



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2023 30 stp**

Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

# **Kostnadsutvikling og potensiale for toveis veggladere og V2G- teknologi: En analyse av komponentene og mulig kostnadsutviklingen og potensialet for bidrag til strømforsyningen fra elbilparken**

Cost Development and Potential of Bidirectional  
Wall Chargers and V2G Technology: An Analysis of  
Component Similarities and Cost Development and  
Potential for Power Delivery from the Electric  
Vehicle Fleet

Tor Alexander Guldal

Fornybar energi

## Forord

Med denne oppgaven avslutter jeg mastergraden i fornybar energi ved Norges miljø- og biovitenskapelig universitet (NMBU).

Omstillingen til et fornybart samfunn byr på nye utfordringer og muligheter. Tema i denne oppgaven viser hvordan elbil-teknologi kan kombineres med nye tjenester for å bidra til å løse flere av utfordringene samfunnet står overfor. Elbiler er en nødvendighet for en utslippsfri transportsektor. Bruk av elbiler til balanseregulerende formål er bærekraftig ressursutnyttelse, plassbesparende og god samfunnsøkonomi.

Arbeidet med oppgaven har gitt meg innsikt i den vitenskapelige prosessen bak nybrottsarbeidet. Det er slående hvor komplisert et tema kan være når man dykker ned i stoffet. Dette har til tider vært veldig frustrerende, men også veldig lærerikt.

Jeg vil rette en stor takk til min veileder, Thomas Martinsen. Gjennom hele skriveprosessen har jeg fått konstruktive råd og innspill som har hjulpet meg videre når jeg har stått fast. Jeg ønsker å takke medelevene mine for godt samarbeid. Jeg har lært masse av dem gjennom årene mine på NMBU. Til slutt vil jeg takke min mor og min far for å ha støttet meg gjennom mange års studier.

## Sammendrag

Løsninger som både reduserer CO<sub>2</sub>-utslipp og optimaliserer ressursutnyttelsen er ettertraktet. Behov for å fordele fornybar energiproduksjon utover døgnet og særlig til de tidene når etterspørselen er høyest, øker. Det samme gjør behovet for et strømnett som kan tåle påkjenningene med høy produksjon av kraft og høyt uttak av effekt. V2G teknologi har blitt diskutert de siste 10 – 20 årene som en potensiell bidragsyter. Biler står for det meste i ro 90 % av tiden og kan dermed både lagre energi og levere energi ut på nettet uten at det behøver å påvirke tilgangen til bilen for eieren av bilen.

Denne masteroppgaven drøfter kostnadsutviklingen og potensialet for å ta i bruk toveis veggladere og til å legge til rette for elbilmodeller med V2G. Diskusjonen setter søkelys på usikkerhet knyttet til kostnadsutviklingen og bruker ombordladere for elbiler som proxy for å beregne potensialet ut ifra antagelser om at komponentene til begge typer ladere ligner på hverandre. Faktorer som påvirker salget av toveis veggladere, har fellestrekk med faktorer som påvirker salget av ombordladere. Salget av ombordladere er i dag direkte forbundet med salget av elbiler. V2G og V2G-teknologi har også særegne faktorer som påvirker utviklingen på dette området.

Hvilke komponenter toveis veggladere er bygget opp av, undersøkes ved å se på hvordan ombordladerens komponenter konverterer strøm. Det gjøres en antagelse om at de to typene ladere må ha mange av de samme komponentene til felles dersom alle funksjonene til en toveis vegglader i dag skal kunne oppfylles.

Det konkluderes med at toveis veggladere har potensial for å bli billigere, men at det forutsetter en kraftig økning i antall solgte ladere og at toveis veggladere blir den foretrukne løsningen for V2G. Kostnaden vil falle raskt, men begynne å flate ut når den nærmer seg 20 000 NOK. Videre konkluderes det med at videre forskning og undersøkelser er nødvendig for å nyansere bildet av toveis ladere og deres potensiale som kilde til leveranse av kraft og effekt til strømforsyningen for fremtiden.

Videre viser denne studien at dersom V2G-teknologien vinner fram i bilmarkedet kan elbilparken gi et lite, men nyttig bidrag i kraftmarkedet. Dette må likevel ikke overvurderes. Selv med et stort antall ladere solgt, vil fortsatt den totale ytelsen som alle med mulighet til å tilby balanseregulering gjennom V2G-tjenester har, være liten i forhold til teknologier som vannkraft hvor ett kraftverk alene kan tilby like stor effekt som hele bilparken kan bidra med.

Til slutt pekes det på behovet for videre forskning og undersøkelser som kan nyansere bildet av toveis ladere og deres potensiale som kilde til leveranse av kraft og effekt til strømforsyningen for fremtiden.

## **Abstract**

Solutions that both cut CO<sub>2</sub>-emissions and optimizes the use of power-resources are in high demand. The need to distribute renewable energy-production to all times of day and especially to periods of peak demand, increases.

The same need applies to the powergrid that must be able to work under the pressure from high energy input and high demand for effect. The vehicle to grid (V2G)-technology have been considered a potential contributor over the last two decades. Cars typically are out of use around 90 % of the time. In that time they might serve both as a storage and and a supplier of energy to the grid without any inconvenience to the owner.

This thesis discusses the developments in costs for bidirectional wallchargers and furthermore the potential for these chargers for being taken into use and for being facilitated in electric cars commercially. The discussion highlights the uncertainties linked to developments in production costs and uses onboard chargers for electric cars as proxy to calculate the potential based on the assumption that the components in both types of chargers to a large extent are similar. The factors influencing the sales of bidirectional wall chargers has a lot in common with the factors influencing the sale of onboard chargers. The sales of onboard chargers is currently directly related to the sales of electric cars. The V2G and V2G-technology also have distinctive characteristics which influences the development in this field.

The components of which the bidirectional wall charger are assembled are being examined by studying the way the onboard chargers components are converting electricity. The assumption is made that several components installed in an onboard charger also must be present in the bidirectional wall charger in order to allow all functions in a bidirectional wall charger to work to full potential.

It is concluded that bidirectional wallchargers has a potential to become cheaper under the presumption that they become the favoured solution in the market and that this followed by a steep growth in sales. Production costs will drop quickly, but start stabilizing when it comes down towards 20 000 Norwegian crowns.

Furthermore this study shows that the V2G-technology can offer a small but still valuable contribution to the power market if it becomes the preferred solution in charging electric cars. Still, this must not be overstated as the study shows that for instance an average Norwegian hydroelectricity power plant supplies as much power to the grid as all V2G-chargers combined would do even if they grab the dominant spot in the charger-market in the future.

Finally the study underscores the need for more research in the field in order to paint a more complete picture of two-way chargers and their potential as source of power and effect in the power market of the future.

# Innholdsfortegnelse

<b>Forord</b> .....	<b>1</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>2</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>Figurliste</b> .....	<b>7</b>
<b>Tabeller</b> .....	<b>9</b>
<b>Formler</b> .....	<b>10</b>
<b>1. Introduksjon</b> .....	<b>10</b>
<b>2. Bakgrunn</b> .....	<b>11</b>
<b>3. Balanseregulering og Aggregator</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1. Engrosmarkedet</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2. Styringssystem for V2G</b> .....	<b>13</b>
<b>3.3. Frekvensregulering og reservekapasitet</b> .....	<b>13</b>
<b>3.3.1. Fast frequency reserves (FFR)</b> .....	<b>14</b>
<b>3.3.2. Primærreserve</b> .....	<b>14</b>
<b>3.3.3. Sekundærreserve</b> .....	<b>14</b>
<b>3.3.4. Tertiærreserve</b> .....	<b>14</b>
<b>3.4. Spenningsregulering og Effektfaktorkorreksjon</b> .....	<b>15</b>
<b>3.5. Flytting av effektforbruk</b> .....	<b>15</b>
<b>3.6. Li-ion batteri og balanseregulering</b> .....	<b>16</b>
<b>4. Nett, laderstandarder, lading og toveis veggladere</b> .....	<b>16</b>
<b>4.1. Nettsystemer og foranliggende nett</b> .....	<b>17</b>
<b>4.2. Ladetyper og lading</b> .....	<b>18</b>
<b>4.2.1. Stikkontakt/husholdningskontakt</b> .....	<b>18</b>
<b>4.2.2. Type 1 (SAE J1772)</b> .....	<b>18</b>
<b>4.2.3. Type 2 (IEC-62196)</b> .....	<b>19</b>
<b>4.2.4. Hurtiglading og lynlading</b> .....	<b>19</b>
<b>4.2.5. CHAdEMO</b> .....	<b>20</b>
<b>4.2.6. CCS</b> .....	<b>20</b>
<b>5. Batteri</b> .....	<b>20</b>

5.1.	SoC .....	20
5.2.	Batteridegradering .....	20
5.3.	Ladeprofil .....	22
<b>6.</b>	<b>Ombordladere .....</b>	<b>22</b>
6.1.	Kommunikasjon mellom ombordlader og vegglader.....	24
6.2.	EMI filter (elektromagnetisk interferens).....	25
6.3.	Likeretting og glatting.....	25
6.4.	Effektfaktorkorreksjon .....	25
6.5.	DC-DC omforming .....	26
<b>7.</b>	<b>Toveis-ladere.....</b>	<b>27</b>
7.1.	Teknisk løsning toveis vegglader.....	27
7.2.	Vekselretter .....	28
<b>8.</b>	<b>Faktorer som påvirker utbredelse av V2G .....</b>	<b>29</b>
8.1.	Kostnad V2G .....	30
8.1.1.	Kostnad kraftkomponenter .....	30
8.1.2.	Kommersielle Toveis Veggladere.....	32
8.2.	Egnet batteristørrelse .....	33
8.3.	Skepsis hos forbruker.....	34
8.3.1.	Faktorer Norden og Nederland.....	34
8.4.	Utvikling og utbredelse av elbiler og plug-in hybrider .....	35
8.4.1.	Elbilsalg og plug-in hybrid salg globalt.....	35
8.4.2.	Elbilsalg og plug-in hybrid salg Europa.....	36
8.4.3.	Elbilambisjoner store bilmerker .....	36
8.4.4.	Faktorer salgsøkning.....	37
8.4.5.	Fremtidig vekst.....	37
8.5.	Utvikling og utbredelse av hurtigladestandarder.....	38
8.5.1.	Direktiver ladestandard offentlige ladestasjoner .....	38
8.5.2.	Elbiler med CHAdeMO og CCS 2 .....	39
8.5.3.	Toveis veggladere med CCS.....	40
<b>9.</b>	<b>Metode.....</b>	<b>41</b>
9.1.	Litteraturstudie.....	41
9.2.	Teknologilæring .....	41

<b>9.3. Kostnader Ombordlader.....</b>	<b>43</b>
<b>9.4. Akkumulert installert effekt for ombordladere.....</b>	<b>44</b>
<b>9.5. Antagelser om utbredelsen av toveis veggladere .....</b>	<b>45</b>
9.5.1. Batteristørrelse .....	45
9.5.2. Elbilmodeller med V2G .....	45
9.5.3. Forbrukeres holdninger.....	46
9.5.4. Globalt salg av elbiler .....	46
<b>9.6. Formel og utregning toveis vegglader.....</b>	<b>47</b>
9.6.1. Salgstall toveis veggladere .....	47
9.6.2. Kostnadsutvikling toveis veggladere .....	47
<b>10. Resultater .....</b>	<b>48</b>
10.1. Læringsrate ombordlader.....	48
10.2. Kostnad toveis vegglader .....	49
<b>11. Diskusjon.....</b>	<b>50</b>
11.1. Usikkerhet ombordladerkostnad .....	50
11.2. Kostnad for toveis vegglader .....	50
11.3. Hvilken toveis lader kommer til å bli mest utbredt? .....	51
11.4. Kan toveis ladere faktisk kunne tilby former for regulering? (Casestudie).....	51
<b>12. Konklusjon.....</b>	<b>52</b>
<b>Litteraturliste.....</b>	<b>54</b>

## **Figurliste**

<b>Figur 1 Sinuskurver spenning og strøm med faseforskyvning (Bjørndalen et al., 2020) .....</b>	<b>15</b>
<b>Figur 2 Dalene (blått område) og toppen (grønt område) flyttes mot en lineær last (Tan et al., 2017) .....</b>	<b>16</b>
<b>Figur 3 Nett og tilkoblet lader med begrensninger og potensial for ladeeffekten, (Elbilgrossisten, 2023) .....</b>	<b>17</b>



<b>Figur 4 Ladestandarder AC venstre og DC høyre, (Tibber, 2019) .....</b>	<b>18</b>
<b>Figur 5 Omfang batteridegradering med forskjellige parametere, Data hentet fra (Xu et al., 2016) .....</b>	<b>21</b>
<b>Figur 6 Grafisk fremstilling ladeprofilen elbilbatteri fra 0 % SoC – 100 % SoC, (Tao et al., 2019) .....</b>	<b>22</b>
<b>Figur 7 Stegene i prosessen med omforming av AC, (Johnson, 2022) .....</b>	<b>23</b>
<b>Figur 8 Ombordladeres forskjellige deler med oppgaver, (PE, 2023) .....</b>	<b>23</b>
<b>Figur 9 AC-input blir omformet til DC gjennom en helbro likeretter (2 og 2 dioder parallelt), (Hudson, 2022) .....</b>	<b>25</b>
<b>Figur 10 Ingen effektfaktorkorreksjon venstre, med effektfaktorkorreksjon høyre (Hudson, 2022) .....</b>	<b>26</b>
<b>Figur 11 Tradisjonell Zero-Voltage Hel-bro DC/DC omformer, (Tao et al., 2019).....</b>	<b>26</b>
<b>Figur 12 Hel-bro streng-vekselretter uten transformator, (Kouro et al., 2015).....</b>	<b>28</b>
<b>Figur 13 Nybilregistreringer av ladbare biler i verden, (IEA, 2022a) .....</b>	<b>36</b>
<b>Figur 14 Nybilregistreringer av ladbare biler i Europa, (IEA, 2022a) .....</b>	<b>36</b>
<b>Figur 15 To scenarier for forventet vekst av elbil og plug-in hybrid salget, (IEA, 2022b) .....</b>	<b>38</b>
<b>Figur 16 Elbiler og plug-in hybridbiler enten med CHAdeMO, CCS Combo 2 eller ingen av delene, (Carsalesbase, u.å.-a; Carsalesbase, u.å.-b; Carsalesbase, u.å.-c; Carsalesbase, u.å.-d; Carsalesbase, u.å.-e; Carsalesbase, u.å.-f; Carsalesbase, u.å.-g; Carsalesbase, u.å.-h).....</b>	<b>40</b>
<b>Figur 17 Grafisk framstilling av konkrete nivåer personer lader ved og tilhørende antall, (Simolin et al., 2021) .....</b>	<b>44</b>
<b>Figur 18 Læringskurven visualisert, (CEO, u.å.).....</b>	<b>48</b>

## **Tabeller**

<b>Tabell 1 Spesifikasjoner AC ladestandarder, (Elbilgrossisten, 2023).....</b>	<b>19</b>
<b>Tabell 2 Sammenheng effektnivåer hos ombordladere, (Turksoy et al., 2018).....</b>	<b>24</b>
<b>Tabell 3 Faktorer for utbredelse av V2G som går igjen i forskningslitteratur .....</b>	<b>29</b>
<b>Tabell 4 Komponenter i kraftelektronikk, figurer og bilder er hentet fra åpne kilder på nett og er ikke beskyttet av opphavsrett .....</b>	<b>30</b>
<b>Tabell 5 Spesifikasjoner Wallbox Quasar, (Wallbox, u.å.-b) .....</b>	<b>32</b>
<b>Tabell 6 Spesifikasjoner Indra V2G lader, (CHAdeMO, u.å.) .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabell 7 Spesifikasjoner Wallbox Quasar 2, (Wallbox, u.å.-a).....</b>	<b>33</b>
<b>Tabell 8 Ambisjoner elbillandel av totalt salg hos store bilmerker fram mot 2035, (IEA, 2022c) .....</b>	<b>36</b>
<b>Tabell 9 Elbiler som enten har hurtigladestandarden CHAdeMO eller CCS 2, (Carsalesbase, u.å.-a; Carsalesbase, u.å.-b; Carsalesbase, u.å.-c; Carsalesbase, u.å.-d; Carsalesbase, u.å.-e; Carsalesbase, u.å.-f; Carsalesbase, u.å.-g; Carsalesbase, u.å.-h) .....</b>	<b>39</b>
<b>Tabell 10 Konkrete mål United States Council for Automotive Research, (Drive, 2017).....</b>	<b>43</b>
<b>Tabell 11 Intervaller med effektnivåer personer lader ved og prosentandelen personer som har ladet innenfor intervallet, (Simolin et al., 2021).....</b>	<b>44</b>
<b>Tabell 12 Antatt økning andel elbiler med batteristørrelse over 40 kWh ...</b>	<b>45</b>
<b>Tabell 13 Antatt økning andel elbiler og plug-in hybrider med V2G.....</b>	<b>45</b>
<b>Tabell 14 Antatt økning andel toveis veggladere .....</b>	<b>46</b>
<b>Tabell 15 Data i tall fra figur 14 s.....</b>	<b>46</b>
<b>Tabell 16 Konkrete tall brukt i utregningen av LR basert på drøftelsene i 9.3. ....</b>	<b>48</b>
<b>Tabell 17 Resultater teknologilæring ombordladere .....</b>	<b>48</b>

<b>Tabell 18 Resultater utregning av akkumulert produksjon .....</b>	<b>49</b>
<b>Tabell 19 Resultater utregning kostnadsutvikling toveis vegglader .....</b>	<b>49</b>

## **Formler**

<b>Formel 1 Læringskurve .....</b>	<b>41</b>
<b>Formel 2 Progresjonsrate teknologilæring .....</b>	<b>42</b>
<b>Formel 3 Læringsrate teknologilæring .....</b>	<b>42</b>
<b>Formel 4 Læringskurven logaritmisk .....</b>	<b>42</b>
<b>Formel 5 Akkumulert installert effekt hos ombordladere .....</b>	<b>45</b>
<b>Formel 6 Antall toveis veggladere solgt .....</b>	<b>47</b>

## **1. Introduksjon**

EU har forsterket det tidligere målet om at 32 % av energiforbruket skal komme fra fornybare kilder i 2030 til 40 % (EEA, 2022). I 2022 kom 22 % av elektrisitetsproduksjonen fra vind- og solkraft (Ellerbeck, 2023). Vind- og solkraft er variable energikilder. Det betyr at produksjonen er underlagt værforholdene. Etterspørselen inntreffer ikke nødvendigvis når produksjonen er høy. Elektrifiseringen av samfunnet byr på utfordringer for strømmettet. Antallet elbiler på veiene i Europa har økt betraktelig de siste årene og salget av varmepumper har hatt stor vekst (DAIKIN, u.å.). Økt andel fornybar energi i energimiksen og økt elektrisitetsforbruk, fordrer utbygging av energilagring og oppgradering av kapasiteten til elektrisitetsnett (Kurmayer, 2023).

