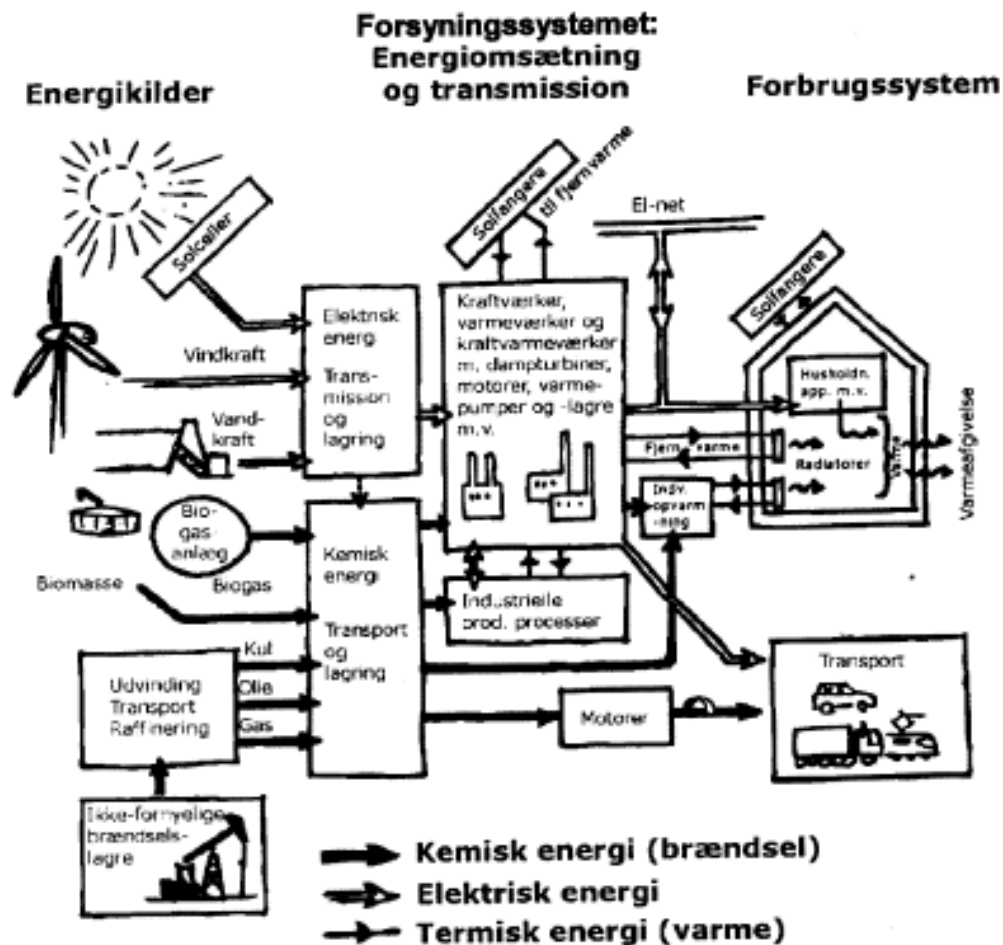
opreguleringskapaciteten gennem kraftværkerne, da de sammen med udenlandsforbindelser er med til at sikre elforsyningen. (Anders Dyrelund og Henrik Lund, 2010)

- For at sikre en stabil elforsyning i fremtiden skal udviklingen af det nuværende el-system revurderes. Dette skal gøres ved, at medtænke den eksisterende infrastruktur i udviklingen af fremtidens el-systemet. (Anders Dyrelund og Henrik Lund, 2010).

Det vil kræve væsentlige ændringer af energisystemet for, at kunne overvinde problemstillinger ved et skift fra fossile brændsler til vedvarende energi. Dette skyldes et energisystem som er baseret på fossile brændsler er kendetegnet ved, afbrænding af kul, olie og gas for skabelse af energi. Disse brændsler er kemisk stabile ved atmosfære-temperatur og kan på forholdsvis enkel vis både lagres og transporteres fra sted til sted. Ydermere er fossile brændsler kendt for stor energitæthed (Joule per kg eller kubikmeter), i forhold til batterilagring (Illum, 2012). Det er disse egenskaber som har muliggjort en opdeling af samfundet energisystemer i sektorer, som kan fungere uafhængigt af hinanden. Disse sektorer er følgende: Elsektoren, varmesektoren, industrisektoren og transportsektoren. I et energisamfund drevet udelukkende af fossile brændsler, er det rent teknisk forholdsvis nemt, at styre og regulere både i el- og varmeproduktionen på et kraftvarmewærk og i industri- samt transportsektoren. Kullene ligger klar, olien er lagret i tanke og både kullene og olien kan bruges til afbrænding i takt med forbruget på kraftvarmewærkerne stiger. Alle transportmidler fra biler, busser, fly og skibe har deres egen brændstoftank, hvor energien straks er til rådighed. Når tanken er tom kan den forholdsvis hurtigt flydes op igen. Fossile brændslers egenskaber i forhold til lagringmuligheder, pris og energiindhold har været med til at danne den nuværende samfundsøkonomi. (Illum, 2012)

Udfordringen er at konstruere et energisystem, som kan holde samfundet kørende uden fossilebrændsler. Biomasse og biogas kan langt fra fremskaffes i en mængde, så de direkte kan gå og erstatte fossile brændsler med det nuværende forbrug af energi. Det vil ligeså være urealistisk, at forstille sig i et moderne samfund, at el-, varme- og transportforbruget reduceres så kraftigt nok til at biomasse og biogas kan dække hele energiforbruget (Lund, et al., 2011). Vindmøller eventuelt suppleret med solceller regnes for den energikilde som i Danmark kan tilbyde det største bidrag til energiproduktionen. Udfordringen med den elektriske energi fra sol- og vindenergi er, at den ikke på samme forholdsvis enkle måde kan lagres og transporteres. Energien herfra skal produceres på de arealer der er til rådighed og energien kan ikke direkte lagres, men skal bruges eller konverteres til andre energiformer som kan lagres. Bruges elektriciteten fra vindmøller ikke i produktionsøjeblikket, kan de konverteres til kemisk energi i form af brint gennem elektrolyseanlæg, til elektrokemisk energi i batterier, til gravitationsenergi i vandkraftværkers reservoirer eller ved, at komprimere luft i tryklufttanke. Når der i almindelig tale snakkes om el lagring, er det disse former for konvertering af el til forskellige energiformer der refereres til. Det er væsentligt mere avanceret, at lagre el fra vindmøller end lagring af

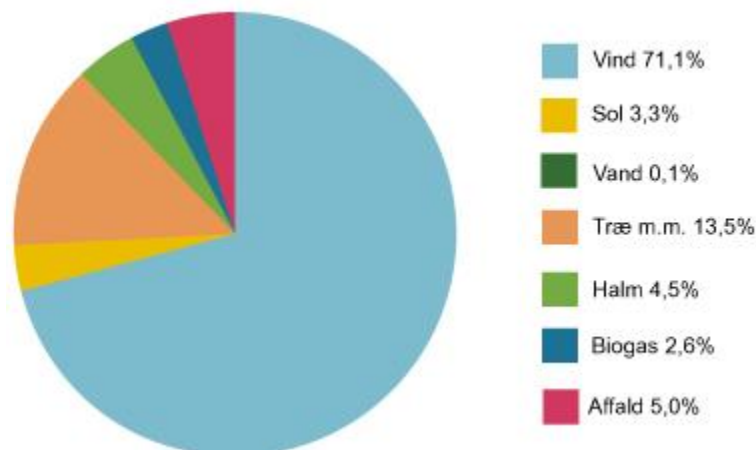
fossile brændsler. I planlægningsprocessen af fremtidens energisystem forventes størstedelen af energiproduktionen, at komme fra vind suppleret af biomasse og solenergi. Vind- og solenergi er defineret som værende fluktuerende energikilder. En højere andel af fluktuerende energi, stiller større krav til energisystemet end det traditionelle energisystem baseret på fossile brændsler gør (Lund, et al., 2011). Fremtidens energisystem med vindkraft som den dominerende energikilde, bliver væsentlig mere avanceret end det nuværende energisystem, baseret på fossile brændsler. Energisystemet skal kunne opretholde spændingen i el-nettet i perioder med lav tilførsels af vindenergi. I perioder med høj tilførsels af vindenergi skal el-nettet kunne udnytte den overskydende energi fra vindmøllerne. På figur 1 er vist det nye energisystem som omfatter 3 delsystemer (Energikilder, forsyningssystemet og forbrugssystemet). Brændslerne på figuren er den kemiske energi som gennem forsyningssystemet tilføres fra energikilderne. Brændselsmængden er bestemt af produktionen af el fra vedvarende energikilder, effektiviteten af forsyningssystemet samt elforbruget og varmekonsumet.



Figur 1 Energisystemets tre delsystemer

Som det kan ses af figurens venstre side, vil det fremtidige energisystem med højere andele af vedvarende energi, i større grad være bestående af mindre decentrale energiproducerende værker frem for centrale kraftværker. Disse decentrale energiproducerende værker dækker over solceller, vindmøller, vandkraft mm. Når disse decentrale energiproducerende værker får større andele af den samlede produktion af el, vil det skabe et større behov for, at inkludere lokale interessanter i planlægningsprocessen af fremtidens energisystem (Karl Sperling, Frede Hvelplund og Brian Vad Mathiesen, 2010)

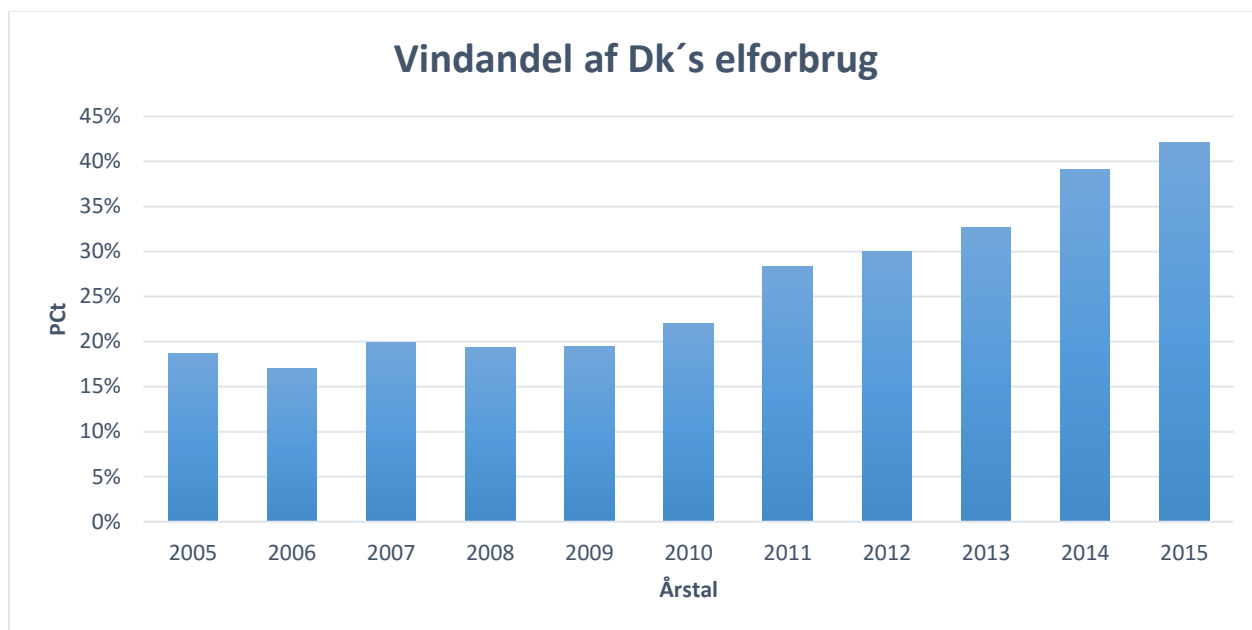
Den totale produktion af vedvarende energi i el produktionen var i år 2013 på 15.652 GWh, svarende til 47,5 % af den samlede el produktion. Især vindenergi er stærkt repræsenteret med 71,1% af den samlede mængde vedvarende energi produceret. På figur 2 er vist sammensætningen af vedvarende energi i 2013 fra forskellige vedvarende energikilder herunder sol, vand, biomasse (træ og halm), biogas og affald.



Figur 2 - Sammensætningen af vedvarende energi i el produktionen (Energinet, 2013)

Som det ses af figuren, repræsenterer vindenergi en højere produktionsandel af el end alle andre former for vedvarende energi i Danmark. (Energinet, 2013)

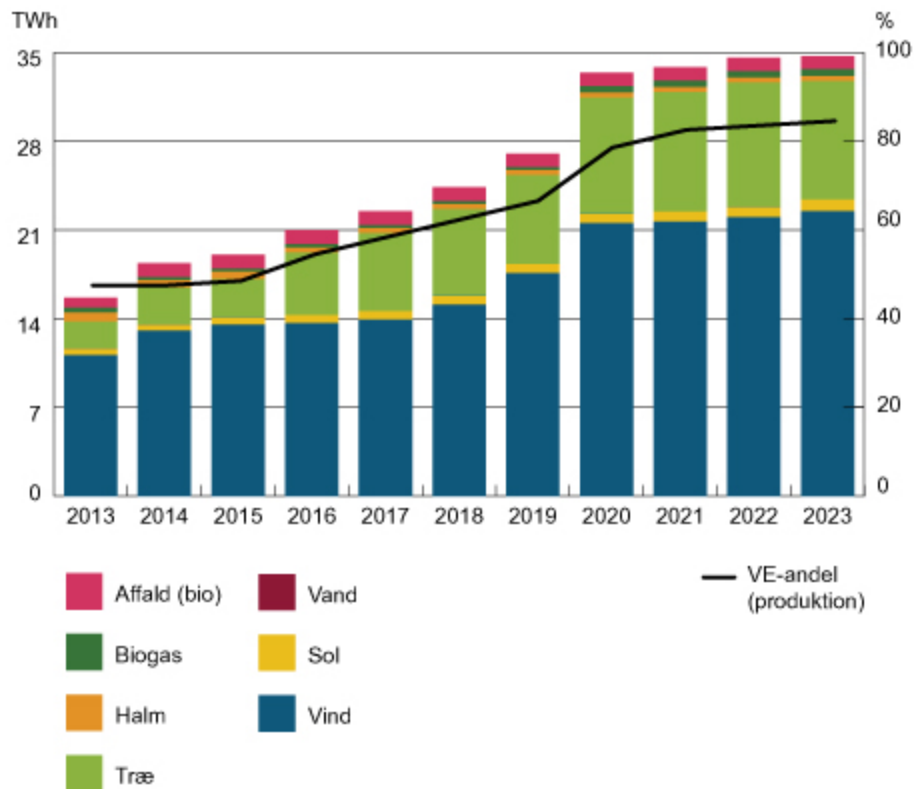
Især vindenergi har været i udbygning de seneste år og dækkede 42,1% af det samlede Danske strømforbrug i 2015. På figur 3 er vist stigningen i vindenergi i forhold til strømforbruget.



Figur 3 - Andelen af vindmølle strøm i Dk (Energinet, 2016)

Som det ses af figur 3, følger stigningen gennem de sidste par år næsten en lineær linje. Denne tendens forventes at fortsætte de kommende år (Energinet, 2016).

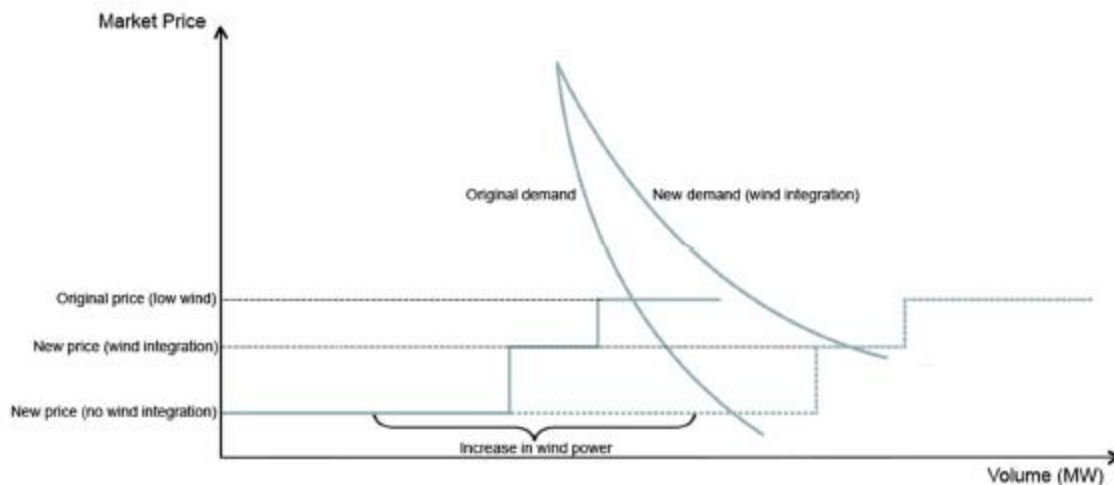
På figur 4 er vist energinets forventede udvikling inden for vedvarende energi. Produktionsstørrelsen kan aflæses på venstre akse og på højre akse er vist, hvor mange procent vedvarende energi udgør af den samlede el produktion.



Figur 4 - Produktionen af vedvarende energi i Danmark (Energinet, 2013)

Som det ses af figur 4, forventes andelen af vedvarende energi, at stige til næsten det dobbelte de kommende år. Helt præcist forventes en stigning på 84% fra vedvarende energi frem mod år 2023. Dette vil primært ske gennem øget udbygning af vindmøller, men ombygning af centrale kraftværker til anvendelse af træ som brændsler forventes også, at spille en markant rolle. (Energinet, 2013)

Med højere andele af vindenergi i energisystemet må det forventes, at under perioder med høj produktion af vindenergi, vil elprisen have en tendens til at falde. En lav elpris i dag, hænger ofte sammen med timer med meget vindenergi. Dette skyldes blandt andet skyldes at vindenergi har en lav marginalpris på kort sigt. Dette kan forklares gennem prioriteringskurven som er vist på figur 5.



Figur 5 – Påvirkning af prioriteringskurven ved større integration af vindenergi.