Antallet elbiler i Verden i dag, samt den ønskede veksten, kan både by på utfordringer og muligheter for elektrisitetsnett og energilagring. For at elbiler skal være en del av løsningen, fordrer det både fleksibilitet hos forbruker og ny teknologi. Forbrukerfleksibilitet og smart lading er konsepter som har vunnet fram i folks bevissthet, og de siste årene har Vehicle-to-grid teknologien (V2G) blitt mer fremtredende. Forskningsprosjekter over hele verden jobber med å finne måter å innarbeide Vehicle-to-grid i samfunnet.

Vehicle-to-Grid kan oversettes til «kjøretøy til strømmnett» på norsk. Enkelt forklart, går konseptet ut på å kunne overføre strøm fra strømmettet til elbilbatteriet og vice versa. Hvis V2G blir kontrollert på en god måte innenfor et «smart» strømmnett, kan nettets kapasitet, pålitelighet, stabilitet og overføringskapasitet forbedres. I tillegg kan V2G tilby energilagring, støtte til systemoperatører, effektutjevning og effektfaktorkorreksjon (Garcés Quílez et al., 2018).

Grid-to-Vehicle (G2V) er i dag den dominerende ladeløsningen for elbiler. Dette innebærer at strøm kun går fra strømmettet og inn i bilbatteriet, og ikke motsatt vei. Teknologigrunnlaget for enveis-lading er forbindelse mellom elbil og elektrisitetsnett via en kontakt, en kabel og en lader om bord i bilen for omforming av AC til DC. Dette begrenser muligheten for å bruke elbilen som et fleksibelt verktøy i det elektriske kraftsystemet.

Med en økning i antall elbiler, elektrisk oppvarming og fornybar energiproduksjon, blir det stadig mer nødvendig å finne innovative løsninger for å innlemme disse i strømmettet på en effektiv måte. V2G kan være en del av løsningen. I dag er det kun en seriøs aktør med et hylleklart produkt på markedet, Wallbox med Wallbox Quasar. I løpet av det neste tiåret kan det bli flere aktører innenfor dette nisjemarkedet. Å utforske utviklingen til toveis-veggladere ved å bruke ombordladere som proxy kan gi verdifulle innsikter for fremtidig implementering av V2G, og hvilke faktorer som kan påvirke utviklingen og valg av teknologi.

## **2. Bakgrunn**

Teknologisk utvikling innenfor kraftelektronikk har vært en viktig faktor innenfor overgangen fra fossilt brensel til fornybar energi (Kempton & Tomić, 2005). Kraftelektronikk er en gren av elektronikk som omhandler kontroll og konvertering av elektrisk energi. Det er en sentral teknologi i mange områder, inkludert kraftsystemer, transportsektoren og industrien.

Kraftelektronikk muliggjør effektiv overføring og kontroll av elektrisk energi, og spiller en nøkkelrolle i produksjon og distribusjon av fornybar energi som sol og vindkraft. Det er også en viktig teknologi for å redusere energiforbruket i industrielle prosesser og transportsektoren (Zhu & Howe, 2007).

En lovende anvendelse av kraftelektronikk er i elbiler, der avanserte elektroniske systemer brukes for å kontrollere lading og utlading av batterier. V2G-teknologi kan potensielt bidra til å balansere strømmettet ved å gi elbileier muligheten til å selge overskuddsstrøm tilbake til

nett. Dette vil kunne bidra til å redusere behovet for tradisjonelle kraftverk og øke utnyttelsen av fornybar energi (Kempton & Tomić, 2005).

Selv om det fortsatt er utfordringer som må overvinnes før V2G kan tas i bruk i stor skala, er det grunn til å tro at teknologiutviklingen og teknologilæring vil bidra til å overvinne disse utfordringene. Et viktig aspekt ved teknologilæring er at teknologien blir bedre og billigere jo mer den blir brukt og videreutviklet. Dette kan før til betydelig reduksjon i kostnadene ved å implementere V2G-teknologi på sikt (McDonald & Schrattenholzer, 2001).

Det er viktig å nevne at selv om det har vært mye utforskning på V2G-teknologi de siste årene, er det fortsatt mye arbeid som må gjøres for å gjøre teknologien tilgjengelig for massemarkedet. Både teknologien og økosystemet rundt den må utvikles og testes i stor skala, og det nødvendig å evaluere teknologien med tanke på økonomi og samfunnsmessige konsekvenser (Kempton & Tomić, 2005).

### **3. Balanseregulering og Aggregator**

Når det brukes strøm fra strømmettet, må tilsvarende mengde strøm bli produsert et annet sted. Nettet må hele tiden være i balanse mellom forbruk og produksjon. Det europeiske nettet skal være på 50 Hz. Dvs. at strømmen svinger i en takt på 50 svingninger per sekund (AC). Når tilbudet er høyere enn etterspørselen vil frekvensen stige over 50 Hz. Når etterspørselen er høyere enn tilbudet vil frekvensen synke under 50 Hz. For at balansen på nettet skal opprettholdes er det behov for overordnet kontroll. I Norge er det Statnett som er systemoperatør. Systemoperatøren er gitt myndighet gjennom konsesjon. Statnett kan bestemme når reserver settes inn og kan pålegge produsenter produksjonsplikt (NVE, 2022b; NVE, 2023a). For systemoperatøren er V2G en ny ressurs for regulering av strømmettet (Ravi & Aziz, 2022).

V2G er en fellesbetegnelse for tjenestene en elbil med toveis kraftoverføring kan tilby. V2G vil bli omtalt som V2G tjenester i deler av oppgaven. Vi kan dele opp de forskjellige tjenestene V2G kan tilby som regulering av frekvens og spenning, peak shaving og load leveling (Ravi & Aziz, 2022).

#### **3.1. Engrosmarkedet**

Engrosmarkedet er stedet hvor produsenter, kraftleverandører og store forbrukere møtes for å handle. For å handle på engrosmarkedet i Norge, er det krav om at aktører inngår en

balanseavtale med Statnett. Intradagmarkedet er den delen av engrosmarkedet hvor handelen foregår i tidsrommet mellom day-aheadmarkedet (Day-aheadmarkedet: Kontrakter inngås for levering av kraft time for time neste dag) og fram til en time før driftstimen (Driftstime: Avtalt tid for når produsenten skal leverer kraft). Intradagmarkedet sørger for en fleksibilitet for aktørene i markedet dersom planlagt produksjon og etterspørsel blir annerledes enn forventet. Da får aktørene mulighet til å handle seg i balanse (Energifakta, u.å.-a; NVE, 2022a)

### **3.2. Styringssystem for V2G**

En barriere for V2G er at det er behov for et styringssystem slik at elbiler skal kunne ta del i Engrosmarkedet. Enhver elbils kapasitet må aggregeres (aggregere: terminologi i statistikk om å samle data om enkeltindivider) og opp/utlading må optimaliseres dersom ønskene til bileier, kraftnett og tjenesteleverandør skal tilfredsstilles (Horne et al., 2019).

Ravi og Aziz (2022) deler styringssystemene for V2G inn i sentralisert og desentralisert systemdesign. I det sentraliserte systemet er det en aggregator/sentral styringsaktør (et selskap som sammenstiller flere mindre aktørers virksomhet) som organiserer opp/utlading av elbilene (Energifakta, 2019). En sentral styringsaktør kan sørge for høyere samlet effekt, optimalisere smart-lading og sørge for tilleggstjenester. utfordringen vil være den enorme mengden data som må håndteres. Dette vil gjøre det vanskelig å balansere den optimale løsningen for individuelle aktører i systemet og frekvensstyring kan bli veldig komplisert å gjennomføre. I det desentraliserte systemet er det den enkelte aktør som råder over opp/utlading ved å ha en server som kommuniserer med hver elbil. Dette kan være den optimale løsningen for enkelte aktørers profittmaksimering, men kan by på problemer for systemet. Et desentralisert system kan føre til større belastning på nettet og høyere variasjoner i el-prisen.

### **3.3. Frekvensregulering og reservekapasitet**

Frekvensreguleringsmarkedet består av aktører som kan tilby rask respons. Aktørene skal sikre at det er momentan balanse i kraftsystemet ved å balansere produksjon og forbruk (Energifakta, u.å.-c). Aktørene er spredt rundt på kraftnettet og responderer der det kommer signaler om avvik (Hvis det kommer avvik lokalt for en aktør). Tidlige arbeider om V2G tok det nesten for gitt at frekvensregulering ville være det foretrukne bruksområdet takket være de høye markedsprisene for denne tjenesten. Senere forskning har vist at dette kan være feil

siden frekvensregulering krever høy effekt for å være virksom og dette fører til raskere batteri-degradering (Pearre, 2019). Deltakende aktører får betalt for kapasiteten de tilbyr og kraften levert dersom reserven blir brukt (Mullan et al., 2012).

### **3.3.1. Fast frequency reserves (FFR)**

FFR er en type reserve som aktiveres svært raskt for å hindre frekvensfall under 49,0 Hz. Reserven skal reagere innen 0,7 – 1,3 sekunder og vare 5 – 30 sekunder. Oppgaven til FFR er å bremse utfallet. Aktiveringsfrekvensen for innsetting er ofte så lav at det ikke forekommer hvert år at reserven blir brukt.

### **3.3.2. Primærreserve**

Primærreservene består av normaldriftsreserve og driftsforstyrrelsesreserve. Normaldriftsreserve settes inn ved strukturelle ubalanser mellom produksjon og forbruk og gjelder avvik mellom 49,9 – 50,1 Hz. Ved større avvik forårsaket av feilhendelser på produksjonsanlegg, forbruksanlegg eller transmisjonskomponenter, aktiveres driftsforstyrrelsesreserve. Driftsforstyrrelsesreserve kan både regulere opp eller ned og aktiveres i frekvensområde 49,9 – 49,5 Hz eller 50,1 – 50,5 Hz. Primærreserver skal reagere umiddelbart og er automatisert i Norge (Statnett, 2021).

### **3.3.3. Sekundærreserve**

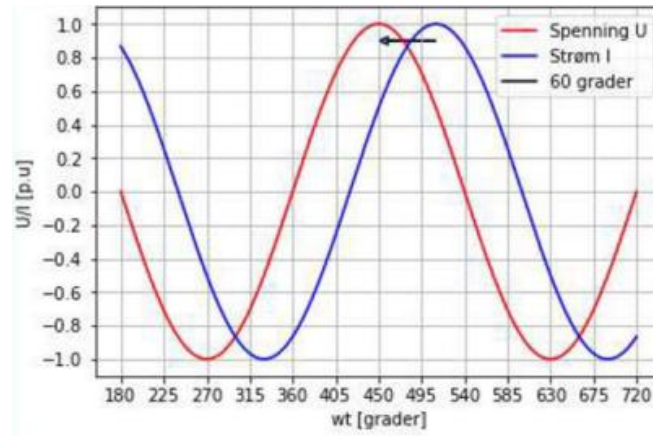
Sekundærreserver aktiveres for å bringe frekvensen på nettet tilbake til 50 Hz og skal frigi primærreserver slik at de er klar til å håndtere nye feil. Sekundærreserver er synkronisert og tilkoblet nettet og må i Norge kunne settes inn før 5 minutter etter oppdaget feil har gått. I Norge kontrolleres sekundærreserver av Statnetts driftssystem hvor innsettelsen er automatisert. For å være sekundærreserve i Norge er minste budstørrelse 1 MW (Statnett, 2023a).

### **3.3.4. Tertiærreserve**

Etter at sekundærreserver har brakt frekvensen tilbake til normalbåndet, aktiveres tertiærreserver for å opprettholde balansen i systemet inntil energimarkedet er i balanse igjen. I Norge er det Statnett som aktiverer reserven. Tertiærreserver aktiveres manuelt, det vil si at Statnett tar en bevisst avgjørelse ved innsetting. Reserven må minimum aktiveres etter 15 minutter og kunne levere i minst 1 time. Prisområdene i Norge har enten krav om leveranse på 5 MW eller 10 MW (Statnett, 2023b).

### 3.4. Spenningsregulering og Effektfaktorkorreksjon

I kraftsystemet finnes det både aktiv og reaktiv effekt. Reaktiv effekt kan forklares ved faseforskyvningen mellom spenning og strøm.



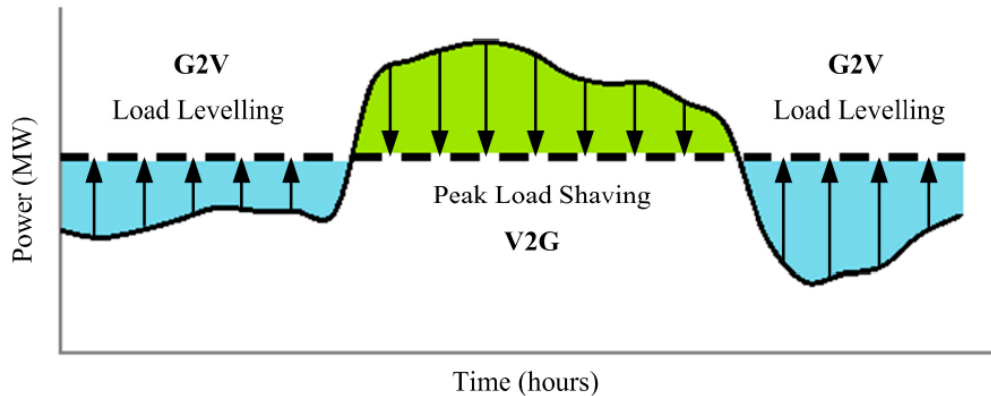
Figur 1 Sinuskurver spenning og strøm med faseforskyvning (Bjørndalen et al., 2020)

Aktiv effekt er andelen strøm og spenning i fase og er hovedsakelig den «nyttbare» effekten for elektriske apparater. Når  $U$  og  $I$  er helt i fase med hverandre er såkalt Power Factor (PF) 1 i verdi. Reaktiv effekt fører til energitap, men «litt» reaktiv effekt er viktig for en del elektriske apparater skal fungere, derfor er ikke full overenstemmelse mellom strøm og spenning «naturlig» eller «ønskelig». Reaktiv effekt oppstår når strøm blir brukt. Regulering av reaktiv effekt bør utøves lokalt slik at effekten ikke transporteres over lange avstander. Kondensatorbatterier, reaktorer og generatorer kan bidra til å produsere eller trekke reaktiv effekt (Bjørndalen et al., 2020).

### 3.5. Flytting av effektforbruk

Elbiler med V2G lade opp batteriet når lasten på nettet og prisen på strøm er lav og leverer kraften tilbake på nettet når lasten og prisen på strøm er høy. Disse tiltakene er kjent som Peak Load Shaving, Valley Filling og Load Leveling.





Figur 2 Dalene (blått område) og toppen (grønt område) flyttes mot en lineær last (Tan et al., 2017)

Valley Filling foregår når lasten på nettet er lav. Dette kan være på natten og midt på dagen når folk er på jobb. Elbilen øker lasten ved å lade opp batteriet i disse periodene. Da øker lasten og produsenten av kraft får bedre betalt. Den lagrede kraften leveres tilbake igjen på nettet når lasten er høy. Typisk topplast-perioder er formiddag når folk gjør seg klar til jobb og ettermiddag når folk er kommet hjem fra jobb. Kraften selges med fortjeneste siden kraftprisene er på sitt høyeste gjennom døgnet under disse periodene. Kraftprisen reduseres som helhet siden mengden tilbudt kraft øker, samt at investeringer i strømmettet kan reduseres (Turton & Moura, 2008). I tillegg til direkte salg, kan aktøren betales for å være en reserve i dette markedet (Mullan et al., 2012). Differansen V2G-aktør oppnår i kraftprisen er regnet som det økonomiske insentivet som har størst betydning for deltakelse (Ravi and Aziz 2022).

### 3.6. Li-ion batteri og balanseregulering

Li-ion batterier kan fungere som tilleggsreserver for frekvensregulering. Responstiden til li-ion batterier kan være fra 20 ms – 1 s og effekten li-ion batterier har tilgjengelig til å regulere nettet med, kan være fra 0 – 100 MW (Das et al., 2018). Li-ion batterier kan tilby alle nivåer av frekvensregulering da responstiden er umiddelbar. Li-ion batterier kan regulere frekvens opp og ned, og effektleveransen kan være på over 10 MW. Høyere effektnivåleveranser krever flere store batterier med kraftige vekselrettere. For V2G sin del, betyr det at svært mange elbiler må være tilkoblet kraftsystemet fordi kraftoverføringer med dagens teknologi er begrenset.

## 4. Nett, laderstandarder, lading og toveis veggladere

Strømmettet kan ha ulike spenninger på tvers av land og kontinenter. Hvert land har geografiske utfordringer tilknyttet distribusjon av elektrisitet, samt at nettet kan være

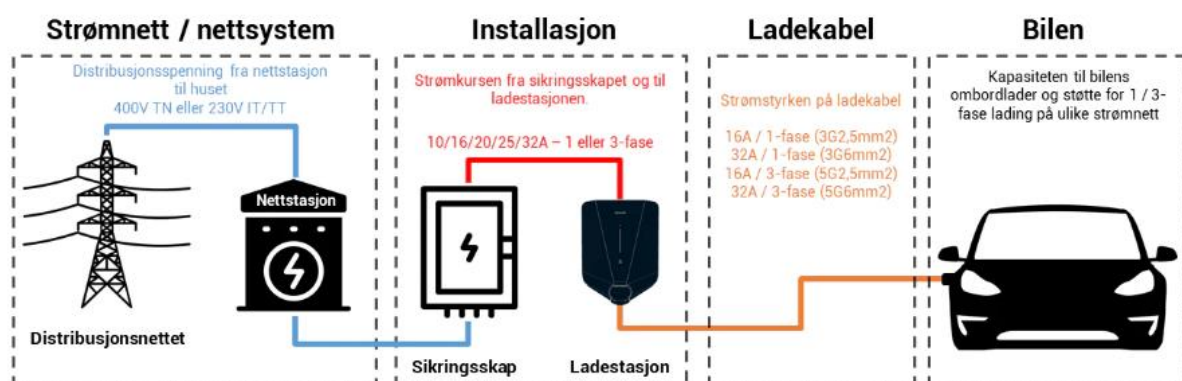
oppstykket i «nyere» eller «eldre» typer nett. Maksimal nyttbar ladehastighet begrenses av nettets spenning.

#### 4.1. Nettsystemer og foranliggende nett

I Norge har vi tre typer lavspent-fordelingsnett. Fordelingsnett er bare et av mange navn på strømmettet. De tre typene er IT, TN og TT-nett. IT-nettet er det mest utbredte i Norge i dag og utgjør 65 % av alle lavspennings distribusjonsnett i Norge, mens TN-nettet utgjør ca. 35 % (Skyrud, 2021). IT-nettet har en fordel ved at det kan opprettholde strømforsyningen. Dette er særlig viktig for nødstrøms-anlegg og andre anlegg hvor det er viktig å opprettholde strømforsyningen. En av ulempene ved IT-nettet er at det har høy nettimpedans.

Nettimpedans fører til lave kortslutningsstrømmer hos forbruker. Lave kortslutningsstrømmer legger begrensninger på valg av vern og størrelsen på inntak ved utkobling av minste kortslutningsstrøm.

Deler av Norges nett er såkalt «svakt» nett (nett med lav resistans mot endringer av forbruk og produksjon). Ved hurtig belastningsendringer kan det oppstå spenningsvariasjoner i nettet som ikke kan aksepteres med tanke på kvalitet og sikkerhet. Dette kan bl.a. by på problemer når man skal prosjektere en ladeinstallasjon for elbiler. De fleste land i Europa har TN nett med 400 V linjespenning (TN-nett i Norge har de samme kvalitetene som TN-nett i Europa). Elbiler for det europeiske markedet blir derfor bygget med 1-fase 230 V og 3-fase 400 V ladetilkobling med N-leder tilgjengelig. Når elbilen har behov for 32 A kurs til ladeutstyret, kan det by på problemer lokalt på IT nett i form av støy og ubalanse. En trenger derfor tett dialog med netteier som har oversikt over kapasiteten (NELFO, 2015).

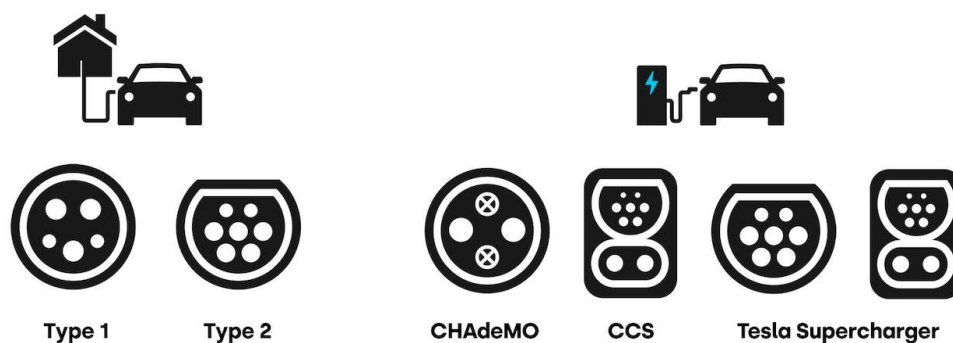


Figur 3 Nett og tilkoblet lader med begrensninger og potensial for ladeeffekten, (Elbilgrossisten, 2023)

Strømnettet legger begrensninger for den maksimale effekten man kan få ved lading. For å få 22 kW lading må man være tilkoblet 400 V TN-nett. Ved 230 V 3-fase, kan man maksimalt lade ved 11 kW, men bilene som støtter dette er sjeldne. Majoriteten av bilene vil støtte 7,4 kW (32A/1-fase) på IT-nett (Elbilgrossisten, 2023).

## 4.2. Ladetyper og lading

AC-lading og DC-lading har ulike tilkoblinger til elbilen hovedsakelig på grunn av kraften som overføres. Derfor er det andre krav for AC-lading enn for DC-lading siden tilkoblingen må være dimensjonert for dette.



Figur 4 Ladestandarder AC venstre og DC høyre, (Tibber, 2019)

### 4.2.1. Stikkontakt/husholdningskontakt

Laderen elbilen er utstyrt med når elbilen kjøpes er en såkalt stikkontakt lader. Laderen settes i støpselet og er ikke mer avansert enn at den har en kontrollenhet som regulerer ladingen ved å kommunisere med bilen (NAF, 2021). Lademetoden er den tregeste og overfører maksimalt 2.3 kW (Ladestasjoner, u.å.).

### 4.2.2. Type 1 (SAE J1772)

Type 1 standarden J1772 er en kontakttype som støtter 1-fase lading med maksimal effekt inntil 7,4 kW ved 32 A og 230 V. Standarden har hovedsakelig vært utbredt i USA, da kontakttypen ble spesielt utviklet for det Amerikanske markedet. Siden det ikke har vært et spesifikt krav tidligere om at bilene i Europa må ha type 2 kontakt, er det fortsatt elbiler med type 1 kontakt i Europa i dag (Elbilgrossisten, 2023; Elbilgrossisten, u.å.).

### 4.2.3. Type 2 (IEC-62196)

Type 2 standarden er utviklet for det europeiske TN-nettet. Type 2 er dimensjonert for å levere effekt fra 1,5 kW – 43 kW. AC-lading med høy effekt kalles AC hurtiglading. AC lading med effekt på 43 kW er den raskeste formen for AC-lading i dag og krever 3-fase 63 A 400 V (Elbilgrossisten, 2023). Ladestasjoner som ikke har fast kabel, har type 2 kontakt. Ved å bruke Mode3-ladekabel som er tilpasset bilen, kan både biler med type 1 og type 2 kontakt benytte samme ladestasjon. Da er det forskjellige ender på ladekabelen for bilen som har type 1 kontakt på bilen.

Nedenfor gis en sammenligning av type 1 og type 2 og deres egenskaper.

<b>Maksimal ladeeffekt</b>	<b>Strømstyrke</b>	<b>Antall faser</b>	<b>Nominell spenning</b>	<b>Plugg mot kjøretøy</b>
3,7 kW	16A	1-fase	230V	Type 1 og Type 2
7,4 kW	32A	1-fase	230V	Type 1 og Type 2
11 kW	16A	3-fase	400V	Kun Type 2
22 kW	32A	3-fase	400V	Kun Type 2

Tabell 1 Spesifikasjoner AC ladestandarder, (Elbilgrossisten, 2023)

### 4.2.4. Hurtiglading og lynlading

Ladestasjonene er offentlige og fungerer som bensinstasjoner for elbiler. Spenningen reguleres med trafostasjon for selve ladeparken. Ladetyper har vekselretter innebygd og leverer likestrøm direkte til batteriet.

Forskjellen på lynlading og hurtiglading er spenningen og effekten levert. Hurtiglading gir mindre enn 150 kW og har 400 V. Lynladeren kan leverer effekt fra 150 kW og høyere og kan enten ha mellom 400 eller 800 V (Elbilforeningen, u.å.). Hurtigladestasjoner er normalt koblet opp mot 3-fase 400 V TN nett (Valmøt, 2020).

#### **4.2.5. CHAdeMO**

CHAdeMO står for “Charge de Move” og er DC hurtigladdestandarden utviklet av Nissan og Mitsubishi. CHAdeMO kom på markedet i 2010. De fleste CHAdeMO ladestasjoner har en effekt på 50 kW, men støtter i dag opp mot 100 kW hurtiglading. I 2014 ble kommunikasjonsprotokoll for V2G via CHAdeMO annonsert. CHAdeMO er per i dag den eneste standarden for V2G. Ladestasjoner med CHAdeMO er ofte kombinert med CCS, såkalte multistandard ladestasjoner (Ladestasjoner, u.å.). Elbiler fra Nissan kommer med CCS på nye modeller. Det har vært et krav i Europa siden 2014 at biler solgt på det europeiske markedet skal være utstyrt med CCS. Mitsubishi Outlander PHEV og Nissan Leaf er de eneste bilmodellene etter Juni 2022 som fortsatt har CHAdeMO som er til salgs i Europa og Nord Amerika (Wikipedia, 2023).

#### **4.2.6. CCS**

CCS, er forkortelse for Combined Charging System som betyr kombinert lading. Formålet bak CCS er å kombinere AC lading og DC hurtiglading i samme kontakt. Øvre del av kontakten er kontaktpunktene for AC-lading og de to nederste kontaktpunktene er for DC-hurtiglading (Figur 4). CCS har den høyeste ladehastigheten på opp mot 350 kW i dag. CCS ble foreslått av et tysk ingeniørforbund i 2011. Senere sluttet flere store bilmerker som Audi, BMW og Ford seg til ideen. I dag er hurtigladdestasjoner i Europa pålagt å ha CCS. CCS har SAE J1772 i Nord Amerika IEC-62196 i Europa.

### **5. Batteri**

#### **5.1. SoC**

State of Charge er termen som brukes om batteriets ladetilstand i forhold til den totale kapasiteten. Termen uttrykker forholdet mellom hvor mye energi batteriet har, og hvor mye energi batteriet totalt kan lagre i prosent. SOC kan bli målt i Ah, Coloumb eller kWh. Formålet med SOC er å gi opplysning om tilstanden til batteriet. Da kan opplading og utlading foregå på en trygg og effektiv måte, samt at batteriets levetid kan optimaliseres (Kularatna, 2015).

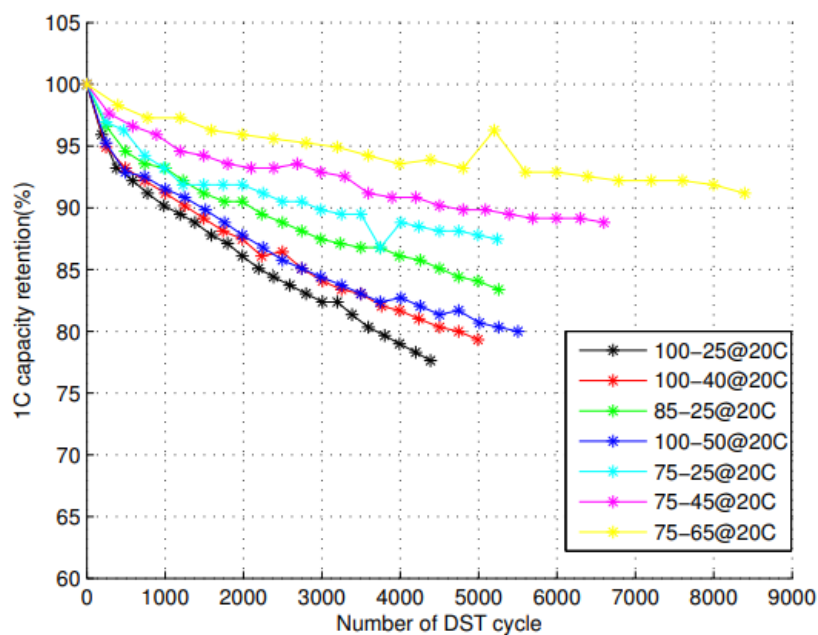
#### **5.2. Batteridegradering**

Litium-ion-batterier forringes over tid og dette påvirker ytelsen og rekkevidden til elbilen. Det er to former for batteri-degradering: Kalenderdegradering og Syklusdegradering. Følgene av

degraderingen er: energikapasitetsreduksjon og kraftreduksjon. Energitapasitetsreduksjon forringer rekkevidden. Kraftreduksjon forringer ytelsen. Energitapasitetsreduksjon kan legge begrensninger på V2G tjenesten elbilen kan levere.

Kalenderdegradering er nedbrytning som forekommer over tid. SoC og forskjellige temperaturer har stor påvirkning. Som funnet i Keil et al. (2016), er degraderingen lavest og tilnærmet lik for SoC-verdier mellom 20 % og 90 %. Grovt sett kan man si at degraderingen er høyest for SoC i det nederste sjiktet på 10 % eller mindre og for SoC i det øverste sjiktet på 90 % eller mer. Høyere temperatur vil helhetlig føre til mer degradering og SoC-områdene som kan anses å være stabile, minker.

Syklusdegradering er degradering basert på bruk. Når batteriet lades opp eller blir utladet, reduseres energikapasiteten til batteriet og kraften det kan levere. Under testing har SoC før og etter bruk vist seg å være avgjørende for hvor kraftig degraderingen blir (Audi, u.å.).

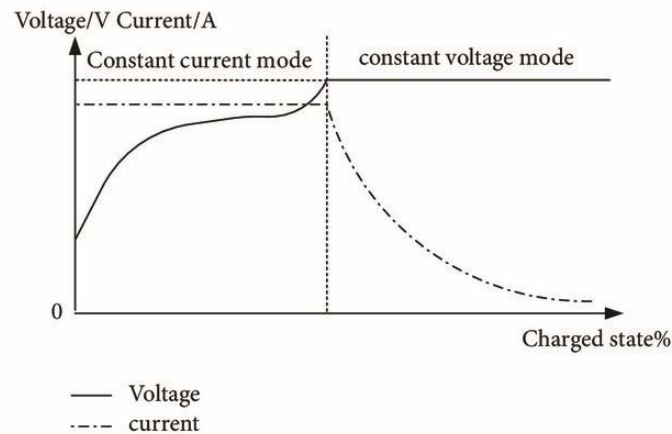


Figur 5 Omfang batteridegradering med forskjellige parametere, Data hentet fra (Xu et al., 2016)

Figur 5 viser batteridegradering ved 20 °C og for sykluser med forskjellige SoC parametere. Vi ser at ladesykluser på 75 - 65 SoC gjør at batterikapasiteten holder seg innenfor 90 % selv etter 8000 sykluser. På den annen side har batterikapasiteten minnet med over 20 % allerede etter 4000 sykluser for SoC mellom 100 – 25 % (Xu et al., 2016).

### 5.3. Ladeprofil

Batteriet blir enten ladet med konstant strøm eller konstant spenning. Batteriets SoC tolkes av batterihåndteringssystemet og hvilken spenning batteriet bør lades med bestemmes ut fra det (Tao et al., 2019).



Figur 6 Grafisk fremstilling ladeprofilen elbilbatteri fra 0 % SoC – 100 % SoC, (Tao et al., 2019)

Konstant strøm:

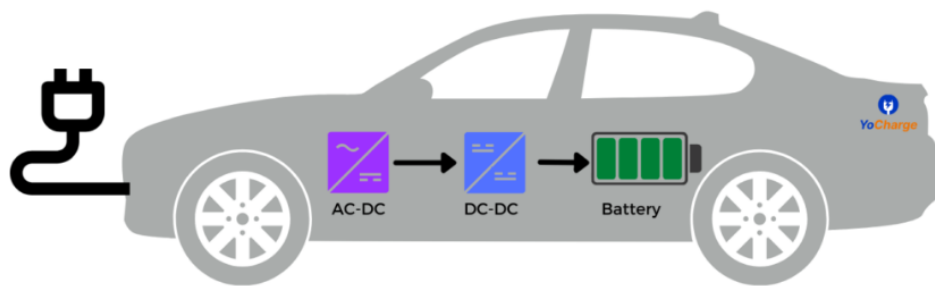
Spenningen øker gradvis slik at batteriet lades opp ved konstant strøm. Dette sikrer at oppladingen verken foregår for sakte eller for fort slik at batteriet ikke får unødig slitasje eller skade (Tao et al., 2019).

Konstant spenning:

Når batteriet har en tilnærmet lik spenning fordelt over hele batteriet, går ladingen over i konstant spenning. Hensikten er å kontrollere den siste fasen i oppladingen og unngå skade som følge av overlading. På figur y kan vi se hvordan strømmen avtar når SoC nærmer seg 100 % (Tao et al., 2019).

## 6. Ombordladere

Ombordladeren har som oppgave å kontrollere strømføringen mellom nettet og batteriet til elbiler, samt å omforme AC til DC som kan brukes til å lade batteriet. Ombordladeren er lagd for å omdanne strømmen fra det lokale strømnettet. I Norge kan det enten være TN-nett eller IT-nett. Litt forenklet kan man si at ombordladeren tar AC fra nettet og gjør den om til DC. Deretter økes eller senkes spenningsnivået slik at batteriet får riktig DC.

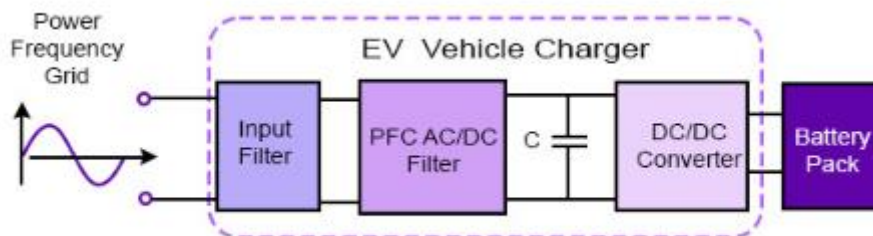


Figur 7 Stegene i prosessen med omforming av AC, (Johnson, 2022)

Ombordladere er en utbredt teknologi og man finner dem for flere applikasjoner enn for elbiler:

- Hybridbiler for lading av batteriet under kjøring
- Flere applikasjoner i industrien som for eksempel gaffeltruck
- Fritidsbåter har ombordlader for lading av batteriet når båten er fortøyd
- Batterilagring ved overskuddsproduksjon fra fornybar energi

Elbilombordladere har strengere krav til plass, vekt og effekt enn andre applikasjoner. Strømmen som leveres til batteriet må ha høy kvalitet samtidig som plassen og vekten ikke skal gå utover ytelsen til bilen. Elbilombordladeren består av flere deler og systemer. Batterihåndteringssystemet overvåker alle leddene i prosessen. AC filtreres før den omgjøres til DC. DC skal være helt jevn før spenningen økes eller senkes. I prosessen med å øke eller senke spenningen, transformeres strømmen. Denne utvekslingen krever isolasjon for å ikke utgjøre en fare for omgivelsene. Elbilombordladere har vanligvis galvanisk isolasjon.



Figur 8 Ombordladeres forskjellige deler med oppgaver, (PE, 2023)

Hvor mye effekt en ombordlader kan levere avhenger av om den er dimensjonert for 1-fase eller 3-fase. Er den dimensjonert for 1-fase, er maksimal effekt 7,4 kW og den kan ta



spenning mellom 110 og 260 V AC. 3-fase ombordlader kan gi høyere effekt enn 22 kW i dag og kan ta 360 – 440 V AC (Johnson, 2022). Strømnettet legger begrensinger på hvor raskt en ombordlader kan lade batteriet. For eksempel hvis ombordladeren har 22 kW kapasitet, men er koblet til 3-fase 230 V nett, kan den maksimalt lade ved 11 kW. En 3-fase ombordlader 22 kW må være koblet til minimum 400 V 3-fase nett for å kunne trekke 22 kW effekt. Nedenfor presenteres de forskjellige effektnivåene for lading av elbiler.