Når større mængder af vindenergi implementeres til energisystemet vil elforsyningskurven begynde, at bevæge sig mod højre som vist på figur 5. Dette medfører at markedsprisen på el vil falde så længe, at elforbrugskurven ikke ændres. Sker der en stigning i elforbrugskurven vil den bevæge sig mod højre og medfører en stigning i elprisen. Denne stigning af elprisen vil dog være mindre sammenlignet med den originale case (Frede Hvelplund, 2013). Det stigende elforbrug under perioder med høje andele af vindenergi, kan komme fra flere forskellige kilder. Som beskrevet tidligere, kan det øgede elforbrug ske ved, at omsætte strømmen til kemisk energi i form af brint gennem elektrolyseanlæg, til elektrokemisk energi i batterier, til gravitationsenergi i vandkraftværkers reservoirer eller ved at komprimere luft i tryklufttanke. Ved at bruge eller lagre vindenergien når den er til stede, stiger værdien af vindmøllestrømmen. Derved minimeres nødvendigheden af betaling gennem public service obligation (PSO) da forøget værdi af vindmøllestrømmen vil reducere behovet for støtte.

I dag får vindmøller støtte gennem feed-in tariff (FIT) betalt gennem PSO. PSO inddrives gennem en afgift på forbrugerens elregning og prissættes hvert kvartal af Energinet (Energinet.dk, 2016). PSO afgiften prissættes på baggrund af elprisen. Flader elprisen to øre vil PSO afgiften stige med en øre. Modsat vil PSO afgiften falde med en øre, hvis elprisen stiger med to øre (Børsen, 2016). Pengene opkrævet gennem PSO er med til, at finansiere vedvarende energi initiativer herunder især vindmøller og solceller. På det seneste er PSO ordningen begyndt at modtage kritik. Ifølge EU-kommissionen er PSO afgiften traktatstridig, da den bliver opkrævet af danske såvel som udenlandske selskaber som ingen fordele har i, at støtte den grønne omstilling i Danmark. Det er derfor besluttet at regeringen skal finde en erstatning for den nuværende PSO ordning inden 1. januar 2017 (Energinet.dk, 2016). Regeringen har i skrivende stund ikke fastlagt en konkret strategi for, hvordan man håndterer den fortsatte finansiering af den grønne omstilling. Statsminister Lars Løkke Rasmussen siger under spørgetime i Folketinget at " PSO'en er

underkendt. Vi skal finde en ny finansieringskilde, ". Han uddyber at "Den skal finansieres ved, at vi sætter bundskatten op, eller ved at vi fortrænger nogle andre ting, ". (Børsen, 2016)

Før PSO afgiften blev kendt traktatstridig, har der i et par år været en general holdning fra regeringens side til at PSO afgiften bør reduceres. PSO-afgiften til støtte for den grønne omstilling af Danmarks energiforsyning bør ifølge regeringen reduceres med 13,2 milliarder kroner i perioden 2012 til 2020. Denne lempelse sker blot 2 år efter at de, at de oprindelig tiltag blev forhandlet. Lars Aagaard som er adm. Direktør for Dansk Energi siger følgende om lempelserne:

"Det er skidt, at man begynder at pille i de tiltag, som man blev enige om for bare to år siden. Det er dog glædeligt, hvis den her aftale kan bringe ro om energiområdet. Det tjener ingen med massiv ustabilitet om de meget store investeringer, og de seneste måneders uro har ikke gavn timer. Nu skal der gerne ro på, så vi billigt muligt kan skabe den ønskede grønne omstilling," (Altinget, 2014)

Ifølge Lars Aagaard er det vigtigt, at der kommer ro på energiområdet for at øge incitamentet til muliggørelse af større investeringer af den grønne omstilling. Afskaffes PSO ordningen, vil det medfører et milliardhul til finansiering af den grønne omstilling. Dette kan medfører en betydelig reduktion i investeringer til grønne tiltag, som kan udskyde den grønne omstilling fremadrettet. PSO-afgiften i sin nuværende form, er blandt andet med til at støtte vindmøller for at sikre, at vindmølle ejere kan dække omkostninger mellem markedsprisen og den langsigtede marginalomkostning. Når salgsprisen af el fra vindmøllestrøm stiger vil det reducere prisforskellen mellem markedsprisen og den langsigtede marginalomkostning. En prisstigning af vindmøllestrømmen ved mere optimal brug eller lagring af strømmen når den er til stedet, kan være med til at hæve prisen for vindmøllestrøm. (Søren Krohn, 2009)

Prisstigning af vindmøllestrømmen, lavere produktionsomkostninger og politisk opbakning af vindmøller er med til at drive udviklingen i vindmøllebranchen. Som tidligere beskrevet forventes mængden af vedvarende energi i el-system at stige fremadrettet. Dette vil medfører, at el-systemet oftere vil have overskud af el, hvilket kan føre til strømafbrydelse, hvis ikke strømmen reguleres ordentlig (Henrik Lund, 2003). Op- og nedregulering kan ske på flere forskellige måder. Måden hvorpå op- og nedregulering af elforbruget foregår i Danmark er beskrevet mere detaljeret i afsnit 5.3 Nord Pool el-marked. Hovedformålet med op- og nedregulering er for, at sikre at el-systemet i alle timer af døgnet er i balance og dermed en sikkerhed for, at der i alle timer er el til rådighed. Op- og nedregulering sker i dag hovedsagelig gennem udlandsforbindelser og kraftværker. Udlandsforbindelserne bruges til handel af el med nabo lande gennem Nord Pool el-marked. På den måde kan balancen i el-systemet opretholdes ved hjælp af op- og nedregulering fra et af nabolandene. Centrale kraft- og kraftvarmeværker kan ligeledes bruges

til at sikre balance ved at op- eller nedregulere når mængden af produceret energi er forskellig fra den forventede produktion. (CAILLIAU, et al., 2010)

Den danske systemoperatør Energinet.dk, ses som værende et vigtig led i fremtidig udvidelse af transmissionslinjer til, at involvere flere lande og give større kapacitet til handel af el på tværs af lande. Større kapacitet gennem transmissionslinjer kan være en fordel for Danmark set i forhold til en øget produktion af vindenergi og derved større mængde fluktuerende energi. På den anden siden kan det også blive en ulempe for Danmark, at bruge omkring liggende lande til op- og nedregulering, da det vil skabe en større afhængighed til de omkring liggende lande. Ydermere kan stigende mængder af fluktuerende energi i de omkring liggende lande, svække deres mulighed for at aftage strøm i timer med overskudstrøm fra især vindmøller. Derudover kan udbygning af transmissionslinjer medfører et potentielt tabt for det Danske samfund, da importeret strøm til Danmark ofte er dyre end den eksporterede strøm fra Danmark. (CAILLIAU, et al., 2010)

Den danske systemoperatør har i deres strategiplan konkluderet nødvendigheden, af et mere fleksibelt elforbrug i Danmark for, at være mindre afhængig af andre lande og reducere timer med overskud af elektricitet i el-systemet (Energinet, 2014, s. 5-7). For at sikre at energisystemet kan håndtere større mængder af fluktuerende energi bør det overvejes nøje, hvilke tiltag der skal foretages for at sikre, at det eksisterende energisystem kan håndtere den stigende mængde af vedvarende energi. (Lund H. , Renewable Energy Systems, 2nd Edition. (A Smart Energy Systems Approach to the Choice and Modeling of 100% Renewable Solutions), 2014)

Der er lavet flere planer for hvordan det Danske energisystem kan geares til at klare de stigende mængder vedvarende energi. To af de rapporter som er blevet brugt som baggrundsviden i dette projekt er Dansk Energi rapport (Dansk Energi, 2014) og 'Coherent Energy and Environmental SystemAnalysis' (CEESA) rapport (Lund, et al., 2011). Begge rapporter beskæftiger sig scenarier af forskellig art, samt analyse og sammenligning heraf. I energistyrelsens rapport er fokus i høj grad på energi, mens fokus i CEESA rapporten i højere grad er baseret på de teknologier som antages, at være til rådighed i forhold til den specifikke teknologis udvikling. Begge rapporter konkludere, at der i takt med stigende energiproduktion fra vedvarende energi herunder vindenergi, er behov for bedre samspil mellem de forskellige parter af el-systemet. Dette inkludere en optimere af samspillet mellem energikilder, transmission og elforbrug. Et eksempel på et sådan el-system er Smart Grid. Det bør nævnes at CEESA rapporten i deres løsningsforslag fokusere på smart Energy system som omhandler samspillet på tværs af sektorer. I denne rapport vil der blive afgrænset fra andre sektorer end elsektoren. CEESA rapporten rummer flere aspekter som er fundet nyttig til brug i denne rapport og er derfor medtages som baggrundsviden. En af større forskelle på et Smart Energy System og Smart Grid er, at Smart Energy System fokusere på løsninger gennem fleksibelt elforbrug på tværs af sektorer, hvor Smart Grid fokusere på løsninger gennem et fleksibelt elforbrug inden for elsektoren.

1.1 Smart Grid

Smart Grid er en betegnelse på et el system, hvor elforbruget i større grad tilpasses med den fluktuerende elproduktion fra især vindmøller. Udviklingen af smart Grid har medført, at flere virksomheder er begyndt, at producere fjernstyret elektronik som kan tilpasse energiforbruget efter hvornår den fluktuerende energi er til rådighed. Den fjernstyret elektronik er tiltænkt køleskabe, fryserne, vaskemaskiner varmpumper mm. Meningen er at disse apparater kan stoppe deres elforbrug i perioder med høje elpriser og begynde igen når elprisen er lav. I et døgn med lav el produktion af vindenergi vil disse apparater reducere deres elforbrug mest muligt. Dette vil betyde en øget efterspørgelse på energi fra disse apparater i det eller de efterfølgende døgn uanset mængden af vedvarende energi i energisystemet. Dette sker fordi største delen af disse apparater ikke kan stoppe deres forbrug i mere end ét eller højst to døgn (Illum, 2012). En måde at skabe et mere fleksibelt elforbrug for den private er ved, at benytte batterier. Et såkaldt husstands batteri kan skabe et mere fleksibelt elforbrug, da et batteri ikke kræver tvungen opladning straks efter et døgn med lav vindenergi.

1.2 Batterier som en del af smart Grid i fremtidens el-system

Husstands batterier er begyndt at blive mere udbredt i Danmark. Med udvikling af billigere batterier, forventes salget af husstands batterier at stige fremadrettet. De nyeste husstands batterier kan tilkøbes med fjernstyrings teknologi til op- og afladning. Dette kan være med til, at udnyttet batteriets kapacitet mere optimalt og dermed skabe et mere fleksibelt elforbrug til fordel for balancering af el-systemet. Problemet med nuværende batterier er, at de er forholdsvis dyre og levetiden er begrænset. Dette medvirker til, at det kun i begrænset tilfælde er en økonomisk rentable investering for den private boligejer. Gennem udviklingen af batterierne de kommende år forventes prisen på batterilagring, at blive reduceret og samtidig forlænges levetiden. Denne udvikling accelereres af en øget efterspørgslen på batterier og især efterspørgslen på li-ion-batterier gør, at de er faldet forholdsvis kraftigt i pris gennem de seneste år.

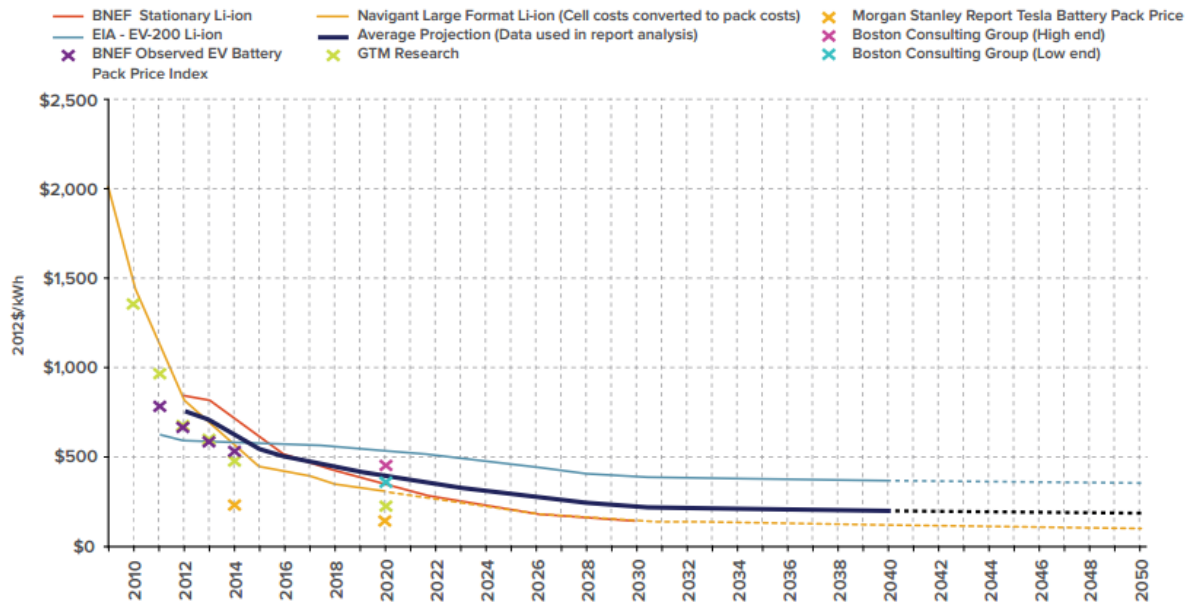
Prisen på li-ion batterier forventes, at falde yderligere til 200-300 \$/kWh frem mod år 2020. Mindre batterier til blandt andet mobiltelefoner og bærbar computere har gennem de sidste 15 år, oplevet et kraftigt prisfald. Samme kraftige prisfald er inden for de sidste år begyndt, at påvirke større batterier til blandt andet elbiler og husstands batterier. Udvikling af batterier accelereres blandt andet, af den øgede efterspørgsel på batterier. (Energinet, 2016)



Figur 6 - Prisudvikling på Li-Ion batterier (Energinet, 2016)

Som det ses på figur 6 er mindre batteriet falder forholdsvis kraftig i pris fra 1997 til i dag. For større batterier startede pris reduktionen for alvor omkring 2009. Det forventes, at i takt med større efterspørgsel på større batterier vil prisen forsætte med at falde. Inden for en kortere årrække forventes prisen, at være nede på samme niveau som mindre batterier (Energinet, 2016). Forskellige aktører er kommet med deres forventning til fremtidens prisudviklingen af større Li-Ion batterier. Disse pris forventninger kan ses på figur 7.

LITHIUM-ION BATTERY PACK PRICES: HISTORICAL AND FORECASTED



Figur 7 - Prisudvikling på større batterier (Bronski, et al., 2015)

Som det ses af figur 7, er der forskellige forventninger til prisudviklingen alt efter hvilken aktør der spørges. Fælles for stort set alle aktører er, at de forventer at prisen på større batterier vil falde i fremtiden. Graden af prisudviklingen er forskellige fra aktør til aktør frem mod år 2030, mens alle mere eller mindre forventer, at prisen for større batterier vil stagnere efter år 2030. (Bronski, et al., 2015)

Som skrevet tidligere så er levetiden af eksisterende batterier relativ kort, men under udvikling. Udviklingen af batteriers levetiden er allerede i dag blevet forbedret væsentligt, i forhold til for få år siden. Flere batteriers levetid har udviklet sig eksponentielt i perioden 2008 til 2013 og ifølge IEA forventes denne tendens, at fortsætte de kommende år. Dette er yderligere med til at skabe et incitament for, at investere i batterier til lagring af energi. Konkret vil udviklingen betyde, at et Li-Ion batteri vil have en levetid på 10.000 cykler i 2020. Dette svarer til 30 års levetid for batteriet, hvis det bliver opladt samt afladt en gang om dagen. De nuværende batterier forventes kun at have en levetid på 5-10 år under samme vilkår. (IEA, 2015)

2.0 Problemformulering

Det foregående afsnit har belyst, at andelen af vedvarende energi i det danske energisystem, er steget forholdsvis kraftigt. Dette vil medføre større udfordringer for fremtidens energisystemet, da dette skal kunne håndtere og afbalancere den stigende mængde af fluktuerende energi fra især vindmøller.

I fremtiden vil der være et behov for integration af større mængder af fluktuerende energi og samtidig sikre, at el-systemet i alle timer af døgnet er i balance. Batterilagring kan være med til, at spille en rolle for integrationen af større mængder fluktuerende energi. Hvor stor en rolle batterilagring vil spille i fremtidens el-system, er uklart.

Prisen på batterier er faldet og forventes at falder yderligere de næste par år på baggrund af udvikling, samt en øget efterspørgsel. Ligeledes forventes det, at batteriernes levetid vil stige og fra 2020 have en forventet levetid på 30 år. Prisreduktion og den forøgede levetid er med til at gøre batterilagring mere attraktivt og konkurrence dygtig. Batterilagring kan komme til, at spille en afgørende rolle i kapløbet om, at integrere større mængder af vedvarende energi i el-nettet. Batterilagringers fremtid vil afhænge af, om investeringsomkostningerne til batterierne kan tjenes ind inden for batteriernes levetid. Reduceres prisen for batterier tilstrækkeligt kan batterier blive en vigtig medspiller for udviklingen af fremtidens energisystem.

Ud fra ovenstående er der udformet følgende problemstilling:

”Er det privatøkonomisk rentabelt, at investere i batterilagring som en løsning på, at integrere en større mængde af fluktuerende energi i det danske energisystem?”

For at svare på problemformuleringen er følgende underspørgsmål udsprunget:

- *Kan støtte til husstands batterier være med til at sikre, at batterilagring er en rentable investering for private?*

Uden støttere regler for private forventes husstands batterier ikke at være økonomisk rentable. Med ændrede støtte regler kan der potentielt set, være en indtjening at hente for ejeren af et husstands batteri. Denne indtjening sker ved, at tilbyde fleksibilitet for el-systemet. Dette vil dog kræve at batteriejereren acceptere at op- og afladning af husstands batteriet bestemmes efter el-nettes balancebehov.