Tabell 2 Sammenheng effektnivåer hos ombordladere, (Turksoy et al., 2018)

<b>Effektnivåtyper</b>	<b>Nivå 1</b>	<b>Nivå 2</b>	<b>Nivå 3</b>
<b>Nettspenning USA eller Europa</b>	120 VAC (US) 230 VAC (EU)	240 VAC (US) 400 VAC (EU)	208-600 VAC eller VDC
<b>Effekt-intervall</b>	≤ 3.7 kW	3.7-22 kW	> 50 kW
<b>Omtrentlig maksimal ladetid</b>	11-36 timer	1-6 timer	0.2-1 timer
<b>Type lader</b>	Ombordlader	Ombordlader	Hurtiglader
<b>Nettforsyningstype</b>	1-fase	1-fase or 3-fase	3-fase
<b>Type lading</b>	Sakte	Semi-hurtig	Hurtig
<b>Batterikapasitet</b>	15-50 kW	15-50 kW	15-50 kW

## 6.1. Kommunikasjon mellom ombordlader og vegglader

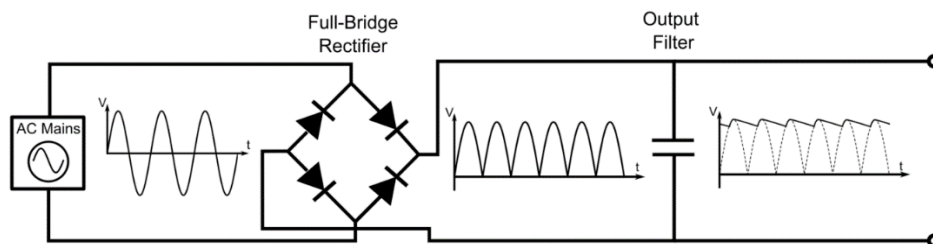
Batterihåndteringssystemet kommuniserer med ladeutstyret utenfor bilen slik at batteriets SoC blir tolket korrekt. Kommunikasjonen forgår gjennom en såkalt «pilot wire» som kobler kommunikasjonssystemene sammen (Dhage, 2022). Ladeutstyret utenfor bilen samarbeider med ombordladeren og forteller hvor mye AC den faktisk kan trekke. Dette er en viktig sikkerhetsmekanisme, da høyere strøm enn det ledningen er dimensjonert for kan føre til varmgang og brann.

## 6.2. EMI filter (elektromagnetisk interferens)

EMI filtrerer ut høyfrekvent støy fra nettet. AC mottatt kan sjekkes mot referanseverdier. Filteret er konstruert slik at AC med høyere frekvens enn referansen ikke får passere (Astrodyne, u.å.). AC som filtreres ut jordes slik at den ikke kan forårsaker forstyrrelser eller skade. Jording er en betegnelse på at strøm sendes til bakken (Fjordkraft, 2021).

## 6.3. Likeretting og glatting

Likeretting er en betegnelse på omgjøring av AC til DC. Helbølge likeretter brukes vanligvis i elbil-ombordladere (Cheow, 2020). Helbølge-likerettere sørger for at både den positive og negative delen av sinusbølgen går med til å danne DC (Figur 8). Konstruksjonen kan forenklet forklares ved 4 sammenkoblede dioder. Diodene er konfigurert slik at AC blir tvunget til å gå i en retning. DC-strømmen vi får ut er såkalt pulserende DC (Hudson, 2022). Bildet under er skjematisk fremstillingen av kretsen med AC-input og DC-output.

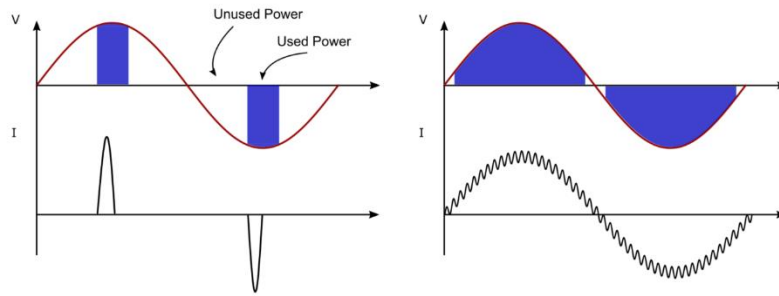


Figur 9 AC-input blir omformet til DC gjennom en helbro likeretter (2 og 2 dioder parallelt), (Hudson, 2022)

Varierende DC-spenning er ikke ønskelig. En kondensator parallell-kobles for å jevne ut pulsene. Kondensatoren lades opp når spenningen i kretsen er høy og utlader når spenningen synker. Dette glatter ut variasjonene. Vi kan se at bølgene flater ut, men at det fortsatt er små variasjoner. Dette kalles ripple-spenning. Spenningen blir derfor ikke helt konstant, men holder seg innenfor en akseptabel grense.

## 6.4. Effektfaktorkorreksjon

Strømmen og spenningen er ikke i fase når den likerettes, derfor vil elementer som induktorer, transistorer og en andre dioder tilføres kretsen i likeretteren. Dette kalles effektfaktorkorreksjon. Korreksjonen sørger for at nesten all AC mottatt fra nettet blir utnyttet.

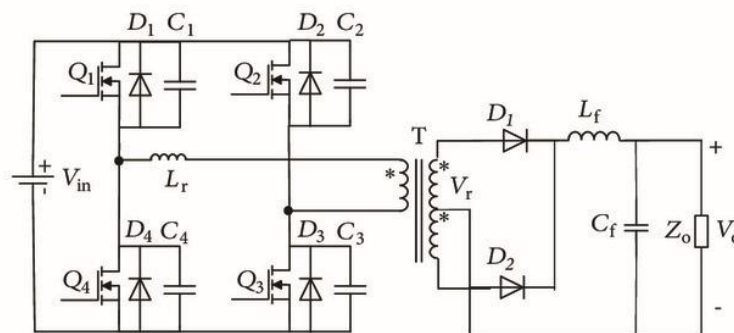


Figur 10 Ingen effektfaktorkorreksjon venstre, med effektfaktorkorreksjon høyre (Hudson, 2022)

Som utpekt av Tao et al. (2019), oppnår likerettere 98 % effektivitet, derfor er mye av forskningen på elbilombordladere rettet mot løsninger for opp og nedreguleringen av spenningen.

## 6.5. DC-DC omforming

Omformeren senker vanligvis spenningen på DC mottatt (Cheow, 2020). Spenningen på strømmen til batteriet kan være fra 400 V til 1000 V, så likerettingen kan øke spenningen på mottatt AC betraktelig (Dhage, 2022). En vanlig teknisk løsning i dag er en såkalt «isolert helbro DC-DC omformer». Bilde x er et eksempel på en slik type krets.



Figur 11 Tradisjonell Zero-Voltage Hel-bro DC/DC omformer, (Tao et al., 2019)

(Bilde x: Tradisjonell Zero-Voltage Full-Bridge DC/DC Converter, (Tao et al., 2019))

Omformeren fungerer ved at en batterihåndteringssystemet sjekker spenningen med en referansespenning. Vi kan se at første del av kretsen har 5 elementer. Fire brytere (Q1D1C1 – Q4D4C4) og en induktor ( $L_r$ ). Bryterne skrur seg av og på i par og DC blir omgjort til AC, men da i form av pulser med konstant spenning. AC transformeres til rett spenning for batteriet via transformatoren (T). Når strøm med høy spenning utveksles på denne måten, er det behov for isolering slik at farlige lekkasjer ikke oppstår (Al et al., 2011). Siste del av

kretsen ligner på likeretteren, men kretsen på bilde x har 2 dioder istedenfor 4. AC-pulsene likerettes, gattes og gjennomgår effektfaktorkorreksjon akkurat som under likerettingen. De samme elementene kan forventes i denne delen av kretsen som hos likeretteren.

## **7. Toveis-ladere**

Det er 3 måter å lade en batteribasert elektrisk bil på. Av disse 3 metodene er bytte av batteri kanskje den minst kjente og minst anvendbare teknologien i dag. Induktiv lading går ut på å lade batteriet gjennom magnetisk induksjon. Da er det ikke kontakt mellom bil og ladeutstyr. Denne metoden er kjent i forskningslitteraturen og en anvendbar teknologi i dag, men er i svært liten grad er utbredt. Den dominerende formen for lading i dag er såkalt stikkontakt-lading eller lading via nivå 2 vegglader. Dette er formen for foregår gjennom en kabel som kobler elbilen opp mot enten strømmettet direkte eller via en hurtiglader (Baraniak & Starzyński, 2019).

Toveis-lading kan foregå på samme måte som for elbillading via kabel. Toveis-laderen kan enten være en vegglader eller en ombordlader med toveis-funksjonaliteten. Dersom det er en toveis-veggader, er laderen nødt til å ha alle komponentene for konverteringen av AC og konverteringen av DC. Årsaken til dette er at strømmen kommer fra strømmettet hvor strømmen er AC og batterier trenger DC for at batteriet skal lades. Når strømmen skal leveres ut fra batteriet, må ladere konvertere DC til AC for at strømmen skal kunne tas opp på nettet. Flere forskningsartikler har utforsket løsninger for toveis-veggadere (Chaurasiya & Singh, 2019; Kumar et al., 2014; Verma & Singh, 2017). Dersom det er en toveis ombordlader, er laderen nødt til å ha alle komponentene for konvertering inne i bilen og spesielle krav til ladeutstyret utenfor bilen er ikke kjent. Flere forskningsartikler har utforsket løsninger for toveis ombordladere (Sahinler & Poyrazoglu, 2020; Verma & Singh, 2017; Yuan et al., 2021). Siden toveis ombordladere i svært liten grad er utbredt i dag, vil jeg ikke drøfte denne teknologien videre i denne oppgaven.

### **7.1. Teknisk løsning toveis vegglader**

Toveis vegglader er et system som fasiliterer for toveis kommunikasjon og toveis kraftoverføring mellom elbil og strømmettet. Når laderen leverer strøm, leverer den via DC-porten til bilen. Når elbilen leverer strøm til nettet, mottar den DC fra elbilbatteriet og inverterer denne strømmen til AC med strømmettets spesifikke krav. For sikker flyt av strøm trengs det kommunikasjonsprotokoller som bestemmer lading/utlading, samt at det er behov

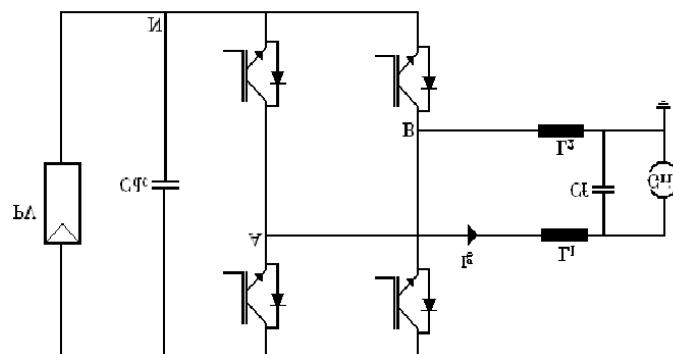
for et system for kommunikasjon med Aggregator som koordinerer V2G tjenesten med strømmettet.

De tekniske løsningene hos toveis veggladere kan ha mye til felles med ombordladere, da konverteringen av AC kan forventes å foregå på samme måte. Siden laderen skal levere strøm på nettet har den i tillegg en vekselretter (Pearre, 2019; Svarc, 2023).

Hvilke tekniske løsninger som vanligvis benyttes for vekselretting hos toveis ladere er vanskelig å fastsette. Toveis ladere ute på markedet oppgir lite informasjon om ladernes sammensetning. Vi kan likevel gjøre antagelser om sammensetningen ut fra informasjonen tilgjengelig om hylleklare toveis-vegladere i dag. En wallbox quasar leverer 7,4 kW effekt, bruker 1-fase og tar spenning fra batterier mellom 150 – 500 V. Ut fra disse opplysningene er det nærliggende å tro at streng-vekselretter for solcelleapplikasjoner er vekselretter-teknologien man kan finne igjen hos toveis-vegladere.

## 7.2. Vekselretter

Hel-bro streng-vekselretter uten transformator er en utbredt vekselretter blant solcellesystemer. Det er forskjellige typer hel-bro konfigurasjoner, men en utbredt type er H4 som betyr at den har 4 brytere.



Figur 12 Hel-bro streng-vekselretter uten transformator, (Kouro et al., 2015)

Den tekniske løsningen på figur x er en H4 løsning og har 2 kondensatorer, 2 induktorer og en diode i tillegg til de 4 bryterne. En av fordelene med H-bro er at det ikke er behov for transformator. H-bru konfigurasjoner er 1-fase, kan ta DC opp mot 900 V, levere opp mot 8 kW AC ut på nettet og invertere strømmen med 97 % effektivitet (Kouro et al., 2015; Zeb et al., 2018).

Vekselretteren har et kontrollsystem som sjekker spenningen og strømmen opp mot referansespenning og referansestrøm. Referanse-dataen er strømmnettets verdier. Differansen bestemmer hvilken sekvens portene skal skru seg av og på for å generere den påkrevde vekselspenningen og strømmen. Glatting og filtrering sørger til slutt for å fjerne eventuelle høyfrekvent støy og uønskede spenningstopper før strømmen overføres til nettet (Kouro et al., 2015; Ravikumar et al., 2014; Zeb et al., 2018).

## 8. Faktorer som påvirker utbredelse av V2G

V2G har potensialet til å være en bidragsyter til energiløsninger som går på lagring av fornybar energi og regulering av nett. For elbileiere kan V2G gi ekstra inntekt ved lavere strømmregning og salg av energi. Det er derimot ikke opplagt at V2G skal bli akseptert hos forbrukerne. Årsakene til det er sammensatte og sammenkoblede. En studie av Noel et al. (2019) utforsker de antatte barrierene for V2G i Skandinavia ved å intervjuer eksperter.

Tabell 3 Faktorer for utbredelse av V2G som går igjen i forskningslitteratur

<b>Kommunikasjon mellom elbil og grid</b>	Integrering av V2G forutsetter kommunikasjonsprotokoller mellom elbil og grid.
<b>Batteridegradering</b>	Degraderingen kan føre til forkortet levetid og økonomisk tap.
<b>Investeringskostnad</b>	Teknologien er mye dyrere sammenlignet med lignende teknologier.
<b>Konkurrerende former for energilagring og balanseregulering</b>	Norden har vannkraftverk som gjør V2G overflødig.
<b>Holdninger og forståelse</b>	V2G tilfører kompleksitet til et forhold som for mange forbrukere er ukomplisert. Flere ønsker et ukomplisert forhold til bilen og kjøring. For personer kan V2G virke komplisert eller uoverkommelig.
<b>Diversifisering og elbilsalg</b>	Muligheten til å bruke elbiler i balanseregulering forutsetter omfattende salg

---

av elbiler på markeder lokalt og i hele verden.

---

**Ladestandarder**

Utvikling av toveis vegggladere med CCS er en forutsetning for at V2G kan være et alternativ i fremtiden.



---

## 8.1. Kostnad V2G

### 8.1.1. Kostnad kraftkomponenter

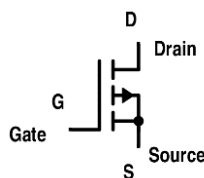
Vi har sett på ombordladere og toveis vegggladere. Sammensetningen til ombordladere er beskrevet ut fra de vanligste kjente tekniske løsningene som er i bruk. Toveis vegggladere kan bestå av deler man finner igjen hos ombordladere og deler for vekselretting hos solceller. Deler for filtrering, kommunikasjon, isolering, samt dekselet/kledningen, kan antas å koste tilnærmet det samme hos begge teknologier. De største kostnadsdriverne kan være komponentene kraftelektronikken består av. Komponenter vi har sett på er: Dioder, Transistorer, Kondensatorer, Induktorer og Transformatorer (Tabell 4). Sammensetningen, antallet og størrelsen på disse avgjør material-siden av kostnaden til kraftelektronikk. Siden toveis vegggladere antagelig har flere komponenter enn ombordladere, er dette alene en av årsakene til at vegggladere er dyrere, da den er mer sammensatt enn ombordladere.

*Tabell 4 Komponenter i kraftelektronikk, figurer og bilder er hentet fra åpne kilder på nett og er ikke beskyttet av opphavsrett*

Element	Symbol	Bilde
<b>Diode</b>		

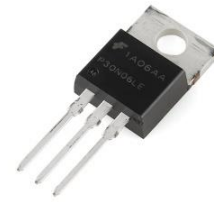
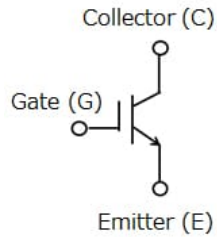
**Transistortyper:**

**MOSFET**



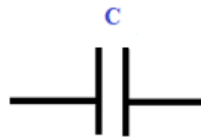
---

## IGBT



---

## Kondensator



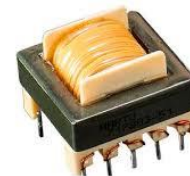
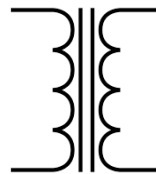
---

## Induktor



---

## Transformator



---

En studie viser sammenhengen mellom kostnaden og komponentene til en 100 kW konverter i el-transport (Konverter kan være en fellesbetegnelse for kraftelektronikk med likeretter eller vekselretter). I studien undersøkes det hvordan kostnaden forandrer seg med produksjonsvolumet. Interessant nok fant undersøkelsen ut at material-siden av kostnaden utgjorde mindre enn 1/3 av kostnaden når en ny 100 kW konverter ble produsert. Når produksjonsvolumet økte, utgjorde andelen etter hvert 2/3. Dette viser at en betydelig del av læringspotensialet ligger i selve teknikken og ikke i selve materialene, selv om materialene alltid vil utgjøre en betydelig del av kostnaden (Domingues-Olavarria et al., 2017).



### 8.1.2. Kommersielle Toveis Veggladere

Toveis veggladere blir ofte omtalt som toveis ladere. Foreløpig er det toveis veggladere som gjør det mulig med toveis-kraftoverføring mellom elbil og strømmettet. Alternativer til toveis-vegggladere er enten under utvikling eller ikke blitt oppfunnet enda. Laderen trenger et kommunikasjonsgrensesnitt for kommunikasjon mellom lader og batteri. ISO 15118 er en foreslått standard for toveis vegggladere. Det er uklart om toveis vegggladere har denne standarden, da det ikke er opplysninger tilgjengelig. Løsningene som eksisterer, er særegne for bilmodell og lader (Svarc, 2023). Toveis vegggladere utviklet for forskningsprosjekter eller kommersielt salg, har CHAdeMO i dag, men ladere med CCS er under utvikling.

#### *Wallbox Quasar*

Wallbox som er selskapet bak Quasar, ble stiftet i 2015 og i 2019 ble Quasar utgitt. Quasar er en DC lader for hjemmebruk og monteres på veggen. DC-standarden er den japanske CHAdeMO. Quasar kan bare brukes med nyere modeller Nissan Leaf og av Mitsubishi Outlander PHEV (Svarc, 2023).