- *Hvor høj en støtte kræves, før batterilagring vil være en økonomisk rentable investering for private?*

For at sikre et optimalt brug af husstandsbatterier som balance af el-systemet må det forventes, at bestemte aktører er nødvendige at involvere. Deres indvirkning og potentielle rolle i fremtiden bør undersøges.

2.1 Afgrænsning

Der er flere interessante områder, som ikke er medtaget i denne rapport. Dette er gjort for, at sikre fokus af projektet og på grund af manglende tidsressourcer.

I denne rapport er fokusområdet begrænset til husstandsbatterier, herunder udnyttelse af vindenergi, økonomien i batterilagring og potentielle fordele ved, at give støtte til husstandsbatterier. Fordelen for el-systemet og en eventuel prisstigning af vindmøllestrøm ved benyttelse af batterilagring er ikke direkte vurderet i rapporten. Analysen i dette projekt skal ses som en undersøgelse af økonomipotentialet for husstandsbatterier. Dette skal ses i forhold til, at opnå bredere forståelse for brugen heraf samt hvilke krav der skal imødekommes før husstandsbatterier kan bruges, til balancering af el-systemet. Ydermere vil de økonomiske fordele for batteriejere blive undersøgt. Der vil i de økonomiske beregninger ikke blive medregnet omkostninger relateret til slid af batterier fra gentagne op- og afladninger ved, at tilbyde fleksibilitet for el-systemet. Dette er gjort for, at simplificere de økonomiske beregninger og fordi omkostninger til sild mm. ikke forventes, at have en væsentlig påvirkning på de økonomiske beregninger.

I analysen er forudsætningen at 2.000 husstandsbatterier vil blive implementeret i el-systemet. Det er nødvendig med en forholdsvis stor mængde af husstandsbatterier for, at kunne spille en mere synlig rolle i balancering af fremtidens el-system. Ydermere kræver dele af elmarkedet en minimums kapacitet for, at operer på de enkelte el-markeder. Eksempelvis kræver det en kapacitet på minimum 10 MW, at operer på RPM markedet. Ved at 2.000 husstandsbatterier operer sammen er det muligt at operer på større dele af el-markedet.

Der vil i rapporten blive afgrænset fra, at analysere om det er sandsynligt at 2.000 husstandsbatterier er implementeret i det danske el-net inden for nærmeste fremtid. Ligeledes vil der blive afgrænset fra, at lave en analyse af fremtidige energiplaner for, at kunne sætte et mere konkret fokus på batterilagring som en del af fremtiden el-system.

I analysen af de økonomiske omstændigheder omkring batterilagring vil relevante afgifter og tariffer blive medtaget. Mening heraf er, at undersøge de forskellige forhold som husstandsbatterier skal operere under. Dette er gjort for at undersøge økonomien i batterilagring og potentialet for, at indspille i et smart Grid netværk som balancering af fremtidens el-system. I de økonomiske beregninger vil der blive afgrænset fra, at se på omkostninger til at opgradere el-nettet til, at kunne håndtere større mængder af fluktuerende energi. Ydermere vil der i analysen ikke blive medregnet energitabet ved af- og opladning af husstandsbatterier samt det eventuelle tabt af energi gennem distribution og transmission af el.

3.0 Metode

I udarbejdelsen af denne rapport er der brugt flere metoder til indsamling af data. Indsamling af rapportens primære data er hovedsageligt sket gennem analysen og udregninger i Excel. Til indsamling af sekundære data er der hovedsageligt brugt litteraturstudie. Excel udregninger og litteraturstudie har været med til, at danne udgangspunktet for rapportens empiriske grundlag. De metodiske overvejelser som er medtaget i forbindelse med projektets udformning, er beskrevet nedenfor.

3.1 Data indsamling

Dataindsamling til nærværende projekt er sket gennem litteratursøgning, mailkorrespondance og interview. Rapportens data er bestående af både primære- og sekundære kilder.

De sekundære data brugt i dette projekt, er indsamlet til et sekundært formål end til brug i dette projekt. Dette medvirker, at de sekundære data kan være påvirket af personfortolkning. Ved indsamlingen af sekundære data, er der taget forbehold for dette og forholdt sig kritisk til brugen af sekundære kilder (Andersen, Den skinbarlige Virkelighed - om vidensproduktion inden for samfundsvidenskab, 2010).

Som beskrevet ovenfor stammer de sekundære kilder primært fra litteraturstudie. Den sekundære litteratur er i høj grad indsamlet gennem internettet, biblioteket samt universitetsbibliotekets database. I rapporten er de sekundære data brugt til, at udarbejde indledningen, problemformuleringen, teoriafsnittet og til at finde tal og statistikker til brug i udregningerne af økonomien i et husstandsbatteri. Da sekundære kilder ikke er indsamlet specifikt til dette projekt, vil primære kilder ofte være at foretrække (Andersen, 2005). Det har dog ikke været muligt at udarbejde hele rapporten, udelukkende baseret på primære data og derfor er sekundære kilder blevet brugt. I forbindelse med indsamling af sekundære data, er det væsentligt at være kildekritisk og bedømme om den fundne kilde er brugbar eller ej. I dette projekt er brugen af sekundære kilder betragtet ud fra tre forskellige parameter: (Thuren, 2008),

- Aktualitet
- Relevans
- Validitet

Rapportens primære data stammer hovedsageligt fra udregninger af økonomien for et husstandsbatteri lavet specifikt til dette projekt. Størstedelen af udregningerne i analysen er udregnet med udgangspunkt i tal og statistikker fra el-markedet, producenter samt andre aktører som er beskæftiget med husstandsbatterier.

3.2 Økonomiske beregnings metode

I rapportens analyse er udregninger af økonomien i et husstandsbatteri, udregnet ved hjælp af nutidsværdien, tilbagebetalingsperioden og diskonteringsrenten som vil blive præsenteret i nedenstående afsnit.

3.2.1 Nutidsværdi

Tesla Powerwall koster cirka 20.000 DKK. For at estimere den forventede rentabilitet af en investering i en Tesla Powerwall, vil nutidsværdien blive udregnet. Nutidsværdi er en måde at undersøge omkostninger og indtægter i en given investering, hvor den tidsmæssige værdi af investeringen er medtaget. En positiv nutidsværdi af en given investering vil sige, at investeringen antages at have et afkast i nutidsværdi, som er større end de løbende udgifter der er forbundet med ejerskab af investeringen. En negativ nutidsværdi af en given investering vil sige, at investeringen antages at have et mindre afkast i nutidsværdi, end de udgifter som er forbundet med ejerskab af investeringen. Nutidsværdi er et parameter som kan bruges til, at afgøre om en given investering kan forventes at give overskud eller underskud. (Gallagher & Andrew, 2007)

3.2.2 Tilbagebetalingsperiode

Tilbagebetalingsperioden er den periode i år, det tager for en given investering, at opnå en besparelse som er lig med eller højere end den oprindelig pris uden investeringen. Denne metode er medtaget fordi den kan afgøre, om en konkret værdi af en investering kan overstige den oprindelige pris. En investering med en kort tilbagebetalingstid er oftest en rentabelt investering, da den i de efterfølgende år vil give ejeren en indtægt, som er større end udgifterne. En investering hvor tilbagebetalingstiden overstiger levetiden, vil den givne investering være en dårlig forrentning, da ejeren stadig vil skyldte penge når investeringen er udtjent og ikke længere kan generere penge til ejeren. (Code of Federal Regulations, 2010)

3.2.3 Diskonteringsrente

I en given investering kan en diskonteringsrente bruges til, at estimere en fremtidig værdi af investeringen og herefter kan nutidens værdien estimeres gennem diskontering. Når en gives investerings fremtidige værdi skal bestemmes, gøres dette blandt andet ved, at kigge på investeringens fremtidige indtægtsmuligheder. Derved er det muligt, at beregne en vækstrate og herefter lægge denne sammen med indtægtsmulighederne for investeringen. Et eksempel på dette kan beskrive ved, at en given virksomhed i 2016 har en indkomst på 100 Kr. Med en vækst på 10 % vil virksomheden i 2017 være i stand til at generere en indkomst på 110 kr. og i 2018 vil indkomsten være 121 kr. osv. Efter 10 år vil indkomsten i virksomheden være 1753 kr. Men de 1753 kr. som er generet efter 10 år er ikke 1753 kr. værd i dag. (Greer & Kolbe, 2003)

Det vil ikke være rentabelt at investere 1753 kr. i en given investering som over en 10 årig periode vil have givet en indkomst på 1753 kr. i alt. Denne investerings afkast vil være på 0% over en ti

årig periode. Det er derfor essentiel at udregne hvor meget du er villig til i dag, at betale for en investering, som vil kunne genere 1753 kr. i løbet af 10 år. (Greer & Kolbe, 2003)

Der findes ikke en bestemt diskonteringsrente som altid bør anvendes. Størrelsen af diskonteringsrenten er forskellig fra case til case. Bruges en diskonteringsrente på 15% og en fremtidig indkomst efter 1 år på 1753 kr. vil man kun være villig til at betale 1524 kr. for denne investering i dag. Bruges en diskonteringsrente på 9% og en fremtidig indkomst efter 1 år på 1753 kr. vil man kun være villig til at betale 1608 kr. for denne investering i dag. (Greer & Kolbe, 2003)

I dette projekt er en diskonterings-/nominel rente på 5% antaget realistisk og brugt i rapporten udregninger. En lavere rente kunne være brugt for, at forbedre de økonomiske vilkårene for husstandsbatterierne. En højere rente kunne være brugt, men ville forringe rentabiliteten af en investering i et husstandsbatter. Dette skyldes at en høj rente betyder, at man vil betale mindre i dag for et fremtidig udbytte af investeringen.

3.2.4 Interne rente

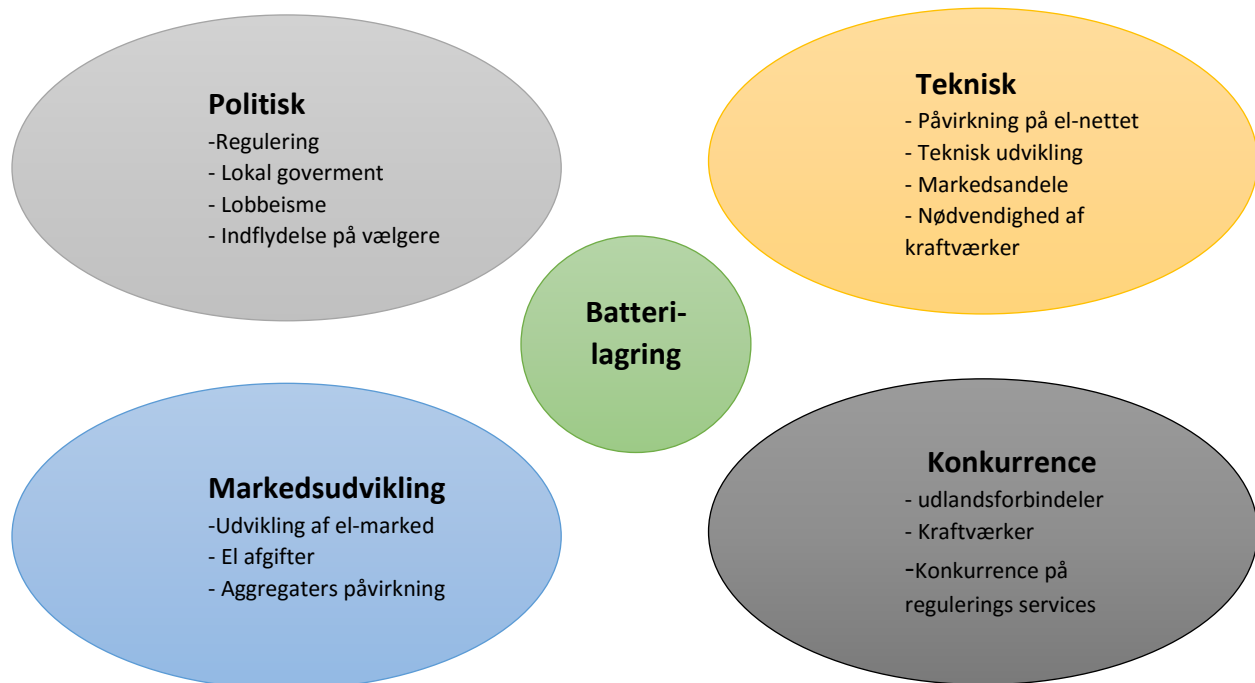
Den interne rente angiver den højest mulige diskonteringsrente, hvor investeringen stadigvæk vil give overskud. Hvis en investering har en intern rente på eksempelvis 15%, betyder det at denne investering kan klare en diskonteringsrente på op til 15%, før investeringen vil give en negativ nutidsværdi. Dette betyder samtidig, at en anden investering skal have et afkast på mindst 15% årligt for, at kunne konkurrere med økonomien i en investering med en intern rente på 15%. (Investopedia, 2016)

4.0 Teoretiske tilgang

I dette afsnit er den teoretiske tilgang til rapporten beskrevet. Dette er for, at give læseren et overblik over de forskellige aspekter som forsknings spørgsmålene, analysen og konkluderingen er udformet under. Den teoretiske tilgang i rapporten er udarbejdet med inspiration fra Governance teori. Følgende afsnit er todelt, bestående af en præsentation af markedsforholdene som husstandsbatterierne i denne rapport vil skulle operer under samt en introduktion til governance teorien. Herefter vil den teoretiske indfaldsvinkel til rapporten blive opstillet med inspiration fra governance teorien.

4.1 Markedsforhold for husstandsbatterier

Flere medspillende faktorer som ikke er direkte inkluderet i rapporten, kan påvirke udviklingen af fremtidens el-net. I denne beskrivelse af rammerne som husstandsbatterier vil operer under, vil flere af disse faktorer blive diskuteret. Dette er for at vise en forståelse for de forventede rammer som kommende husstandsbatterier vil skulle operer under. På figur 8 er vist de markedsforhold som tilsammen udgør rammerne, som husstandsbatterierne i denne rapport vil operere under. De markedsforhold som er medtaget i dette projekt er opstillet i fire grupper; politisk, teknisk, markedsudvikling samt konkurrence. I den følgende sektion vil de fire grupper blive præsenteret enkeltvis. De fire grupper vil blive præsenteret ud fra figur 8 og hvis ikke anden reference er nævnt er det denne figur som der refereres til.



Figur 8 – Præsentation af markedsforhold for husstandsbatterier

Ved opladning af et husstandsbatteri påvirkes el-systemet direkte. Begrænset udbredelse af husstandsbatterier gør, at påvirkningen i dag er forholdsvis beskeden. Den fremtidige udbredelse af husstandsbatterier i Danmark er svær at forudsige. Den vil afhænge af forskellige faktorer herunder teknologiudvikling, prisudvikling og udviklingen af levetiden samt politisk opbakning til udbredelsen af husstandsbatterier. I fremtiden vil en udbredelse af husstandsbatterier betyde større påvirkning af el-systemet. I For at undgå overbelastning af distributions nettet bør op- og afladning blive en mere integreret del af el-systemet i fremtiden. Potentielt set kan op- og afladning af husstandsbatterier være med til, at erstatte de konventionelle kraft- og kraftvarmeværker i forhold til, at tilbyde reguleringskapacitet til el-systemet. I forhold til at dække forbruget af varme og el i alle timer, vil brugen af kraft- og kraftvarmeværker være nødvendig i timer med lav vindenergi og/eller begrænset import af el fra nabolande. Dette kan skabe problemer for fremtidens energisystem. Denne problemstilling er ikke medtages i rapport. Dette er for at holde fokus på husstandsbatteriers potentiale for, at integrere større mængder af fluktuerende energi i el-systemet.

4.1.1 Konkurrence

Genneralt set er der to muligheder for at sikre, at el-systemet i fremtiden kan håndtere større mængder af fluktuerende energi. Den ene mulighed er gennem udlandsforbindelser til nabolande. Mulighed nummer to er, at tilbyde op- og nedreguleringskapacitet til el-systemet, så spændingen i el-nettet konstant tilpasses mængden af fluktuerende energi i el-systemet. I udviklingen af fremtidens energisystem er det ikke nødvendigt, at vælge den ene mulighed og så helt udelukke den anden. En kraftig udbygning af udlandsforbindelse forventes, at begrænse udbredelsen af teknologier som kan tilbyde reguleringskapacitet. Udbredelsen af husstandsbatterier som regulerende instans anses for, at være afhængig af udbygning af udlandsforbindelse. I dag er el-systemet i Danmark forbundet til Norge, Sverige og Tyskland gennem udlandsforbindelserne. Norge og Sverige har forholdsvis store mængder vandkraft som er med til, at sikre kapacitet til det danske el-system, så længe der er kapacitet i udlandsforbindelserne. Ud over konkurrence fra udlandsforbindelse har husstandsbatterier konkurrence fra andre enheder, som kan tilbyde kapacitet til el-systemet ved regulering af elforbruget. Disse enheder kan være husholdningsenheder som varmepumper, køleskabe, fryser og vaskemaskiner eller større enheder som varmepumper i fjernvarmesektoren. Største delen af disse enheder forventes i højere eller lavere grad af blive en del af fremtidens energisystem, hvilket skaber øget konkurrence for husstandsbatteriers rolle som regulerende kapacitet for el-systemet. Udelukkende set fra energisystemets synspunkt, vil det kræve flere kapacitetsregulerende enheder end blot husstandsbatterier for, at sikre tilstrækkelig reguleringskapacitet til et energisystem, udelukkende baseret på vedvarende energi. Samtidig skal udvidelse af reguleringskapaciteten, gøres på den mest økonomisk rentable måde. Alt andet lige gør de forskellige konkurrerende enheder det svært, at forudsige udbredelsen af

husstandsbatterier som kapacitetsregulerende enhed for el-systemet. I rapportens analyse vil påvirkning fra de konkurrerende enheder kun i mindre grad blive medtages.

4.1.2 Markedsudvikling

I denne sektion vil Nord Pool Spot marked blive omtalt og små dele af markedet vil blive introduceret. En mere detaljeret beskrivelse af Nord Pool Spot marked, er at finde i afsnit 5.3 Nord Pool el-marked.

Elmarkedet er i konstant udvikling, dog i et væsentlig langsommere tempo end de fleste andre markeder. Handel af el gennem Nord Pool Spot marked er ikke fra begyndelsen tiltænkt et el-system med høje koncentrationer af fluktuerende energi. For at kunne håndtere fremtidens behov for el handel, udvikles og tilpasses Nord Pool Spot markedet over tid. Prisen og mængden af elektricitet som handels gennem Nord Pool Spot marked ændres fra time til time og kan være svær at forudsige. Større mængder fluktuerende energi, udviklingen af el-systemet og Nord Pool Spot gør det svært, at forudsige den fremtidig udbredelse af husstandsbatterier. Økonomien i husstandsbatterier samt deres rolle som regulerende kapacitet for el-systemet ændres i takt med udviklingen af markedsforholdene. Ydermere forventes el handel til private kunder at ændre sig inden for nærmeste fremtid. Dette kan ske gennem fleksible tariffer og ændringer i tariffer ved salg af el tilbage til el-nettet. Markedsudviklingen som husstandsbatterier operer under vil alt andet lige have betydning for udnyttelsen af husstandsbatteriers potentiale som kapacitetsregulerende enhed. I rapportens analyse er de fleksible tariffer ikke medtaget.

4.1.3 Politisk

De politiske instanser kan have forholdsvis stor påvirkning på udvikling generelt og retningen som udviklingen tager. Udbredelsen af husstandsbatterier vil i høj grad afhænge af de politiske instanser og kan ændre sig løbende, i forhold til den siddende regering. Den siddende regering kan styre en konkret udviklingen i en bestemt retning, ofte gennem støtte og afgifter. Eksempelvis er der afgift på el og vindmøller samt andre vedvarende energikilder støttes gennem blandt andet PSO tariffer for, at sikre en forsat udbygning. Regeringens beslutninger kan påvirkes fra flere sider herunder aktører i forskellige sektorer, NGO'er og lokale myndigheder. Lokale myndigheder kan have mål som afviger fra de nationale mål, som igen kan afvige fra målende på Europæisk niveau. For at sikre en optimalt udrulning af intelligent op- og afladning af husstandsbatterier, vil en standardisering være nødvendig for, at sikre at forskellige husstandsbatterier kan spille sammen som en enhed og operere på el-markedet gennem en aggregater. Dette bør organiseres af regeringen, da det anses for værende essentielt for udbredelsen af intelligent op- og afladning af husstandsbatterier. Governance med ændringen af den normale styreform kan komme til, at spille en væsentlig rolle i forhold til udbredelsen af husstandsbatterier.

4.2 Introduktion til governance teori

Dette afsnit har til formål at belyse kerneelementerne i governance teorien.

Governance henviser til en styreform hvor udøvelse af governance styring kan antages, at være en form for modsvar til den gense form for styring nemlig government. Governance afskiller sig fra government på flere parameter. Government henleder til en styreform, hvor beslutninger tages og udøves gennem et hierarkisk opbygget politisk system. Denne form for styring kaldes "top-down" styring, hvor styringen sker ensartet ned gennem hierarkiet. Governance er modsat government, hvor styreformen i governance bygger på en "bottem-up" styring, fremfor "top-down" styring. Dette medvirke at involverede aktører har mulighed for, at være tiltagende under hele beslutningsprocessen. Governance kan sige, at være et opgør mod den genneralle hierarkisk opbyggede forståelsesramme, af hvordan en beslutningsproces bør struktureres. Governance modarbejder denne hierarkisk struktur og ændre på hvem der har medvirken og kan deltage i beslutningsprocessen. (Pedersen, 1988) (Hoff, 1989)

Governance kan siges at være teorier og problemstillinger om sociale forhold og baggrunden for bestemte mønstre og regler i samfundet. Governance teorien handler om denne nye form for styring og de problematikker som det medfører. I udviklingen af og arbejdet med, er governance en vigtig brik til at ændre styringsformen til netværket og markedet. Dette medfører en nedbrydning og flytning af den hierarkiske styringsform, som governments styreformen er kendt for. I takt med udbredelsen og omstruktureringen af styreformen i governance, reduceres adskillelsen mellem samfund og staten. Governance teorien er med sin ændring af styringsstrukturen med til, at reducere grænserne mellem samfundet og staten. Dette medfører at governance er med til, at skabe struktur for et samarbejde mellem forskellige offentlige sektorer. Governance kan med den ændrede styringsform ydermere være med til, at fremvirke et forbedret samarbejdet mellem offentlige instanser og private. (Biver, 2011)

Governance teorien kan bruges til, at beskrive de aktioner og processer som fremkommer i organisationer og udspringer herfra. Disse handlinger og processer kan opstå i en formel eller uformel organisation uafhængig af dennes størrelse. En sådan form for styring kan benyttes af både virksomheder, stater, ngo'er samt andre foreninger og grupper.

Governance indeholder følgende 5 kerne elementer: (Biver, 2011)

- Ændring af statsstyreform
- Marked og netværk
- Grænserne mellem stat og samfund reduceres
- Private- og offentlige instanser har mulighed for, at arbejde tættere sammen
- Bredere samarbejde på tværs af sektorer

Der er flere udgaver af governance teorien som minder om hinanden, men med mindre adskillelser. De fem listede kerne elementer er de mest udbredte i de forskellige former af governance.

Governance i offentligheden

Det er værd at bide mærke i beregnerne governance og politik og forskellen herimellem. I politiske processer kan grupper af mennesker have afvigende meninger og interesser men alligevel forsøge, at opnå enighed om en fælles beslutning. Disse fælles beslutninger udspringer fra gruppen og håndhæves som værende indgået aftaler parterne i mellem. Governance koncentrere sig i større grad om de procesorienterede og administrative former af styring. (Aucoin, 2008)

Offentlige governance kan deles op i tre hovedområder: (Aucoin, 2008)

- Netværk både fra offentlige og private aktør eller et samarbejde lokale organisationer imellem.
- Marked hvor normale markedsprincipper påvirkes af udbud og efterspørgsels men på samme tid er underlagt offentlig regulering.
- Top-down styring som hovedsageligt involvere regeringen og staten

Privat governance

Den private governance udspringer af situationer, hvor den offentlige governance ikke er repræsenteret. Privat governance dækker over både private- og interesseorganisationer. Privat governance fungerer ved, at afløse de ikke-statslige organisationer og hermed udfører den offentlige politik. Denne måde at udfører offentlig politik kan udspille sig i både den private- og offentlige sektor. (Aucoin, 2008)

4.2.1 Politisk netværks teori

I en politiske problemstilling har målet førhen ofte være at fokusere på løsningen af den enkelte problemstilling. I dag er løsningen af en problemstilling mere flydende og involvere flere aspekter. Løsningen af nutidens problemstillinger involvere ofte netværk herunder aktører, som er fordelt over flere aspekter af politiske områder. Gennem disse netværk løses problemstillinger ved fælles samarbejde for, at nå til enighed. Et netværk er ikke nødvendigvis geografisk afgrænset i og med nationale problemstillinger, ligeledes kan være midtpunkt for netværkerne. Når der snakkes om netværker er det værd af bide i, at netværker ikke er det samme som grupper. Netværker og grupper kan dog på visse områder lappe ind over hinanden.

Grupper kan beskrives som værende folk med ens interesse, eller ens identitet. Grupper arbejder mod, at få større indvirkning på politiske diskussioner. Måden grupper løser problemstillinger på er ved, at arbejde sammen som en helhed om et fælles mål fremfor, at gøre det som enkelt person. Dette betyder at grupper har et ønske om, at opnå et højere medlemstal. På den måde står gruppen stærkere og har større sandsynlighed for at få indvirkning i politiske diskussioner. Det er derfor altafgørende for grupper, at opnå et så højt medlemstal som muligt for, at stå stærkere som samlet gruppe.

Netværk er ikke på samme måde som grupper offentlig åbne. I netværk er fokus medlemmerne igennem, at opnå og løse egne problemstillinger fra de enkelte medlemmer. I et netværk arbejder de individuelle medlemmer ikke nødvendigvis efter samme mål. Grupper og netværk er forskellige ved, at grupper bestræber sig mod at nå fælles mål, hvor netværker har større fokus på de enkelte medlemmer mål.

Et politisk netværk er struktureret af tre hovedelementer; indbyrdes afhængighed, koordinering og pluralisme. Disse tre aspekter kan sige at være grundstammen for de politiske netværk.

4.2.2 Indbyrdes afhængighed:

Indbyrdes afhængighed omhandler, at medlemmerne i et netværk er afhængige af andre medlemmers ressourcer for, at opnå egne mål. Derfor ses indbyrdes afhængighed som afgørende element for et netværks eksistens. Sammenspillet i netværker bliver omtalt som "games real actors play", "bargaining" og "negotiation". Indbyrdes afhængighed er grundlæggende for de interaktioner, som udspilles mellem medlemmerne i et netværk. Dette er medvirkende til, at vedligeholde relationer mellem netværkets medlemmer. (Bevir, 2011)

4.2.3 Koordinering

Koordinering foregår når flere aktører samarbejder om, at opnå samme mål. Interaktion medlemmerne imellem kræver koordinering for at opnå et solidt netværk. Koordinering er vigtig i governance og er et af de mål som governance teorien omhandler. Et solidt og godt koordineringsarbejde i et netværk afspejles af og medvirker til øget tillid aktørerne imellem. Hvis ikke netværks aktørerne kan blive enige om koordineringsarbejdet, kan staten gå ind og udnævne en tovholder. I et netværk med god koordinering, vil statens indvirkning være minimal. Dette er at foretrække for opbygning af et solidt netværk, da netværkets udvikling dermed vil være mindst påvirket af staten. (Bevir, 2011)

4.2.4 Pluralisme

Et netværk er forholdsvis autonom. Pluralisme handler om, at et samfund holdes i sammen af modstridende interessegrupper. I en sådan form for styre er den politiske tilgang, at der ikke direkte et hierarkisk styre.

Det vil dog kunne diskuteres om det hierarkiske under alle omstændigheder, er tilstedet på et vist niveau. Dette ligger til grund for, at staten altid kan overtrumfer og bestemme de organisatoriske og lovgivningsmæssige rammer for netværkerne. Derfor fungere de politiske netværk som selvstændige netværk, men arbejder i skyggen af hierarki.

Statens medvirken i governance kan derfor ses som værende tovholder mere end den dissiderende magtudøver. Det er vigtigt at nævne, at før politiske netværk kan få magt, skal de arbejde samme med samfundsmæssige organisationer. Et politiske netværk der ikke samarbejder med samfundsmæssige organisationer har ringere mulighed for, at få indflydelse hos de nuværende politikker. (Bevir, 2011)

Teoriafsnittet vil pga. manglende ressourcer ikke blive brugt før i perspektiveringen. Det er vurderet, at governance teorien kan bruges som et vigtigt led i det videre arbejde. Governance teori kan være med til, at skabe overblik over den indbyrdes afhængighed, pluralisme samt koordinering i elsektoren. Governance teorien kan derved være med til, at skabe overblik over den eksisterende elsektor som husstandsbatterier, vil skulle operer under. Dette overblik vil kunne bruges til, at skabe sammenhæng mellem projektets resultater og "den virkelige verden" (elsektoren).

5.0 Analyse

I dette afsnit vil en analyse af batteriers opladningsmuligheder blive præsenteret. Afsnittet er 2 delt, hvor første del er en beskrivelse af 2 forskellige opladnings strategier af husstands batterier.

Anden del omhandler aggregater som anses for, at være en nødvendighed for, at husstands batterier i praksis vil kunne op- og aflade intelligent. Denne del vil indeholde en beskrivelse af samt en kort introduktion til de tekniske aspekter af, at bruge en aggregater.

5.1 Opladningsstrategier for batterilagring

Når opladningsstrategier for større batterier i et el-system diskuteres, findes der ikke en løsning som altid vil være den mest optimale. Det afhænger af hvilke parameter som måles og vægtes højest. I dette afsnit vil 2 strategier blive præsenteret:

- Tilfældig opladning af batterier
- Opladning af batterier med fokus på laveste pris

Disse 2 typer af opladningsstrategier har hver deres fokus, samt hver deres fordele og ulemper.

Som beskrevet i indledning stiger mængden af fluktuerende energi i Danmark og med fokus på højere integration af vindenergi kan batterilagring, spille en vigtig rolle for større udnyttelse fluktuerende energi.

5.1.1 Tilfældig opladning

Denne form for opladning kan beskrives som værende den gense form for opladning af batterier. Med tilfældig opladning menes, at batteriet oplades vilkårligt og der ikke tages specielle hensyn til hverken elprisen eller mængden af vedvarende energi i el-systemet. Denne form for opladning er repræsenteret flere steder og benyttes hver eneste dag. Dette kan være i alt fra opladning af elbiler til opladning af mobiltelefoner og bærbare computer, hvor der ikke tages højde for hverken elpris eller mængden af vedvarende energi i energisystemet. (Meibom & Kiviluoma, 2011)

Denne form for opladning er ikke medtaget i rapporten. Tilfældig opladning ville i andre cases kunne bruges som reference scenario til andre strategier for opladning. Dette skyldes, at det i rapporten case må antages, at husstands batterier hos private købes som en investering til, at spare på elregningen. En sammenligning af den tilfældige opladning, vil derfor ikke kunne sammenlignes med de udfordringer som forefindes ved, at lade laveste elpris styrer, hvornår opladning sker. I denne rapport vil opladning af husstands batterier, ske efter hvornår prisen på strøm er lavest.

5.1.2 Opladning efter billigste elpris

Husstands batterier har egenskaben til, at understøtte og assistere det eksisterende energisystem. Dette kan ske ved, at batterierne går ind og hjælper med, at regulere el systemet

og herved tilbyde fleksibilitet over opladningstidspunktet. Denne måde at tilbyde balance til energisystemet gennem husstands batterier, er ikke særlig udbredt i Danmark. I det nuværende energisystem, er det hovedsageligt de konventionelle kraftværker, samt de decentrale kraftvarmeværker som tilbyder fleksibilitet til energisystemet (Pillai, Heussen, & Østergaard, 2011). Hvis et fremtidig energisystem skal kunne fungere uden disse kraft- og kraftvarmeværker er det nødvendigt, at sikre en balancering af energisystemet. Husstands batterier som er opkoblet til el-nettet, kan i teorien give denne balance ved tilbyde op- og ned regulering af strømforbruget og endvidere fungere som kraftværk ved at sende lagret strøm ud i el-nettet igen (Kempton & Tomić, 2005, s. 280-294).

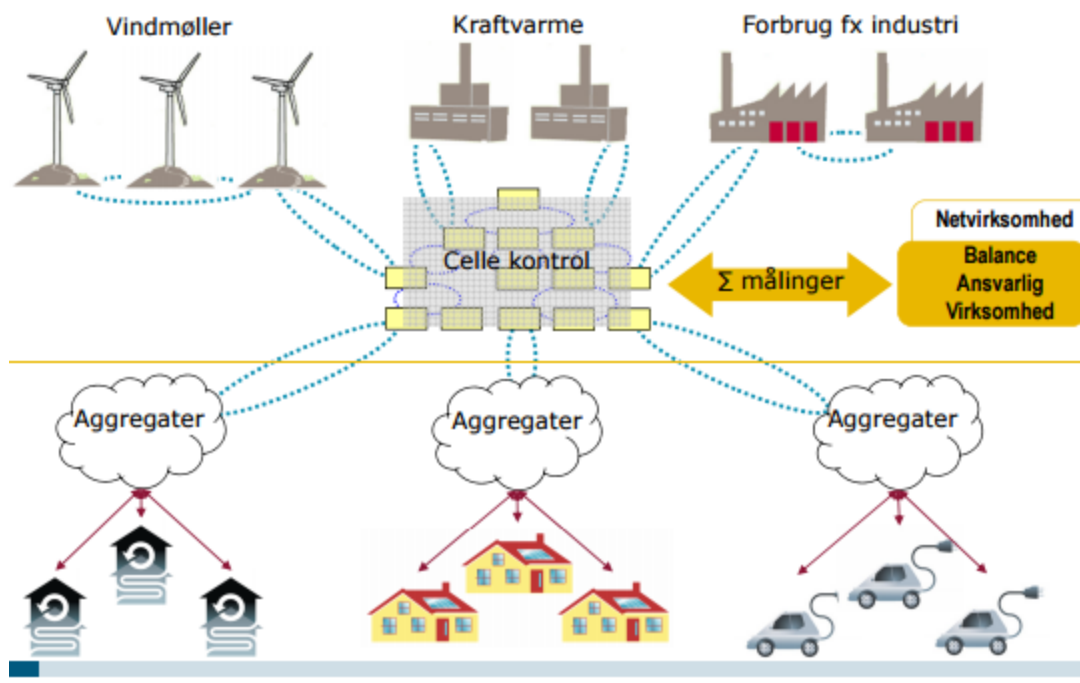
For at skabe incitament til investering i husstands batterier hos private, er det i rapporten antaget, at de økonomiske omstændigheder spiller en afgørende rolle. Det økonomiske aspekt må forventes, at være et essentielt fokus for at få især private til, at investere i batterier. I den senere analyse vil de økonomiske omstændigheder af investering i batterier for private blive undersøgt. Husstands batterier kan blive en økonomisk gevinst for batteriejereren, gennem opladning af batterier mens elprisen er lav og sælge strømmen når elprisen er høj. De potentielle fordele for samfundet kan være, at husstands batterierne kan være medvirkende til, at balancere el-markedet. Ved at oplade batterierne når strømmen er billigst, er sandsynligheden for, at strømmen kommer fra vedvarende energikilder forholdsvis høj. Dette skyldes som tidligere beskrevet, at vedvarende energi herunder vindmøller ofte har en lav marginalomkostning på kort sigt.

Private ejer af et gennemsnitlig husstands batterier, kan ikke selv tilbyde og udbyde strøm på el-markedet. Dette skyldes at et gennemsnitlig husstands batteri alene, ikke lever op til kapacitetskravene for at handle på el-markedet. Kravene for at handle på el-markedet er nærmere beskrevet i afsnit 5.3 Nord Pool el-marked. For at opfylde kravene på el-markedet skal husstands batterier sælge og købe el gennem en aggregator, som på vegne af husstands batterier kan tilbyde og udbyde strøm på el-markedet.