Tabell 5 Spesifikasjoner Wallbox Quasar, (Wallbox, u.å.-b)

<b>Maksimal effekt begge veier (1-fase)</b>	7,4 kW
<b>Spenning DC</b>	150 V – 500 V
<b>Strøm (konstant etter konfigurasjon)</b>	6 A – 32 A
<b>Pris (med kabel antatt, uten installasjonskostnader)</b>	40 000 – 80 000 NOK (Carplug, u.å.; Svarc, 2023)

#### *Indra*

Selskapet Indra utviklet en lader for bruk i Sciurus-prosjektet (Indra V2G charger) i Storbritannia. Til sammen ble 320 ladere utplassert rundt omkring i Storbritannia. Formålet med prosjektet var bl.a. å undersøke lønnsomheten til privat bruk av V2G. Laderen er CE sertifisert dvs. at den kan bli solgt i EU (CENEX, 2021). Laderen har CHAdeMO kontakt. Selv om produktet er CE sertifisert, er ikke produktet enda klart til kommersielt salg ifølge selskapet og nye prosjekter skal avsluttes i 2024 for datainnhenting og videre utvikling av produktet (Indra, u.å.).

Tabell 6 Spesifikasjoner Indra V2G lader, (CHAdeMO, u.å.)

<b>Maksimal effekt begge veier (1-fase)</b>	7,4 kW
<b>Spenning DC</b>	385 V – 400 V
<b>Strøm (konstant)</b>	15 A
<b>Pris</b>	Ingen data

### *Wallbox Quasar 2*

Wallbox annonserte I begynnelsen av 2022 at andre generasjon Quasar, var underveis. Som Quasar sin arvtager, vil Quasar 2 også ha V2G, men med utvidede funksjoner som V2H hvor evnen til å isolere husets grid fra strømmettet er nødvendig. I tillegg til å være kraftigere og ha flere funksjoner, vil den nye Quasar ha CCS standarden istedenfor CHAdeMO noe som vil gjøre den anvendelig for et større antall elbilmodeller forutsatt at disse får V2G.

Tabell 7 Spesifikasjoner Wallbox Quasar 2, (Wallbox, u.å.-a)

<b>Maksimal effekt begge veier (3-fase)</b>	11,5 kW
<b>Spenning DC (antatt)</b>	240 V
<b>Strøm (konstant)</b>	48 A
<b>Pris</b>	Ingen data

## **8.2. Eget batteristørrelse**

Studiene av hvordan V2G forårsaker batteridegradering hos elbiler, har gitt forskjellige resultater. Noen studier tilsier at batteriet kan bli kraftig degradert, andre studier viser til at batteriet kan få forbedret levetid (Guo et al., 2019).

Et funn, som utpekt av Pearre (2019), er at elbiler med store batterier og toveis-ladere med lav effekt relativt til bilens batteri, vil komme bedre ut sammenlignet med elbiler med mindre batterier uavhengig av lasten. Årsaken til dette er at store elbiler vil ha høyere sannsynlighet for å holde seg innenfor gunstige SoC på 29 – 78 % av batterikapasiteten ved kjøring og V2G tjeneste (Uddin et al., 2017).

Et forskningsprosjekt i Danmark fant at 1/3 av batteridegraderingen til en 24 kWh Nissan e-NV200 skyldtes ladesykluser og resten skyldtes kalenderaldring. Forskningsprosjektet så på hvordan batteriet hos de enkelte bilene i prosjektet ble påvirket når de fungerte som primærreserver (lading/utlading for å holde frekvensen på nettet innenfor 49,9 – 50,1 Hz). Den daglige energiutvekslingen tilsvarte 51,3 kWh og laderen hadde kapasitet på 11 kW. Etter 5 år med daglig frekvensregulering og forbruk pga. kjøring på 6,2 kWh, var SoH redusert til 84,3 % (Thingvad et al., 2021).

En studie fra Nederland viser at batteristørrelsen bør være 53,7 kWh per elbil for at en bilpark på 1 mill. elbiler skal kunne yte et minimum av V2G-tjenester på dager der kjørelengden er på det høyest per bil i Flandern (Van Roy et al., 2011).

V2G tjenester kan forårsaker ulemper i form av begrenset rekkevidde ved kjøring, kortere levetid for batteriet og kortere kjørerekkevidde når batteriet eldes utover det som er normalt uten V2G. Ulempene kan bestemme hvilket minimum av batteristørrelser en kunde aksepterer for å være villig til å investere i V2G-teknologi og for å delta med V2G-tjenester.

### **8.3. Skepsis hos forbruker**

Holdninger mot V2G spriker i flere retninger og påvirkes av sammensatte og til dels kompliserte faktorer. Faktorer varierer på tvers av land og kontinenter og utgjør ikke en enhetlig kategori, selv om mange de samme faktorene går igjen. Tre gjenkjennelige faktorer for skepsis hos forbruker som flere artikler påpeker er rekkeviddeangst, batteridegradering og høye investeringskostnader (Guo et al., 2019; Pearre, 2019; Ravi & Aziz, 2022; Uddin et al., 2017; Van Roy et al., 2011).

#### **8.3.1. Faktorer Norden og Nederland**

Faktorer belyst av en studie foretatt i Norden, viste to hovedkategorier for skepsis til V2G hos forbrukerne: Skepsis til å tillatte tredjepart å kontrollere batteriet (Aggregator) og at V2G-

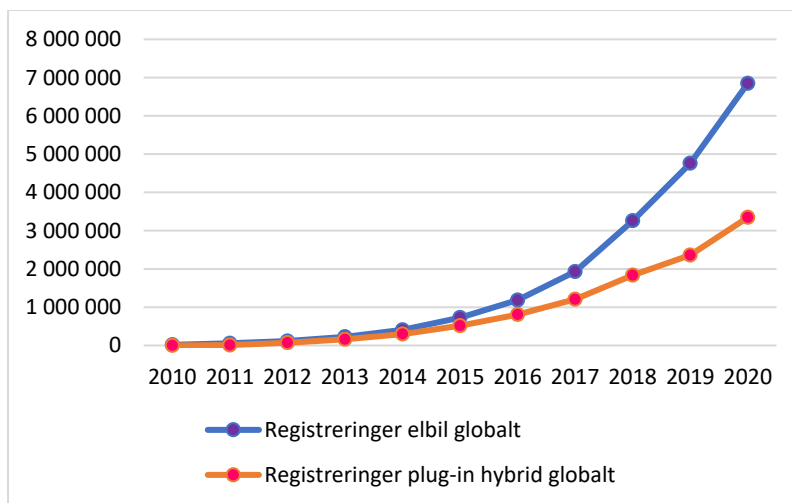
konseptet var for komplisert Noel et al. (2019). Studien ble foretatt ved å intervju flere eksperter på elbiler og kraftsystemet i den nordiske regionen. Bilen er for mange ansett som en av de få gjenværende autonome eiendelene i samfunnet i dag og tanken på å overlate kontrollen til en tredjepart vekker skepsis. Engstelse for batteridegradering var tett forbundet med ekstern kontroll av batteriet, da det er mistanke om ugunstige ladesykluser for batterilevetiden. For personer, kan forståelsen av hvordan V2G tjener forbrukeren og samfunnet virke komplisert og vanskelig å sette seg inn i. Markeder som balansemarkedet og frekvensregulering er særdeles kompliserte for nye aktører å ta effektivt del i (Noel et al., 2019).

Variasjon mellom forbrukergrupper med ulike preferanser kan ha en innvirkning på personers holdninger til V2G. Som identifisert av Chen et al. (2020) er kjønn og alder, faktorer som innvirker. Menn og yngre personer tenderer mot å ha en større interesse for teknologien. Andre faktorer med betydning for holdninger til V2G i fremtiden, er at tidligere eiere av elbiler viser større interesse for V2G og miljøbevissthet med mulighet for økonomisk fortjeneste kan virke forlokkende (Chen et al., 2020). En undersøkelse foretatt i Nederland viste at økonomisk kompensasjon ved deltakelse veide tyngst blant de intervjuede, og at en viss grad av egenkontroll og transparens i systemet, ville styrke positive holdninger ytterligere (Van Heuveln et al., 2021).

## **8.4. Utvikling og utbredelse av elbiler og plug-in hybrider**

### **8.4.1. Elbilsalg og plug-in hybrid salg globalt**

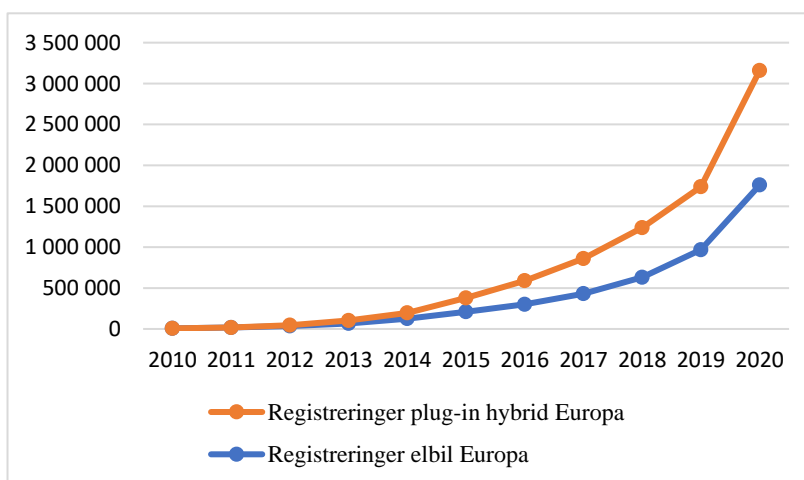
Fra 2010 til 2020 har den globale elbil- og plugin hybrid-bilparken gått fra 17 280 i 2010 til over 10 millioner i 2020 ifølge (IEA, 2022a). Dette tilsvarer ca. 1 % av alle verdens registrerte passasjerbiler. Andelen elbiler av nybilsalget globalt var 4,6 % i 2020. Andelen i Norge var på hele 75 % og utgjør den klart høyeste andelen i verden.



Figur 13 Nybilregistreringer av ladbare biler i verden, (IEA, 2022a)

### 8.4.2. Elbilsalg og plug-in hybrid salg Europa

Det europeiske markedet har solgt flest ladbare biler etter Kina (IEA, 2022a). Europa har kjøpt litt under halvparten så mange elbiler som Kina, men har kjøpt ca. 25 % flere plug-in hybrider totalt.



Figur 14 Nybilregistreringer av ladbare biler i Europa, (IEA, 2022a)

### 8.4.3. Elbilambisjoner store bilmerker

Flere store bilprodusenter har uttalte mål om å øke elbilandelene sine. Tabell 8 nedenfor gir en oversikt over de mest relevante produsentene og deres uttalte mål.

Tabell 8 Ambisjoner elbillandel av totalt salg hos store bilmerker fram mot 2035, (IEA, 2022c)

Bilmerke	Mål
Toyota	Selge 3,5 millioner elbiler årlig innen 2030

---

<b>Lexus</b>	100% elbilsalg salg innen 2035
<b>Volkswagen</b>	70 % salg av helelektriske biler i Europa
<b>Ford</b>	100 % helelektriske biler i Europa innen 2030
<b>Volvo</b>	Helelektrisk bilmerke innen 2030
<b>BMW</b>	50 % helelektrisk salg innen 2030
<b>Mercedes</b>	100 % alle nye modeller helelektrisk etter 2025
<b>Hyundai</b>	Selge 1,9 millioner elbiler årlig innen 2030
<b>Kia</b>	Selge 1,2 millioner elbiler årlig innen 2030

---

#### **8.4.4. Faktorer salgsøkning**

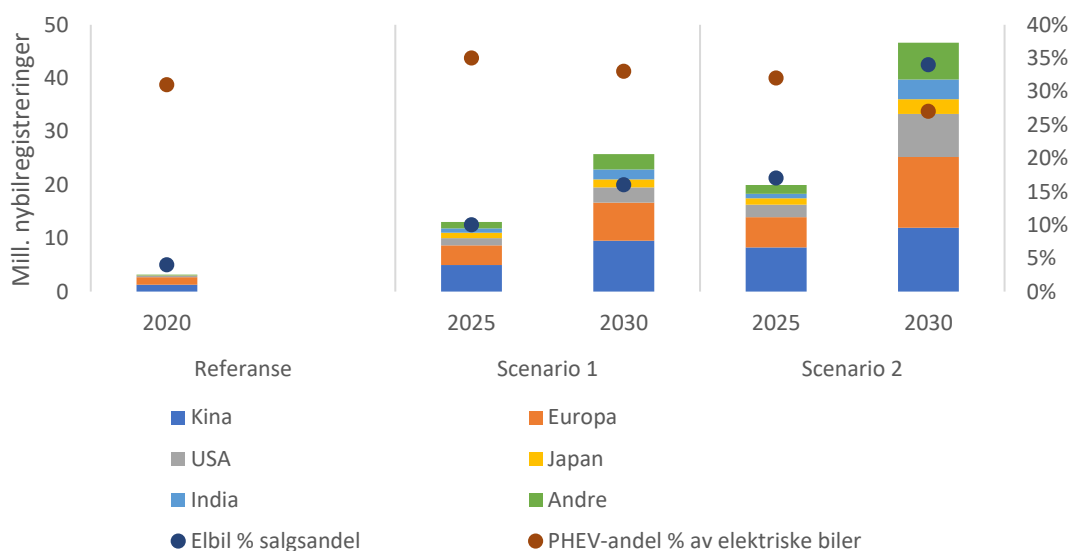
En drivende faktor bak økningen i elbil- og PHEV-salget er politisk støttede ordninger. I 2020 ble det innført flere slike ordninger for å stimulere elbilsalg og plug-in hybridbilsalg i flere store markeder. Disse tok ofte form av offentlige støtteordninger for kjøp (momsfritak f.eks.) og regulatoriske ordninger som avgifter på biler med høye utslipp. De store markedene i Europa, USA og Kina har allerede hatt slike ordninger lenge ifølge Gorner og Paoli (2021) og formålet har bl.a. vært å påvirke OEM (Original Equipment Manufacturer). Ved å påvirke OEMs, skulle produsenten diversifisere produksjonen sin slik at elbiler også ble prioritert (Gorner & Paoli, 2021)).

Andre drivende faktorer som også henger sammen med offentlig støtte, er utbyggingen av offentlig ladeinfrastruktur. Dette er viktig i byer der bileieren kun har tilgang til offentlige ladestasjoner, og det er viktig i forbindelse med rekkeviddeangst som beskrevet av (Brenna et al., 2020), hvor offentlig ladeinfrastruktur må ha samme funksjonalitet som bensinstasjoner (DC-hurtiglading) for at elbiler skal fortsette å ekspandere på verdensmarkedet.

#### **8.4.5. Fremtidig vekst**

Det ble brukt til sammen 120 mrd. USD på elektriske biler i 2020 og statlig støttede tiltak for å stimulere veksten utgjorde 14 mrd. USD. Veksten var sterkest i Europa mye pga. sterkere insentiver enn i andre markeder. Økningen i elbilsalget har vist seg å ikke være like avhengig av statlige tiltak de siste årene, da andelen statlig støtte i forhold til samlet omsetning har sunket. Dersom den samme utviklingen fortsetter med de eksisterende incentivene, kan vi

forvente en utvikling som vi ser i Scenario 1 i figur 14. Dersom veksten øker i tråd med hva bærekrafts-målet om CO<sub>2</sub>-utslipp krever, kan veksten se ut som Scenario 2.



Figur 15 To scenarier for forventet vekst av elbil og plug-in hybrid salget, (IEA, 2022b)

For at nybilregistreringer skal følge utviklingen i Scenario 2 kreves det styrkede incentiver for å kjøpe elbiler gjennom enda mer omfattende statlige ordninger enn det vi ser i dag, samt at flere land innfører ordninger (IEA, 2021).

## 8.5. Utvikling og utbredelse av hurtiglådestandarder

Toveis vegglader baserer seg på ladestandardene for hurtiglading fordi den kobles til DC-porten til elbiler. En forutsetning for at toveis vegglader skal bli en utbredt løsning for V2G blant forbrukere, er at veggladeren skal kunne anvendes på flere bilmodeller. I dag er det bare en lader til salgs på markedet og denne har CHAdeMO-standard, da Nissan og Mitsubishi var de første modellene til å ha V2G og at kommunikasjonsprotokollene for V2G er beregnet på CHAdeMO (Wikipedia, 2023).

### 8.5.1. Direktiver ladestandard offentlige ladestasjoner

AFID (Alternative Fuels Infrastructure Directive) 2019/94/EU slår fast at alle offentlige ladepunkter i Europa må mins være utstyrt med en CCS Type 2 kontakt for AC-lading og CCS Combo 2 kontakt for DC-hurtiglading. Dessuten, er trenden ifølge Europakommisjonen at flere og flere ladestasjoner bygges eksklusivt med CCS selv om ladestasjonene ofte også ble bygget med CHAdeMO, da ladestasjonene kan ha flere kontaktpunkter/standarder (EAFO,

u.å.). Frankrike gikk motstrøms og lagde et eget direktiv i 2021 som pålegger alle offentlige hurtigladdestasjoner å inkludere CHAdeMO innen utgangen av 2024, da flere franske elbilmodeller har/har hatt CHAdeMO (ECA, 2021). Dette direktivet ble senere samme år revidert, og myndighetene bestemte seg for å terminere direktivet å følge 2019/94/EU istedenfor (Electrive, 2021).

### 8.5.2. Elbiler med CHAdeMO og CCS 2

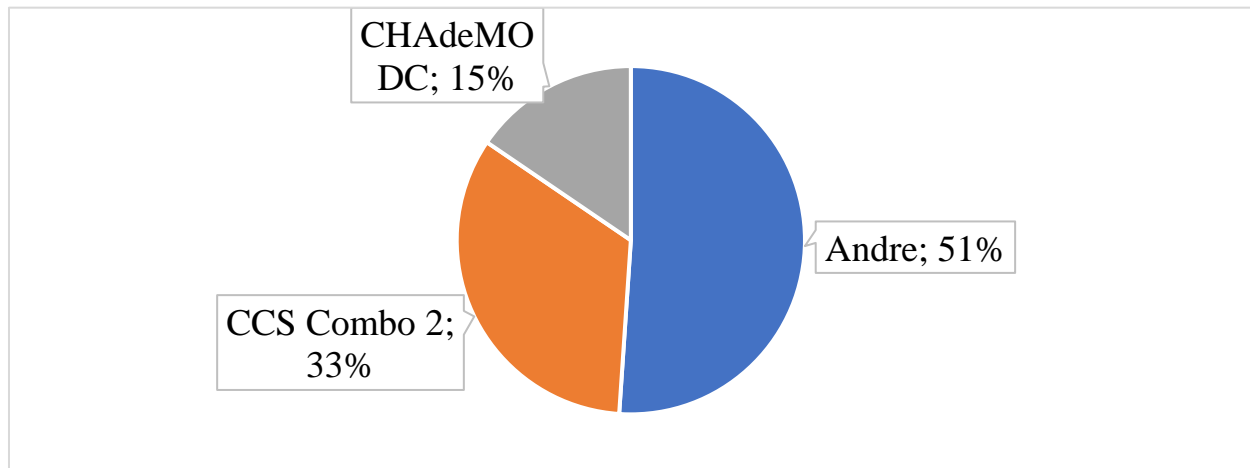
*Tabell 9 Elbiler som enten har hurtigladdestandarden CHAdeMO eller CCS 2, (Carsalesbase, u.å.-a; Carsalesbase, u.å.-b; Carsalesbase, u.å.-c; Carsalesbase, u.å.-d; Carsalesbase, u.å.-e; Carsalesbase, u.å.-f; Carsalesbase, u.å.-g; Carsalesbase, u.å.-h)*

CHAdeMO	CCS 2
Citroën Berlingo Electric	BMW i3
C-Zero	BMW iX3
Peugeot iOn	Fiat 500w
Mitsubishi Outlander PHEV	Mercedes EQC
Mitsubishi i-MiEV	Jaguar I-Pace
Nissan eNV-200	Audi E-Tron
Nissan Leaf	Volkswagen e-Golf
	Volkswagen ID.3
	Tesla Model 3
	Porsche Taycan

Leaf er den dominerende V2G-bilene med utbredelse på det europeiske markedet. Mitsubishi i-MiEV har også V2G funksjon, men denne er det færre av i Europa (212 tusen Leaf mot ca. 4 tusen i-MiEV). Mitsubishi Outlander PHEV har CHAdeMO og V2G og er derfor inkludert i utvalget, ellers er ikke plug-in hybrider inkludert. Renault Zoe som er den mest solgte elbilen i Europa mellom 2013-2021 (Rundt 340 tusen) og har Type 2 ladestandard. Combo 2 kommer som ekstrautstyr på nyere modeller. Kategorien «andre» representerer elbilmodeller som ikke



har eller kan ha DC-port, som er tilfellet med Zoe. Andelen biler med Combo 2 kan være mye høyere. Det forventes at flere elbiler kommer med Combo 2 i tiden fremover. Nedenfor illustreres andelen solgte modeller i diagram x.



Figur 16 Elbiler og plug-in hybridbiler enten med CHAdeMO, CCS Combo 2 eller ingen av delene, (Carsalesbase, u.å.-a; Carsalesbase, u.å.-b; Carsalesbase, u.å.-c; Carsalesbase, u.å.-d; Carsalesbase, u.å.-e; Carsalesbase, u.å.-f; Carsalesbase, u.å.-g; Carsalesbase, u.å.-h)

Under halvparten av de kjente bilmodellene med DC-port har CHAdeMO (15 % mot 33 %). Dette utgjør en betydelig andel i dag, men kan bli mindre betydelig når færre modeller har CHAdeMO og flere biler får CCS. Innen 2030 kan andelen CHAdeMO ha sunket til under 5 %, da modeller med CHAdeMO i dag fortsatt er på veien. CCS kan ha økt til over 50 når flere modeller kommer originalt med DC-port og modeller med CHAdeMO går over til CCS.

### 8.5.3. Toveis veggladere med CCS

CCS er den mest utbredte standarden. Nissan Leaf er en av få elbilmodeller som fortsatt har CHAdeMO og som er populær på de store markedene i USA og Europa. De samme markedene har stimulert utbredelsen av CCS ved direktiver, utbygging av offentlige ladestasjoner eksklusivt med CCS og krav om at elbilmodeller utstyres med CCS for det europeiske og amerikanske markedet.

V2G som fasiliteters gjennom veggladere, må ha CCS dersom V2G skal øke i omfang. I forbindelse med forskningsprosjekter gjennomført for implementering av V2G i samfunnet, har Nissan Leaf og toveis veggladere med CHAdeMO blitt anvendt i større grad. Forskning på CCS med V2G har også blitt gjennomført og mye tyder på at dette kommer (Jaman et al., 2022). Selskapet Wallbox har annonsert at deres nye toveis vegglader vil både være kraftigere og ha CCS (Wallbox, u.å.-a). Quasar har enda ikke blitt utgitt og det er usikkert når produktet

er klart. Selskapet har selv uttalt at de har målsetting om å kunne fungere med et bredt spekter av elbilmodeller med CCS.

## 9. Metode

I dette kapittelet presenteres framgangsmåten og metoden for å beregne toveis-laderens utviklingsløp. Scenarier for kostnadsutviklingen til toveis-veggladere etableres på bakgrunn av faktorene utforsket i forskningslitteratur og andre kilder. Ombordladeren hos elbiler benyttes som proxy-data for toveisladeren. Metoden for å finne ombordladerens læringsrate presenteres. Ombordladerens læringsrate blir videre anvendt på toveis-laderen hvor scenariene for utviklingsløpet bestemmer hva den fremtidige kostnaden kan være.

### 9.1. Litteraturstudie

Litteraturstudiet har blitt gjennomført ved å benytte Googles søkemotor og Google scholar. Jeg har gjennomgått artikler om ombordladere, toveis ladere, V2G-teknologier/bruksområder/potensial/barrierer, rapporter fra forskningsprosjekter, opplysningssider på nett, lærebøker og andre kilder. Basert på informasjonen tilegnet har jeg gjort antagelser og formulert scenarier.

### 9.2. Teknologilæring

En type korrelasjon mellom «input» og «output» i industrien kategoriseres som teknologilæring. Læringskurven er en kvantitativ beskrivelse av prosessen: Når et nytt produkt introduseres på markedet og salget øker, forbedres produktet pga. teknologisk fremgang, effektivisering innen produksjonsprosessen, oppskalering av produserte enheter og oppskalering av produksjonskapasiteten (Blok & Nieuwlaar, 2017). I mange tilfeller fører prosessen til gradvis reduksjon i kostnad per enhet.

Den vanligste modellen anvendt innen energiteknologi-litteraturen er den såkalte «one-factor learning curve» som også blir kalt «experience curve» (Rubin et al., 2015).

*Formel 1 Læringskurve*

$$C = C_0 \left( \frac{x}{x_0} \right)^{-E}$$

- $C$  kostnaden ved gitt tidspunkt
- $C_0$  kjent kostnad ved tidspunkt 0
- $x$  produksjonsantallet ved gitt tidspunkt
- $x_0$  produksjonsantallet ved tidspunkt 0
- $E$  kalles «experience index» som er raten kostnaden synker med

Når kumulativ produksjon doubles faller kostnaden med en fast prosent (Blok & Nieuwlaar, 2017).

*Formel 2 Progresjonsrate teknologilæring*

$$PR = \frac{C_0(2X)^{-E}}{C_0X^{-E}} = \frac{C_1P^{-E}}{C_1P^{-E}} \times 2^{-E} = 2^{-E}$$

*Formel 3 Læringsrate teknologilæring*

$$LR = 1 - 2^{-E}$$

$2^E$  kalles progresjonsraten og representerer prosentandelen den opprinnelige kostnaden er redusert med etter dobling av akkumulert produksjon. For eksempel vil en progresjonsrate på 80 % bety at kostnaden er 80% av den foregående verdien etter dobling. Learning Rate (LR) uttrykkes ved  $1 - 2^{-E}$  og forteller hva kostnaden prosentvis faller med for hver dobling. Ofte uttrykkes formel 1 logaritmisk, da den opprinnelige kostnaden ved første produserte enhet er ukjent (Rubin et al., 2015).

*Formel 4 Læringskurven logaritmisk*

$$\log C = \log C_0 - E \log \left( \frac{X}{X_0} \right)$$

Når produksjonsantallet er kjent, kan den logaritmiske funksjonen finne læringsraten ved å plugge inn kostnadene ved to forskjellige tidspunkt.

Innen energi-litteraturen, er det vanlig å basere akkumulert produksjon på akkumulert installert effekt (Rubin et al., 2015). Installert effekt representeres vanligvis som hvor mange Watt f.eks. alle solceller i USA kan yte. En lignende tilnærming vil jeg bruke. Ombordladerne

har forskjellige effektnivåer. Akkumulert produksjon basert på samlet effekt ombordladerne totalt kan yte, blir representert av variabelen X i formelen.

### 9.3. Kostnader Ombordlader

Et samarbeidsprosjekt i USA hvor United States Council for Automotive Research var en av partnerne, fremsatte i oktober 2017 bestemte utviklingsmål for ombordladeres kostnad per kilowatt i 2020 og 2025 (Drive, 2017).

Tabell 10 Konkrete mål United States Council for Automotive Research, (Drive, 2017)

År	2020	2025
Mål	50 \$/kW	35 \$/kW

Prosjekthaverne legger til grunn at omfattende R&D (forskning og utvikling) er nødvendig for å nå målene. Khaligh og D. Antonio (2019) går litt lenger og tolker målene som aggressive. De mener at det må forutsette kraftigere R&D for at målene skal bli realisert. Dersom målene blir nådd, betyr det at kostnaden i 2020 på 50 \$/kW må synke med 35 % dersom kostnaden i 2025 skal være 35 \$/kW (Har ikke funnet data om kostnaden i dag, derfor drøfter jeg hva som er realistisk ut fra anslagene fra 2017). Jeg legger til grunn at de forventer en tilsvarende reduksjon på 35 % mellom 2017, når rapporten ble utarbeidet og utgitt, og første mål i 2020. Siden 35 % reduksjon blir betegnet som «omfattende» og «aggressiv», antar jeg at 15 % er den virkelige kostnadsreduksjonen.

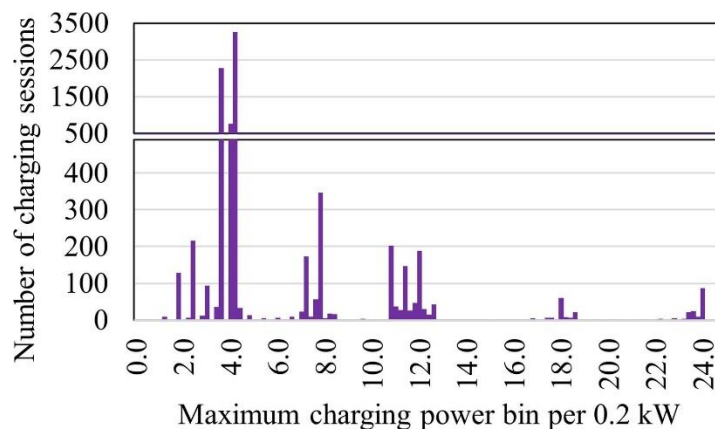
En artikkel fra 2018 gir en pris på mellom 500 – 3000 € for ombordladere, som tilsvarer ca. 550 – 3300 \$ i perioden 2017 – 2018 (Garcés Quílez et al., 2018). En annen artikkel fra 2021 gir et kostnadsanslag på 273 \$ for en 7,7 kW ombordlader til en Chevrolet Bolt (Liu et al., 2021). Dette er det laveste anslaget fra en såkalt «teardown rapport» fra 2017 som anslår en kostnad på mellom 273 – 598 dollar for ombordladeren (Hummel et al., 2017). Anslagene fra Garcés Quílez et al. (2018) og Hummel et al. (2017), leder meg til å tro at kostnaden for en typisk 7,7 kW ombordlader ligger i det øvre området foreslått i teardown rapporten på 600 \$.

## 9.4. Akkumulert installert effekt for ombordladere

En studie fra Finland presenterer data om de effektnivåene flest elbiler lader ved. Dataene er hentet fra to offentlige parkeringsplasser i Helsinki med AC-lading som støtter  $\leq 22$  kW. Dataen er fra perioden 1.11.2019 og 29.02.2020 (Simolin et al., 2021).

Tabell 11 Intervaller med effektnivåer personer lader ved og prosentandelen personer som har ladet innenfor intervallet, (Simolin et al., 2021)

Effekt	0 - 4.5 kW	4.5 – 10 kW	10 - 15 kW	15 - 25 kW
Andel	79.4 %	8.1 %	9.0 %	3.5 %



Figur 17 Grafisk framstilling av konkrete nivåer personer lader ved og tilhørende antall, (Simolin et al., 2021)

Jeg antar i det følgende at inndelingen er representativ for bilparken i Europa i perioden 2010 – 2022. Trenden er at ombordladere blir mer kompakte og kraftigere. Dette henger bl.a. sammen med at batteriene også blir større og mer kompakte, og raskere lading er derfor ønskelig. Jeg antar at denne effekten har vært liten frem til nå og vil først gjøre seg gjeldene senere i 2020-årene. Særlig fordi utbredelsen av elbiler først har vært betydelig de siste årene. Videre vil et antatt gjennomsnitt av intervallene i tabellen vektet med prosentandelen fra tabellen hvorpå årlig nybilregistreringer av elbiler ganges inn. Gjennomsnittet er anslåtte verdier, fordi rådataene ikke er tilgjengelig. Ut fra grafen kan man se at median blir unøyaktig når antallet er mye høyere innenfor deler av intervallet.

Den grafiske fremstillingen tyder på at gjennomsnittet fra intervallene er på 3,6, 7,5, 11 og 20 kW.

Formel 5 Akkumulert installert effekt hos ombordladere

$$x = \text{Nybilregistreringer Europa} \times (3,6 \times 0.794 + 7.5 \times 0.081 + 11 \times 0.09 + 20 \times 0.035 + 23)$$

## 9.5. Antagelser om utbredelsen av toveis veggladere

### 9.5.1. Batteristørrelse

Batteridegradering utgjør en barriere for implementering av V2G. Rekkeviddeangst og økonomiske forhold kan være et hinder for aksept av V2G blant forbrukere. Som tidligere diskutert, kan et minimumskrav på 40 kWh eller mer i batteristørrelse være nødvendig for at forbruker skal akseptere V2G-tjenester med egen bil. Batteristørrelse på 40 kWh er ifølge Octopusev (2022) den gjennomsnittlige batteristørrelsen blant elbiler i dag. Variasjonene er store, men trenden mot større batterier tyder på at gjennomsnittet vil bli høyere fremover. Basert på en antagelse om at andelen elbiler med 40 kWh eller mindre batteristørrelse utgjør 40 % av den totale elbilparken, betyr det at 60 % av alle elbiler har en batteristørrelse som gjør eierne potensielt villige til å ta del i V2G-tjenester.

Tabell 12 Antatt økning andel elbiler med batteristørrelse over 40 kWh

År	2020	2025	2030
% ≥ 40 kWh	60 %	65 %	70 %

### 9.5.2. Elbilmodeller med V2G

Hovedvekten av elbilmodeller med V2G i dag er modeller fra japanske bilmerker som har CHAdeMO. Med det europeiske utvalget til grunn, utgjør dette omtrent 15 % av den totale bilparken i verden. Det er varslet at modeller med CCS 2 får V2G-funksjonen i tiden som kommer. Med det europeiske utvalget til grunn, utgjør dette 33 % av den totale elbilparken. Basert på en antagelse om at modeller med CCS 2 starter med like stor andel V2G-biler som CHAdeMO har, foreslås følgende utvikling:

Tabell 13 Antatt økning andel elbiler og plug-in hybrider med V2G

År	2020	2025	2030
CHAdeMO	15 %	10 %	5 %

<b>CCS 2</b>	0 %	15 %	60 %
<b>Totalt</b>	15 %	25 %	65 %

### 9.5.3. Forbrukeres holdninger

V2G er for mange et ukjent konsept og kan virke både ulønnsomt og komplisert. Ettersom forskning på området avdekker potensielle fordeler for samfunnet og individer, kan den offentlige diskusjonen og evt. kampanjer bevisstgjøre forbrukeren på en positiv måte. Innad i befolkningsgrupper vil det være individer med forskjellige holdninger og preferanser. Der holdningene er positive, samt at kjøpekraften er stor, kan forbrukeren være villige til å ta den økonomiske risikoen ved investere i en toveis vegglader i startfasen når laderen fortsatt er dyr i sammenligning med beslektede teknologier. Etter hvert når elbilbatterier blir større og elbiler får bedre ytelse, samt at nye generasjoner med preferanser for miljøvennlige løsninger får kjøpekraft, kan andelen villige til å investere i en toveis vegglader øke. Med de identifiserte drivende faktorene for at privatpersoner skal være villig til å gå til innkjøp av toveis ladere anslås følgende utvikling:

Tabell 14 Antatt økning andel toveis veggladere

År	2020	2025	2030
<b>% andel biler med V2G kjøper toveis lader</b>	20 %	40 %	80 %

### 9.5.4. Globalt salg av elbiler

Scenariene for den globale veksten av elbiler bygger på forutsetningen om at insentivene som eksisterer fortsetter som før eller at insentivene styrkes (IEA, 2022b).

Tabell 15 Data i tall fra figur 14 s.

VERDEN	2025	2030
--------	------	------

<b>SCENARIO 1</b>	13,04 mill.	25,76 mill.
<b>SCENARIO 2</b>	19,98 mill.	46,64 mill.

De samme scenariene blir brukt som grunnlag for to potensielle utviklingsbaner for toveis veggladere.

## 9.6. Formel og utregning toveis vegglader

### 9.6.1. Salgstall toveis veggladere

Antatte salgstall for toveis veggladere regnes ut på bakgrunn av antagelsene i forrige delkapittel.

*Formel 6 Antall toveis veggladere solgt*

$$X = A_0 \times Q_0 \times S_0 \times Z_0$$

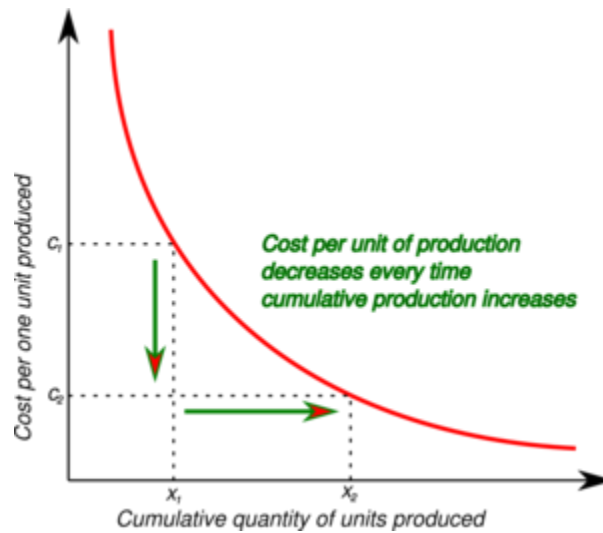
- X antall ladere solgt
- $A_0$  batteristørrelse 40 kWh eller mer i år 0
- $Q_0$  elbiler med V2G i år 0
- $S_0$  elbileiere med V2G biler villig til å investere
- $Z_0$  scenarier globalt elbilsalg (variabel)

Variablene følger årene 2025 og 2030. Variabelen A er 70 % i år 2030 som vi kan se av tabell 12. Kostnaden i 2020 er kjent.

### 9.6.2. Kostnadsutvikling toveis veggladere

Veggladerens kostnadsutvikling beregnes på bakgrunn av Formel 1. Kostnaden i 2020 er henholdsvis  $C_0$  og baseres på den kjente kostnaden til Wallbox Quasar på dette tidspunktet.  $X$  og  $X_0$  er henholdsvis akkumulert produksjon av lader i 2025/2030 og 2020. Videre tas erfaringsindeksen fra utregningen av ombordladeres læringsrate i bruk for å beregne kostnaden i 2025 og 2030.