Næste afsnit indeholder en beskrivelse af en aggregaters rolle, samt aggregaternes indvirkning på el-systemet.

5.2 Aggregaters indvirkning på el-systemet

Grupper af el-forbrugende enheder som elbiler eller husstands batterier kan gennem en aggregator, operere på el-markedet. Aggregaternes rolle er, at handle på el-markedet for den sammenholdte gruppe af elbiler, husstands batterier eller noget helt tredje. Som det ses af figur 9 er aggregaternes fremtidige rolle, at være mellemlid mellem el-markedet og de forskellige sammenholdte el-forbrugende grupper.



Figur 9 – Aggregater fremtidig mulighed for, at operer på el-markedet. (Behnke, 2011)

Aggregaternes rolle er, at maksimere værdien af private borgers fleksibilitet ved, at flytte deres elforbrug og dermed optimere deres forbrug eller produktion i forhold til el-systemet. Aggregaterne vil på denne måde kunne gå ind og styre op- og afladning af batteriet for, at kunne sikre et mere optimalt og stabilt netværk. Det vil kræve en tilladelse fra ejeren af batteriet før aggregaterne har mulighed for at gå ind og styre op- og afladning af batteriet. Fordelen for ejeren vil være en belønning af finansiell art for, at tilbyde et fleksibelt elforbrug. Det vil dog kræve en vis mængde batterier, før det vil være muligt for aggregaterne, at tilbyde fleksibilitet for el-nettet. Dette skyldes at der på el-markedet kræves et minimums bud for, at måtte operere. Dette er beskrevet nærmere i afsnit 5.3 Nord Pool el-marked. Det er aggregaternes rolle at indsamle oplysninger fra både ejeren, dennes husstands batteri og fra det opererende marked som ønskes tilgang til. Aggregaterne vil få brug for flere informationer herunder følgende:

Batteriet:

- Batteriets tilstand (Procent strøm på batteriet, samt om det op- eller aflader)
- Batteriets totale kapacitet

Ejeren af batteriet

- Forventede tilgængelighed af batteriet
- Deres minimum af strømtilstand i batteriet

Markeds informationer

- Markedsprisen på el
- Forventede markedspriser på el
- Mængden af el udbydes
- Adgang til informationen om vundne og aktive bud

Baseret på disse aspekter bliver der fra aggregaternes side udarbejdet en opladningsstrategi. Denne strategi har til formål, at sikre det højeste økonomiske afkast for ejeren af husstands batteriet.

Det vil ikke være muligt at husstands batterier i hele landet kan gå sammen om, at tilbyde fleksibilitet. Dette skyldes at Danmark er opdelt i to forskellige elpris områder, som har forskellige regulatorer og en forbindelse i mellem sig, med en begrænset kapacitet. I dette projekt vil der blive fokuseret på el-markedet i Vestdanmark (DK1) som dækker over Jylland og Fyn. For at private aktører gennem en aggregator kan handle på el-markedet, er der visse tekniske faktorer som medtænkes.

5.2.1 Tekniske faktorer

I henhold til at batteriejerne kan tilbyde op- og nedregulering for el-systemer, vil tovejskommunikation mellem husstands batterierne og aggregaterne være en nødvendighed. Dette skal sikre, at aggregaterne kan kommunikere med husstands batterierne og modsat. Derved vil aggregaterne kunne tilbyde fleksible op- og afladninger til fordel for el-systemet. Der findes i skrivende stund ikke en standard for denne tovejskommunikation, hvilket kan ses som en teknisk begrænsning. Denne begrænsning må forventes, at blive løst inden for nærmeste fremtid.

Når mindre aktører med batterilagringsskapacitet tilbyder el til nettet, er der begrænsning i batteriernes kapacitet og hastigheden af op- og afladninger. Både batterierne og opladerne har begrænsninger i hvor hurtig de kan overfører strøm. Op- og afladningskapaciteten for husstands batterier variere fra model til model. Et eksempel er Tesla Powerwall, som har en ydelse på 3,3 kW og en lade kapacitet på 6,4 kWh (Tesla Motors, 2016). Muligheden for skiftende op- og nedregulering af strømmængden gennem op- og afladning, kan medfører større fleksibilitet for el-nettet.

Batterier som gentagne gange bliver op- og afladet, kan med tiden miste kapacitet og op- og afladningseffekten kan forringes. Studier har vist at livstiden for batterier forkortes pga. slid hvis batteriet op- og aflades fra 0-100-0% hver gang. Oplades batterier med fleksible oplader reduceres sliddet på batteriet og det vil miste mindre kapacitet i forhold til 0-100-0% op- og afladninger. Temperatur har ligeledes en indflydelse på et batteris kapacitet og op- og afladningseffekt (Lacey, Univ, Jiang, Putrus, & Kotter, 2013). Disse faktorer vil der blive afgrænset fra i det videre forløb af to årsager. Den første er for at simplificere analysens udregninger. Den

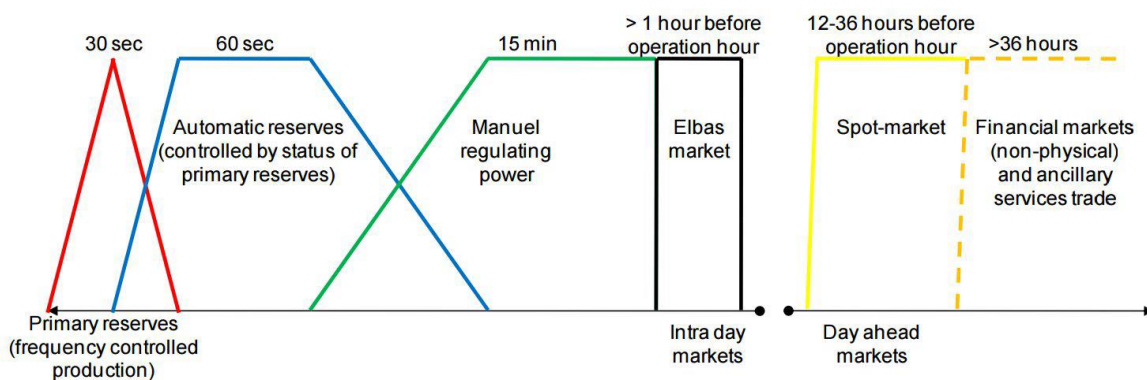
anden er fordi det vurderes, at disse faktorer ikke vil påvirke rapportens konklusionen væsentligt, da analysen vil blive udregnet over en periode på et år.

Gennem det år hvor analysen vil finde sted, vil en aggregater forhandle strøm på vegne af husstandsbatterier. Dette sker gennem Nord Pool el-marked, som vil blive præsenteret i nedenstående afsnit.

5.3 Nord Pool el-marked

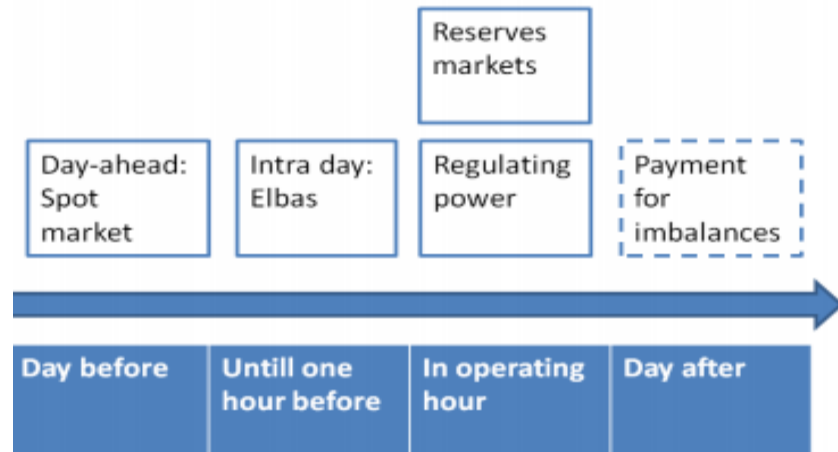
Denne sektion vil indeholde en beskrivelse af Nord Pool el-markedet, med fokus på Vest Danmark også refereret til som DK1. Beskrivelsen af Nord Pool el-markedet vil indeholde de væsentlige aspekter af markedet med tilhørende begrænsninger, samt fordele set fra batteri ejerens synspunkt.

På figur 10 er vist de forskellige aspekter af Nord Pool el-marked og hvordan de interagerer med hinanden. De er opstillet i forhold til hvornår de handles og aktiveres.



Figur 10 Nord Pool el-marked (Sorknæs, Andersen, Tang, & Strøm, 2013, s. 174-180)

I beskrivelsen af markedet vil de forskellige dele af markeder blive præsenteret, efter hvor lang tid før operationstimen de handles. På figur 11 er illustreret de forskellige handelstidspunkter på Nord Pool el-marked.



Figur 11- Handelstidspunkter på Nord Pool el-markedet (C. Bang, 2012)

5.3.1 Day-ahead market (El-spot)

Day ahead market udgør den største del af køb og salg af el i Nord Pool området. For at byde på markedet skal ens bud være angivet mellem 12-36 timers i forvejen. Den mindste mængde som kan handles er 0.1 MW og i stigende interval af 0.1 MW. Bud enten for køb eller salg af el skal angives i timeintervaller med sidste mulighed for, at byde kl 12:00 CET. En time senere offentliggøres de vindende bud. (Energinet.dk, 2008) (Energinet.dk, 2012)

Det sælgende bud er beregnet ud fra produktionsprisen som bestemmes af den kortsigtede marginal pris. Prisen som den sælgende enhed får, bestemmes ikke ud fra det sælgende bud men ud fra systemprisen. Systemprisen sættes efter marginal prisen for den dyreste af de nødvendige enheder og denne pris gives til alle, som har fået deres bud accepteret. I tilfælde af begrænset kapaciteten i udlandsforbindelser kan prisen i visse områder variere fra systemprisen. Den nye pris vil blive udregnet specifikt for det pågældende område. Den mængde el som købes og sælges gennem El-spot skal gerne passe med forbruget og produktionen for, at undgå ubalance i el-systemet. Er el-systemet i ubalance vil dette normalt blive korrigeret i RPM (regulating power market) som er beskrevet i afsnit 5.3.3 Regulating power market(RPM).

Prisen for at skabe ubalance i el-systemet bestemmes ud fra omkostningerne til den regulerende enhed. En af disse regulerende enheder kunne være husstands batterier som gennem op- eller afladning af batteriet, korrigerer for ubalance i el-systemet. (Energinet.dk, 2008) (Energinet.dk, 2012)

Privat batterilagrung er i skrivende stund ikke en aktiv del af el-spot markedet. I fremtidens energisystem kan det blive muligt for private gennem en aggregator, at tage del i el-spot markedet. Det vil være aggregaternes opgave, at udregne den bedste strategi for op- og aflader af batterierne baseret på el priserne på Day ahead market. Et eksempel på en opladningsstrategi

kunne være, at oplade batterierne i timer med den lavest forventede elpris. En anden opladningsstrategi kunne være at fokusere opladning efter de timer hvor det forventes, at andelen af vindenergi i energisystemet vil være højest.

Fordele for batteriejere:

- Gennem en aggregater vil det være muligt, for en forholdsvis lille gruppe af batteriejere, at byde på day ahead market, da mindste budet er på 0.1 MW.
- I og med det er muligt, at afgive bud på strøm alle døgnet timer på Elspot er det muligt, at op- og aflade efter forskellige strategier for eksempelvis efter den laveste forventede pris.

Begrænsninger for batteriejere:

- Da budene på Elspot skal angives en dag i forvejen, kan der være små ændringer i den endelige pris i forhold til den forventede pris, som er handlet dagen inden.
- Ligeledes kan det være vanskeligt at forudsige den præcise samlede mængde af strøm som kan tilbydes 12-36 timer i forvejen, da det kan ændres sig i forhold til ejerens strømforbrug den pågældende dag.

Det antages at den forventede pris for el på Day ahead market ikke vil afvige væsentligt fra den efterfølgende handlede pris. Ligeledes antages det at mængde af strøm som tilbydes på Day ahead market af batteriejere gennem aggregater, ikke vil afvige væsentlig selvom købs tilbyd skal indsendes dagen før. På baggrund af dette vil der i rapportens analyse blive afgrænset fra disse, da det ikke forventes at have væsentlig påvirkning af rapporten resultater og konklusion.

5.3.2 Intraday Market (Elbas)

Intraday market skal ses som en tilknytning til day ahead market og udgør i Danmark omkring 2% af den samlede handel fra day ahead market. Baggrund for at have intraday market er for, at kunne korrigere for ubalance fra elspot, indtil en time før operations timen. Dette medfører at det regulerende marked ofte overtager ved, at gå ind og regulere strømforbruget time for time. I 2015 blev der i en gennemsnitlig time i DK1 købt 42 MW el og solgt 71 MW gennem Elbas (Nord Pool, 2016).

Intraday market lukker for handlen en time før operations time og ligesom på Elspot er mindste bud 0.1 MW, med et stigende interval på 0.1 MW. Handel på Intraday market kan ske i hver time af døgnet. Prisen sættes efter udbud og efterspørgelse gennem pay-as-bid princippet. Dette vil sige, at Nord Pool spot markedet matcher de højeste købspriser med de laveste salgspriser, lidt ligesom det kendes fra handlen med aktier gennem aktiemarkedet.

Fordele for batteriejere:

- Gennem en aggregater vil det være muligt for en forholdsvis lille gruppe af batteriejer, at byde på intraday market, da mindste buddet er på 0.1 MW.
- I og med det er muligt at sælge og købe strøm en time før operations timen alle døgnet timer på Elbas, vil det være lettere for en aggregater, at bestemme mængde af el som kan tilbydes på Elbas.

Begrænsninger for batteriejere:

- Det er ikke alle timer af døgnet hvor der handles på Elbas. Dette skaber en vis form for udsving i forhold til den op- og afladningsstrategi som er bestemt ud fra beregninger hos en aggregater.
- Når handlen på Elbas sker gennem pay-as-bid metoden kan det skabe problemer med, at bestemme bud prisen i forhold til andre markeder, som har marginal prisen af bestemme ud fra. Gennem pay-as-bid metoden skal både sælger og køber afgive et fast bud, som ikke reguleres efterfølgende. Derved skal sælger angive den højest mulige udbudspris for at få størst indtjening, men samtidig skal udbudsprisen være lav nok til, at kunne matche det højest afgivet købende bud. Modsat skal køber afgive et så lavt bud som muligt, for at opnå bedste handel, men stadig afgive et bud højt nok til at matche sælgerens laveste bud.

5.3.3 Regulating power market (RPM)

RPM bruges når handlen på elbas, ikke er tilstrækkelig for at forhindre ubalance i energisystemet. Gennem RPM kan systemoperatoren købe sig til strøm regulering. I tilfælde med høj frekvens i energisystemet kan systemoperatoren købe sig nedregulering. Modsat kan systemoperatoren købe sig opregulering, hvis frekvensen i energisystemet er for lav. Reguleringen gennem RPM sker i selve operations timen. Budene på RPM kan afgives og ændres indtil 45 min før operations tidspunktet.

Køb af regulering kan ske i alle prisområder, dog med den begrænsning, at opregulering af strøm udelukkende kan lade sig gøre gennem andre prisområder, hvis der er ledig kapacitet på transmissionslinjerne til opreguleringen. Prisen for op- eller nedregulering af energisystemet bestemmes oftest gennem marginal prisen. I 2015 var der behov for nedregulering i 23% af operations timerne og den gennemsnitlige nedregulering var på 79 MWh i DK1. Samme år var der behov for opregulering i cirka 20% af operations timerne og den gennemsnitlige grænse for opregulering var på 116 MWh i DK1. (Energinet.dk, 2016) Det skal dog medtages at 80% af opreguleringen gennem RPM er reserveret til tertiære reserve, som er beskrevet i en senere sektion.

Budene gennem RPM kan blive aktiveret af systemoperatoren, med et interval på fem minutter. Reserverne i DK1 området er tilpasset til det kontinentaleuropæiske synkronområde. I DK1 aktiveres et bud af systemoperatoren, som sikre en garanteret operationstid på minimum 30

min. Det mindste udbud er bestemt til 10 MW, med et stigende interval på 1 MW. For at kunne afgive bud, skal den regulerende enhed kunne være opererende indenfor 15 minutter efter besked fra systemoperatøren. (Energinet.dk, 2013)

Fordele for batteriejere:

- Gennem RPM er der potentiale for væsentlige besparelser ved, at opladningen kan ske forholdsvis billigt og batteriejeren kan tjene penge på ikke at oplade i bestemte timer.
- Budene gennem RPM kan justeres indtil 45 min før operations timens, hvilket giver større fleksibilitet for bestemmelsen af den optimale opladningsstrategi.

Begrænsninger for batteriejere:

- Op- og nedregulering af strømmen er ikke nødvendig i alle operations timer. Dette kan skabe en vis usikkerhed mellem opladningsstrategi og RPM.
- Nedregulering af strøm tilbydes af forholdsvis mange producerende enheder. Dette kan være med til, at gøre det sværere at vinde bud på RPM.
- Vindes et bud er det kun garanteret at buddet er aktivt i 30 min. Derudover er det ikke sikkert at hele buddet aktiveres, men kun dele af buddet. I et sådan tilfælde vil dele af op- eller nedreguleringens kapaciteten ikke være udnyttet optimalt og kunne have været udbudt på et af de andre markeder.
- På RPM er minimums udbuddet 10 MW, hvilket er væsentlig højere end for de andre præsenterede markeder. Dette betyder at batteriejere skal gå sammen i væsentlig større grupper for, at kunne imødekomme kravet om et minimums udbud på 10 MW.
- Når grupperne bliver større kan det blive vanskeligere for en aggregater, at sikre en fair opladningsstrategi som ikke forfordeler nogle af parterne.

5.3.4 Reserve Market (Regulering af kapacitet)

Det er systemoperatøren opgave at sørge for, at der altid er en reserve af reguleringskapacitet til rådighed. Dette sker ved, at systemoperatøren reservere reguleringskapacitet til enten, at øge produktionen eller øge forbruget. Denne reservekapacitet er inddelt i 3 dele: primære, sekundære og tertiære reserve. De 3 reserver aktiveres på baggrund af den tid det tager for enheden at aktivere og periodelængde som enheden kan levere. En beskrivelse af de 3 reserver er at finde senere i denne sektion.

Der gives et beløb for, at stå til rådighed som reserve for energisystemet. Størrelse på beløbet aftales mellem de to partner, enten på forhånd eller gennem marginal prisen, som afhænger af markedet. Hvis et reservekapacitets bud vinder, er det obligatorisk at udbyderen sikre, at reservekapaciteten er til rådighed. I forhold til den tertiære reserve, skal udbuddet gives gennem RPM.

5.3.5 Primære Reserve (Frequency Reserve)

Når energisystemets frekvens afviger fra 50 Hz, starter den primære reserve automatisk for, at sikre balance i energisystemet gennem enten op- eller nedregulering, alt afhængig af om frekvensen er over eller under 50 Hz (Energinet.dk, 2013). I en gennemsnitlig operationstime i DK1, er den primære reserve typisk cirka 20 MW. Dette gælder for både op- og nedreguleringskapacitet. (Houmøller, 2015)

Størrelsen på kapaciteten fra den primære reserve forhandles kl. 15:00 CET dagen forinden. Den primære reserve handles i blokke af 4 sammenhængende timer med en minimums budstørrelse på 0.3 MW, med stigende interval på 0.1 MW. Strømmen fra den primære reserve kan komme fra flere forskellige producerende eller forbrugende enheder. Prisen for at tilbyde reserve afgøres gennem marginal prisen.

Hvis den primære reserve får signal fra systemoperatøren om at aktivere, skal minimum 50% af kapaciteten kunne aktiveres inden 15 sekunder og hele kapaciteten skal være til rådighed indenfor 30 sekunder. For at kunne tilbyde kapacitet som primære reserve, skal den fulde kapacitet kunne holdes kørende stabilt i op til 15 min ved en frekvensafvigelse på højst 0,20 Hz. (Houmøller, 2015)

Fordele for batteriejere:

- Da minimums buddets for at tilbyde primære reserve er på 0.3 MW, vil det ikke kræve nær høj kapacitet, set i forhold til RPM hvor minimums buddet er 10 MW.
- Da husholdningsbatterier er koblet til energisystemet konstant, må det forventes at det teoretisk vil være muligt, at kunne tilbyde kapacitet som primære reserve alle døgnets timer. Det vil dog afhænge af hastigheden for op- og afladning samt mængden af strøm på de enkelte batterier.

Begrænsninger for batteriejere:

- Den totale kapacitet på den primære reserve er på omkring 20-25 MW. Denne begrænsede størrelse på nødvendig kapacitet, øger konkurrencen og reducere sandsynligheden for, at vinde bud over andre potentielle udbydere.

5.3.6 Sekundære Reserve (Frequency Restoration Reserve)

Den sekundære reserve aktiveres som en erstatning for den primære reserve og bruges til, at fastholde en stabil frekvens i energisystemet. I en gennemsnitlig operationstime er størrelse for kapacitet til enten op- eller nedregulering på omkring 100 MW i DK1. (Houmøller, 2015)

Kapaciteten til den sekundære reserve, reserveres på månedlig basis fra systemoperatøren. Betaling for at tilbyde kapacitet bestemmes gennem forhandling mellem relevante partner. For at tilbyde kapacitet til den sekundære reserve, skal den respektive partner kunne sikre, at hele

kapaciteten er tilgængelig hver time i hele måneden. Dette gælder både for op- og nedreguleringskapaciteten. Det er tilladt, at flere parter går sammen for, at kunne tilbyde nok kapacitet. Et krav for at kunne tilbyde op- og nedreguleringen er, at styringen skal ske fra samme enhed. Denne enhed skal stå for at styre produktion eller forbruget fra de samarbejdende partner. (Houmøller, 2015)

Den mindste budstørrelse er på 1 MW og kræver at kapaciteten kan være rådighed inden for 5 minutter efter signal fra systemoperatøren. Kapaciteten skal kunne være til rådighed for energisystemet i minimum 15 minutter. (Houmøller, 2015)

Kravene for at tilbyde kapacitet til det sekundære reserve er uholdbare og urealistiske for batteriejere at operere under. Dette skyldes flere aspekter herunder, at kontrakten på dette marked laves på måned basis. Dette reducere den potentielle indtjening som batteri ejerne ellers kunne have fået, ved at skifte op- og afladningsstrategi baseret efter hvordan markedet ændres over kortere perioder. Derudover kan det være en udfordring for en aggregater at sikre, at der i alle timer af måneden er tilstrækkelig kapacitet til, at kunne tilbyde op- eller nedregulering. Ydermere er flere af kontrakter som sekundære reserve lavet med Norge, hvilket begrænser markedsmuligheder som sekundær reserve yderligere for batteriejerne (Houmøller, 2015) .

5.3.7 Tertiære Reserve (Manual Reserve)

Den tertiære reserve handles som day-ahead med sidste bud 9:30 CET dagen før. For udbyder af kapacitet skal der kunne stilles minimum 10 MW og maksimum 50 MW til rådighed, med et stigende interval på 1 MW. I en gennemsnitlig operationstime i 2015 var den nødvendige kapacitet for opregulering på 143 MW og nedregulering på 79 MW i DK1 (Energinet.dk, 2016). Nedregulerings kapaciteten sker ofte ved at de producerende enheder reducere deres produktion, også inden for en kortere tidshorisont. (Houmøller, 2015)

Prisen for at tilbyde reserve kapacitet bestemmes gennem marginal prisen. Den opregulerende kapacitet skal kunne aktives indenfor 15 min efter signal fra systemoperatøren og skal kunne holdes kørende i minimum 45 min.

Når et bud er vundet skal den vindende part tilbyde det samme bud på RPM. Den tertiære reserver er tilknyttet RPM ved, at det vindende bud af reserve kapacitet som tilbydes på RPM derved potentielt bliver reserve for dette marked.

Fordele for batteriejere:

- Grundet den forholdsvis høje reserve, må det forventes at batteriejerne har større sandsynlighed for at vinde bud som tertiære reserve.

Begrænsninger for batteriejere:

- Minimums udbuddet er på 10 MW, hvilket er væsentlig højere end for de andre præsenterede markeder (undtagen for RPM). Dette betyder at batteriejere skal gå sammen i væsentlig større grupper end på de andre markeder.
- Vindes et bud er det kun garanteret, at buddet er aktivt i 30 min. Derudover er det ikke sikkert, at hele buddet aktiveres, men kun dele af buddet. I et sådan tilfælde vil dele af opreguleringens kapaciteten ikke være udnyttet optimalt og kunne have været udbudt på et af de andre markeder.
- Når grupperne bliver større kan det blive vanskeligere for en aggregater at sikre en fair opladningsstrategi som ikke forfordeler nogle af parterne.
- Buddene som tilbyder af tertiære reserve afsluttes før day-ahead budene er givet. Dette medfører begrænsninger i forhold til, at ligge en fleksibel opladningsstrategi da batteriernes kapaciteten vil være reserveret hvis et bud vindes.
- Betalingen for at tilbyde kapacitet er forholdsvis lav og i største delen af timerne er prisen på 1 DKK/MWh.

5.3.8 Oversigt over markedskaraktistika samt afgræsning

På figur 12 er vist et skema over de forskellige forhold af markeder og reserver af Nord Pool. På skemaet er kun med taget de markeder og reserver som kan være interessante for batteriejerne.

Marked	Gate-lukning	Minimums bud	Gennemsnits volumen af markedet	Afregningsmetode	Operationskrav
Day-ahead (el spot)	12:00 CET day-ahead	0.1 MW. Interval af 0.1 MW	80% af den handlende volumen på Nord Pool.	Marginal pris	
Intraday (elbas)	60 min før operationstimen	0.1 MW med interval af 0.1 MW	Per time: 40-60 MW	Pay-as-bid	
RPM	45 min før operationstimen	10 MW. Interval af 1 MW	Varigere	Marginal pris	Aktiveres indenfor 15 min med varighed op til 45 min
Primær-reserve	15:00 CET day-ahead	0.3 MW i blokke af fire timer.	Per time: 15-30 MW	Tilgængelig heds gebyr	Halvdelen af buddet indenfor 15 sek. Hele buddet inden for

		Interval af 0.1 MW			30 sek. Varighed op til 15 min.
Tertiære-reserve	9:30 CET day-ahead	10 MW til et maks. på 50 MW	Per time: 250 MW	Tilgængelig heds gebyr	Indenfor 15 min med varighed op til 45 min.

Figur 12 - Oversigt over Nord Pool el-marked (Nord Pool, 2016)

Generelt set er det mere økonomisk fordelagtig, at handle så tæt på operations timen som muligt. Dette vil dog medføre en mindre fleksible opladningsstrategi og jo tættere på operations times der bydes jo større er sandsynlighed for, at reguleringskapacitet ikke bliver udnyttet.

I beregningerne af økonomien for husstands batteri er der lavet flere begrænsninger. I ovenstående afsnit er de forskellige dele af el-markedet præsenteret lige fra el-spot, elbas til reserveerne RPM, primære og tertiære reserve. I de følgende økonomiske beregninger af økonomien i et husstands batteri vil køb og salg af strøm blive begrænset til udelukke at ske gennem day-ahead markedet. Dette er gjort af flere grunde herunder for at simplificere beregningerne og undgå at beregningerne bliver uoverskuelige. Excel er brugt til udregning af de økonomiske omstændigheder. Yderligere er begrænsningen til udelukkende, at fokusere på day-ahead markedet valgt fordi, det på day-ahead markedet er muligt for en forholdsvis lille gruppe af batteriejer at byde gennem en aggregater, da mindste buddet på markedet er på 0.1 MW.

6.0 Udregningen af økonomien i husstands batterier

I dette afsnit vil de økonomisk omstændigheder vedrørende installation af et husstands batteri, blive præsenteret. Formålet med dette afsnit er, at se på økonomien i et privat anskaffet husstands batteri.

I beregningerne er specifikationerne fra Teslas husstands batteri kaldet Powerwall blevet brugt. Andre lignende husstands batterier kunne være indgået i beregningerne. Tesla har været med til, at revolutionere elbils branchen, er en af de største forhandler af husstands batterier i verden og har før vist at de er villig til at investere i nye markeder. Derfor er Tesla Powerwal blive brugt som udgangspunkt i beregningerne.

Tesla Powerwall har følgende specifikationer:

Tesla Powerwall	
Ydelse	3,3 KW
Kapacitet	6,4 KWh
Garantiperiode	10 år
Pris	3000 USD - (20.000 DKK)

Figur 13- Specifikationer på Tesla Powerwall (Tesla Motors, 2016)

Som det ses af figur 13, er garantiperiode for batteriet fra Tesla på 10år. I beregningerne af økonomien i et husstands batteri vil de forskellige cases blive udregnet, over en periode på 10 år og dermed inden for garanti perioden. En længere eller kortere periode kunne være brugt i udregningerne, men da Tesla yder garanti over en periode på 10 år antages 10 år for, at være den realistiske alder for husstands batteriet.

6.1 Investeringsomkostninger

Når en given investering skal vurderes, er der mange økonomiske parameter som skal medtages i beslutningsprocessen. Værdien af en given investering, i dette tilfælde et husstands batteri skal vurderes. Her i omkostninger til leverandører, installation, arbejdskraft, drift og vedligeholdelse. I dette projekt er de økonomiske beregninger begrænset til udelukkende at kigge på omkostninger til køb af strøm og investeringsomkostninger. Eneste indtægtskilde i beregningerne er gennem salg af strøm fra husstands batteriet. I de følgende afsnit vil begreber til udregning af økonomien i et husstands batteri blive præsenteret.

6.1.4 Opstilling af case

Formålet med de estimerede udregninger er, at et husstands batteri bruges som mellemlid mellem spot markedet og elforbruget.

Husstands batteriet funktion er, at købe og sælge strøm med mest muligt profit. Husstands batteriet hovedformål er, at sørger for at indkøbe strøm til opladning af batteriet når

prisen på spot markedet er lavest mulig og sælge strømmen tilbage til elmarkedet når elprisen er højest mulig.

Som tidligere beskrevet er grundlaget, at 2.000 husstande hver har installeret én Tesla Powerwall i husstanden. Den samlede batterikapacitet er fundet ved, at tage kapaciteten på et Tesla Powerwall og gange med antallet af husstande.

Samlet batterikapacitet = 6,4 KWh * 2.000 husstande = 12,8 MWh – samlet batterikapacitet.

Batterikapacitet for 2.000 Husstands batterier	
Samlet batterikapacitet	12,8 MWh

På en elregning til en alm. Husstand er afgifter og tariffer mm. inkluderet. Dette omfatter omkostninger til distribution, elafgift, PSO og EU minimumsafgift. På nedenstående tabel er lavet en oversigt over prisseksempler på afgifter og tariffer. Elafgift, PSO, EU minimumsafgift og distributionsomkostninger er indhentet fra en elregning hos en husstand bosiddende i Ringkøbing inden for område DK1. De præcise takster inklusiv moms kan ses af figur 14.

Udgifter ud over prisen for selve strømmen.	
Distribution	321,7 DKK/MWh
Elafgift	881 DKK/MWh
PSO	261 DKK/MWh
EU minimumsafgift	4 DKK/MWh
Samlede udgifter	1467,7 DKK/MWh

Figur 14 – Tariffer og afgifter på strøm

Medtages afgifter og tariffer mm. i beregninger, vil de samlede udgifter for den private ejer af husstands batterier blive forøget. I beregninger er det antaget, at når strømmen fra batteriet sælges tilbage til elmarkedet, vil elafgift, PSO, EU minimumsafgift og distributionsafgiften blive refunderet. Dette kan ses som en form for støtte til husstands batterier. Det kan så diskuteres om distributionsafgiften bør refunderes, da salg af strøm til elmarkedet vil skabe et øget slid på distributionsnettet. Modsat kan husstands batterier hjælpe med til, at stabilisere el-nettet i spidsbelastningsperioder, hvilket kan føre til besparelser i udvidelses-, drift- og vedligeholdelsesomkostninger af distributionsnettet på længere sigt.

6.2 Udregning af økonomien for husstands batterier

I følgende afsnit vil de økonomiske omstændigheder i forbindelse med investering i en Tesla Powerwall blive præsenteret. For at give overskud kræves det, at salg af strøm – køb af strøm = et afkast som minimum kan forsvare investeringsudgiften.

6.2.1 Investeringsudgiften

Som tidligere beskrevet, er investeringsudgiften baseret på 2.000 husstande med hver et husstandsstandsbatteri til 20.000 kr. Den samlede engangsinvestering er derfor på:

2.000 husstande * 20.000 kr. for husstandsstandsbatteri = 40.000.000 Kr.

6.2.2 Elprisen

Prisen på strøm er i beregningerne baseret på nat og dags priser. Dette skyldes, at strømprisen ofte er billigere om natten end om dagen. Om natten hvor strømmen er billigere vil husstandsstandsbatterierne kunne oplade og om dagen mens strømprisen er højere, vil husstandsstandsbatteriet aflade og sælge strømmen tilbage til el-nettet. Nattetimerne er i denne rapport kategoriseret som værende mellem kl. 21:00 og 07:00 og dagtimerne er kategoriseret som værende mellem 07:00 og 21:00. Prisen for køb af strøm er fundet ved, at tage et gennemsnit af strømprisen time for time mellem kl. 21:00 og 07:00 i hele 2014. Ligeledes er salgsprisen for strøm fundet ved, at tage gennemsnit af strømprisen time for time mellem kl. 07:00 og 21:00 i hele 2014. Siden 2014 er elprisen steget med cirka 4,7 % om året (Viva Energi, August 2016). Denne prisstigning er ikke medtaget i rapporten, men antages ikke, at påvirke rapportens resultater mærkbart.

Prisen for køb af strøm vil i beregningerne være angivet som 228, 47 kr./MWh. Salgsprisen på strøm vil i beregningerne være angivet som 249,12 kr./MWh. Disse tal er udregnet i Excel på baggrund af markedsdata om strømprisen fra 2014 og kan findes i bilag 1. På nedenstående tabel er vist en oversigt om Købs og salgsprisen på strøm.

Købs for strøm + investeringsomkostninger (DKK/MWh)	Kilde: Udregnet i Excel(Markedsdata), bilag 1
Køb af el	228,47
Investeringsomkostninger(kr)	40.000.000

Salgsprisen for strøm(DKK/MWh)	Kilde: Udregnet i Excel (Markedsdata), bilag 1.
Salg af strøm	249,12

Elprisen bliver påvirket af flere faktorer herunder udbud og efterspørgsel på el. Hvis 2.000 husstandsstandsbatteriet ledet af en aggregater operer på elmarkedet, vil det påvirke udbud og efterspørgsel. Dette kan resultere i prisstigninger om natten hvor husstandsstandsbatterierne køber strømmen. Dette skyldes at en forøge efterspørgsel om natten på strøm fra husstandsstandsbatterierne, kan påvirke elprisen i en opadgående retning. Modsat kan husstandsstandsbatterierne påvirke elprisen i en nedadgående retning om dagen, hvis alle 2.000

husstandsbatterier forsøger at sælge strøm til el-markedet. Denne påvirkning af el-markedet kan resultere i en forringet økonomi i et husstandsbatteri. Salgsprisen på strøm kan pga. øget udbud være lavere end 249,12 kr./MWh og købsprisen kan pga. øget efterspørgsel være højere end 228,47 kr./MWh. Husstandsbatteriernes påvirkning af elprisen vil ikke blive medtaget i beregningerne. Denne afgrænsning er lavet grundet manglende tidsressourcer.

6.2.3 Realistisk vurdering af årlig ydelse af et husstandsbatteri

Tesla Powerwall har en ydelse på 3,3 KW. Denne ydelse er begrænset til enten opladning eller afladning, da batteriet ikke både kan oplade og aflade med 3,3 KW på en gang.

Ydelsen på Tesla Powerwall kan gange op så den maksimale årlige ydelse til enten køb eller salg af strøm er:

$$3,3 \text{ KW} * 365 * 24 \text{ h} = 28.908 \text{ KWh} = \underline{28,91 \text{ MWh}}$$

Den årlige ydelse til både køb og salg af strøm vil derfor være på $28,91 \text{ MWh} / 2 = \underline{14,45 \text{ MWh}}$

Det vil ikke være realistisk at antage at batteriet kan oplade med fuldeffekt fra 21:00-07:00 for herefter, at aflade med fuldeffekt fra kl. 07:00-21:00 365 dage om året. Det vil være mere realistisk at antage, at batteriet vil kunne oplade i cirka 1-2 timer hver nat mens prisen er lavest og så sælge strømmen over 1-2 time når elprisen er højest. I udregninger er det antaget, at husstandsbatterier over et gennemsnit på et år, vil oplade i 500 timer og aflade i 500 timer. Dette giver en årlig ydelse til både køb og salg af strøm på: $(1000 \text{ h} * 3,3 \text{ KW}) * 2.000 \text{ husstande} = \underline{6600 \text{ MWh}}$.

6.2.4 Oversigt over indtægter og udgifter gennem køb og salg af strøm

Årlig strømmængde købt og solgt(MWh)	Indtægter(DKK)	Udgifter (DKK)	Samlet(DKK)
5.000,00	1.245.600,00	1.142.350,00	103.250,00
10.000,00	2.491.200,00	2.284.700,00	206.500,00
15.000,00	3.736.800,00	3.427.050,00	309.750,00

Maksimal årlig ydelse og 1000 timer årlig køb og salg af strøm(MWh)	Indtægter(DKK)	Udgifter (DKK)	Samlet(DKK)
6.600,00	1.644.192,00	1.507.902,00	136.290,00
28.908,00	7.201.560,96	6.604.610,76	596.950,20

Figur 15- oversigt over indtægter, udgifter og årlig strømmængde købt og solgt

Som det ses af figur 15 giver alle fem cases overskud. Overskuddet stiger i takt med størrelsen på den årlig mængde af strøm, som er købt og solgt gennem husstands batterierne. På figuren er ikke medregnet investeringsudgiften og giver derfor kun et begrænset indblik i økonomien i et husstands batteri.

6.2.5 Udregningen af nutidsværdi

For at få et mere realistisk billede af økonomien i et husstands batteri er nutidsværdi blevet udregnet. Gennem nutidsværdi er det som tidligere beskrevet muligt, at undersøge omkostninger og indtægter i en given investering, hvor den tidsmæssige værdi af investering er medtaget. En positiv nutidsværdi antages, at have et afkast som gør investeringen rentabel. Hvis en nutidsværdi af en given investering er negativ antages afkastet af investeringen, at være mindre end de udgifter som er forbundet med ejerskabet af investeringen. På figur 16 er udregnet nutidsværdi for 2.000 husstands batterier i tre cases. En med et årlig køb og salg af strøm på 5.000 MWh, en på 10.000 MWh og en på 15.000 KWh. Den efterfølgende figur 17 viser nutidsværdi for 2 cases, henholdsvis den maksimale årlige ydelse for 2.000 husstands batterier på 28.908 MWh og den årlige ydelse ved at have 2.000 husstands batterier til at kører 1000 timer årligt. Begge figurer skal aflæses ved, at hver horisontale linje repræsenterer et år med indkomst

i den ene kolonne og indkomst omregnet til nutidsværdi i den anden kolonne. Øverst i år 0 er investeringsudgiften til husstands batterierne på 40.000.000 kr. Alle tal i begge figurer er i DKK.

5.000 MWh		10.000 MWh		15.000 MWh	
Indkomst	Nutidsværdi	Indkomst	Nutidsværdi	Indkomst	Nutidsværdi
-	-	-	-	-	-
40.000.000,00	4.000.000,00	40.000.000,00	40.000.000,00	40.000.000,00	4.000.000,00
103.250,00	98.333,33	206.500,00	196.666,67	309.750,00	295.000,00
103.250,00	93.650,79	206.500,00	187.301,59	309.750,00	280.952,38
103.250,00	89.191,23	206.500,00	178.382,46	309.750,00	267.573,70
103.250,00	84.944,03	206.500,00	169.888,06	309.750,00	254.832,09
103.250,00	80.899,08	206.500,00	161.798,15	309.750,00	242.697,23
103.250,00	77.046,74	206.500,00	154.093,48	309.750,00	231.140,22
103.250,00	73.377,85	206.500,00	146.755,69	309.750,00	220.133,54
103.250,00	69.883,66	206.500,00	139.767,33	309.750,00	209.650,99
103.250,00	66.555,87	206.500,00	133.111,74	309.750,00	199.667,61
103.250,00	63.386,54	206.500,00	126.773,09	309.750,00	190.159,63
Nutidsværdi	-39.202.730		-38.405.461		-38.947.604

Figur 16 - Oversigt over indkomst og nutidsværdi.

Maksimal ydelse i 1000 timer årligt (6600 MWh)			Maksimum årlig ydelse af 28.908 MWh
Indkomst	Nutidsværdi	Indkomst	Nutidsværdi
-	-	-	-
4.000.000,00	40.000.000,00	4.000.000,00	40.000.000,00
136.290,00	129.800,00	596.950,20	568.524,00
136.290,00	123.619,05	596.950,20	541.451,43
136.290,00	117.732,43	596.950,20	515.668,03
136.290,00	112.126,12	596.950,20	491.112,41
136.290,00	106.786,78	596.950,20	467.726,10
136.290,00	101.701,70	596.950,20	445.453,43
136.290,00	96.858,76	596.950,20	424.241,36
136.290,00	92.246,44	596.950,20	404.039,39
136.290,00	87.853,75	596.950,20	384.799,42
136.290,00	83.670,24	596.950,20	366.475,64
Nutidsværdi	-38.947.604		-35.390.508

Figur 17- Oversigt over indkomst og nutidsværdi.

Som det ses af de to figuren er nutidsværdi, I alle tilfælde negativ. I casen hvor de 2.000 husstands batterier både oplader og aflader I 500 timer årligt, er den samlede nutidsværdi efter 10 år på -38.947.604 kr. Det vil derfor ikke være privat økonomisk rentabelt, at investere I et Tesla Powerwall.

6.2.6 Husstands batteriers økonomi med støtte

Manglende økonomi i et husstands batteri forringer incitamentet til, at private investerer i et husstands batteri. En måde at øge incitamentet til investeringer i et husstands batteri, er gennem støtte. Ved at støtte husstands batterier, vil det for ejeren af et husstands batteri, betyde et økonomisk løft og i højere grad øge muligheden for, at en investering i et husstands batteri vil være rentabelt rent privat økonomisk. Figur 18 er opbygget som de to tidligere figur. Eneste forskel er at der i denne figur er medregnet økonomisk støtte. I dette afsnit vil udsnit af beregningerne blive præsenteret. I bilag 1 kan alle de økonomiske beregninger for støtten til husstands batterier ses.

5.000 MWh		Maksimal ydelse i 1000 timer årligt(6600 MWh)	
Indkomst	Nutidsværdi	Indkomst	Nutidsværdi
-	-	-	-
40.000.000,00	40.000.000,00	40.000.000,00	40.000.000,00
3.924.381,06	3.737.505,77	5.180.183,00	4.933.507,62
3.924.381,06	3.559.529,31	5.180.183,00	4.698.578,68
3.924.381,06	3.390.027,91	5.180.183,00	4.474.836,84
3.924.381,06	3.228.598,01	5.180.183,00	4.261.749,37
3.924.381,06	3.074.855,25	5.180.183,00	4.058.808,93
3.924.381,06	2.928.433,57	5.180.183,00	3.865.532,31
3.924.381,06	2.788.984,35	5.180.183,00	3.681.459,34
3.924.381,06	2.656.175,57	5.180.183,00	3.506.151,76
3.924.381,06	2.529.691,02	5.180.183,00	3.339.192,15
3.924.381,06	2.409.229,54	5.180.183,00	3.180.183,00
Nutidsværdi	-		
	9.696.969,69		0,00
Intern rente	-0,35%		5,00%

Figur 18 - Oversigt over indkomst, nutidsværdi og intern rente

I udregningerne er en støtte på 764,23 DKK/MWh til husstands batterier brugt. Dette skyldes at det i udregningerne af støtten er belyst, at en støtte på 764,23 DKK/MWh giver en nutidsværdi på 0 Kr., ved en årlig køb og salgsmængde på 6600 MWh. 764,23 DKK/MWh er den laveste støtte

som kan tildeles, uden at nutidsværdien for en investering i husstandsbatterier giver en negativ værdi.

På figur 18 er intern rente udregnet. Denne værdi angiver den højest mulige diskonteringsrente hvor investeringen stadigvæk vil give overskud. Som det ses af figuren kan husstandsbatterierne som årligt køber/sælger strøm for 6600 MWh, klare en diskonteringsrente på op til 5%. Dette betyder, at investeringen i noget andet end husstandsbatterier, skal have et afkast på mindst 5% årligt for, at kunne konkurrere med økonomien i et husstandsbatteri, som får tildelt støtte.

6.2.8 Politisk opbakning til husstandsbatterier

Ved at støtte husstandsbatterier stiger incitamentet for, at private investerer i et husstandsbatteri. Dette kan hjælpe med til, at stabilisere el-nettet og muligvis blive en samfundsmæssig gevinst. Den samfundsmæssige gevinst ved, at lade husstandsbatterier underbygge og stabilisere el systemet i Danmark gennem op- og afladninger er ikke vurderet i denne rapport. Denne afgrænsning er truffet på baggrund af mæglende tidsressourcer og for at holde fokus på de privat økonomiske omstændigheder. Hvis den samfundsmæssige gevinst ved, at integrere husstandsbatterier i el-systemet er høj nok til, at yde den nødvendige støtte til husstandsbatterier, vil det blive rentabel både privat- og samfundsøkonomisk. I skrivende stund er der ikke fra politisk side en plan om, at indfører støtte til private investeringer i husstandsbatterier. Dette er på trods af, at husstandsbatterier vil kunne hjælpe med til, at stabilisere el-nettet og derigennem muligvis være en samfundsøkonomisk gevinst. Den enkelte private ejer af et husstandsbatteri, har svært ved, at påvirke politikere og indgå i politiske diskussioner. En måde hvorpå ejerne af husstandsbatterier har større sandsynlighed for, at påvirke politiske diskussioner herunder diskussioner om støtte til husstandsbatterier, er gennem governance, som er beskrevet i teoriafsnittet. Ved at ejere af husstandsbatterier går sammen i større grupper, kan de i fællesskab få større indvirkning på politiske diskussioner. I forhold til politisk netværks teori som er en del af governance teorien kan grupper beskrives som, værende en folk med ens interesse som samarbejder om et fælles mål i en offentlig tilgængelig gruppe. Et netværk af folk er modsat grupper, hvor fokus i et netværk i højere grad er på, at opnå individuelle mål gennem netværket. Måde hvorpå grupper fungerer er ved i fællesskab, at løse en problemstilling hvor gruppen som helhed samarbejder for et fælles mål.

I forhold til støtte af husstandsbatterier, vil den fælles interesse for nuværende eller potentielle kommende ejerne af et husstandsbatteri være samme mål, at opnå støtte til husstandsbatteriet. Ejere og kommende ejere af husstandsbatterier kæmper for samme mål og kan derfor beskrives værende en gruppe som i fællesskab har større sandsynlighed for, at blive hørt i politiske diskussioner.

I gruppen er de indbyrdes afhængige af hinanden, da gruppen står stærkere jo flere medlemmer der er. Interaktionen og koordinering mellem medlemmer i gruppen er vigtig for, at opnå en solid gruppe med større sandsynlighed for, at påvirke politiske diskussioner.

6.3 Opsamling samt diskussion

Tesla Powerwall koster 20.000 pr. stk. og for 2.000 husstande vil den samlede investering være 40.000.000 kr. Økonomien i en sådan investering skal inden for en 10 årig periode, give et overskud som kan forsvare en sådan investering. Ved at udregne en nutidsværdi for investeringen i en Tesla Powerwall, er den tidsmæssige værdi af investeringen medregnet i total økonomien. Ved at købe strøm når det er billigst og sælge strømmen igen når den er dyrest, er det muligt at tjene penge gennem en Tesla Powerwall.

I beregningerne af økonomien af en Tesla Powerwall er det antaget at 2.000 husstands batterier hver vil oplade i 500 timer og aflade i 500 timer årligt. I de 500 timer hvor der købes strøm er prisen udregnet, til et gennemsnit på 228,47 DKK/MWh. I de 500 timer hvor der sælges strøm er strømprisen udregnet til gennemsnitlig, at ligge på 249,12 DKK/MWh.

Udregnes nutidsværdien for denne case over en 10 årig periode, vil den årlige indtjening i nutidsværdi i år et være 129.800 Kr. og i år 10 vil indtjeningen være faldet til 83.670 kr. Udregnes en nutidsværdi på baggrund af disse tal vil investeringen i en Tesla Power ikke være rentabel da den udregnet nutidsværdi over en periode på 10 år vil være:

Maksimal ydelse	1000 timer årligt (6600 MWh)
Nutidsværdi	-38.947.604kr.

Den negative nutidsværdi på næsten 39 millioner over en 10 årig periode viser at det privat økonomisk, ikke vil være rentabelt i denne case, at investere i et husstands batteri.

Som tidligere beskrevet må det antages at negativ totaløkonomi i et husstands batteri vil forringe incitamentet til, at private ønsker at investere i et husstands batteri. En måde at øge incitamentet til investering i et husstands batteri er gennem støtte. Den økonomiske støtte i beregningerne er på 764,23 kr. pr. MWh solgt til el-nettet. Dette giver en årlig indtjening i nutidsværdi på 4.933.507 kr. i år et og 3.180.183 kr. i år 10. Udregnings en nutidsværdi for denne case med støtte, vil den udregnede nutidsværdi over en periode på 10 år være:

Maksimal ydelse	1000 timer årligt (6600 MWh)
Nutidsværdi	0 kr.
Intern rente	5 %

Hvis husstands batterier tildeles støtte på 764,23 kr. pr. MWh vil det i denne case give en positiv nutidsværdi. En investering med en positiv nutidsværdi er en indikation af, at investeringen over

en 10 årig periode vil have et afkast, som kan forsvare investeringen og bør give et økonomisk overskud fra investeringen.

Om det er realistisk, at husstands batterier for tildelt en støtte på 764,23 kr. pr. MWh kan diskuteres. Selvom en støtte på 1 kr. pr. KWh kan lyde realistisk, skal det tages i forbehold til, hvor stor en del af den samlede indtægt, støtten dækker for den private ejer af husstands batteriet. Uden støtte er underskuddet på -38.947.604 kr. Efter en 10 årig periode ud af en investering på 40.000.000 kr. Den samlede indtægt i nutidsværdi fra husstands batterierne over en 10 årige periode er derfor:

$$40.000.000 - 38.947.604 = \underline{1.052.396 \text{ kr.}}$$

Egenindtægten fra husstands batterier dækker kun lidt over 1/40 del af den samlede investeringsomkostning. Den resterende del af indtægten hos den private ejer af husstands batteriet står støtten for.

Den samfundsmæssige gevinst ved, at lade husstands batterier underbygge og stabilisere el systemet i Danmark gennem op- og afladninger er ikke vurderet i denne rapport. Denne afgrænsning er lavet for, at holde fokus i rapporten på de privatøkonomiske omstændigheder, ved ejerskab af et husstands batteri og på grund af manglede tidsressourcer. Hvis den samfundsmæssige gevinst ved, at integrere husstands batterier i el-systemet er høj nok til, at yde den nødvendige støtte til husstands batterier, vil det blive rentabel både privat- og samfundsøkonomisk.

Den samfundsøkonomiske gevinst er ikke medregnet i denne rapport. Det antages alligevel for værende forholdsvis urealistisk, at husstands batterier med nuværende teknologi kan få den nødvendige støtte for, at kunne opretholde en positiv nutidsværdi. For at den private ejer af et husstands batteri, kan opretholde en positiv økonomi, vil støtten til den private ejer af husstands batteriet skulle dække over 95% af de samlede indtægter til den private ejer af husstands batteriet. Det må derfor alt andet lige antages, at det rent samfundsøkonomisk burde være mere rentabelt enten, at investere i offentlig ejede batterier eller en anden teknologi som kan være med til, at stabilisere el-nettet. Andre teknologier og offentligt ejede batterier som kan være med til, at stabilisere el-nettet i fremtiden, er ikke undersøgt i denne rapport. Denne afgrænsning er lavet for at holde fokus i projektet og på grund af manglede tidsressourcer.

7.0 Konklusion

Andelen af vedvarende energi vil stige til næsten det dobbelte, i løbet af de kommende år. Helt præcist forventes en stigning på 84% fra vedvarende energi frem mod år 2023. Dette vil primært ske gennem øget udbygning af vindmøller. Denne tilførsels af større mængder af fluktuerende energi sætter pres på el-nettet. Den danske systemoperatør har i deres strategiplan konkluderet, nødvendigheden af et mere fleksibelt elforbrug i Danmark. Dette er nødvendigt for, at være mindre afhængig af andre lande og reducere timer, med overskud af elektricitet i el-systemet. En måde at skabe et mere fleksibelt elforbrug, for den private forbruger er ved, at benytte husstands batterier.

Batterilagring kan komme til, at spille en rolle i kapløbet om, at integrere større mængder af vedvarende energi i energisystemet. Batterilagringers fremtid vil afhænge af, om investeringsomkostningerne til batterierne kan tjenes ind gennem batteriernes levetid. Gennem analyser og udregningerne er følgende problemstilling undersøgt:

”Er det privatøkonomisk rentabelt, at investere i batterilagring som en løsning på, at integrere en større mængde af fluktuerende energi i det danske energisystem?”

Gennem udregninger er det belyst, at det ikke er privatøkonomisk rentabelt at investere i batterilagring. I en case udregningen af 2.000 husstands batterier er den samlede nutidsværdi (net present value) udregnet. Casen er udregnet over en 10 årig periode hvor de 2.000 husstands batterier oplader/køber strøm 500 timer årligt og aflader/sælger strøm 500 timer årligt. På baggrund af denne opstilling er den samlede nutidsværdi over en periode på 10 år udregnet til -38.947.604 kr. Det vil derfor ikke være privat økonomisk rentabelt, at investere i et Tesla Powerwall.

En måde at gøre investeringer i et husstands batteri mere rentabelt for private, er gennem støtte. Ved at støtte husstands batterier, vil det for ejeren af et husstands batteri betyde et økonomisk løft og i højere grad øge muligheden for, at en investering i et husstands batteri vil være rentabelt rent privat økonomisk. Gennem analyser og udregningerne er følgende underspørgsmål undersøgt:

- *Hvor høj en støtte kræves, før batterilagring vil være en økonomisk rentable investering for private?*

De økonomiske beregninger er udregnet med en støtte på 764,23 kr. pr. MWh solgt til el-nettet fra de 2.000 husstands batterier. Udregningerne er lavet ud fra samme case med 2.000 husstands batterier, som over en 10 årig periode oplader/køber strøm 500 timer årligt og aflader/sælger strøm 500 timer årligt. Den samlede nutidsværdi i denne case med støtte vil over en 10 årig periode være 0 kr. Det vil derfor rent privat økonomisk kunne betale sig, at investere i et husstands batteri, hvis der tildeles en støtte på 764,23 kr. pr. MWh strøm solgt tilbage til el-

nettets. I denne case er den interne rente udregnet til at være på 5%. Denne værdi angiver den højest mulige diskonteringsrente, hvor investeringen stadigvæk vil give overskud. Giver en anden investering et afkast på over 5% årligt, vil det være mere økonomisk fordelagtigt, at investere i denne investering. Modsat vil en investering med et afkast på under 5% årligt være en ringere forretning og det vil være mere fordelagtigt rent privat økonomisk, at investere i et husstandsbatteri tildelt støtte.

8.0 Perspektivering

Nærværende projekt beskæftiger sig batterilagring, som en del af løsningen på, at stabilisere el-nettet og reducere strømforbruget under peak perioder. I rapporten er de privat økonomiske omstændigheder, forbundet ved investering i batterilagring undersøgt og analyseret. Formålet med rapporten er, at belyse husstandsbatteriers økonomiske rentabilitet, set fra et privat økonomisk synspunkt. I projektet er der lavet udregninger, for økonomien i et husstandsbatteri både med og uden støtte. I rapportens udregninger er det konkluderet, at husstandsbatterier uden støtte ikke vil være rentable. Husstandsbatterier som tildeles 764,23 kr. i støtte pr. solgte MWh, er økonomisk rentabel i et privat økonomisk optik. I et eventuelt videre forløb, kunne andre løsninger for at stabilisere el-nette i peak perioder have vist sig relevante.

Rent metodisk, er der flere aspekter som kan være medvirkede til, at beregninger af husstandsbatteriernes økonomi, kan vise sig at være ukorrekte.

Der er flere aspekter som kan påvirke beregningerne af økonomien i et husstandsbatteri. I udregningerne er effekten under opladning og afladning af batteriet på 100%. Dette vil være usandsynligt at opnå i praksis. Grunden til at effektivitet i udregningerne er på 100% er for, at simplificere udregningerne. Hvis en op- og afladningseffektivitet på eksempelvis 95% var medtaget, ville det påvirke indkøbet af strømmen hvor omkostninger til distribution, elafgift, PSO og EU minimumsafgift er en del af prisen. Når strømmen sælges tilbage til el-nettet, vil det tab der har været under opladningen, skulle vurderes om dette skal beskattes af afgifter eller om afgiften til tabet af strøm, ligesom med salg af strøm, vil kunne få godtgjort alle afgifter. Ud over tab ved op- og afladning er de årlige drift- og vedligeholdelses omkostninger ikke medregnet. Dette skyldes at Tesla oplyser, at deres Tesla Powerwall ikke kræver vedligeholdelse (Tesla Motors, 2016). Det må dog forventes, at der vil være en form omkostning til drift, herunder strøm til styring af automatiseringen i et Tesla Powerwall og små dele som skal udskiftes. Tesla er blevet kontaktet angående dette, men har ikke kunne oplyse en forventet driftspris over en 10 årig periode. Det har ikke været muligt, at finde nogle konkrete bud på størrelsen af denne omkostning, men er antaget at være forholdsvis beskeden inden for den 10 årige garanti periode, som Tesla stiller.

Som værktøj til udregning af de økonomiske beregninger, var det planlagt at bruge EnergyPRO fra EMD. Programmet kan bruges til, at estimere de økonomiske omstændigheder omkring batterilagring i et markedsanalytisk perspektiv. Formålet med at bruge programmet i rapporten var, at kunne estimere indtjeningen fra batterilagring gennem handel på spotmarkedet. Gennem EnergyPRO var opsat husstandsbatterier tilkoblet spotmarkedet. Ved at bruge priserne på spotmarkedet og specifikationer på husstandsbatterierne i henhold til kapacitet og ydelse, skulle et estimat af den højeste indtjening over et år have været udregnet. Begrænsningen når husstandsbatterier handler direkte på spotmarkedet er, mængden af udbud og efterspørgslen på

strøm på spotmarkedet samt husstands batterierne begrænsning i forhold til deres specifikationer. Denne opstillede case i EnergyPRO skulle have været brugt i analysen til, at give mere præcise resultater af økonomien i et husstands batteri. Grunden til at EnergyPRO bør kunne give mere præcise udregninger end ved brug af Excel skyldes flere ting. For det første er strømprisen i Excel udregningerne fundet ved, at udregne et gennemsnit for strømprisen for henholdsvis natperioden mellem 21:00-07:00 og dagsperioden mellem 07:00-21:00. I EnergyPRO er det muligt, at indhente strømprisen time for time og ud fra batteriets specifikationer få programmet til, at lave et estimat af hvilke timer set over et år, at husstands batterierne bør købe og sælge strøm for, at opnå den højeste indtjening. Dette bør give et mere præcist estimat af økonomien i et husstands batteri. Desværre viste det sig, at der var fejl i programmet. Fejlen opstod i forbindelse med udregningerne af de økonomiske muligheder for, at batterilagring kunne tjene penge ved, at handle på spot markedet. EMD som står bag EnergyPRO er blevet kontaktet omkring dette og har meddelt, at dette er en fejl i programmet. De har udtalt, at de vil arbejde på at udbedre fejlene i programmet. Det har ikke været muligt for EMD, at nå at udbedre fejlene inden deadline for afleveringen af dette projekt. Derfor er Excel blevet valgt som værktøj til beregninger af indtjeningsmulighederne for husstands batterier gennem køb og salg af strøm via el-markedet.

Teoriafsnittet i rapporten, er udarbejdet med inspiration fra governance teorien. Ideen med teoriafsnittet har været, at give en introduktion til hovedelementerne i governance teorien og på baggrund af dette, opstille en teoretisk tilgang til projektet, set fra et governance inspireret synsvinkel.

Efterfølgende skulle teoriafsnittet bruges til, at skabe overblik over el-markedet, herunder hvordan el-markedet i fremtiden kan geares til, at klare de stigende mængder af fluktuerende energi. Gennem governance skulle el-markedet og aktører som handler på el-markedet, politiske netværk samt deres indbyrdes afhængighed have været undersøgt. Pga. manglende tidsressourcer sidst i processkrivningsfasen nåede der ikke, at blive taget kontakt til førnævnte aktører. Det har været målsætningen, at tage kontakt til aktør grupper, omfattende både politiske aktører, aktører i elsektoren, samt producenter af husstands batterier for, at interviewe dem angående rapportens hypoteserne. Resultaterne af dette vil blive præsenteret til den efterfølgende eksamen.

9.0 Bibliografi

- Altinget. (2014). *Regeringen og Venstre vil lette PSO-afgift markant*. Hentet fra <http://www.altinget.dk/artikel/regeringen-og-venstre-vil-lette-pso-afgift-markant>
- Anders Dyrelund og Henrik Lund. (2010). *Varmeplan Danmark 2010*. Hentet fra http://www.energiprincip.eu/download/almen_info/vp_dkii_hoved.pdf
- Andersen, I. (2005). *Den skinbarlige virkelighed: vidensproduktion inden for samfundsvidenskalberne*. Forlaget Samfundslitteratur.
- Andersen, I. (2010). *Den skinbarlige Virkelighed - om vidensproduktion inden for samfundsvidenskab*. Samfundslitteratur.
- Aucoin, P. (2008). New Public Management and the Quality of Government. I *New Public Management and the Quality of Government* (s. 13-15). Gothenburg: University of Gothenbur.
- Behnke, K. (6. Januar 2011). *Fremtidens elsystem*. Hentet fra <https://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Danske%20dokumenter/Forskning/CAS%20Workshop%2006.01.11%20-%2001%20Velkomst%20v.%20Kim%20Behnke,%20Energinet.dk.pdf>
- Bevir, M. (2011). *The SAGE Handbook of Governance*.
- Biver, I. M. (2011). Governance as Theory, Practice, and Dilemma . I M. Biver, *The SAGE Handbook of Governance* (s. (s. 1-17)).
- Bronski, P., Creyts, J., Crowdis, M., Doig, S., Glassmire, J., Guccione, L., . . . Touati, H. (04 2015). *THE ECONOMICS OF LOAD DEFECTION*. Hentet fra http://utilityproject.org/wp-content/uploads/2015/04/2015-05_RMI-TheEconomicsOfLoadDefection-FullReport.pdf
- Børsen. (24. Maj 2016). *Løkke: Afgiftshul kan finansieres med skat*. Hentet fra http://borsen.dk/nyheder/politik/artikel/1/324981/loekke_afgiftshul_kan_finansieres_med_skat.html
- C. Bang, F. F. (12. 05 2012). *Nordic Market Structure* . Hentet fra The existing Nordic regulating power market: http://www.ea-energianalyse.dk/reports/1027_the_existing_nordic_regulating_power_market.pdf
- CAILLIAU, M., OGANDO, M. J., EGELAND, H., FERREIRA, R., FEUK, H., FIGEL, .. F., . . . POULLIKKAS, A. (2010). *Integrating intermittent renewable sources into the EU electricity system by 2020: Challenges and solutions*.

- Dansk Energi. (2014). Hentet fra Elforsyningens tariffer & elpriser: http://di.dk/SiteCollectionDocuments/Energi%20og%20klima/Elforsyningens_tariffer_og_elpriser_pr__1__januar_2014.pdf
- Energinet. (2013). *Elproduktionen fra vindmøller er den største kilde til vedvarende energi i den danske elforsyning*. Hentet fra VE produktion: <http://www.energinet.dk/DA/KLIMA-OG-MILJOE/Miljoerapportering/VE-produktion3/Sider/VE-produktion.aspx>
- Energinet. (2014). *strategiplan*. Hentet fra <http://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Danske%20dokumenter/Om%20os/Strategiplan%202014.pdf>
- Energinet. (15. 01 2016). *Dansk vindstrøm slår igen rekord*. Hentet fra <http://energinet.dk/DA/El/Nyheder/Sider/Dansk-vindstroem-slaar-igen-rekord-42-procent.aspx>
- Energinet. (01. 02 2016). *Screening af perspektiver ved global markedsudvikling*. Hentet fra Batterier i husholdninger: <http://energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Danske%20dokumenter/Klimaogmiljo/Batterier%20i%20husholdninger.pdf>
- Energinet.dk. (Devenber 2008). *The balancing market and balance settlement* . Hentet fra Regulation C2: <https://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Engelske%20dokumenter/El/Regulation%20C2%20The%20balancing%20market%20and%20balance%20settlement.pdf>
- Energinet.dk. (3. Oktober 2012). *Ancillary services to be delivered in Denmark - Tender conditions*. Hentet fra Energinet.dk: <https://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Engelske%20dokumenter/El/8871-11%20v3%20Ancillary%20services%20to%20be%20delivered%20in%20Denmark%20-%20Tender%20conditions.%20Valid%20from%203%20October%202012.pdf>
- Energinet.dk. (13. februar 2013). *Introduktion til systemydelse* . Hentet fra Introduktion til systemydelse: http://energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Danske%20dokumenter/El/43532-13_v1_Introduktion%20til%20systemydelse.PDF
- Energinet.dk. (21. april 2016). *Exclusion of liability*:. Hentet fra Download of market data: <http://www.energinet.dk/EN/El/Engrosmarked/Udtraek-af-markedsdata/Sider/default.aspx>

- Energinet.dk. (20. April 2016). *Spørgsmål og svar om PSO-tariffen*. Hentet fra Spørgsmål og svar om PSO-tariffen: <http://www.energinet.dk/DA/El/Engrosmarked/Tariffer-og-priser/PSO-tariffen/Sider/Spoergsmaal-og-svar-om-PSO-tariffen.aspx>
- Energistyrelsen. (2016). *Afregning og tilskud til vindmøller*. Hentet fra Ens.dk: <http://www.ens.dk/undergrund-forsyning/el-naturgas-varmeforsyning/elforsyning/elproduktion/stotte-vedvarende-energi-2>
- Eurostat. (2015). Hentet fra Renewable energy statistics: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics
- Frede Hvelplund, B. M. (2013). *Energy Strategy Reviews. (Local ownership, smart energy systems and better wind power economy)*. Aalborg: Elsevier.
- Gillham, B. (2.000). *The research interview*. London: Continuum.
- Guenther, C., Schott, B., Hennings, W., Waldowski, P., & Danzer, M. A. (2013). Journal of Power Sources. I C. Guenther, B. Schott, W. Hennings, P. Waldowski, & M. A. Danzer, *Model-based investigation of electric vehicle battery aging by means of vehicle-to-grid scenario simulations*. (s. 604-610). Elsevier.
- Henrik Lund, E. M. (2003). *Applied Energy s. 65-74 (Management of surplus electricity-production from a fluctuating renewable-energy source)*. Aalborg: Elsevier.
- Hoff, E. S. (1989). Modernisering af den offentlige sektor: Magt demokrati og diskurs. *Magt demokrati og diskurs*, 81-104.
- Houmøller, A. (26. August 2015). *Input til strategi for systemydelser*. Hentet fra <http://www.danskfjernvarme.dk/~media/danskfjernvarme/gronenergi/projekter/fogu-systemydelser/merindtjening%20ved%20hj%C3%A6lp%20af%20systemydelser2.pdf>
- IEA. (2015). *Energy*. Hentet fra <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyTechnologyPerspectives2015ExecutiveSummaryEnglishversion.pdf>
- Illum, K. (2012). *Tekniske retningslinier for formålstjenlig national og kommunal planlægning*. Hentet fra Strategisk energiplanlægning: <http://www.ft.dk/samling/20111/almindel/keb/bilag/305/1136106.pdf>
- Karl Sperling, Frede Hvelplund og Brian Vad Mathiesen. (2010). *Centralisation and decentralisation in strategic municipal energy planning in Denmark*. Aalborg.
- Kempton, W., & Tomić, J. (2005). *Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid*. Newark: Elsevier.

- Klima-, Energi- og Bygningsministeriet. (27. 03 2012). *Energiaftale*. Hentet fra efkm.dk: <http://www.kebmin.dk/klima-energi-bygningspolitik/dansk-klima-energi-bygningspolitik/energitaftale>
- Klima-, Energi- og Bygningsudvalget. (2012). *Strategisk energiplanlægning*. Hentet fra Tekniske retningslinier for formålstjenlig national og kommunal planlægning.
- Lacey, G., Univ, N., Jiang, T., Putrus, G., & Kotter, R. (2013). *The Effect of Cycling on the State of Health of health of the electric vehicle battery*. Dublin: Power Engineering Conference (UPEC), 2013 48th International Universities.
- Lund, H. (2007). *Renewable energy strategies for sustainable development*. Hentet fra <http://www.rshanthini.com/tmp/CP551/SDProjectPapers/REStrategiesforSD.pdf>
- Lund, H. (2014). *Renewable Energy Systems, 2nd Edition. (A Smart Energy Systems Approach to the Choice and Modeling of 100% Renewable Solutions)*. Aalborg: AP.
- Lund, H., Hvelplund, F., Vad Mathiesen, B., Østergaard, P., Christensen, P., & Connolly, D. (11 2011). Hentet fra Coherent Energy and Environmental System Analysis: http://www.ceesa.plan.aau.dk/digitalAssets/114/114433_32603_ceesa_final_report_sampler_02112011.pdf
- Lund, R. S., Sperling, K., Mathiesen, B. V., & Connolly, D. (2013). *Strategic Energy Planning in the Öresund Region*. Hentet fra <http://vbn.aau.dk/>: http://vbn.aau.dk/files/166585282/Strategic_Energy_Planning_in_the_resund_Region.pdf
- Meibom, P., & Kiviluoma, J. (2011). *Power system value of smart versus dumb charging of EVs*. Hentet fra http://orbit.dtu.dk/files/9987270/Power_system_value_1_.pdf
- Nord Pool. (12. januar 2016). *Historical Market Data*. Hentet fra Historical Market Data: <http://www.nordpoolspot.com/historical-market-data/>
- Pedersen, O. K. (1988). Den sønderdelte stat. Om interesseorganisationernes integration i den. *Om interesseorganisationernes integration i den*, 259-278.
- Pillai, J. R., Heussen, K., & Østergaard, P. A. (2011). Eergy. I J. R. Pillai, K. Heussen, & P. A. Østergaard, *Comparative analysis of hourly and dynamic power balancing models for validating future energy scenarios*. (s. Side 3233-3243). Aalborg: Elsevier.
- Skiftenergi. (2016). *Tjek om dit elforbrug er højere end normalt*. Hentet fra Skiftenergi.dk: <http://www.skiftenergi.dk/tjek-om-dit-elforbrug-er-hoejere-end-normalt/>

Sorknæs, P., Andersen, A. N., Tang, J., & Strøm, S. (2013). *Market integration of wind power in electricity system balancing*. Aalborg: Elsevier.

Søren Krohn, P.-E. M. (Marts 2009). *The Economics of Wind Energy*. Hentet fra The European wind energy association:
http://www.johnsoncontrols.pl/content/dam/WWW/jci/be/solutions_for_your/art_of_the_possible/Economics-Wind-Main-Report.pdf

Tesla Motors. (2016). *tesla's hjemmebatteri*. Hentet fra Powerwall:
https://www.teslamotors.com/da_DK/powerwall?redirect=no

Thuren, T. (2008). *Videnskabsteori*.