Figur 18 Læringskurven visualisert, (CEO, u.å.)

Kostnadsreduksjonen forventes å følge et mønster som i figur 18. Den sterkeste læringen forekommer i starten da doblingene i akkumulert produksjon forekommer tettere.

## 10. Resultater

### 10.1. Læringsrate ombordlader

Tabell 16 Konkrete tall brukt i utregningen av LR basert på drøftelsene i 9.3.

<b>År</b>	2017	2020
<b>Kostnad</b>	77,66 \$/kW	66 \$/kW
<b>Akkumulert installert effekt</b>	11,26 MW	40 MW

Tabell 17 Resultater teknologilæring ombordladere

<b>Læringsrate (LR)</b>	<b>Progresjonsrate (PR)</b>	<b>Erfaringsindeks (E)</b>
9 %	1,09	13 %

Resultatet av utregningen gir en LR på 9 %. At LR kan være på rundt 9 % støttes av at den største faktoren bak kostnadsreduksjon hos elbiler kommer av fall i batterikostnaden. Som påpekt i Safari (2018), kan LI-batteriet være ansvarlig for rundt 37 % av kostnaden til elbiler. Læringsraten for ombordladere bør derfor ligge godt under læringsrate for elbilbatterier. Som påpekt av Soulopoulos (2017), er typisk læringsrate for elbiler 19 %.

## 10.2. Kostnad toveis vegglader

Potensiell akkumulert produksjon av toveis veggladere har blitt beregnet for årene 2020, 2025 og 2030. To scenarier blir foreslått på bakgrunn av om dagens incentiver til å kjøpe elbiler fortsetter eller om incentivene blir styrket.

Tabell 18 Resultater utregning av akkumulert produksjon

### AKKUMULERT PRODUKSJON

ÅR	2020	2025	2030
SCENARIO 1	56 880	904 480	10 281 120
SCENARIO 2	56 880	1 355 580	18 332 540

Tabell 19 Resultater utregning kostnadsutvikling toveis vegglader

### KOSTNAD TOVEIS VEGGLADER

ÅR	2020	2025	2030
SCENARIO 1	40 000 NOK	27 917 NOK	20 354 NOK
SCENARIO 2	40 000 NOK	26 487 NOK	18 879 NOK

I tråd med figur.. (legg inn figur i metode som demonstrerer hvordan læringen flater ut med økt antall), er fallet i kostnaden mellom 2020 og 2025 høyere enn fallet mellom 2025 og 2030 i begge scenarier selv om akkumulert produksjon er klart høyere i perioden 2025 - 2030. Fallet i scenario 2 er litt høyere enn det for scenario 1 selv om akkumulert produksjon totalt sett er ganske mye høyere i scenario 2. Dette er tråd med forventningen om at de sterkeste

reduksjonene i produksjonskostnader skjer i den første perioden etter at et nytt produkt lanseres.

## **11. Diskusjon**

### **11.1. Usikkerhet ombordladerkostnad**

Ombordladerens kostnadsutvikling er vanskelig å anslå. Produsenter av komponenter til elbiler gir ikke ut informasjon om ombordladerne sine, da det er hard konkurranse i markedet. Litteraturen om ombordladeres kostnadsutvikling er derfor tuftet på antagelser og gir derfor i beste fall et tilnærmet korrekt bilde av den virkelige kostnaden.

Anslagene fra Garcés Quílez et al. (2018) på 550 – 3300 \$ for ombordladere gir inntrykk av å gjelde andre typer ombordladere enn elbil-ombordladere. Beregning av dollar per effekt i kW ut fra disse anslagene er derfor neppe representativt for elbil-ombordladere.

Kostnadsanslagene fra Hummel et al. (2017), er beregnet av ingeniører og andre eksperter som har kjennskap til hva som inngår av materialer og hva slags avgjørelser som har blitt tatt for utformingen av ombordladeren. Jeg mistenker at hovedvekten av kostnadsberegningen baseres på materialkostnadene og ikke like mye på kostnaden ved å produsere. Derfor tror jeg anslagene deres kan være noe lave.

### **11.2. Kostnad for toveis vegglader**

I scenariene forutsetter det et høyt antall solgte enheter for å få den kostnadsreduksjonen vi ser. I begge scenarier reduseres kostnaden med ca. 50 % i 2030. Dette kan tyde på at potensialet for å redusere kostnaden til toveis vegglader ned på nivåer som ombordladere har i dag er urealistisk. Dette kan henge sammen med at materialkostnadene for konverteringsteknologi øker fra 1/3 av den totale kostnaden når produktet først er utviklet, til 2/3 etter betydelig akkumulert produksjon. Dette kan tyde på at toveis veggladere uansett kommer til å være dyre, da det er høyere materialkostnader enn for ombordladere.

Antagelsen om at det bare er elbiler med over 40 kWh batterikapasitet som er egnet for V2G er en generalisering av noe som er mye mer komplekst. I virkeligheten er det en stor variasjon mellom individers kjørebehov og interesser. For eksempel kan eiere av elbiler med batteristørrelser på rundt 30 kWh og som kun har behov for å kjøre korte distanser, stille seg minst like positive til V2G. Dette kan for eksempel gjelde personer som bor i utkanten av byer og som foretrekker å reise kollektivt når de skal reise langt eller inn til byen.

Elbilmodellene med V2G tar utgangspunkt i det europeiske utvalget av elbilmodeller, antall solgte modeller av disse modellene i Europa og inndelingen dem imellom. På verdensbasis er det i virkeligheten store forskjeller mellom salgsmønsteret for de aktuelle bilmodellene. Dette regnestykket er stort og komplekst og påvirkes av faktorer som varierer sterkt på tvers av land og kontinenter. Faktorer som påvirker er alt fra eksisterende preferanser blant befolkningen, om landet har egen bilindustri, hvilke biler som er dyre og hvilke som er billige i respektivt land, kjøpekraften i befolkningen, er det et lite og tett befolket land eller stort og tynt befolket og my mer. Slik sett er Europa et bedre utgangspunkt for beregningene enn f.eks. USA hvor det generelt er større biler og lengre kjøredistanser, samt at det er mer vanlig å benytte personbiler enn offentlig transport.

Muligheten for å tjene på å investere i en toveis vegglader kan være lønnsomt spesielt med tanke på dagens sammenkoblede kraftsystem i Europa. Med utbygging av overføringskabler på tvers av landegrensene i Europa, kan kraftprisen på steder med tradisjonelt lave kraftpriser stige slik det for eksempel har gjort i Norge. På sikt kan dette øke interessen for V2G-biler og teknologi som fasiliterer for å kunne drive med V2G-tjenester. Generelt kan V2G være lukrativt i land der det er høye priser og store svingninger i etterspørsel og tilbud.

### **11.3. Hvilken toveis lader kommer til å bli mest utbredt?**

Plass- og vektbegrensningene hos elbiler begrenser størrelsen til kraftkomponentene. Toveis ombordladere har ikke blitt utviklet til kommersielt bruk enda, men toveis ombordladere har blitt forsket på. De foreslåtte løsningene i forskningslitteraturen må kunne innfri de samme kravene elbilprodusenten har for tradisjonelle ombordladere. Siden plass- og vektbegrensningene forbli de samme, er det enten effektiviteten eller kostnaden som ikke holder mål. Når nye elektriske komponenter innføres for å muliggjøre toveis kraftoverføring, kan dette øke kostnaden. Derfor er ikke denne teknologien på et stadium som kan utfordre toveis veggladere i dag. Dersom innovasjoner i materialteknologien inntreer som gjør toveis ombordladere konkurransedyktige med toveis veggladere, er det tenkelig at toveis ombordladere er en bedre løsning siden muligheten til V2G følger med bilen overalt.

### **11.4. Kan toveis ladere faktisk kunne tilby former for regulering? (Casestudie)**

Scenario 1 og Scenario 2 har gitt to forskjellige anslag for antall elbiler i verden i 2030. Ut ifra disse anslagene, og antagelsene tatt om faktorer for utbredelse av toveis veggladere, har scenarier for antall toveis veggladere i verden i 2025 og 2030 blitt formulert. Umiddelbart kan

man se at antallet i 2025 er lavt og vil være ubetydelig for balansereguleringen (904 tusen totalt i verden i scen. 1 og 1,35 mill. i scen. 2). I 2030 vil det derimot være langt flere toveis veggladere totalt i verden. Spørsmålet er om toveis veggladere faktisk kan bidra med balanseregulering i slike scenarier?

Norge er landet i verden med høyest andel elbiler i dag. Prosentandelen elbiler (hybridbiler vil bare utgjøre kun en liten andel av dette) av den totale personbilparken er forventet å være 66 % i 2030 (Valle, 2021). Bilparken i Norge i dag teller 2,917 mill. biler. Hvor mange personbiler det vil være i 2030 er vanskelig å forutsi. Mellom 2017 og 2022 vokste antallet med rundt 6,5 % (SSB, 2023). Et mulig utfall er at bilparken er på ca. 3 mill. personbiler i 2030. Antallet elbiler i Norge i 2030 kan dermed være 1,98 mill. biler. Gjør vi et grovt anslag der vi tar antall ladere solgt i 2030 og deler med antall nybilregistreringer av elbiler i 2030 i scen. 1 og 2 og anvender prosentandelen på den norske elbilparken, får vi henholdsvis 36 % noe som tilsvarer 712 800 toveis veggladere i Norge i 2030. Dersom effekten til Wallbox Quasar 2 er normalen på 11 kW, har vi tilnærmet 7,84 MW til disposisjon til balansereguleringsformål fra V2G.

Den totale effekten på 7,84 MW utgjør ikke et betydelig potensial. Evnen til å trekke 7,84 MW tilsvarer omtrent hva 2 – 3 moderne landbaserte vindmøller kan produsere og levere når det produseres ved maksimal kapasitet. Lagringen kan derfor ikke demme opp for det store behovet for energilagring som følge av fornybar energi utbyggingen av vindkraft og sol. Norge hadde f.eks. ved inngangen til 2022 1 170 turbiner med til sammen 4,65 GW installert effekt (Energifakta, u.å.-b). Det betyr imidlertid ikke at 7,84 MW er ubetydelig. Denne effekten tilsvarer hva et stort vannkraftverk i kategorien 1 – 10 MW har, og disse er det 832 av i Norge i dag (NVE, 2023b). Tilførsel av effekt tilsvarende et nytt kraftverk gjennom å utnytte ressurser som allerede finnes på en smartere måte vil være nyttig som et av mange bidrag til framtidens kraftforsyning.

## **12. Konklusjon**

Toveis veggladere har potensialet til å bli en løsning for å tilrettelegge for at V2G kan bli utbredt. I dag er det toveis veggladere som har kommet lengst som konkret løsning på teknologisisiden. Dette kan være et fortrinn dersom interessen for V2G øker og forbrukere ser etter muligheten for å bidra med V2G tjenester.

For at kostnaden til toveis veggladere skal halveres, forutsetter det at et stort antall ladere blir solgt lik tallene i scenario 1 og 2 viser (Tabell 18). Faktorene knyttet til forutsetningene, som modellene for antall solgte ladere bygger på, er antagelig mangelfulle og det vil kreve en større og mer omfattende modell, samt grundigere vurderinger av identifiserte faktorer, dersom prediksjonene for salgsantallet skal bli mer nøyaktige og realistiske.

Selv med et stort antall ladere solgt, vil fortsatt den totale ytelsen som alle med muligheten til å tilby balanseregulering gjennom V2G-tjenester har, være liten i forhold til teknologier som vannkraft hvor ett kraftverk alene kan tilby like stor effekt. Muligheten til å lagre energi fra store kraftverk som produserer variabel fornybar energi vil også være begrenset, siden den totale lagringskapasiteten vil være svært liten i forhold produksjonen. I beste fall kan elbilens batteri brukes til lagring av privat produksjon, som solceller på taket, men det forutsetter en annen type lader enn den typen det har vært hovedfokus på i denne oppgaven.

Ombordladere for elbiler har blitt brukt som proxy for å forutsi kostnadsutviklingen til toveis veggladere med ligningene for teknologilæring som metode. Jeg har gjennomført en grundig undersøkelse og vurdering av oppbygningen til disse to laderne. At begge ladere kan ha komponenter til felles, tilsier at mye av kostnadsreduksjonen vi forventer hos toveis veggladere bør ligne på kostnadsutviklingen vi har sett hos ombordladere. Siden toveis veggladere har flere funksjoner enn det ombordladere har i dag, tyder det på at den kan inneholde andre komponenter i tillegg til de som er felles for ombordladere. Dette tilsier at den alltid vil være dyrere i salg noe også modellene viser.

Mere forskning er nødvendig for å identifisere faktorene for utbredelse av toveis ladere og også andre proxy-teknologier bør utforskes.

## Litteraturliste

- Al, M., Van, J. & Gualous, H. (2011). DC/DC Converters for Electric Vehicles. I: Soylu, S. (red.) *Electric Vehicles*: IntechOpen.
- Astrodyne. (u.å.). *EMI Filter Basics*. AstrodyneTDI. Tilgjengelig fra: <https://www.astrodynetdi.com/blog/emi-filter-basics> (lest 11.05.2023).
- Audi, E. H. G. (u.å.). *Battery degrading*. Tilgjengelig fra: <https://electrichasgoneaudi.net/nb/technology/battery/degredation/> (lest 05.04.2023).
- Baraniak, J. & Starzyński, J. (2019). Chargers for electric cars with V2G (vehicle to grid) technology—Connection principles for the distribution network. *Przegląd Elektrotechniczny*, 95: 228-32. doi: <http://dx.doi.org/10.15199/48.2019.11.53>.
- Bjørndalen, J., B. Løken, I., L. Berntsen, C., Bjørkli, R.-B., Gimmetstad, I. & Sletten, K. (2020). *Fra brettet til det smarte nettet – Ansvar for driftskoordinering i kraftsystemet*. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/media/9900/fra-brettet-til-det-smarte-nettet.pdf> (lest 11.05.2023).
- Blok, K. & Nieuwlaar, E. (2017). *Introduction to energy analysis*. 2nd utg. Abingdon: Routledge.
- Brenna, M., Foadelli, F., Leone, C. & Longo, M. (2020). Electric Vehicles Charging Technology Review and Optimal Size Estimation. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 15 (6): 2539-2552. doi: 10.1007/s42835-020-00547-x.
- Carplug. (u.å.). *Wallbox QUASAR - CHAdeMO 7,4kW - WiFi & Bluetooth*. Tilgjengelig fra: <https://www.carplug.eu/wallbox-quasar-chademo-74kw-wifi-bluetooth> (lest 07.04.2023).
- Carsalesbase. (u.å.-a). *EUROPEAN SALES 2014 EV AND PHEV SEGMENTS*. Tilgjengelig fra: <https://carsalesbase.com/european-sales-2014-ev-and-phev-segment/> (lest 28.03.2023).
- Carsalesbase. (u.å.-b). *EUROPEAN SALES 2015 EV AND PHEV SEGMENTS*. Tilgjengelig fra: <https://carsalesbase.com/european-sales-2015-ev-phev-segments/> (lest 28.03.2023).
- Carsalesbase. (u.å.-c). *EUROPEAN SALES 2016 EV AND PHEV SEGMENTS*. Tilgjengelig fra: <https://carsalesbase.com/european-sales-2016-ev-phev-segments/> (lest 28.03.2023).

- Carsalesbase. (u.å.-d). *EUROPEAN SALES 2017 EV AND PHEV SEGMENTS*. Tilgjengelig fra: <https://carsalesbase.com/european-sales-2017-ev-phev-segments/> (lest 28.03.2023).
- Carsalesbase. (u.å.-e). *EUROPEAN SALES 2018 EV AND PHEV SEGMENTS*. Tilgjengelig fra: <https://carsalesbase.com/european-sales-2018-ev-phev-segments/> (lest 28.03.2023).
- Carsalesbase. (u.å.-f). *EUROPEAN SALES 2019 EV AND PHEV*. Tilgjengelig fra: <https://carsalesbase.com/european-sales-2019-ev-phev/> (lest 28.03.2023).
- Carsalesbase. (u.å.-g). *EUROPEAN SALES 2020 EV AND PHEV*. Tilgjengelig fra: <https://carsalesbase.com/european-sales-2020-ev-phev/> (lest 28.03.2023).
- Carsalesbase. (u.å.-h). *EUROPEAN SALES 2021 ELECTRIC VEHICLES*. Tilgjengelig fra: <https://carsalesbase.com/european-sales-2021-ev/> (lest 28.03.2023).
- CENEX. (2021). *Commercial Viability of V2G: Project Sciurus White Paper*. Tilgjengelig fra: <https://www.cenex.co.uk/app/uploads/2021/01/V2G-Commercial-Viability-1.pdf> (lest 11.05.2023).
- CEO. (u.å.). *Experience curve*: CEOpedia. Tilgjengelig fra: [https://ceopedia.org/index.php/Experience\\_curve](https://ceopedia.org/index.php/Experience_curve) (lest 14.05.2023).
- CHAdEMO. (u.å.). *Indra V2G 170911A202*. Tilgjengelig fra: <https://www.chademo.com/products/v2g/indra-v2g> (lest 08.05.2023).
- Chaurasiya, S. & Singh, B. (2019). *A G2V/V2G off-board fast charger for charging of lithium-ion based electric vehicles*. 2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe): IEEE.
- Chen, C.-f., de Rubens, G. Z., Noel, L., Kester, J. & Sovacool, B. K. (2020). Assessing the socio-demographic, technical, economic and behavioral factors of Nordic electric vehicle adoption and the influence of vehicle-to-grid preferences. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 121: 109692.
- Cheow, K. A. (2020). *On-Board Charger OBC*. Medium. Tilgjengelig fra: <https://medium.com/@ackhor/on-board-charger-obc-a3f4b98ccaed> (lest 11.05.2023).
- DAIKIN. (u.å.). *Varmepumpemarkedet vokser i hele Europa*. Tilgjengelig fra: <https://daikin.no/varmepumpemarkedet-vokser/> (lest 03.05.2023).
- Das, C. K., Bass, O., Kothapalli, G., Mahmoud, T. S. & Habibi, D. (2018). Overview of energy storage systems in distribution networks: Placement, sizing, operation, and



- power quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91: 1205-1230. doi: 10.1016/j.rser.2018.03.068.
- Dhage, A. (2022). *Electric Vehicle On Board Charger*. Tilgjengelig fra: <https://www.batterydesign.net/on-board-chargers-ac-to-dc/> (lest 11.05.2023).
- Domingues-Olavarria, G., Fyhr, P., Reinap, A., Andersson, M. & Alaküla, M. (2017). From chip to converter: A complete cost model for power electronics converters. *IEEE Transactions on power electronics*, 32 (11): 8681-8692.
- Drive, U. (2017). *Electrical and electronics technical team roadmap*. Partnership Plan, Roadmaps, and Other Documents. Tilgjengelig fra: <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/us-drive-electrical-and-electronics-technical-team-roadmap> (lest 11.05.2023).
- EAFO. (u.å.). *Recharging systems*. Tilgjengelig fra: <https://alternative-fuels-observatory.ec.europa.eu/general-information/recharging-systems> (lest 07.04.2023).
- ECA. (2021). *Infrastructure for charging electric vehicles: more charging stations but uneven deployment makes travel across the EU complicated*. Tilgjengelig fra: <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/electrical-recharging-5-2021/en/#chapter3> (lest 07.04.2023).
- EEA. (2022). *Share of energy consumption from renewable sources in Europe*: EEA. Tilgjengelig fra: <https://www.eea.europa.eu/ims/share-of-energy-consumption-from> (lest 11.05.2023).
- Elbilforeningen. (u.å.). *Hva er en hurtiglader VS en lynlader?* Tilgjengelig fra: <https://elbil.no/ofte-stilte-sporsmal/hva-er-en-hurtiglader-vs-en-lynlader/> (lest 09.02.2023).
- Elbilgrossisten. (2023). *Ladeguiden: Hvilken ladeeffekt kan jeg få?* Tilgjengelig fra: <https://www.elbilgrossisten.no/pages/ladeguiden-hvilken-ladeeffekten-far-jeg> (lest 05.04.2023).
- Elbilgrossisten. (u.å.). *LADEGUIDEN: TYPE 1 OG TYPE 2*. Tilgjengelig fra: <https://www.elbilgrossisten.no/pages/ladeguiden-type1-type2> (lest 10.04.2023).
- Electrive. (2021). *France writes-off ChaDeMo standard in new legislation*. Tilgjengelig fra: <https://www.electrive.com/2021/05/10/france-writes-off-chademo-standard-in-new-legislation/> (lest 07.05.2023).
- Ellerbeck, S. (2023). *Wind and solar power generated more electricity in the EU last year than gas did. Here's how*: weforum. Tilgjengelig fra:

- <https://www.weforum.org/agenda/2023/01/renewable-energy-electricity-record-europe/> (lest 01.04.2023).
- Energifakta. (2019). *ET MODERNE OG DIGITALT KRAFTSYSTEM*. Tilgjengelig fra: <https://energifaktanorge.no/norsk-energibruk/ny-teknologi-i-kraftsystemet/> (lest 11.05.2023).
- Energifakta. (u.å.-a). *ET MARKEDSBASERT KRAFTSYSTEM*. Tilgjengelig fra: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftmarkedet/>.
- Energifakta. (u.å.-b). *KRAFTPRODUKSJON*. Tilgjengelig fra: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftforsyningen/> (lest 14.05.2023).
- Energifakta. (u.å.-c). *STRØMNETTET*. Tilgjengelig fra: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftnett/> (lest 09.05.2023).
- Fjordkraft. (2021). *Hva er jording?* Tilgjengelig fra: <https://www.fjordkraft.no/strom/stromprat/strom-i-hjemmet/hva-er-jording/> (lest 11.05.2023).
- Garcés Quílez, M., Abdel-Monem, M., El Baghdadi, M., Yang, Y., Van Mierlo, J. & Hegazy, O. (2018). Modelling, Analysis and Performance Evaluation of Power Conversion Unit in G2V/V2G Application—A Review. *Energies*, 11 (5). doi: 10.3390/en11051082.
- Gorner, M. & Paoli, L. (2021). *How global electric car sales defied Covid-19 in 2020*. IEA. Tilgjengelig fra: <https://www.iea.org/commentaries/how-global-electric-car-sales-defied-covid-19-in-2020> (lest 11.04.2023).
- Guo, J., Yang, J., Lin, Z., Serrano, C. & Cortes, A. M. (2019). Impact analysis of V2G services on EV battery degradation-A review. *2019 IEEE Milan PowerTech*: 1-6.
- Horne, H., Buvik, M. & Hole, J. (2019). *Smarte ladesystemer og Vehicle-to-Grid*. Teknologianalyser. Tilgjengelig fra: [https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2019/faktaark2019\\_09.pdf](https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2019/faktaark2019_09.pdf) (lest 11.05.2023).
- Hudson, T. (2022). *Power Factor Correction* Tilgjengelig fra: [https://media.monolithicpower.com/mps/cms\\_document/2/0/2020-power-factor-correction-pfc\\_r1.0.pdf?\\_ga=2.235469057.1257672462.1680796363-516643054.1679507586&\\_gl=1\\*2suv9\\*\\_ga\\*NTE2NjQzMDU0LjE2Nzk1MDc1ODY.\\*\\_ga\\_XNRPF6L9DD\\*MTY4MDc5NjM2My4xNy4xLjE2ODA3OTY2MTguNjAuMC4w](https://media.monolithicpower.com/mps/cms_document/2/0/2020-power-factor-correction-pfc_r1.0.pdf?_ga=2.235469057.1257672462.1680796363-516643054.1679507586&_gl=1*2suv9*_ga*NTE2NjQzMDU0LjE2Nzk1MDc1ODY.*_ga_XNRPF6L9DD*MTY4MDc5NjM2My4xNy4xLjE2ODA3OTY2MTguNjAuMC4w) (lest 11.05.2023).
- Hummel, D., Lesne, J., Radlinger, C. G., Coling, Langan, K., Takashi, D. M., Andrew Stott, Geoff, Haire, M. M., Nocolas Gaudois, Lachlan & Shaw. (2017). *UBS Evidence Lab*

- Electric Car Teardown –Disruption Ahead?* I: UBS report, B. (red.). Q-series.  
Tilgjengelig fra: <https://neo.ubs.com/shared/d1ZTxnvF2k/> (lest 11.05.2023).
- IEA. (2021). *Global EV Outlook 2021*. Tilgjengelig fra: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021> (lest 03.05.2023).
- IEA. (2022a). *Global electric passenger car stock, 2010-2020*. Tilgjengelig fra: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electric-passenger-car-stock-2010-2020> (lest 11.04.2023).
- IEA. (2022b). *Global EV sales by scenario, 2020-2030*. Tilgjengelig fra: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-ev-sales-by-scenario-2020-2030> (lest 03.05.2023).
- IEA. (2022c). *Trends in electric light-duty vehicles*. Global EV Outlook 2022. Tilgjengelig fra: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022/trends-in-electric-light-duty-vehicles> (lest 07.04.2023).
- Indra. (u.å.). *Vehicle-to-Home (V2H) Chargers*. Tilgjengelig fra: <https://www.indra.co.uk/v2h/> (lest 11.05.2023).
- Jaman, S., Verbrugge, B., Garcia, O. H., Abdel-Monem, M., Oliver, B., Geury, T. & Hegazy, O. (2022). Development and Validation of V2G Technology for Electric Vehicle Chargers Using Combo CCS Type 2 Connector Standards. *Energies*, 15 (19): 7364.
- Johnson, M. (2022). *Everything you need to know about the On-Board Charger for Electric Vehicles*. Tilgjengelig fra: <https://yocharge.com/everything-you-need-to-know-about-the-on-board-charger-for-electric-vehicles/> (lest 06.04.2023).
- Keil, P., Schuster, S. F., Wilhelm, J., Travi, J., Hauser, A., Karl, R. C. & Jossen, A. (2016). Calendar Aging of Lithium-Ion Batteries. *Journal of The Electrochemical Society*, 163 (9): A1872-A1880. doi: 10.1149/2.0411609jes.
- Kempton, W. & Tomić, J. (2005). Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue. *Journal of power sources*, 144 (1): 268-279.
- Khaligh, A. & D. Antonio, M. (2019). Global Trends in High-Power On-Board Chargers for Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* (99): 1 - 17. doi: 10.1109/TVT.2019.2897050.
- Kouro, S., Leon, J. I., Vinnikov, D. & Franquelo, L. G. (2015). Grid-connected photovoltaic systems: An overview of recent research and emerging PV converter technology. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 9 (1): 47-61. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/MIE.2014.2376976>.

- Kularatna, N. (2015). Rechargeable battery technologies. I: *Energy Storage Devices for Electronic Systems*, s. 29-61.
- Kumar, S., Yaragatti, U. R. & Manasani, S. (2014). Modeling and architectural frame work of off-board v2g integrator for smart grid. *International Journal of Renewable Energy Research*, 4 (4): 826-831.
- Kurmayer, N. J. (2023). *Growing demand puts EU electricity grid under pressure*. Tilgjengelig fra: <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/growing-demand-puts-eu-electricity-grid-under-pressure/> (lest 01.04.2023).
- Ladestasjoner. (u.å.). *Kontakttyper*. Tilgjengelig fra: <https://www.ladestasjoner.no/lading/kontakttyper/> (lest 11.05.2023).
- Liu, Z., Song, J., Kubal, J., Susarla, N., Knehr, K. W., Islam, E., Nelson, P. & Ahmed, S. (2021). Comparing total cost of ownership of battery electric vehicles and internal combustion engine vehicles. *Energy policy*, 158: 112564. doi: 10.1016/j.enpol.2021.112564.
- McDonald, A. & Schrattenholzer, L. (2001). Learning rates for energy technologies. *Energy policy*, 29 (4): 255-261. doi: 10.1016/S0301-4215(00)00122-1.
- Mullan, J., Harries, D., Bräunl, T. & Whitely, S. (2012). The technical, economic and commercial viability of the vehicle-to-grid concept. *Energy Policy*, 48: 394-406.
- NAF. (2021). *Lader til elbil – en enkel oversikt*. Tilgjengelig fra: <https://nye.naf.no/elbil/lading/ladestandarder-for-elbil> (lest 09.02.2023).
- NELFO. (2015). *Lading av elektriske biler – planlegging og prosjektering av ladeinstallasjoner*. Tilgjengelig fra: [https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/elsikkerhet-els/veiledninger-pdf/elbil\\_installatoer.pdf](https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/elsikkerhet-els/veiledninger-pdf/elbil_installatoer.pdf) (lest 11.05.2023).
- Noel, L., de Rubens, G. Z., Kester, J. & Sovacool, B. K. (2019). Navigating expert skepticism and consumer distrust: Rethinking the barriers to vehicle-to-grid (V2G) in the Nordic region. *Transport Policy*, 76: 67-77.
- NVE. (2022a). *Engrosmarkedet*. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/regulering/kraftmarkedet/engrosmarkedet/> (lest 02.04.2023).
- NVE. (2022b). *I kraftsystemet handler mye om fysikk*. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/slik-fungerer-kraftsystemet/i-kraftsystemet-handler-mye-om-fysikk/> (lest 11.05.2023).

- NVE. (2023a). *Systemansvar*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/regulering/nettvirksomhet/systemansvar/>  
(lest 03.02.2023).
- NVE. (2023b). *Vannkraft*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.nve.no/energi/energisystem/vannkraft/> (lest 14.05.2023).
- Octopusev. (2022). *All you need to know about electric car batteries*. Tilgjengelig fra:  
<https://octopusev.com/ev-hub/electric-car-batteries-explained> (lest 09.05.2023).
- PE, E. (2023). *What are Onboard Chargers (OBC)?* Tilgjengelig fra:  
<https://www.everythingpe.com/community/what-are-onboard-chargers> (lest  
06.04.2023).
- Pearre, R. (2019). Review of research on V2X technologies, strategies, and operations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 105: 61 - 70. doi:  
10.1016/j.rser.2019.01.047
- Ravi, S. S. & Aziz, M. (2022). Utilization of Electric Vehicles for Vehicle-to-Grid Services: Progress and Perspectives. *Energies*, 15 (2). doi: 10.3390/en15020589.
- Ravikumar, K., Vidyasagar, C., Patnam, H. & Ramakrishna, P. S. (2014). A SPWM Full Bridge Inverter With Transformerless PV Grid Connected Inverter. *International Journal of Science Engineering and Advance Technology (IJSEAT)*, 2 (5): 136-144.
- Rubin, E. S., Azevedo, I. M. L., Jaramillo, P. & Yeh, S. (2015). A review of learning rates for electricity supply technologies. *Energy Policy*, 86: 198-218. doi:  
10.1016/j.enpol.2015.06.011.
- Safari, M. (2018). Battery electric vehicles: Looking behind to move forward. *Energy Policy*, 115: 54-65. doi: 10.1016/j.enpol.2017.12.053.
- Sahinler, G. B. & Poyrazoglu, G. (2020). *V2G applicable electric vehicle chargers, power converters & their controllers: A review*. 2020 2nd Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM): IEEE.
- Simolin, T., Rauma, K., Viri, R., Mäkinen, J., Rautiainen, A. & Järventausta, P. (2021). Charging powers of the electric vehicle fleet: Evolution and implications at commercial charging sites. *Applied energy*, 303: 117 - 651. doi:  
10.1016/j.apenergy.2021.117651.
- Skyrud, N. T. (2021). *Sikker vernutkobling i elektriske installasjoner i svake lavspenningsnett*. Masteroppgave. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.  
Tilgjengelig fra: <https://hdl.handle.net/11250/2824801> (lest 11.05.2023).

- Soulopoulos, N. (2017). *When will electric vehicles be cheaper than conventional vehicles*. Bloomberg New Energy Finance. Tilgjengelig fra: <https://www.blogmotori.com/wp-content/uploads/2017/07/EV-Price-Parity-Report-BlogMotori-COM-MobilitaSostenibile-IT.pdf> (lest 12.04.2023).
- SSB. (2023). *Bilparken*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/landtransport/statistikk/bilparken> (lest 14.05.2023).
- Statnett. (2021). *Primærreserver - FCR*. Tilgjengelig fra: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/kraftmarkedet/reservemarkeder/primarreserver/> (lest 03.05.2023).
- Statnett. (2023a). *Sekundærreserver - aFRR*. Tilgjengelig fra: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/kraftmarkedet/reservemarkeder/sekundarreserver/> (lest 03.05.2023).
- Statnett. (2023b). *Tertiærreserver - mFRR*. Tilgjengelig fra: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/kraftmarkedet/reservemarkeder/tertiarreserver/> (lest 03.05.2023).
- Svarc, J. (2023). *Bidirectional Chargers Explained - V2G Vs V2H Vs V2L*. Clean Energy Reviews. Tilgjengelig fra: <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/bidirectional-ev-charging-v2g-v2h-v2l> (lest 09.01.2023).
- Tan, K. M., Ramachandaramurthy, V. K., Yong, J. Y., Padmanaban, S., Mihet-Popa, L. & Blaabjerg, F. (2017). Minimization of Load Variance in Power Grids—Investigation on Optimal Vehicle-to-Grid Scheduling. *Energies*, 10 (11). doi: 10.3390/en10111880.
- Tao, H., Zhang, G. & Zheng, Z. (2019). Onboard Charging DC/DC Converter of Electric Vehicle Based on Synchronous Rectification and Characteristic Analysis. *Journal of Advanced Transportation*, 2019: 1-10. doi: 10.1155/2019/2613893.
- Thingvad, A., Calearo, L., Andersen, P. B. & Marinelli, M. (2021). Empirical Capacity Measurements of Electric Vehicles Subject to Battery Degradation From V2G Services. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 70 (8): 7547-7557. doi: 10.1109/tvt.2021.3093161.
- Tibber. (2019). *Forskjellen mellom ulike ladekontakter for elbiler*. Tilgjengelig fra: <https://tibber.com/no/magazine/power-hacks/ladeuttak-elbiler> (lest 11.05.2023).
- Turksoy, O., Yilmaz, U. & Teke, A. (2018, Mai). *OVERVIEW OF BATTERY CHARGER TOPOLOGIES IN PLUG-IN ELECTRIC AND HYBRID ELECTRIC VEHICLES*. 16th International Conference on Clean Energy (ICCE-2018), Famagusta, N. Cyprus.



- Turton, H. & Moura, F. (2008). Vehicle-to-grid systems for sustainable development: An integrated energy analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 75 (8): 1091-1108.
- Uddin, K., Jackson, T., Widanage, W. D., Chouchelamane, G., Jennings, P. A. & Marco, J. (2017). On the possibility of extending the lifetime of lithium-ion batteries through optimal V2G facilitated by an integrated vehicle and smart-grid system. *Energy*, 133: 710-722. doi: 10.1016/j.energy.2017.04.116.
- Valle, M. (2021, 25. februar). Så mye strøm brukte elbilene i fjor. *Teknisk Ukeblad*. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/sa-mye-strom-brukte-elbilene-i-fjor/507227> (lest 14.05.2023).
- Valmot, O. R. (2020, 15. november). Slik fungerer lading til elbil. *Teknisk Ukeblad*. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/slik-fungerer-lading-til-elbil/502596> (lest 11.05.2023).
- Van Heuveln, K., Ghotge, R., Annema, J. A., van Bergen, E., van Wee, B. & Pesch, U. (2021). Factors influencing consumer acceptance of vehicle-to-grid by electric vehicle drivers in the Netherlands. *Travel Behaviour and Society*, 24: 34-45.
- Van Roy, J., De Breucker, S. & Driesen, J. (2011). *Analysis of the optimal battery sizing for plug-in hybrid and battery electric vehicles on the power consumption and V2G availability*. 2011 16th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems, s. 1-6.
- Verma, A. & Singh, B. (2017). *Three phase off-board bi-directional charger for EV with V2G functionality*. 2017 7th International Conference on Power Systems (ICPS): IEEE.
- Wallbox. (u.å.-a). *Meet Quasar 2*. Tilgjengelig fra: [https://wallbox.com/en\\_us/quasar2-dc-charger](https://wallbox.com/en_us/quasar2-dc-charger) (lest 07.05.2023).
- Wallbox. (u.å.-b). *Quasar*. Tilgjengelig fra: [https://wallbox.com/en\\_catalog/quasar-dc-charger](https://wallbox.com/en_catalog/quasar-dc-charger) (lest 11.05.2023).
- Wikipedia. (2023). *CHAdEMO*. Tilgjengelig fra: <https://en.wikipedia.org/wiki/CHAdEMO> (lest 11.05.2023).
- Xu, B., Oudalov, A., Ulbig, A., Andersson, G. & Kirschen, D. S. (2016). Modeling of lithium-ion battery degradation for cell life assessment. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9 (2): 1131-1140.
- Yuan, J., Dorn-Gomba, L., Callegaro, A. D., Reimers, J. & Emadi, A. (2021). A Review of Bidirectional On-Board Chargers for Electric Vehicles. *IEEE Access*, 9: 51501-51518. doi: 10.1109/access.2021.3069448.

- Zeb, K., Uddin, W., Khan, Muhammad A., Ali, Z., Ali, M. U., Christofides, N. & Kim, H. J. (2018). A comprehensive review on inverter topologies and control strategies for grid connected photovoltaic system. *Renewable & sustainable energy reviews*, 94: 1120-1141. doi: 10.1016/j.rser.2018.06.053.
- Zhu, Z.-Q. & Howe, D. (2007). Electrical machines and drives for electric, hybrid, and fuel cell vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 95 (4): 746-765.





**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway