



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE

Kvantifisering av utslipp fra GHG knyttet til produksjon av litium-ionbatteri til elbiler

Quantification of emissions from GHG related to the production of lithium-ion batteries for electric vehicles

Martin Bjørnøy

Steffen Renè Arnesen Mandelid

Ole August Grøtte Rathke

Fornybar energi

Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap

Veileder: Kristin Sæterdal

04.06.2021

Forord

Denne bacheloravhandlingen er utarbeidet våren 2021 av tre studenter fra Høgskulen på Vestlandet som avsluttende del av vår studie i Fornybar energi ved Institutt for miljø og naturvitenskap.

Avhandlingen vår tar for seg utslipp av klimagasser fra produksjon og bruk av litium-ionbatterier til elbiler, og sammenligner verdier med eksisterende teknologi og ulike elektrisitetssmiks. Forslaget til oppgaven ble presentert til oss av førsteamanuensis Geoffrey Sean Gilpin.

I dagens samfunn er det stor diskusjon rundt hvor klimavennlig elbiler er, hvor noen påstår at elbiler slipper ut mindre klimagasser enn fossile biler, og motsatt. På bakgrunn av dette synes vi at temaet er spennende og aktuelt. Vi valgte denne oppgaven for å tilegne oss mer kunnskap om hva som er realiteten rundt litium-ionbatterier til elbiler.

Som sisteårsstudenter ved Høgskulen på Vestlandet kan vi se tilbake på tre år med ny kunnskap, samt et godt lærings- og studentmiljø.

Bachelorperioden har vært interessant, nyttig og i perioder krevende. Vi er stolte over innsatsen som er lagt ned og resultatet av arbeidet som er gjort i bacheloroppgaven.

Vi vil rette en stor takk til Kristin Myhra for meget god veiledning underveis. En takk må også rettes mot Morten Simonsen som har vært medveileder og bidratt med god faglig kunnskap om emnet. Vi vil også takke Veslemøy Solberg Sandvoll for korrekturlesing og god støtte underveis.

Sogndal

04.06.2021

Martin Bjørnøy

Steffen Renè Arnesen Mandelid

Ole August Grøtte Rathke

Oppsummering

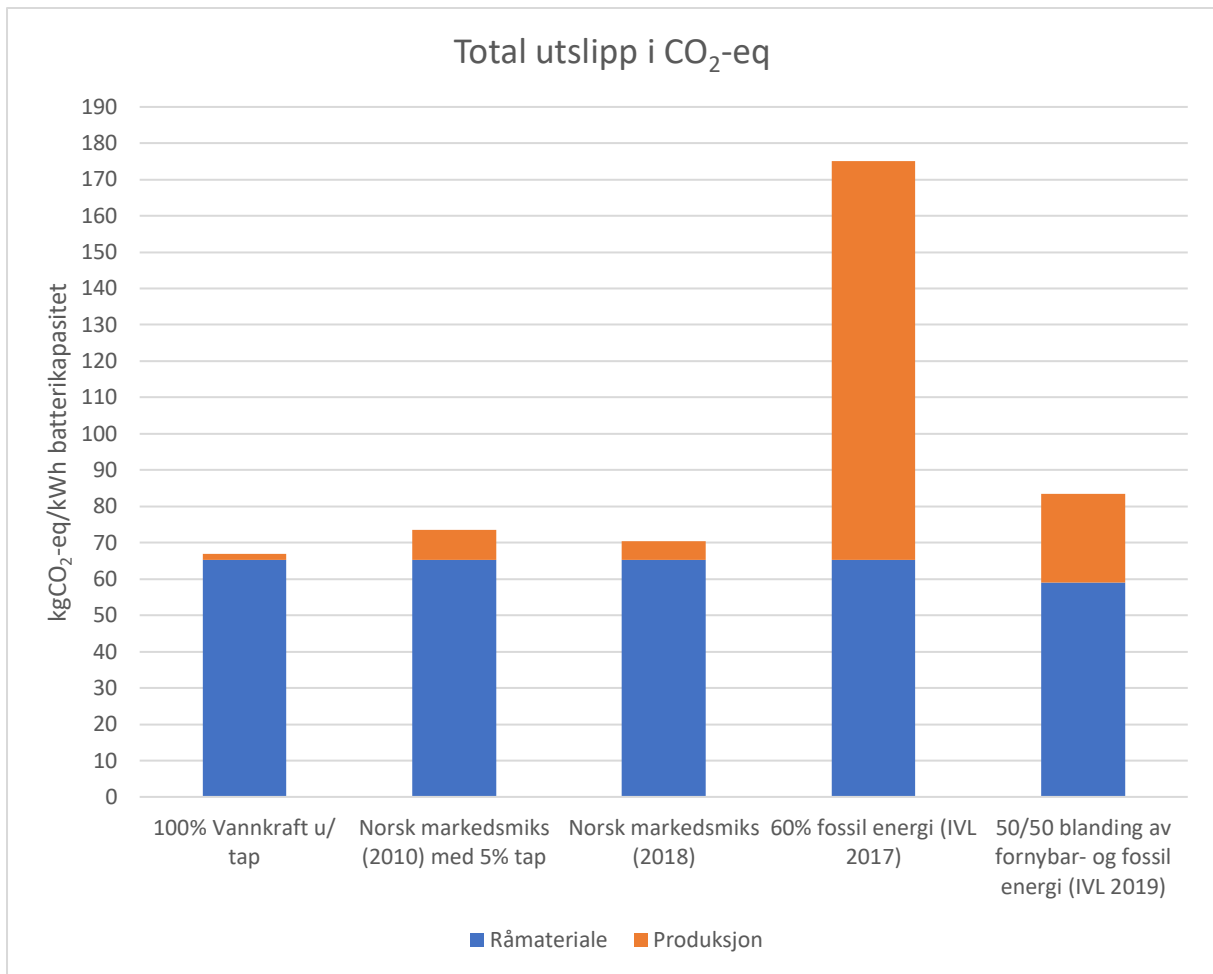
Høsten 2015 gikk FNs 193 medlemsland sammen og vedtok 17 bærekraftsmål, Sustainable Development Goals. Disse skal jobbe mot målene om å takle klimaendringer, ende fattigdom og ulikheter i verdenssamfunnet. Bærekraftsmål nummer syv, ren energi til alle, og nummer 13, stanse klimaendringene, innebærer utvikling som skal bidra til å bekjempe klimaendringene verden står ovenfor (FN, 2021).

Klimaet på jorden er i stadig endring grunnet naturlig og menneskeskapt klimagassutslipp som årlig økes med flere milliarder tonn (IPCC, 2018). Effekten av utslippet påvirker den naturlige energibalansen og resulterer i høyere gjennomsnittstemperaturer hvor konsekvenser som ismelting, havnivåøkning og et klima som er mer uforutsigbart og ekstremt enn tidligere, vil være økende. Redusering av utslipp krever gode og effektive løsninger samt deling av kunnskap og erfaring globalt (IPCC, 2018).

- Hvor store er GHG-utslippene fra produksjon av litiumbatterier for ulike elektrisitetstypers?

I produksjonsfasen har vi tatt for oss to ulike faser for livsløpet til et litium-ionbatteri, råvareutvinning og produksjon. Det ble brukt fire energikilder fra fem litteraturkilder, 100 % vannkraft, norsk markedsmiks fra 2010 og 2018, og energimikser fra to rapporter fra IVL Swedish Environmental Research Institute fra 2019 og 2017. I rapporten fra 2017 er det lagt mer fokus på fossil energi enn 2019, hvor rapporten tar for seg økt bruk av fornybar energi.

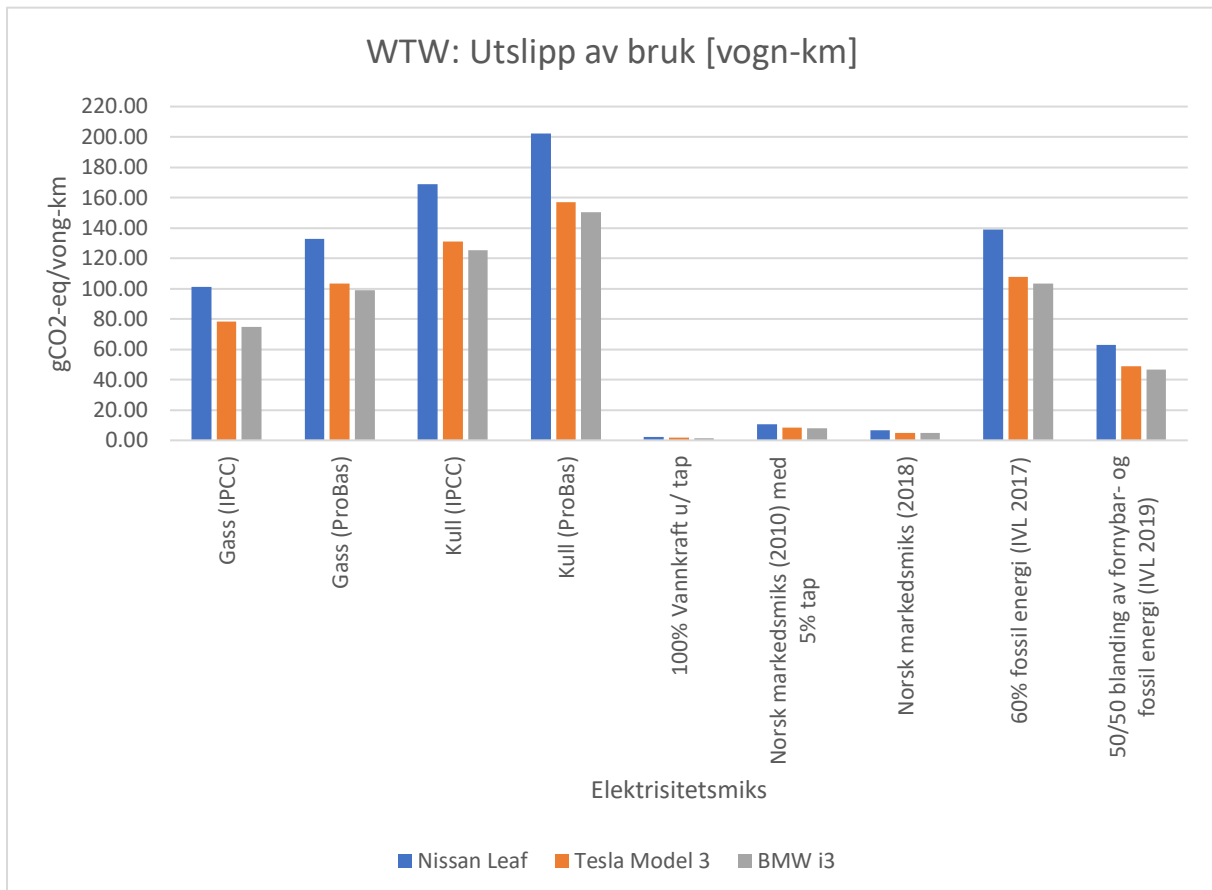
Figuren under viser klimagassutslipp av batteriproduksjon til elbiler og oppgis i kgCO₂-ekvivalenter per kWh batterikapasitet. Vi ser at råvaremateriale er lik for alle unntatt fornybart energimiks-rikt fossilt brensel. I tillegg er utslipp for vannkraft ved produksjon mye lavere enn ved bruk av 60 % fossilt brensel, hvor vi kan se at utslippet er over dobbelt så høyt. Ved bruk av 50/50-blanding av fornybar og fossilt er utslippet tilsvarende det samme som utslippet til vannkraft.



Figur 1 - Stolpediagrammet viser total utslipp for ulike elektrisitetstypers.

- Hvor store er klimagassutslippene fra bruk av elbil?

Vi har valgt å ta for oss tre ulike elbiler - Nissan Leaf, Tesla Model 3 og BMW i3 som eksempel. Til å se på energibruken gjennomførte vi en enkel Well-To-Wheel-analyse (WTW), som er summen av Well-To-Tank (WTT) og Tank-To-Wheel (TTW). I tillegg til energimiksene i produksjonsfasen, har vi inkludert gass og kull i bruksfasen.



Figur 2 - Figuren viser summen av produksjon av elektrisitet og energibruken av elbil i vogn-km.

For energibruk har vi sett nærmere på syv ulike elektrisitetstypers. Våre analyser viser at elektrisitetstypen i stor grad har betydning for utslipp av klimagasser. Ved å inkludere fornybar energi i produksjonen av litium-ionbatterier vil utslippet reduseres betraktelig, sammenlignet med gass, kull og IVL sin elektrisitetstype som i dette tilfellet er fossil/blanding av fornybar energi. I figuren over vises i utslipp pr. km for elbilene. Våre beregninger tyder på at i3 og Model 3 har lavere utslipp i bruksfasen enn om vi tar hensyn til gCO₂-eq/vogn-km enn en Leaf.

Abstract

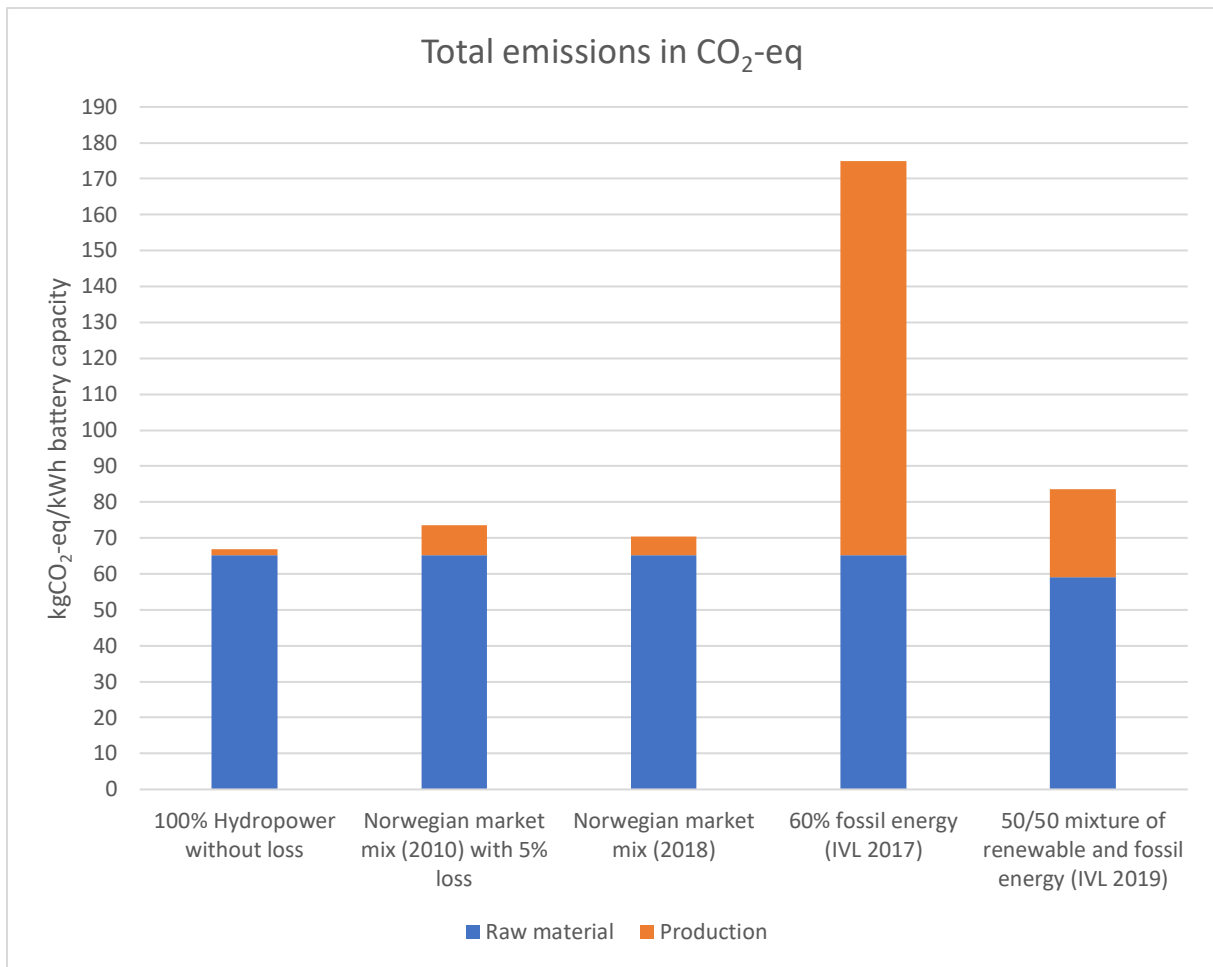
In Autumn of 2015, the UN's 193 member states joined together and adopted seventeen Sustainable Development Goals, which will work towards the goal of tackling climate change, ending poverty and inequalities in the world. Sustainability goal seven, clean energy for all, and number thirteen, halting climate change, involves development that will help combat climate change that the world is facing (FN, 2021).

The climate on earth is constantly changing due to natural and man-made greenhouse gas emissions which are increased annually by several billion tonnes (IPCC, 2018). The effect of the discharge affects the natural energy balance and results in higher average temperature where effects such as ice melting, sea-level rise and a climate that is more unpredictable and extreme than before. Reducing emissions requires good and effective solutions as well as sharing knowledge and experience globally (IPCC, 2018).

- How large are the GHG emissions from the production of lithium batteries for different electricity mixes?

In the production phase, we have considered two different phases for the life cycle of a lithium-ion battery – raw material extraction and production. Four energy sources were used taken from five literature sources, 100 % hydropower, Norwegian marked mix from 2010 and 2018 and energy mixes from two reports from IVL Swedish Environmental Research Institute from 2019 and 2017 where 2017 uses more fossil energy than 2019 where there is a greater focus on renewable energy.

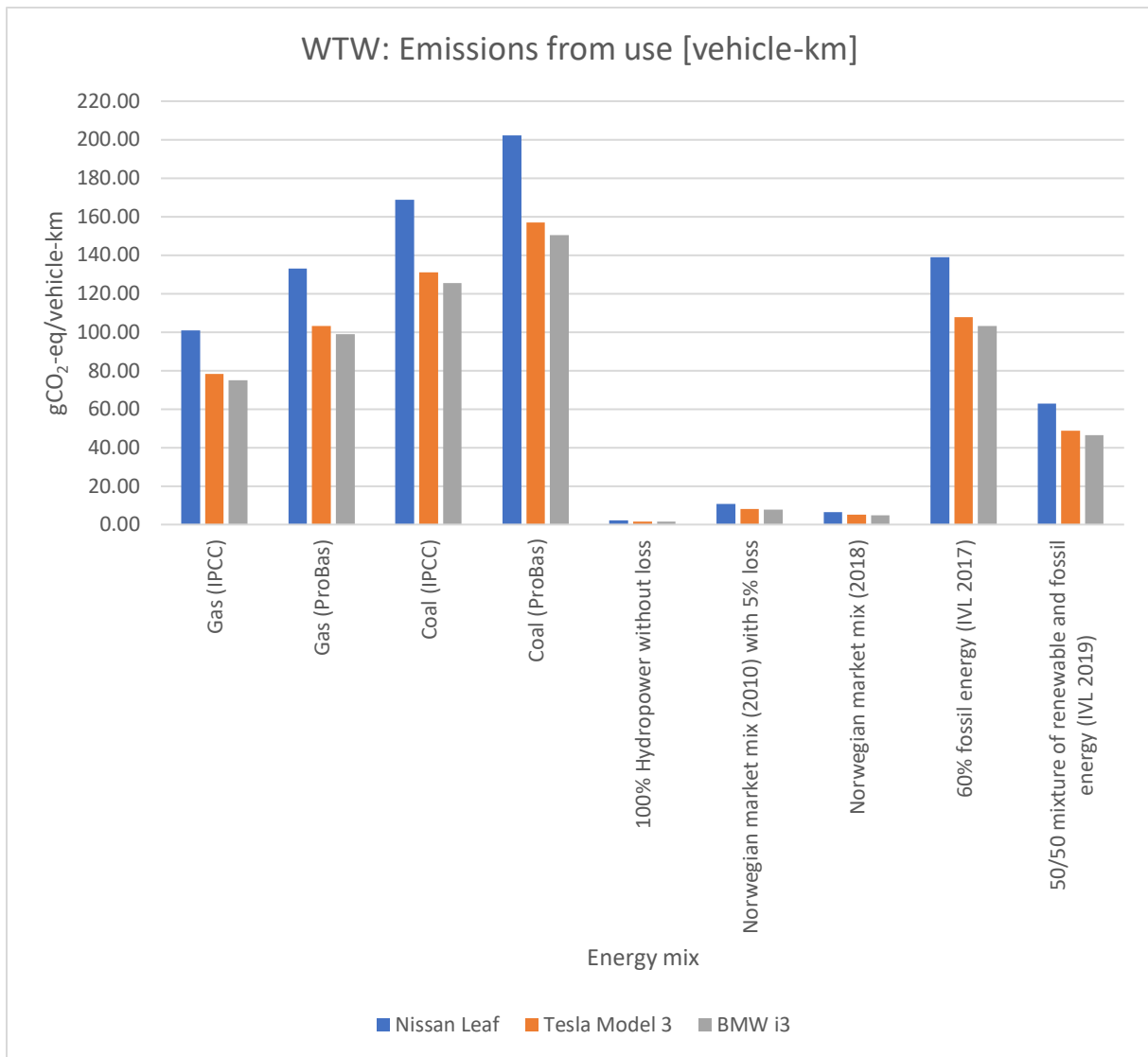
The figure below shows greenhouse gas emissions from battery production for electric vehicles and is quantified in kgCO₂ equivalents per kWh battery capacity. We found that raw material is the same for all sources except for a mixture of renewable and fossil energy. In addition, emissions from hydropower during production are much lower than from the use of 60 % fossil fuels, where we can see that emissions are more than twice as high. When using a 50/50 mixture of renewables and fossils, the emissions are close to the same as the emissions to hydropower.



Figur 3 – The bar graph shows total emissions for different energy sources.

- How large are the greenhouse gas emissions from the use of electric vehicles?

We have chosen three different electric vehicles – Nissan Leaf, Tesla Model 3, and BMW i3 as examples. To look at energy consumption, we conducted a simple Well-To-Wheel analysis (WTW) which is the sum of Well-To-Tank (WTT), and Tank-To-Wheel (TTW). In addition to the energy mixes in the production phase, we have included gas and coal in the use phase.



Figur 4 – The figure shows the sum of the production of electricity and energy consumption of the vehicles per km.

For energy use, we have looked closer at seven different electricity mixes. Our analysis shows that the difference in the electricity mix is affecting greenhouse gas emissions. By including renewable energy in the production of lithium-ion batteries, emissions will be significantly reduced, compared to gas, coal and IVL's electricity mix, which in this case is fossil/mixture of renewable energy. The figure above shows emissions per. km for the vehicle. Our calculations indicate that the i3 and Model 3 has lower emissions in the use phase than if we consider gCO₂-eq/vehicle-km than a Leaf.

Ordforklaringer

GHG – Klimagass - Greenhouse Gas

Li-ion - Litium-ionbatteri – Lithium-Ion Battery

LCA – Livsløpvurdering - Life Cycle Assessment

GWP – Globalt oppvarmingspotensial - Global Warming Potential

BEV – Elbiler på utelukkende batterikraft – Battery Electric Vehicle

CO₂-eq – Karbondioksid-ekvivalenter – Carbon dioxide equivalent

ISO – Den internasjonale standardiseringsorganisasjonen / International Organization for Standardization

NMC – Lithium Nickel Cobalt Manganese Oxide

LFP – Lithium Iron Phosphate

NCA - Lithium Nickel Cobalt Aluminium Oxide

EPD – Environmental Product Declaration

EOL – Utfasing - End Of Life

PEFCR - Product Environmental Footprint Category Rules

WLTP - Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure

NEDC - New European Driving Cycle

Passasjer-km – Utslipp pr. passasjer i bilen pr. km / Emissions per passenger per km.

Vogn-km – Utslipp per km bilen kjører / Emissions per driven km for the vehicle

TTW – Tank-til-hjul - Tank-To-Wheel

WTW – Brønn-til-hjul - Well-To-Wheel

WTT – Brønn-til-tank - Well-To-Tank

SSB – Statistisk sentralbyrå – Statistics Norway

IVL - Swedish Environmental Research Institute

IEA – International Energy Agency

IVL-rapporter – Rapport C243 og C244 fra IVL

kWh – Kilowatttime

Mt – Millioner-tonn

Innholdsliste

FORORD	1
OPPSUMMERING	2
ABSTRACT	5
ORDFORKLARINGER	8
FIGURLISTE	11
TABELLISTE	12
1 INTRODUKSJON	13
1.1 BÆREKRAFTIGE MÅL MOT EN GRØNNERE FRAMTID.....	13
1.2 DAGENS BRUK AV FOSSIL FORBRENNINGSMOTOR OG ELEKTRISKE BILER	14
1.2 PROBLEMSTILLING	15
1.3 AVGRENSINGER.....	15
1.4 OPPGAVENS STRUKTUR.....	16
2.1 KLIMAGASSUTSLIPP.....	17
2.2 ELEKTRISITETSMIKS	17
2.3 HVA ER LITIUM-IONBATTERI?.....	18
2.4 DAGENS TEKNOLOGI OG BRUK RUNDT LITIUM-IONBATTERI	19
2.5 LCA – EN LIVSLØPSANALYSE	21
2.5.1 RÅVAREUTTAK OG PRODUKSJON FOR ET NMC-TEKNOLOGIEN	21
2.5.2 INSTALLASJON AV BATTERIPAKKE.....	22
2.5.4 SLUTTFASEN	23
2.5.5 GJENVINNINGSFASEN.....	23
2.6 IVLS LITTERATURSTUDIER	24
2.6.1 RAPPORT FRA 2017 - THE LIFE CYCLE ENERGY CONSUMPTION AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM LITHIUM-ION BATTERIES (C243).....	24
2.6.2 RAPPORT FRA 2019 - LITHIUM-ION VEHICLE BATTERY PRODUCTION (C444)	25
3 METODE OG DATAGRUNNLAG	26
3.1 HVA ER METODE?.....	26
3.2 LITTERATURSTUDIE SOM METODE	26
3.3 VURDERING AV KREDIBILITET OG VALIDITET	28
3.3.1 KILDER OG KILDEKRITIKK	28
3.4 LITTERATURSØK	29
3.4.1 DATABASER	29

3.5	SYSTEMGRENSER I EN LIVSLØPSANALYSE	30
3.5.1	NS-EN 15804 ANVENDES SOM SYSTEMGRENSE	30
3.6	PRODUKSJON AV LITIUM-IONBATTERIER	31
3.7	WELL-TO-WHEEL	35
3.7.1	WELL-TO-TANK	37
3.7.2	TANK-TO-WHEEL.....	38
4	<u>RESULTAT</u>	<u>39</u>
4.1	PRODUKSJON	39
4.2	WELL-TO-TANK	41
4.3	TANK-TO-WHEEL	42
4.4	WELL-TO-WHEEL	43
4.5	SUM.....	44
5	<u>DISKUSJON</u>	<u>45</u>
5.1	DISKUSJON RUNDT RESULTATER	45
5.2	SAMMENLIGNING MED ANDRE STUDIER.....	47
5.2.1	KRITISK VURDERING AV LITTERATUREN.....	48
5.3	SYSTEMGRENSER	48
5.4	SVAKHETER.....	49
5.5	ANDRE FAKTORER.....	49
5.5.1	HVA MED KOBOLT SOM KREVES I NMC-TEKNOLOGIEN?	50
5.6	RESIRKULERING.....	50
5.7	FREMTIDIG ARBEID.....	51
6	<u>KONKLUSJON.....</u>	<u>52</u>
6.1	PRODUKSJONSFASEN.....	52
6.2	I BRUKSFASEN.....	53
	<u>VEDLEGG.....</u>	<u>54</u>
	<u>REFERANSELISTE.....</u>	<u>55</u>

Figurliste

Figur 1 - Stolpediagrammet viser total utslipp for ulike elektrisitetstypers blanding.....	3
Figur 2 - Figuren viser summen av produksjon av elektrisitet og energibruken av elbil i vogn-km.	4
Figur 3 – The bar graph shows total emissions for different energy sources.....	6
Figur 4 – The figure shows the sum of the production of electricity and energy consumption of the vehicles per km.....	7
Figur 5 - IEA, Global electric car stock, 2010-2019, IEA, Paris. https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electric-car-stock-2010-2019	14
Figur 6 - Figuren viser hvordan et enkelt oppladbart litium litium-ionbatteri er bygd opp og funksjonen den har (Reiner, 2018).	18
Figur 7 - Bilde av individuelle battericeller og av en batteripakke til elbil. (Lead holder, 2011), (Meyer, 2010)	22
Figur 8 - Kildehierarki (Dalland, Metode og oppgaveskriving, 2017).....	29
Figur 9 - Stolpediagrammet viser total GWP for ulike energikilder.....	39
Figur 10 - Stolpediagrammet viser utslippet av produksjon for en batteripakke i en Nissan Leaf. Utslippet vises i utslipp per km bilen kjører og per km passasjeren kjører.....	40
Figur 11 - Figuren viser utslippet i gram CO ₂ -eq per kWh som blir produsert.....	41
Figur 12 - Figuren viser energibruken for 3 forskjellige biler. Tallene viser energibruk for elmotor og datasystemene i bilen. Ladetap er inkludert.	42
Figur 13 - Figuren viser summen av produksjon av elektrisitet og energibruken av bil i vogn-km.....	43
Figur 14 - Figuren viser summen av produksjon av elektrisitet og energibruken av bil i passasjer-km.	43
Figur 15 - Figuren viser summen av batteriproduksjonen og bruk av bilen.	44

Tabelliste

Tabell 1 - Tabellen gir oversikt over de mest vanlige katodekjemiene, samt fordeler og ulemper med dem (Kushnir, 2015)	19
Tabell 2 - Tabellen gir oversikt over de mest vanlige katodekjemiene.	20
Tabell 3 - Tabellen viser eksempler av klimagassutslipp fra ulike elektrisitetsmiks jorden rundt (Romare & Dahllöf, 2017)	24
Tabell 4 - Oversikt over faser i NS-EN 15804 som benyttes som systemgrense for å svare på problemstilling og analyse energibruk til framdrift av elektriske biler i ulik størrelse (LCA.no, u.d.) ...	30
Tabell 5 - En av de mestselgende elbilene i Norge fram til mai 2021. Denne er brukt som et typisk batteri til å beregne utslipp. Vi har brukt batteristørrelsen fra en 2018 Nissan Leaf for å få noe mer tidsriktig resultat siden batteripakkene stadig er under utvikling.....	31
Tabell 6 - Klimagassutslipp oppgitt i gCO ₂ -eq/kWh. ProBas sine verdier sammenlignes med andre studier. Norsk miks 2019 består av flere ulike energikilder og er kun ment til å sette verdiene i perspektiv.....	32
Tabell 7 - Oversikt over forutsetninger som er gjort for å regne ut utslipp produksjon.	33
Tabell 8 - Utslipp fra råvareutvinning.....	33
Tabell 9 - Energibruk av fabrikasjon av en batteripakke til Leaf.....	33
Tabell 10 – Utslipp av energiproduksjon og fabrikasjon av batteripakke for Leaf.	34
Tabell 11 - Tall for utslipp av produksjon av batterier til elbiler.....	34
Tabell 12 - Utslipp fra hele livstiden til batteriet delt opp i per vogn- og passasjer km.	35
Tabell 13 - Tabellen viser utslipp per vogn- og passasjer-km for de tre ulike elbilene.	36
Tabell 14 - Sum av materiale, produksjon og bruk av en 40 kWh batteripakke.....	37
Tabell 15 - Utslipp av produksjon av elektrisitet.....	37
Tabell 16 - Energikapasitet, rekkevidde og energibruk for 3 forskjellige el-biler.	38
Tabell 17 - Utslipp av de forskjellige delene av produksjonen.	40

1 Introduksjon

1.1 Bærekraftige mål mot en grønnere framtid

Høsten 2015 gikk FNs 193 medlemsland sammen og vedtok 17 bærekraftsmål, Sustainable Development Goals som skal jobbe mot målene om å takle klimaendringer, ende fattigdom og ulikheter i verdenssamfunnet. Bærekraftsmål nr. syv, ren energi til alle, og nr. 13, stanse klimaendringene, innebærer utvikling som skal bidra til å bekjempe klimaendringene som verden står ovenfor (FN, 2021).

Klimaet på jorden er i stadig endring grunnet naturlig og menneskeskapt klimagassutslipp som årlig økes med flere milliarder tonn (IPCC, 2018). Effekten av utslippet påvirker den naturlige energibalansen og resulterer i høyere gjennomsnittstemperaturer hvor konsekvenser som ismelting, havnivåøkning og et klima som er mer uforutsigbart og ekstremt enn tidligere blir økende (Næringslivets Hovedorganisasjon, 2018). Redusering av utslipp krever gode og effektive løsninger samt deling av kunnskap og erfaring globalt (IPCC, 2018). Ca. 30 % av klimagassutslippene i Norge kommer fra transport, som gjennom århundre har økt jevnt. I 2017 viste regjeringen til et mål om å redusere utslippene med 35-40 % innen 2030 sammenlignet med 2005 (Statistisk sentralbyrå, 2019).

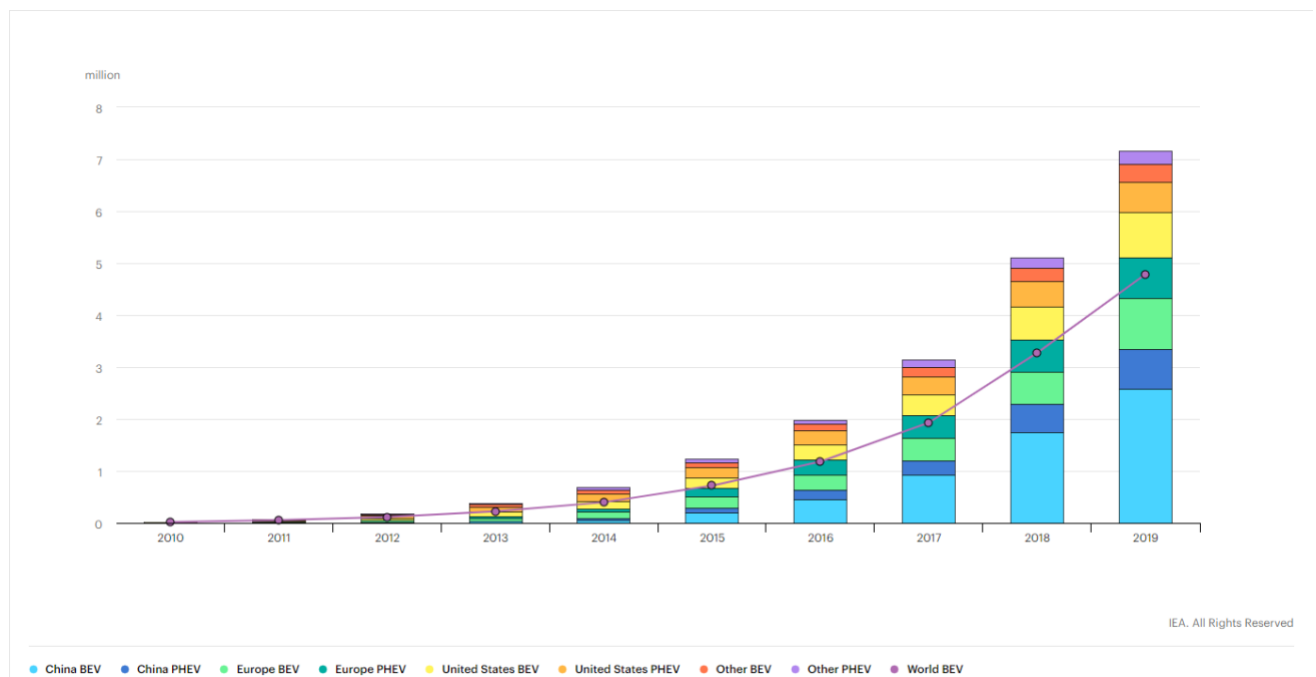
Et av tiltakene for å redusere utslippene ligger i elektrifisering av transportsektoren - som vil skape et behov for flere elbiler. Hvordan vil produksjonen av batterier påvirke miljøet og hvilke teknologier brukes for å optimalisere prosessene? Regjeringen har lagt til grunn at nye personbiler og lette varebiler i Norge skal være nullutslippskjøretøy fra 2025, som er i tråd med Norges klimamål (Regjeringen, 2017).

I forbindelse med klimaendringer har elbiler blitt utpekt som en delvis løsning til å redusere utslippet av klimagass (FN, 2021). Utfordringen med elbiler er at batteriproduksjoner krever store mengder elektrisitet. Elektrisitetens miksen og lokalisering av batterifabrikk er to faktorer som påvirker utslippet i stor grad. For eksempel lages de fleste batterier i dagens marked i Asia – hvor elektrisiteten stammer fra kullkraftverk (Christensen, 2017). Hvor store utslippene er knyttet til produksjon, er et interessant og komplekst svar i seg selv som avhenger av ulike faktorer og forutsetninger. Derfor vil det videre være interessant å se nærmere på utslippene for ulike elektrisitetens mikser.

1.2 Dagens bruk av fossil forbrenningsmotor og elektriske biler

Forbrenningsmotoren har eksistert siden 1876, hvor Nikolaus August Otto konstruerte den første firetaktsmotoren. Masseproduksjon har ved årene presset ned prisene og gitt mulighetene for flere til å anskaffe seg kjøretøy, noe som har resultert i flere milliarder biler på veiene globalt (Saraten & Fiskaa, 2019).

Ved utgangen av 2020 var det registrert 2,8 millioner personbiler i Norge, 340 002 av disse personbilene ble registrert som elbiler. I perioden 2015-2020 har andelen elbiler i den norske bilparken økt med 392 %. For fossile biler har økningen vært på 7,1 % (SSB, 2021). Det er flere grunner til at andelen elbiler har økt i Norge – hvor noen er fordeler som momsfratrekk, rimeligere/fri bomplasseringer, og et bredt utvalg av biler som imøtekommer forbrukerens forventninger med hensyn til rekkevidde og komfort.



Figur 5 - IEA, Global electric car stock, 2010-2019, IEA, Paris. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electric-car-stock-2010-2019>

Figur 5 ser på trenden omkring elbilsalget på en global skala. I perioden fra 2010-2019 ser vi en betraktelig økning av elbiler. Ifølge IEA (*International Energy Agency*) 2010 var det ca. 17 000 elektriske biler på veiene globalt. I 2019 har antallet økt til ca. 7,2 millioner kjøretøy (IEA, 2020). Kombinert med FNs bærekraftsmål og økt bruk av elbiler, gjør det det interessant for oss å kvantifisere klimagassutslippet, og se nærmere på dagens produksjon av litium-ionbatterier til elbiler.

1.2 Problemstilling

I denne oppgaven har vi valgt å ta for oss klimagassutslipp i forbindelse med produksjon og bruk av litium-ionbatterier. Oppgaven avgrenses til å se på utslipp og energibruk knyttet til elbiler.

Problemstillingene vi tar for oss i denne oppgaven er:

- Hvor store er GHG-utslippene fra produksjon av litiumbatterier for ulike elektrisitetsmiks?

- Hvor store er klimagassutslippene fra bruk av elbil?

For å kunne svare på disse problemstillingene har vi gjort rede for ulike data som finnes, hvordan disse er produsert og hvilke forutsetninger som ligger til grunn. Ved nærmere analyse vil vi se på forutsetningene som er gjort, sammenlignet med eksisterende og framtidig teknologi. Vi vil se på ulike LCA-analyser og sammenligne verdier.

1.3 Avgrensinger

Dataene vi tar for oss er basert på ulike studier og verdier. I oppgaven vil vi avgrense våre resultater mot de mest solgte elbilene frem til mai 2021. Vi vil i denne oppgaven, ha primært fokus på to ulike rapporter fra IVL Swedish Environmental Research Institute fra 2019 og 2017.

I oppgaven har vi valgt å gjennomføre en forenklet Well-To-Wheel-analyse som vil se på energibruken som kreves for å produsere batterier til ulike typer elbiler. Analysen vil se på utslipp knyttet til utvinning av råvarematerialer og selve produksjon av batteripakken. Analysen forenkles på grunn av kompleksiteten og mangel på tid til å gjennomføre en fullverdig analyse.

I avgrensingen vil vi også ta hensyn til utslipp fra batteriproduksjon per passasjer- og vogn-km. I tillegg vil vi se på energibruken til framdrift av elbiler. Det er viktig å poengtere at studiene våre ser på dagens teknologi, og vurderer disse opp mot hverandre.

For å besvare problemstillingen vår vil vi ha søkelys på norsk energimiks fra 2018 som potensielt kan være del av produksjonsdelen til et litium-ionbatteri, og se på verdier som tar hensyn til batteriproduksjon per vogn-km og per passasjer-km. Gjennom en litteraturstudie vil vi se på ulike elektrisitetsmikser og batterikjemien NMC (*Lithium Nickel Cobalt Manganese Oxide*) for å konkludere med hvor klimagassvennlig batteriproduksjon er sammenlignet med andre teknologier som er i bruk i dag.

1.4 Oppgavens struktur

Oppgaven er presentert i seks kapitler. Den første delen er en introduksjon, hvor bakgrunnen for oppgaven og problemstillinger blir presentert. Problemstillingen avgrenses. Kapittel to tar for seg kunnskapsstatusen, hvor vi ser på studier som kan sammenlignes og knyttes til oppgaven. Videre går vi gjennom metoden vi har brukt til å gjennomføre vår analyse. I kapittel fire tar vi for oss resultater fra vår analyse og presenterer disse. Videre i kapittel fem diskuterer vi resultatene våre, og sammenligner dem med andre studier. Til slutt konkluderer vi med våre resultater, ser på usikkerheter og svarer på problemstillingene.

2 Bakgrunn

Målet med forskning er å utvikle og utvide dagens kunnskapsstatus. Som en arbeidsmetode er systematisk litteraturstudie brukt, og vi vil i dette kapittelet redegjøre for datagrunnlaget og metode for arbeidet som er gjort (Armand M. , et al., 2020).

2.1 Klimagassutslipp

Solen sender hver dag store mengder energi til jorden. Disse kommer i forskjellige bølgelengder og blir påvirket av klimagassene i atmosfæren, som reflekterer omtrent 30 % tilbake til verdensrommet og de resterende 70% ned til jordoverflaten (Zhou, 2020). De viktigste klimahusgassene er vanndamp, karbondioksid, ozon, metan, lystgass og halokarboner (Zhou, 2020).

Drivhuseffekten er naturlig og sørger for levedyktige temperaturer på jorden. Endringer i balansen mellom hvor mye energi som slippes gjennom atmosfæren og hvor mye som sendes ut i verdensrommet, påvirkes av menneskelig utslipp som forstyrrer dette kretsløpet. Karbondioksid 60%, metan 20% og lystgass 20% er en grov inndeling av klimagassene som ved menneskelig innvirkning påvirker klimaet på jorden (Zhou, 2020).

Selve produksjonsfasen av biler krever ressurser som må utvinnes, prosesseres og fraktes til fabrikker hvor bilene monteres. Under bruksfasen er bilens levetid, hvilket drivstoff (strøm) som anvendes og hvordan drivstoffet produseres er avgjørende for hvor stort klimaavtrykket blir. Videre i avhandlingen vil resultater i form av *kgCO₂-eq/vogn- og passasjer-km* brukes for å vise og sammenligne utslipp med ulike elektrisitetsmikser.

2.2 Elektrisitetsmikser

Elektrisitetsmikser kan defineres til hvordan energien, brukt i et land, er produsert og med hvilke metoder som vann, vind, gass, kull, sol eller kjernekraft som eksempler. Det kan være en mikser eller basere seg på en av produksjonsmetodene i sin helhet. Videre i denne avhandlingen referer vi til fire ulike energimikser med forskjellige forutsetninger hvor ulikhetene ligger i hvor mye av produksjonen som er fornybar og fossilenergi. Vi har brukt følgende elektrisitetsmikser:

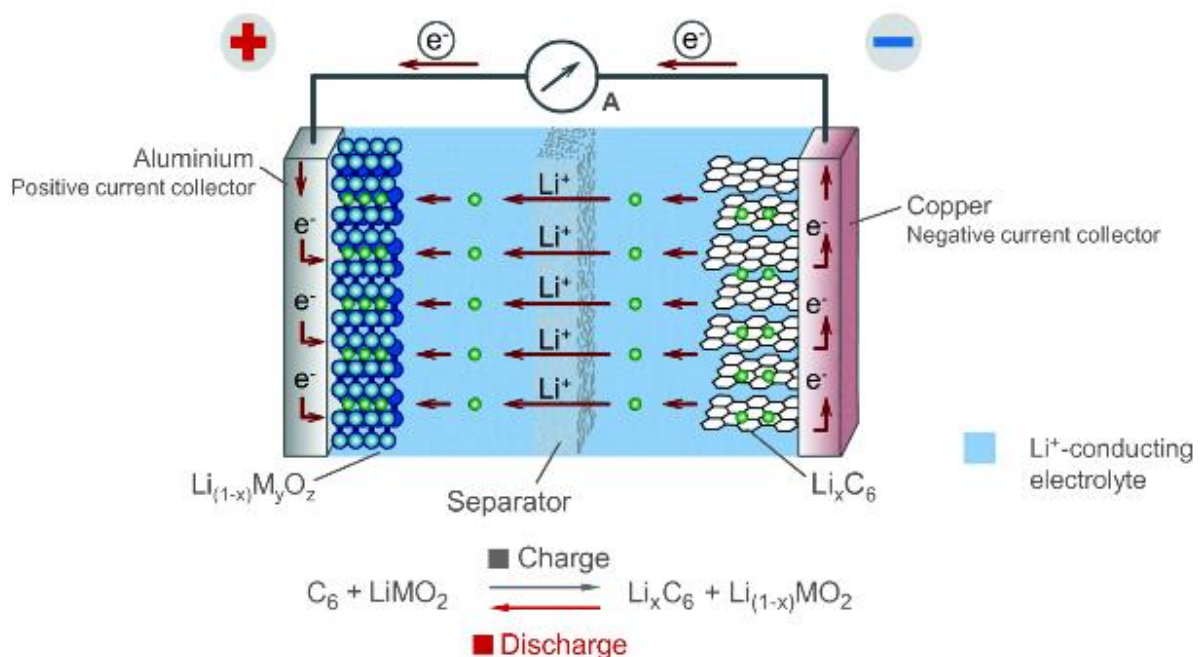
- IVL 2017 (Romare & Dahllöf, 2017)
- IVL 2019 (Emilsson & Dahllöf, 2019)
- Norsk 2010 og 2018 (ProBas, 2010) og (Moelven Industrier ASA, 2020)

- Gass 2010 og 2014 (ProBas, 2010) og (Schlömer, et al., 2014)
- Kull 2010 og 2014 (ProBas, 2010) og (Schlömer, et al., 2014)
- 100% vannkraft (ProBas, 2000)

2.3 Hva er litium-ionbatteri?

Litium-ionbatterier brukes mye og har forskjellige bruksområder og er i stadig utvikling (Armand M. , et al., 2020). Det blir brukt store mengder metaller og energi i produksjonen av litium-ionbatterier. Grunnstoffet litium utgjør bare en liten del av batteriet. Litium er et metall som er energikrevende å utvinne grunnet prosessen hvor den må tørkes, kombinert med varme og store mengder med vann (Katwala, 2018).

Figur 6 illustrerer et enkelt litium-ionbatteri med fire hovedkomponenter - anode som består av et aktivt materiale, ofte laget av grafit, katode som består av et aktivt materiale av diverse oksider, elektrolytt som inneholder frittflytende litiumsalter og en separator som er et porøst og isolerende materiale. Når et litium-ionbatteri blir brukt vil Li^+ gå fra anoden, gjennom separatorene og feste seg til metallene i katoden. Under denne prosessen vil Li^+ gi fra seg et elektron. Dette elektronet går deretter gjennom kretsen hvor batteriet er koblet opp for å levere energi. Elektronet blir værende i katoden. Når batteriet lades beveger elektronene tilbake til Li^+ som går gjennom separatorene, tilbake til anoden klar til å brukes (Reiner, 2018).



Figur 6 - Figuren viser hvordan et enkelt oppladbart litium litium-ionbatteri er bygd opp og funksjonen den har (Reiner, 2018).

2.4 Dagens teknologi og bruk rundt litium-ionbatteri

I 1976 utviklet M. Stanley Whittingham, tildelt Nobelpris i kjemi 2019, det første litium-ionbatteriet. I prosessen ble det oppdaget at litium-ioner kunne holde på elektrisk spenning mellom titansulfater (Berkowitz, 2019). Whittinghams bidrag har vært viktig for utviklingen av litium-ionbatterier, og teknologien finnes i dag i mobiltelefoner og elektriske kjøretøy. Litium-ionbatterier kan produseres ved hjelp av ulike sammensetninger av litiumbaserte katode- og anodematerialer. I dagens batteriteknologi er det mest vanlig å benytte seg av en blanding av kobolt, nikkel og manganoksider sammen med litium som katode.

NMC, NCA og LFP er tre velkjente batteriteknologier. I dagens batterimarked er det disse tre kjemiene som brukes i elbiler. NMC- og NCA-teknologiene er avhengig av kobolt, i tillegg til andre metaller som litium, nikkel, kobber og aluminium (Emilsson & Dahllöf, 2019). LFP-kjemien krever ikke kobolt, men blir, på grunn av dens lave energitetthet og vekt, regnet som mindre egnet til bruk i elbiler, og mer egnet til bruk til tyngre kjøretøy som for eksempel elektriske busser.

Energien som elektriske kjøretøy bruker til fremdrift er avhengig av flere faktorer som værforhold, topografi, hastighet, kjørestil og baserer seg på ulike systemgrenser som avgjør hvilken rekkevidde produsentene velger å oppgi på papiret (Varga, Bogdan Ovidiu; Sagoian, Arsen; Mariasiu, Florin, 2019). Usikkerheten i tall rundt energibruken er avhengig av topografien som brukes som forutsetning under en analyse. Det er stor forskjell rundt forbruk når man simulerer kjøring på flate veier med minimal stigning, som for eksempel på flatt landskap i Danmark, eller i Norge med høye fjell og bratte veier med høy stigningsprosent.

WLTP (Worldwide Harmonised Light Vehicle Test Procedure) og NEDC (New European Driving Cycle) er de vanligste metodene som brukes for å teste kjøretøyenes prestasjon og kvantifiserer nivåer av CO₂-utslipp, forbruk og estimert rekkevidde for kjøretøy (Lee & Lee, 2020).

Katode	Forkortelse	Bruksområde	Fordeler	Ulemper
LiCoO ₂ Litium koboltoksid	LCO	Hovedsakelig i småskala elektronikk	God ytelse og forsåelse for systemet	Sikkerhet, krever kobolt og nikkel
LiNi _{0.33} Mn _{0.33} Co _{0.33} O ₂ Litiumnikkel mangankoboltoksider	NMC	Vanlig i dagens elbiler	Bedre sikkerhet og ytelse sammenlignet med LCO	Kostnad, krever kobolt og nikkel
LiFePO ₄ Litium jernfosfat	LFP	Høy effekt, potensial til bruk i elektriske kjøretøy	Utmerket ytelse og levetid. Rikelig tilgang til materiale	Lav energitetthet, høy vekt
LiNi _{0.8} Co _{0.15} Al _{0.05} O ₂ Litiumnikkel koboltaluminiumoksider	NCA	Anvendes noe i elbiler	Høy kapasitet, spenning og effekt	Sikkerhet, kostnad og krever kobolt og nikkel

Tabell 1 - Tabellen gir oversikt over de mest vanlige katodekjemiene, samt fordeler og ulemper med dem (Kushnir, 2015)

Ved å se på de mest solgte elbilene i Norge er det mulig å gå nærmere på kjemivalget som er mest vanlig. I studiene som er gjort avgrenses kjøretøyene til å gjelde Norges mest solgte elbiler fra kjøretøyet ble lansert og fram til mai 2021 (Elbilstatistikk, 2021), med statistikk fra EV-Database.com (EV-Database, 2021).

Helelektriske biler (BEV)	Antall solgte kjøretøy	Kjemi	Batteristørrelse (kWh)	Kilde
Nissan Leaf	67921	NMC/LMO	40	EV-Database
BMW i3	28982	NMC	42,2	EV-Database
Tesla Model S	26363	NCA	79	EV-Database

Tabell 2 - Tabellen gir oversikt over de mest vanlige katodekjemiene.

Utslipet som kommer direkte fra batteripakkene fra de tre bilene, har forskjellige utslippsmengder i forskjellige steg i livsløpet til bilene. Utslipet påvirkes av flere faktorer som for eksempel energimiks, batteristørrelse og geografisk lokasjon til fabrikkene. Ved å se på en typisk livsløpsanalyse er det mulig å få se nærmere på utslippet fra hvert steg i livsløpet til batteripakker. I neste kapittel vil vi gå nærmere inn på de ulike fasene som ses på i en slik analyse.

2.5 LCA – en livsløpsanalyse

LCA betyr det samme som livsløpsvurdering, som er en metode som skal gi oversikt over hvilke utslag et produkt har for miljøet gjennom livsløpet (Stiftelsen Østlandsforskning, 2020). En LCA gjøres ved å undersøke alle aspekter fra produktet blir produsert, brukt og til slutt utrangert. Fordelene med denne metoden er at det skapes et overblikk over hvilke ledd i livssyklusen utslippene er høye, noe som gir mulighet for forbedring (Stiftelsen Østlandsforskning, 2020). En LCA bygger på konseptet systemgrenser, som også kan identifiseres som en standard. Systemgrenser definerer ulike faser, som for eksempel et kjøretøy. Systemgrenser settes for å sikte seg inn om emnet og få en målrettet analyse av litteraturen som finnes. På dette området er det viktig å fase ut aspekter som utgjør minst i analysen, samt har lite eller dårlig data (Stiftelsen Østlandsforskning, 2020). En LCA som baserer seg på en standard er også med på å sikre at informasjonen er gjennomskiktig og sammenlignbar. NS-EN 15804 er et eksempel på en systemgrense som fungerer som et rammeverk til bygg- og anleggssektoren (LCA.no, u.d.). I denne delen vil vi gå nærmere inn på hvordan en LCA fungerer. For analyser av batterier til elektrifiserte elbiler er det fire faser som er relevante og som vi videre skal nærmere innpå.

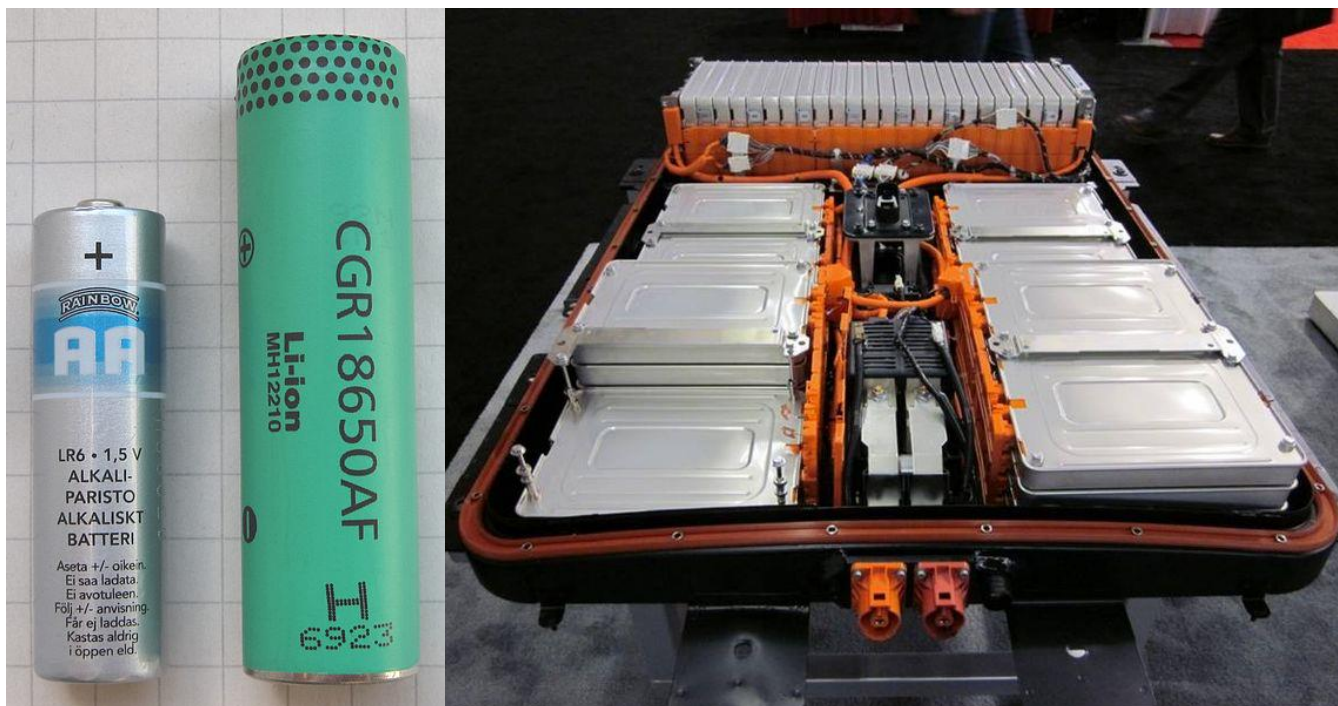
2.5.1 Råvareuttak og produksjon for et NMC-teknologien

Før selve batteriet kan produseres må råmaterialene til batteripakken utvinnes. Vi tar for eksempel for oss NMC-teknologien som benyttes i elektriske biler hvor batteripakken består av litium (Li), nikkel (Ni), kobolt (Co), mangan (Mn), og oksygen (O). For batteriet trengs det også metaller som stål, termisk isolator og aluminium (Lima, 2020).

Metallene som brukes i et typisk batteri må utvinnes fra et gruveanlegg. Disse råvarene transporteres til batterifabrikk hvor batteriene konstrueres. Produksjonen av et typisk batteri består av blanding, belegg og tørking, vakuump-tørking og dannelsesprosesser. Produksjonsfasen er den mest energikrevende prosessen for hele livsløpet (Luo, Sun, Zhang, Fanran, & Yang, 2020).

2.5.2 Installasjon av batteripakke

Batteripakker som produseres til elbiler blir ofte levert som individuelle celler. I figur 7 er det vist et eksempel på et litium-ionbatteri som benyttes i elbiler. Cellene blir seriekoblet før de plasseres som en batteripakke, monteres og kobles på elbilen (Coffin & Horowitz, 2018).



Figur 7 - Bilde av individuelle battericeller og av en batteripakke til elbil. (Lead holder, 2011), (Meyer, 2010)

2.5.3 Bruksfase

Bruksfasen omfatter gjentatt belastning etter varierende kjøreforhold hvor det tas forbehold om at batteriet i bilen ikke byttes ut, og varer hele bilens levetid, som estimeres til 240 000 km (Accardo, Antonella; Dotelli, Giovanni; Musa, Marco Luigi; Spessa, Ezio;, 2021). Batteriet blir oppladet med forskjellige type ladere - fra hjemmeladere med en installert effekt rundt 4-22 kW, mens hurtigludere kan levere installert effekt mellom 43-150 kW (Normann Elsrud & Bjørnå, 2020).

Utslippene knyttet til bruksfasen til en elbil er avhengig av hvor og hvordan elektrisiteten produseres. Eksempelvis - om elektrisiteten produseres med kullkraft vil det gi høyere utslipp gCO_2/km , sammenlignet med elektrisk energi som er produsert med fornybare energikilder som for eksempel vann-, sol- eller vindkraft. (Kawamoto, et al., 2019)

2.5.4 Sluttfasen

Batterier anses som en forbruksvare som blir mindre effektiv på grunn av at batteriene kjemisk foreldes. Etter en angitt ladesyklus mister batterier store deler av evnen til å holde på strøm, sammenlignet med når fabrikknye batterier. Når et batteri når dette steget i livet, typisk 80-70 % maksimal batterikapasitet (Ramoni & Zhang, 2013), regnes batteriene som utskiftbare. Batteriet kan for eksempel demonteres tilbake til individuelle celler igjen som vist i figur 7. Ved å benytte denne prosessen kan batteriene få et nytt liv i stillestående systemer som energilagring for fornybare energikilder, med sol og vindkraft for kraftbalansering i tider med ulik belastning i kraftnettet (Braco, Martín, Berrueta, Sanchis, & Ursúa, 2020). Gjenbruk blir sett på som det et «End Of Life-alternativ» for batterier (Ramoni & Zhang, 2013). Det finnes ulike måter å resirkulere et batteri på. Pyrometallurgiske og hydrometallurgiske prosesser som innebærer nedsmelting kan gjenvinne mye av metallene som finnes i batteriene. I kapitlet under gjør vi mer rede for hvordan prosessene fungerer.

2.5.5 Gjenvinningsfasen

Et batteri som ikke er egnet til gjenbruk kan bli kassert som elektrisk-avfall eller resirkuleres. Et batteri kan gå igjennom en rekke ulike metoder for resirkulering - pyrometallurgisk gjenvinning (*pyrometallurgical recovery*), fysisk material separasjon (*physical materials seperation*), hydrometallurgisk metallgjenvinning (*hydrometallurgical metals reclamation*), direkte resirkulering (*direct recycling*) og biologisk metallgjenvinning (*biological metals reclamation*). Ingen av resirkuleringsprosessene kan gjenvinne alt av materialer som finnes i et litium-ionbatteri (Gavin, et al., 2019).

2.6 IVLs litteraturstudier

IVL Swedish Environmental Research Institutes rapporter (Romare & Dahllöf, 2017) og (Emilsson & Dahllöf, 2019) er som tidligere nevnt to hovedkilder som vi har valgt å bruke til å løse problemstillingen vår. Disse to litteraturstudiene er finansiert av SEA (*Swedish Energy Agency*), en svensk forvaltningsmyndighet som på oppdrag fra den svenske regjeringen utarbeider og finansierer forskningsrapporter. Disse omhandler fornybare energiløsninger, smarte el-nett, bilpark og ulike drivstofftyper (Swedish Energy Agency, 2014).

2.6.1 Rapport fra 2017 - The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries (C243)

(Romare & Dahllöf, 2017) har i sin rapport fokus på dagens teknologi og klimagassutslipp fra produksjonsdelen av litium-ionbatterier. Rapporten tar ikke hensyn til brukerfasen av batterier. Ett av hovedformålene med studien er å innhente verdier for klimagassutslipp basert på ulike studier.

Resultatene fra de ulike livsløpsanalysene varierer stort, og viser til at klimagassutslippene ligger mellom 150-200 kgCO₂-eq/kWh. Omtrent 50 % av klimagassutslippene kommer fra selve tilvirkningen og installering av batteriet. Resterende utslipp kommer fra prosessen med å utvinne materialer, gruvedrift og raffinering av materialer.

Store deler av energibruket i produksjon av litium-ionbatterier stammer utelukkende fra produksjonsdelen. På bakgrunn av dette er elektrisitetsmiksen en viktig faktor som kan påvirke klimagassutslippet i stor grad. Det nevnes at plassering av produksjonslokale har en kortsiktig påvirkning på klimagassutslipp, siden utslipp og elektrisitetsmiksen varierer fra land til land. Tabellen under viser studier gjort av (Romare & Dahllöf, 2017) og (Ellingsen, Singh, & Strømman, 2016) hvordan klimagassutslipp varierer i ulike land.

Elektrisitetsmiks	g CO ₂ -eq/kWh el	kg CO ₂ -eq/kWh batteri batterikapasitet	% av Ellingsen (produksjon)	% av Ellingsen total
Sverige	50	7	7 %	42 %
Brasil	300	46	43 %	65 %
Ellingsen ref*		107	100 %	100 %
USA	700	112	105 %	103 %
Kina	1000	159	149 %	130 %
Polen	1050	169	159 %	136 %
India	1400	226	212 %	170 %
* Basert på Ellingsens verdier hvor det kreves 172 CO ₂ -eq/kWh batteri, hvor 62% av utslippet kommer fra produksjonsbiten (107 kg CO ₂ -eq/kWh batteri)				

Tabell 3 - Tabellen viser eksempler av klimagassutslipp fra ulike elektrisitetsmiksjorden rundt (Romare & Dahllöf, 2017)

Det blir nevnt i studien at mangelen/tilgang på primærdata gjør det vanskelig å gi et detaljert bilde av total produksjonsutslipp av ulike batterier. Likevel kan rapporten anses å gi en god indikasjon på det totale klimagassutslippet ved produksjon (Romare & Dahllöf, 2017).

2.6.2 Rapport fra 2019 - Lithium-Ion Vehicle Battery Production (C444)

IVLs litteraturstudie (Emilsson & Dahllöf, 2019) er en oppdatert rapport som bygger på *The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries (C243)* fra 2017.

Rapporten gjør rede for ulike livsløpssykluser (LCA) av litium-ionbatterier som anvendes i elbiler. I tillegg søkes det etter standardisering av LCA-metodikk og ny informasjon innenfor gjenvinning av batteri, samt forsyningsrisiko for betydningsfulle materialer som går med til produksjon av litium-ionbatterier.

Resultatene fra de nye livsløpsanalysene med de nye dataene estimeres fra 61 til 106 kgCO₂-eq/kWh. Disse verdiene gjelder for NMC-batterier, som per dags dato er den mest vanligste kjemien som brukes i litium-ionbatterier (Emilsson & Dahllöf, 2019). Årsaken til at verdiene er lavere skyldes tilgang til nyere og mer presis primærdata. De nye primærdataene har også endret seg til å bli mer kommersielt, slik at utslipp per enhet har bidratt til å redusere klimagassutslippene. Resultatet varierer stort på grunn av variasjonen av elektrisitetsmiksen som trengs for å produsere battericeller.

Ifølge rapporten er det fortsatt behov for enda mer primærdata siden ulike produksjonsteknikker kan utføres på flere måter med ulike effektivitet. I studien er det også konkludert med at det er behov for mer informasjon om forsyningskjeden til ulike metaller, samt bedre sporbarhet slik at bærekraftig produksjon kan oppnås og garanteres. I konklusjonen anbefaler Emilsson og Dahllöf blant annet å utvikle en standard for hvordan data samles inn, for eksempel ved å benytte seg av *Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR)* (Emilsson & Dahllöf, 2019).

Framover er det vesentlig å fortsette med forskning og utvikling av tilgangen på materialer som kan brukes i batterier. Gjenvinning av batterier vil få en større betydning for å ytterligere begrense klimagassutslipp i framtiden (Emilsson & Dahllöf, 2019).

3 Metode og datagrunnlag

I denne avhandlingen har vi brukt systematisk litteraturstudie som metode. I denne delen vil vi gjøre rede for hvilken metode som er blitt brukt i denne avhandlingen, samt framgangsmåten som er gjort for å finne fram til relevante forsknings- og faglitteratur. I tillegg har vi gjort noen forutsetninger og beregninger for å kunne sammenligne dataene slik at vi kan finne verdier for klimagassutslipp for produksjon av et elbilbatteri, samt bruken av dem.

3.1 Hva er metode?

Metode stammer fra det greske ordet «*Methodos*» som betyr å «*følge en bestemt vei mot et mål*». Begrepet metode kan uttrykkes på ulike måter, men har som mål å løse problemer og komme fram til ny kunnskap. Under er noen eksempler:

«En metode er en fremgangsmåte, et middel til å løse problemer og komme frem til ny kunnskap. Et hvilket som helst middel som tjener dette formålet, hører med i arsenalet av metoder» Vilhelm Aubert, 1985 (Dalland, Metode og oppgaveskriving for studenter, 2012).

«Metode er den håndverksmessige siden av vitenskapelig virksomhet, eller mer presist læren om de verktøy som kan benyttes for å innsamle informasjon (Halvorsen, 1989).»

3.2 Litteraturstudie som metode

Arbeidsmetoden som vi har brukt i denne bacheloroppgaven kan klassifiseres som en kvalitativ systematisk litteraturstudie. Avhandlingen bygger på omfattende søk og gjennomgang av eksisterende kunnskapsstatus innen fagområdet. De innhentende dokumentene ble også analysert og vurdert om dem var relevante for studiet vårt.

Informasjonen ble hentet ved å søke i ulike databaser. Underveis ble kildene vurdert og analysert. Avhandlingen skaper ikke ny kunnskap, selv om nye vurderinger kan komme frem når man ser på ulike fagartikler/rapporter opp mot hverandre.

Vi følger de metodiske retningslinjene som beskrevet av (Boland et al ...)

1. **Planlegging. Innledningsvis skal oppgaven planlegges i forkant av oppstart.** Fordeler og ulemper med valg av metode bør drøftes før problemstillingen blir til.
2. **Scoping review, identifisere problemstilling og gjennomføring av protokoll.** Her skal Scoping Review gjennomføres. Formålet med Scoping Review er å lokalisere bakgrunns litteratur som videre er med å definere problemstillingen.
3. **Litteratursøk.** I dette steget skal man identifisere artikler ved hjelp av vitenskapelige databaser, både på nett og i bibliotek, som skal bidra til å løse problemstillingen.
4. **Skumlese titler og abstrakt.** Her gjennomgås artikler ved å lese gjennom titlene, og abstraktet dersom det er uunnværlig. Artikler som anses om irrelevante tas vekk og de som er relevante tas vare på.
5. **Lokalisere fulltekst.** Når artikler blir valgt ut er neste steg å sikre fullversjonen av dem til videre bruk.
6. **Selektering av tekst.** Videre blir artikler vurdert opp mot problemstillingen for å se om de er relevante for å svare på problemstillingen eller om de regnes som irrelevante. Denne gangen blir teksten vurdert etter hele innholdet, og ikke bare tittel og abstrakt.
7. **Eksport av data.** Her eksporteres relevant informasjon fra de ulike artiklene og legges inn i et dokument. Formålet i dette steget er å få oversikt over all informasjon som skal tas i bruk videre.
8. **Kvalitetsvurdering.** I dette steget blir alle de utvalgte artiklene gjennomgått og kvalitetsvurdert.
9. **Analyse og syntese.** Videre analyseres artikler.
10. **Skrive, redigere og formidle.** Til slutt samles alt materiale inn, og videre skrives det om bakgrunn, metode og resultater. Funn diskuteres og konklusjon trekkes.

3.3 Vurdering av kredibilitet og validitet

For å svare på problemstillingen brukes det faglitteratur, systemgrenser (NS-EN) og produktkataloger for å kunne innhente informasjon og vurdere ulike teknologier som kan brukes til å produsere litium-ionbatterier til bruk i personbiler. Kildens kredibilitet viser til hvor troverdig informasjonen er og validitet til hvilken gyldighet det som er undersøkt har. Hvor nøye har undersøkelsene blitt gjort og hvilke forutsetninger, og feilkilder som finnes.

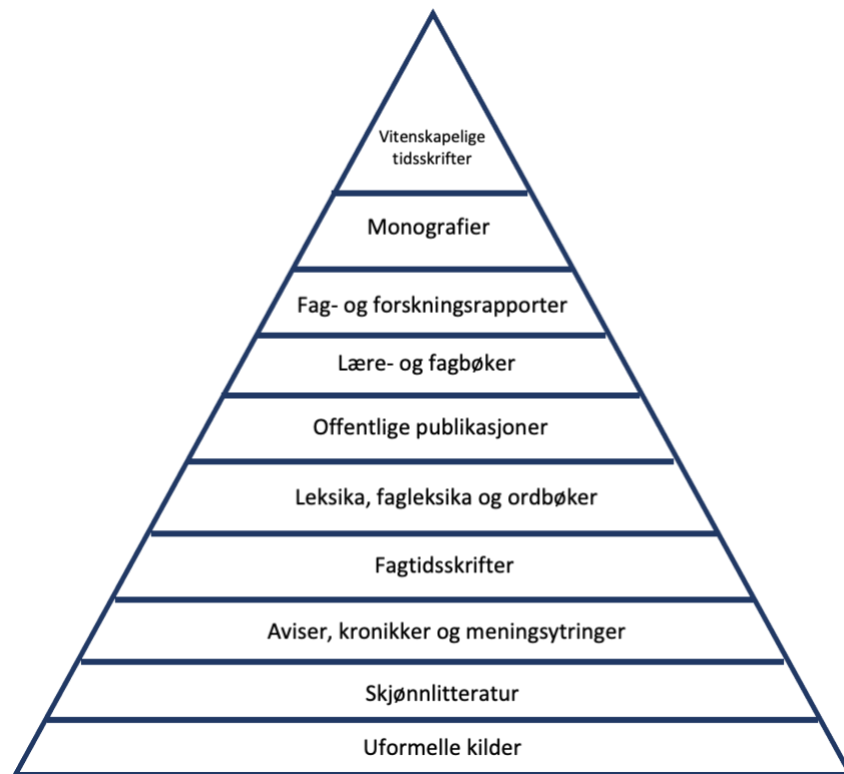
I vurderingen av kildene vil følgende tas hensyn til:

- **Kildens alder**
- **Relevans i forhold til problemstilling/avgrensinger**
- **Forfatters/produsents rolle i forhold til informasjonen**

3.3.1 Kilder og kildekritikk

Opphav til informasjon eller kunnskap som kan bidra til oppgaven vår kaller vi en kilde. Å skille mellom gode og mindre gode kilder må gjøres etter ulike krav som vi vurderer kildene etter. I en kildevurderingsprosess er det betydningsfullt å skille mellom informasjon og kunnskap. Informasjon er i utgangspunktet knyttet til opplysninger der faktumet ikke alltid er fastslått, mens kunnskap er kontrollerte opplysninger (Dalland, Metode og oppgaveskriving, 2017).

Når en kilde er innhentet og skal vurderes, er kildekritikk en vesentlig del som må tas hensyn til. I en litteraturstudie som vi har brukt som metode, gir oss mulighet til å bruke omtrent «uendelige» mengder med kilder, ved hjelp av bibliotek og internett. Det er derfor viktig at vi har gjort rede for valg av litteraturen som er blitt til en del av oppgaven vår. Oppgavens troverdighet er avhengig av en kvalitetsanalyse som sier noe om hvorfor en bestemt type litteratur er valgt, og hvordan kildene er vurdert (Dalland, Metode og oppgaveskriving, 2017). Kildene vurderes etter et kildehierarki som vises i figur 8.



Figur 8 - Kildehierarki (Dalland, Metode og oppgaveskriving, 2017)

3.4 Litteratursøk

For å kunne starte et litteratursøk var det viktig å finne ut av to ting: hvilke databaser som skulle benyttes og hvilke søkestrenger som skulle søkes med. Etter at det var på plass, kunne vi identifisere artikler og sortere dem basert på vurderingskriteriene våre.

3.4.1 Databaser

Etter å ha definert problemstillingen vår startet vi å søke etter relevant litteratur slik at vi kunne bruke disse videre i vurderingene våre.

I litteratursøket vårt startet vi å benytte søketjenesten Oria. Oria er en felles internettportal som samler faglitteratur som finnes ved de fleste norske fag- og forskningsbibliotek. I databasen finnes det også en mengde elektroniske materiale fra åpne kilder (UNIT, 2020).

I tillegg til Oria som «hovedsøkemotor» har vi valgt å benytte oss av andre søketjenester som Google Scholar, WorldWideScience og Google. De to første søkemotorene gav oss tilgang til internasjonale forskningsartikler, mens Google ble brukt som et supplement til å lokalisere data/verdier utover det som vi kunne finne fra de andre søkemotorene.

3.5 Systemgrenser i en livsløpsanalyse

En livsløpsanalyse er avhengig av ulike systemgrenser som tydelig definerer ulike faser, som viser hvor mye et produkt påvirker miljøet og klimaet. For å gjennomføre en LCA er det viktig å sette systemgrenser settes riktig. En analyse skal ta for seg hele livsløpet, fra utslipp knyttet fra uttak av råmaterialer, til produksjon, bruk, vedlikehold av produktet og håndtering av produktet etter endt levetid (Holden, 2003).

3.5.1 NS-EN 15804 anvendes som systemgrense

Hovedformålet med standard NS-EN 15804 er å definere klare og tydelige retningslinjer for å utføre en livsløpsvurdering til bygg- og anleggssektoren. EPD defineres som *Environmental Product Declaration*, eller miljødeklarasjon på norsk. Ved å benytte seg av denne standarden kan man anse informasjonen som gjennomiktig og sammenlignbar med andre data. Denne standarden deler livsløpszyklusen inn i følgende faser (LCA.no, u.d.):

NS-EN 15804																
Produktfase			Konstruksjon installasjon fase		Bruksfase							Sluttfase			Etter endt levetid	
Råmaterialer	Transport	Tilvirkning	Transport	Konstruksjon installasjon fase	Bruk	Vedlikehold	Reparasjon	Utskiftninger	Renovering	Operasjonell energibruk	Operasjonell vannbruk	Demontering	Transport	Avfallsbehandling	Avfall til sluttbehandling	Gjenbruk-gjenvinningsresirkulerings-potensiale
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Inndeling som vil bli brukt i analysen til å besvare problemstillingen																
Inndeling som vil bli brukt til å analyse energibruk til framdrift av elektriske biler i ulik størrelse																

Tabell 4 - Oversikt over faser i NS-EN 15804 som benyttes som systemgrense for å svare på problemstilling og analyse energibruk til framdrift av elektriske biler i ulik størrelse (LCA.no, u.d.)

I studiet vårt vil vi ta for oss produktfasen og bruksfasen til å besvare problemstillingen. Dette inkluderer fase A1, A3 og B1. På grunn av lite tilgjengelig data knyttet til produksjon av litium-ionbatterier for transportsfasen, har vi valgt å ekskludere A2 fra systemgrensene. I tillegg er det interessant å se på energibruken knyttet til elbiler i ulike størrelse, B1. Resten av fasene er interessante å se på, men på grunn av manglende tid og omfang, har vi dessverre ikke hatt mulighet til å se på alle fasene knyttet til standard NS-EN 15804.

3.6 Produksjon av litium-ionbatterier

Analysen som er gjort er begrenset til A1 og A3 som vist i figuren over. For å lokalisere primærdata til disse fasene har vi utført en litteraturstudie. I tillegg sammenlignes disse verdiene med data og informasjon fra andre livløpsstudier. I analysen vår har vi valgt ut Leaf som er en av de mestselgende elbilene i Norge, fram til mai 2021 (Elbilstatistikk, 2021) og ble derfor valgt ut til å representere et typisk NMC litium-ionbatteri.

	Batteristørrelse	Kilde
Nissan Leaf 2018 (NMC)	40 kWh	EV-database (u.d)

Tabell 5 - En av de mestselgende elbilene i Norge fram til mai 2021. Denne er brukt som et typisk batteri til å beregne utslipp. Vi har brukt batteristørrelsen fra en 2018 Nissan Leaf for å få noe mer tidsriktig resultat siden batteripakkene stadig er under utvikling.

I våre utregninger skal vi se nærmere på utslippene knyttet til produksjon av litium-ionbatterier. Ifølge ProBas, en tysk online-database for livløpsyklus har norsk vannkraft et utslipp på 2857 kgCO₂-eq for produksjon av 1 TJ med energi fra norsk vannkraft. Disse verdiene tar hensyn til produksjon av magasin og kraftverk. Omregnet til MJ gir dette en verdi på 2,86 gCO₂-eq per MJ. I realiteten er det norske strømmettet påkoblet totalt 17 utenlandske forbindelser (Regjeringen, 2021). Medregnet importert kraft må vi legge til 1,94 gCO₂-eq per MJ som til sammen blir totalt 4,8 gCO₂-eq per MJ (Simonsen, 2010). Verdiene vi har sett på tar ikke hensyn til nettap og utslipp knyttet til produksjon av overføringslinjer. (The Norwegian EPD Foundation, 2020) tar hensyn til disse verdiene i LCA-analyse av høvellast av gran eller furu. Vi har derfor valgt å se på norsk energimiks fra 2018, 8,81 gCO₂-eq per MJ.

Energikilde	Klimagassutslipp (g CO2-eq/MJ)	Kilde	Notat
Norsk miks 2019	4,72	NVE (2019)	Inkluderer vann-, vind-, kjernekraft, gass, kull, annen fossil og annen fornybar. Inkluderer ikke nettap, produksjon av overføringslinjer
Norsk miks 2018	8,81	The Norwegian EPD Foundation (2020)	Inkluderer vann-, vind-, kjernekraft, gass, kull, annen fossil og annen fornybar. Inkluderer også nettap, produksjon av overføringslinjer
Vannkraft*	2,52	Aalerud (2012)	Koeffisient for utregning etter standard EN 15603:2008
Vannkraft*	2,86	ProBas (2000)	Norsk vannkraftverk år 2000.
* Begge verdier tar hensyn til utslipp fra kraftstasjon og demning			

Tabell 6 - Klimagassutslipp oppgitt i gCO₂-eq/kWh. ProBas sine verdier sammenlignes med andre studier. Norsk miks 2019 består av flere ulike energikilder og er kun ment til å sette verdiene i perspektiv.

Utslipp fra produksjonen av batteriet alene ble regnet ut ved bruk av følgende formel:

$$kgCO_2eq / kWh \text{ batterikapasitet} * \text{batterikapasitet} = \text{utslipp produksjon av batteri}$$

Formel 1 - Utregning av produksjonsutslipp

Videre har vi gjort forutsetninger for bilens levetid, gjennomsnittlig årlig kjørelengde og antall passasjerer per tur som vist i figuren under. Dataene er hentet fra SSB (2019) hvor gjennomsnittlig kjørelengde er hentet for året 2019. Grunnet covid-19 har vi hentet tall fra 2019, selv om det foreligger data fra 2020. Ifølge SSB er gjennomsnittlig levealder på personbiler 18,1 år før de blir vraket. Ved å se på disse tallene har vi estimert at en bil i Norge i gjennomsnitt har kjørt 228 621 km før de kasseres.

	Verdi	Kilde	Notat
Kjørlengde pr. år (km)	12631	SSB (2019)	Gjennomsnittlig kjørelengde for elektrisk personbil i Norge 2019
Levealder bil (år)	18,1	SSB (2019)	Gjennomsnittlig levealder ved vraking i Norge, 2019
Levetid bil (km)	228621	Egne utregninger basert på SSB sine verdier	
Antall passasjerer pr. tur (pax)	1,7	SSB (2019)	Gjennomsnittlig personer pr. kjøretøy i Norge, 2019. Inkl. Fører

Tabell 7 - Oversikt over forutsetninger som er gjort for å regne ut utslipp produksjon.

For produksjon har vi tatt verdier for utslipp for råvaremateriale og utvinning fra IVL-rapportene (Romare & Dahllöf, 2017) og (Emilsson & Dahllöf, 2019) i utregning av total utslipp for alle energikilder som vi har inkludert i oppgaven.

Materiale (A1)		
Kilde	kg CO ₂ -eq/kWh batterikapasitet	Sum av 40 kWh batteri [kg CO ₂ -eq/batteri]
(Romare & Dahllöf, 2017)	65,2	2608
(Emilsson & Dahllöf, 2019)	59	2360

Tabell 8 - Utslipp fra råvareutvinning.

Energikildene som brukes til produksjon av elektrisitet er tatt fra ProBas. Her har vi valgt å inkludere verdier for norsk vannkraft ekskludert overføringstap og norsk markedsmiks med 5 % distribusjonstap. Deretter fant vi verdier fra en EPD, fra Moelven Indrister AS, da disse verdiene tar hensyn til klimautslipp av norsk markedsmiks med importert elektrisitet fra Ecoinvent (august 2018). Begge kildene tar hensyn til utslipp av materiale og konstruksjon i utregningene. Verdiene fra Ecoinvent tar også hensyn til utslipp knyttet til produksjon av overføringslinjer.

Produksjon (A3)				
Kilde	Energibruk per kWh av batteri produksjon [MJ/kWh]	Nissan Leaf batteri [kWh]	Energibruk for et LEAF batteri [MJ/batteri]	Energibruk for et LEAF batteri [kWh/batteri]
(Romare & Dahllöf, 2017)	586	40	23440	6511,12
(Emilsson & Dahllöf, 2019)	216,2	40	8648	2402,22

Tabell 9 - Energibruk av fabrikasjon av en batteripakke til Leaf.

Energikilde	Luftutslipp [kg CO ₂ -eq/TJ]	Luftutslipp [g CO ₂ -eq/MJ]	Luftutslipp [g CO ₂ -eq/kWh]	Luftutslipp for et Leaf batteri [g CO ₂ -eq/batteri]
100% Vannkraft u/ tap	2857	2,86	10,29	66968
Norsk markedsmiks (2010) med 5% tap	14279	14,28	51,40	334700
Norsk markedsmiks (2018)	8806	8,81	31,70	206402
60% fossil energi (IVL 2017)	187372	187,37	674,54	4392000
50/50 blanding av fornybar- og fossil energi (IVL 2019)	84644	84,64	304,72	732000

Tabell 10 – Utslipp av energiproduksjon og fabrikasjon av batteripakke for Leaf.

Videre har vi tatt utslipp og omregnet til forskjellige enheter på bakgrunn av at ProBas oppga utslipp i kgCO₂-eq/TJ. Vi eksemplifiserer med verdier fra en Leaf og regner ut utslippet av batteriproduksjonen ved å bruke formelen under.

$$(gCO_2eq/MJ) * (MJ/Batteripakke)$$

Formel 2 - Utregning av utslipp pr. Leaf batteripakke

Total utslipp ble regnet ut ved å summere utvinning av råmaterialer (A1) og produksjon av batteri (A3).

Energikilde	Sum (A1+A3)			
	[kg CO ₂ -eq/kWh-batterikapasitet]	g CO ₂ -eq/batteri	g CO ₂ -eq/vogn-km	g CO ₂ -eq/passasjer-km
100% Vannkraft u/ tap	66,87	2674968	11,70	6,88
Norsk markedsmiks (2010) med 5% tap	73,57	2942700	12,87	7,57
Norsk markedsmiks (2018)	70,36	2814402	12,31	7,24
60% fossil energi (IVL 2017)	175,00	7000000	30,62	18,01
50/50 blanding av fornybar- og fossil energi (IVL 2019)	83,50	3340000	14,61	8,59

Tabell 11 - Tall for utslipp av produksjon av batterier til elbiler.

For å få en idé rundt utslippet per vogn- og passasjer-km har vi tatt utgangspunktet i en Leaf som har 40 kWh batteripakke. Dette gjør vi får å få en bedre forståelse for utslippet gjennom hele livsløpet til en NMC-batteripakke. Vi tar gjennomsnittet fra IVLs rapport (Romare & Dahllöf, 2017) som er 175 kgCO₂-eq/kWh batterikapasitet som vi antar er ca. 60 % fossilt brenselmiks. Antagelsen er basert på at i rapporten er det oppgitt at utslippet er mellom 84,8 til 134,8 kgCO₂-eq/kWh batterikapasitet, hvor 84,8 er 50 % og 134,8 er 70 %. Det samme gjør vi for IVLs rapport (Emilsson & Dahllöf, 2019), hvor gjennomsnittet er beregnet til 83,5 kgCO₂-eq/kWh batterikapasitet. Dette antar vi er en blandingsmiks av 50/50 fornybar energi og fossilt brensel. Vi brukte formelen:

$$\frac{gCO_2eq/batteri}{Lengden bilen kjører gjennom livet} = Utslipp per km$$

Formel 3 - Utregning av vogn-km

Vi brukte «levetid bil» fra Tabell 7 som ble beregnet til 228 621 km. For å regne ut passasjer-km ble følgende formel brukt:

$$\frac{gCO_2eq/batteri}{Lengden bilen kjører gjennom livet * antall passasjerer per tur} = Utslipp per passasjer km$$

Formel 4 - Utregning av passasjer-km

Her tok vi antall passasjerer pr. tur fra tabell 7 hvor vi tok 1,7 passasjer (inkl. fører) per kjøretøy.

Nissan Leaf (40 kWh)		
Energikilde	g CO ₂ -eq/vogn-km	g CO ₂ -eq/passasjer-km
100% Vannkraft u/ tap	11,70	6,88
Norsk markedsmiks (2010) med 5% tap	12,87	7,57
Norsk markedsmiks (2018)	12,31	7,24
60% fossil energi (IVL 2017)	30,62	18,01
50/50 blanding av fornybar- og fossil energi (IVL 2019)	14,61	8,59

Tabell 12 - Utslipp fra hele livstiden til batteriet delt opp i per vogn- og passasjer km.

3.7 Well-To-Wheel

En analyse av drivstoffenes livsløp har mange ulike navn. I dagens litteratur og forskning er det Well-To-Wheel (WTW)-analyser som er mest anvendt. Om vi fornorsker ordet ville denne metoden blitt kalt «brønn-til-hjul». For enkelhetens skyld har vi valgt å bruke det engelske termologien. En WTW-analyse tar for seg alle energikjedene helt fra utvinning av en energikilde til å framstille drivstoff til et bestemt kjøretøy (Holden, 2003)

I forbindelse med denne analysen er det nyttig å trekke inn to andre begreper som brukes i en WTW-analyse - Well-To-Tank (WTT) og Tank-To-Wheel (TTW). Kort sagt kan sammenhengen mellom de tre begrepene defineres:

$$WTW = WTT + TTW$$

Formel 5 - Utregning av Well-to-Wheel (Holden, 2003)

I denne oppgaven har vi gjennomført en enkel WTW-analyse. Resultatet vil vises i enheten gCO₂-eq./vogn-km.

Tallene vi fant frem til er vist i vogn-km og passasjer-km, og regnes ved hjelp av to formler:

$$\text{Energibruk fra kjøretøy} * \text{utslipp fra produksjon av elektrisitet} = \text{utslipp per km}$$

Formel 6 - Utregning av utslipp konvertert til vogn-km

$$\frac{\text{Energibruk fra kjøretøy} * \text{utslipp fra produksjon av elektrisitet}}{\text{antall passasjerer pr. tur}} = \text{utslipp per passasjer km}$$

Formel 7 - Utregning av utslipp konvertert til passasjer-km

Utslipp (g CO ₂ -eq/kWh)	Energikilde	Leaf [g CO ₂ -eq/vogn-km]	Leaf [g CO ₂ -eq/passasjer-km]	Model 3 [g CO ₂ -eq/vogn-km]	Model 3 [g CO ₂ -eq/passasjer-km]	i3 [g CO ₂ -eq/vogn-km]	i3 [g CO ₂ -eq/passasjer-km]
490,00	Gass (IPCC)	100,94	59,38	78,40	46,12	74,97	44,10
645,57	Gass (ProBas)	132,99	78,23	103,29	60,76	98,77	58,10
820,00	Kull (IPCC)	168,92	99,36	131,20	77,18	125,46	73,80
982,01	Kull (ProBas)	202,29	119,00	157,12	92,42	150,25	88,38
10,29	100% Vannkraft u/ tap	2,12	1,25	1,65	0,97	1,57	0,93
51,40	Norsk markedsmiks (2010) med 5% tap	10,59	6,23	8,22	4,84	7,86	4,63
31,70	Norsk markedsmiks (2018)	6,53	3,84	5,07	2,98	4,85	2,85
674,54	60% fossil energi (IVL 2017)	138,95	81,74	107,93	63,49	103,20	60,71
304,72	50/50 blanding av fornybar- og fossil energi (IVL 2019)	62,77	36,92	48,75	28,68	46,62	27,42

Tabell 13 - Tabellen viser utslipp per vogn- og passasjer-km for de tre ulike elbilene.

For å få en totalsum som viser utslippet knyttet til hele livsløpet av batteripakken tok vi summen av utslippet knyttet til utvinning av råvaremateriale, produksjon av selve batteripakken og summerer det sammen med utslipp som er knyttet til bruken av elbilen. Formelen under ble brukt til å regne ut utslippet for produksjon og bruk:

$$A1 + A3 + WTW = \text{Utslipp fra produksjon og bruk}$$

Formel 8 - Utregning av utslipp av hele livsløpet av batteripakken.

Nissan Leaf (40 kWh)		
Energikilde	gram CO ₂ -eq/vogn-km	gram CO ₂ -eq/passasjer-km
100% Vannkraft u/ tap	13,82	8,13
Norsk markedsmiks (2010) med 5% tap	23,46	13,80
Norsk markedsmiks (2018)	18,84	11,08
60% fossil energi (IVL 2017)	169,57	99,75
50/50 blanding av fornybar- og fossil energi (IVL 2019)	77,38	45,52

Tabell 14 - Sum av materiale, produksjon og bruk av en 40 kWh batteripakke.

3.7.1 Well-To-Tank

Energikildens livsløp har ulike navn. Well-To-Tank (WTT) er den delen som tar for seg alle ledd helt fra ressursutvinning til drivstoffet, i dette tilfellet elektrisitet som leveres til batteripakken til elbilen.

For elektriske biler er det relevant å se på utslipp fra WTT ved hjelp av å se på produksjon av elektrisitet og distribuering av elektrisitet til elbilen. Til utregningen av total utslipp har vi funnet verdier for hvor mye gCO₂-eq/kWh som slippes ut fra ulike elektrisitetskilder.

Utslipp (g CO ₂ -eq/kWh)	Energikilde	Kilde	Notat
490,00	Gass	IPCC	Tallet for utslipp var mellom 410-650 gram CO ₂ -eq/kWh. Vi brukte medianen som svar.
645,57	Gass	ProBas (2010) (Tyskland)	Gasskraftverk.
820,00	Kull	IPCC	Tallet for utslipp var mellom 740-910 gram CO ₂ -eq/kWh, vi brukte medianen som svar.
982,01	Kull (Lignite)	ProBas (2010) (Tyskland)	Kullkraftverk med dampturbin.
10,29	100% Vannkraft u/ tap	ProBas	Utelukkende vannkraft i Norge uten tap i
51,40	Norsk markedsmiks (2010) med 5% tap	ProBas	Blanding av fornybar energi i Norge med 5% distribusjonstap.
31,70	Norsk markedsmiks (2018)	EPD	EPD har brukt tall fra Ecoinvent som gir klimagassutslipp for norsk markedsmiks med import. Produksjon av overføringslinjer og nettap er med i utslippet.
674,54	60% fossil energi (IVL 2017)	(Romare & Dahllöf, 2017), C243 IVL	IVL skriver i rapporten at de brukte en energimiks med 50-70% fossilt brensel.
304,72	50/50 blanding av fornybar- og fossil energi (IVL 2019)	(Emilsson & Dahllöf, 2019), C244 IVL	IVL skriver i rapporten at de bruke fornybar energi miks og en rik fossil brensel miks.

Tabell 15 - Utslipp av produksjon av elektrisitet.

Vi har brukt tall fra tidligere nevnte energikilder og vi har valgt å ta tall for gass og kull. Vi har benyttet oss av verdier fra (Schlömer, et al., 2014) og (ProBas, 2010).

3.7.2 Tank-To-Wheel

Tank-To-Wheel tar hensyn til energien som går fra batteriet, videre til elmotoren og andre systemer som elbilen trenger for å fungere. Vi har basert oss på standarden WLTP til å se nærmere på energibruket til elbilene. Batterikapasiteten i dette tilfellet er allokert til framdrift av elbilen, og viser ikke faktisk installert batteristørrelse til elbilene.

Bil	Batteristørrelse [kWh]	Rekkevidde [km]	Energibruk [kWh/km]
Nissan Leaf (NMC)	36	270	0,206
Tesla Model 3 (NCA)	73,5	560	0,16
BMW i3 (NMC)	37,9	308	0,153

Tabell 16 - Energikapasitet, rekkevidde og energibruk for 3 forskjellige el-biler.

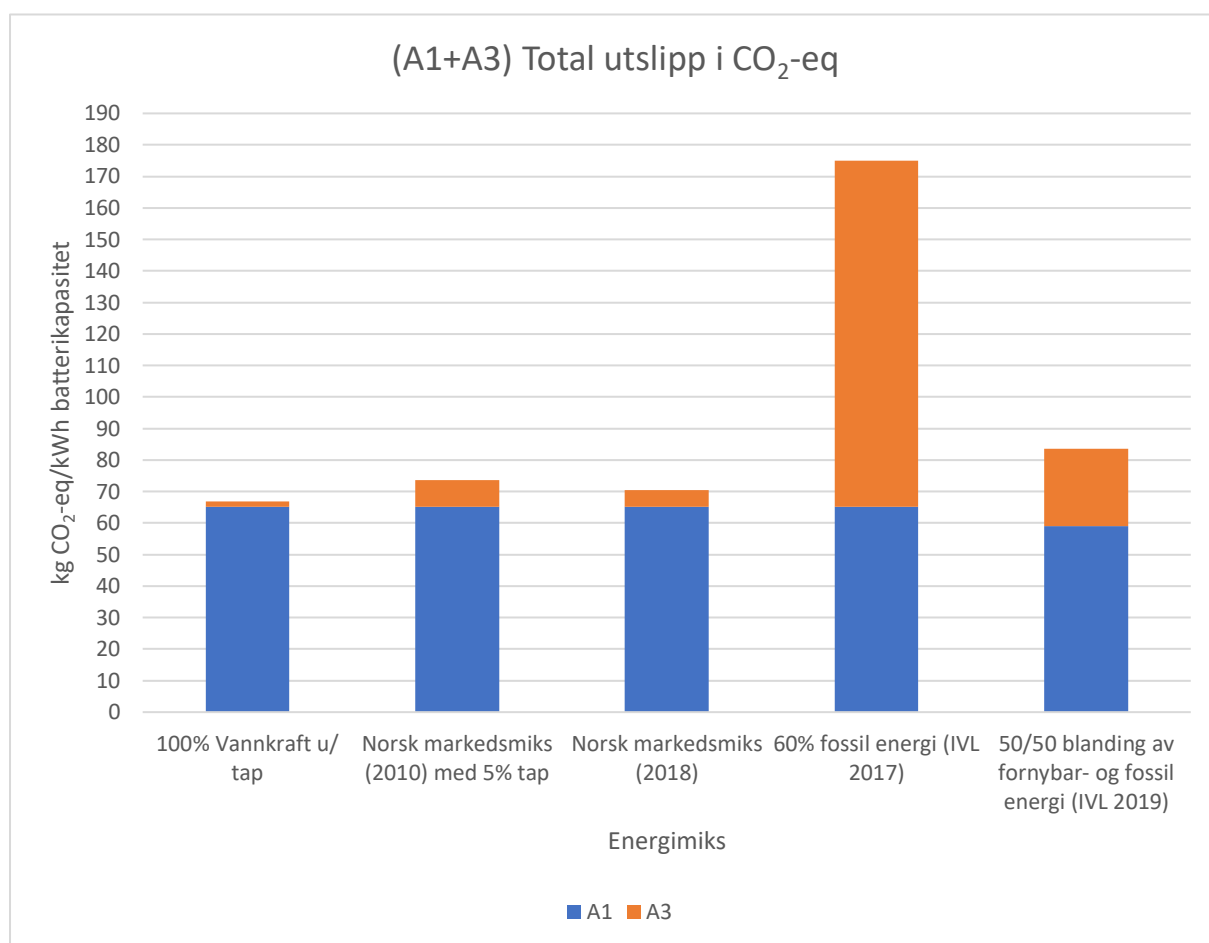
4 Resultat

Resultatene vi har funnet fram til er basert på rapportene til (Romare & Dahllöf, 2017) og (Emilsson & Dahllöf, 2019), samt ProBas, Ecoinvent og IPCC. Resultatene vises i g/kgCO₂-ekvivalenter, forkortet til CO₂-eq. Tallene som representeres er utslippet fra forskjellige punkt i livsløpet til batteripakken. Alle utregninger og figurer er tilgjengeliggjort i vedlegg 1 – Utregninger og figurer.

I dette kapittelet vil vi vise frem våre utslippstall for produksjon, WTT, TTW, WTW og summen av disse.

4.1 Produksjon

Resultatene vi har funnet fra litteraturstudien vår viser klimagassutslipp av batteriproduksjon til elbiler. Verdiene vi får skal representere utslipp av GHG oppgitt i gram- eller kgCO₂-eq per kWh batterikapasitet, vogn-km og passasjer-km. Utslipet kommer fra råvaremateriale og produksjon.

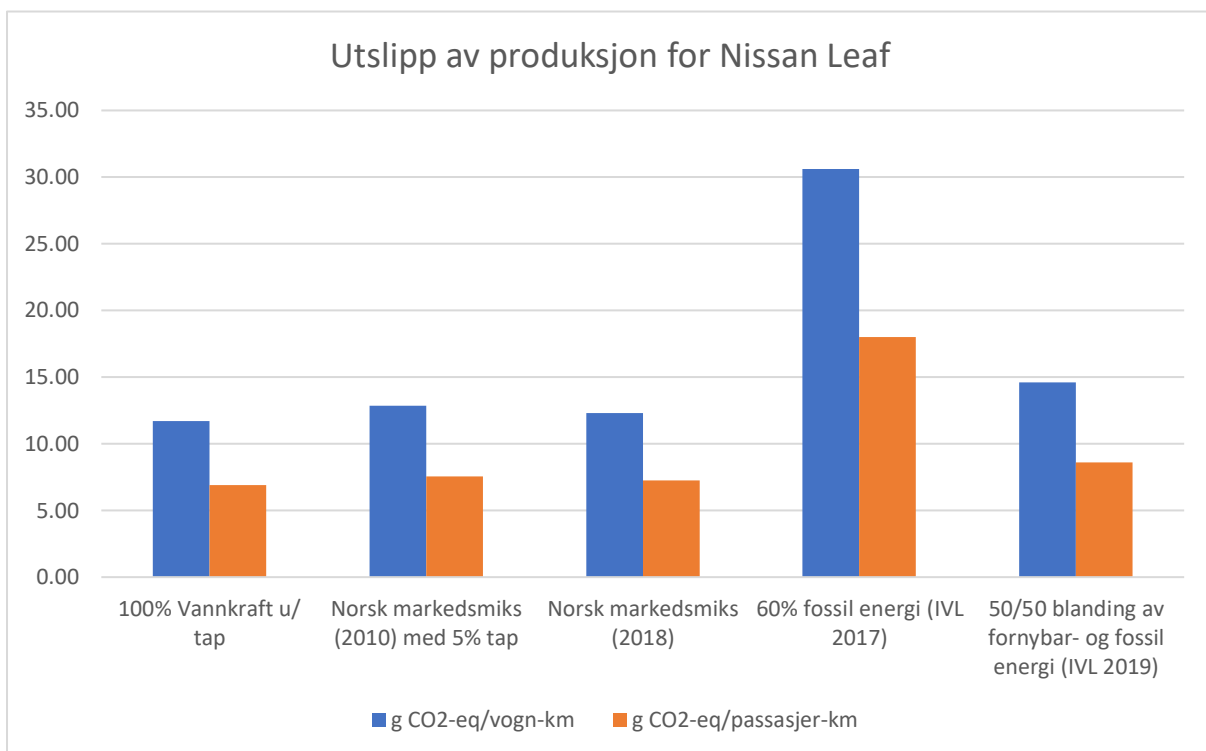


Figur 9 - Stolpediagrammet viser total GWP for ulike energikilder.

A1: Råmateriale [kg CO ₂ -eq/kwh batterikapasitet]	Kilde	Energimiks	A3: Produksjon [kg CO ₂ -eq/kwh batterikapasitet]	Kilde	(A1+A3) Totalt GWP [kg CO ₂ -eq/kwh batterikapasitet]
65,2	(Romare & Dahllöf, 2017), C243 IVL	100% Vannkraft u/ tap	1,67	Egne utregninger med tall fra ProBas (2000)	66,9
65,2	(Romare & Dahllöf, 2017), C243 IVL	Norsk markedsmiks (2010) med 5% tap	8,37	Egne utregninger på produksjon med tall fra ProBas (2010)	73,6
65,2	(Romare & Dahllöf, 2017), C243 IVL	Norsk markedsmiks (2018)	5,16	Tatt fra EDP for høvellast med egne utregninger	70,4
65,2	(Romare & Dahllöf, 2017), C243 IVL	60% fossil energi (IVL 2017)	109,8	(Romare & Dahllöf, 2017), C243 IVL	175
59	(Emilsson & Dahllöf, 2019), C244 IVL	50/50 blanding av fornybar- og fossil energi (IVL 2019)	24,5	(Emilsson & Dahllöf, 2019), C244 IVL	83,5

Tabell 17 - Utslipp av de forskjellige delene av produksjonen.

Utslipet fra utvinning av råvaremateriale er nærmest det samme for alle kildene våre med unntak fra fornybart energimiks-rikt fossilt brensel. Vi ser at utslipp fra vannkraft ved produksjon er betraktelig lavere enn ved bruk av 60 % fossilt brensel, hvor utslippet er over dobbelt så høyt. Ved bruk av 50/50-blanding av fornybar og fossilt, ser vi at utslippet er tilsvarende det samme som utslippet fra vannkraft.

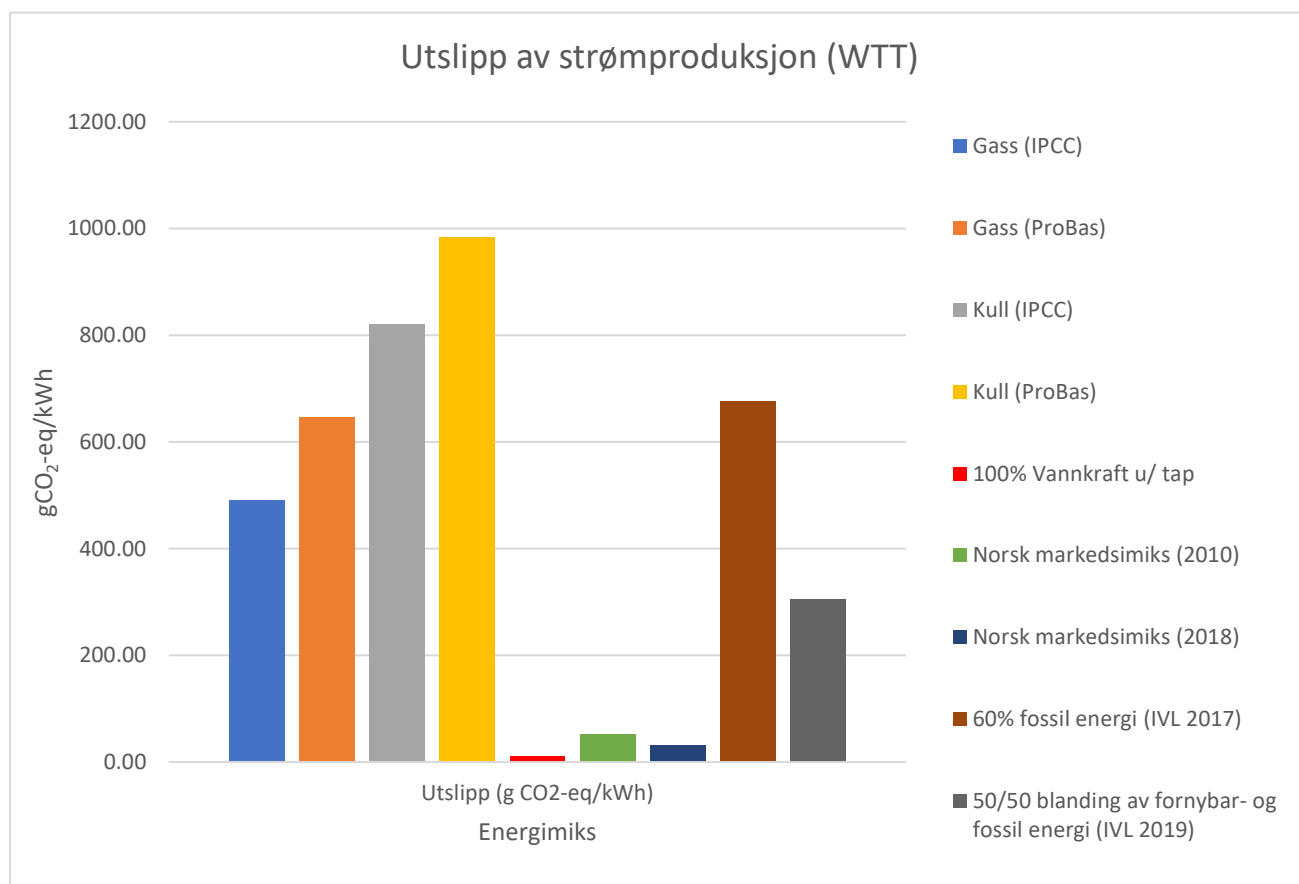


Figur 10 - Stolpediagrammet viser utslippet av produksjon for en batteripakke i en Nissan Leaf. Utslipet vises i utslipp per km bilen kjører og per km passasjeren kjører.

I figuren over har vi tatt utgangspunktet i en Nissan Leaf med en batterikapasitet på 40 kWh. Vi har delt resultatet opp i to resultater, vogn- og passasjer-km.

4.2 Well-To-Tank

Energikilden Well-To-Tank ser på hvor mye utslippet er knyttet til produksjon av elektrisitet. For elbiler vil vi se på strømproduksjon fra forskjellige energikilder.



Figur 11 - Figuren viser utslippet i gram CO₂-eq per kWh som blir produsert.

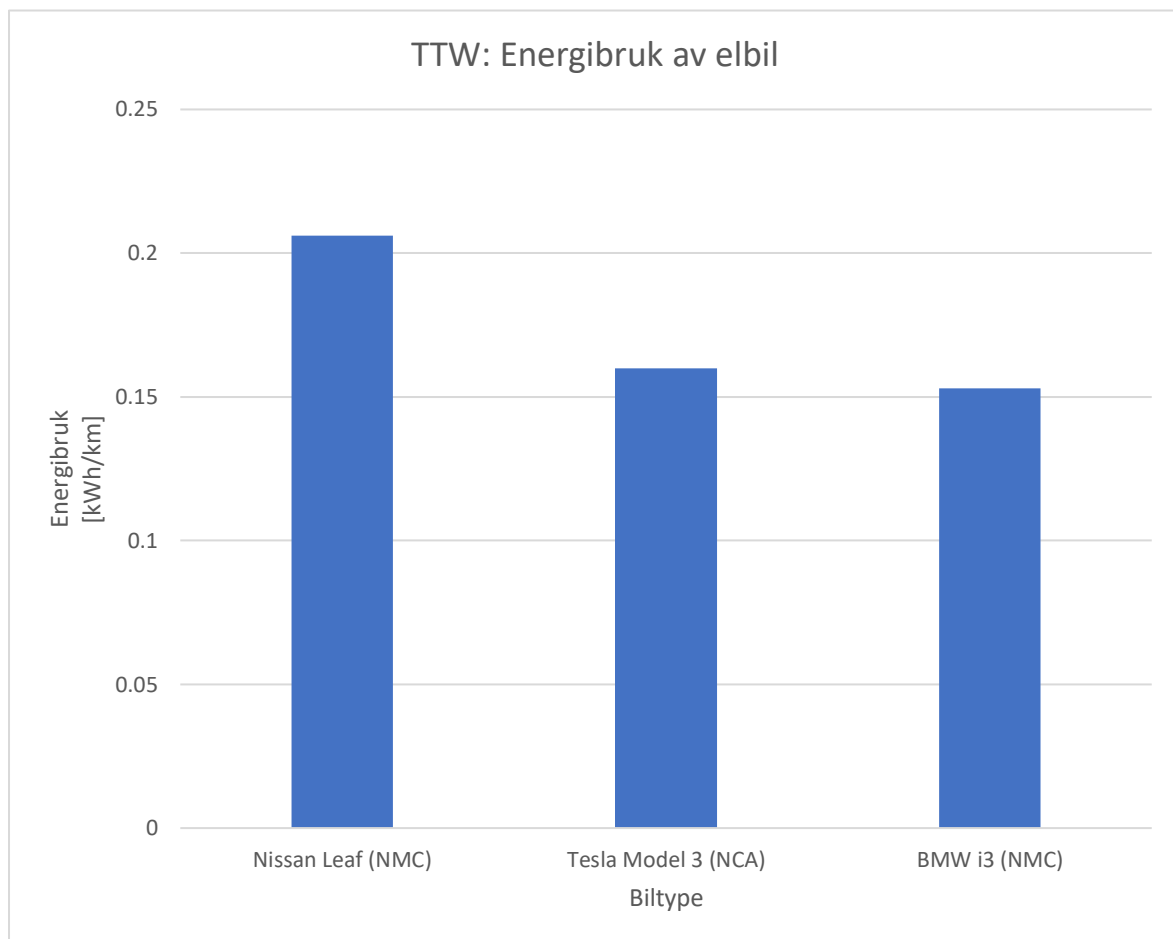
Fra kildene vi har funnet kan vi tydelig se differanser mellom tallene for utslipp fra ProBas og IPCC sine tall, med ca. 32 % forskjell på gass og 20 % forskjell på kull. Vi kan se at IVLs rapport (Romare & Dahllöf, 2017) har utslippstall som er lik utslippet for gass med tall fra ProBas. IVLs rapport (Emilsson & Dahllöf, 2019) har en 50/50 fornybar- og fossil energikilde og befinner seg mellom IPCC sine tall for gass og norsk energimiks.

4.3 Tank-To-Wheel

TTW tar for seg utslippet knyttet til direkte utslipp ved bruk av elbilen. Leafen har betydelig høyere energiforbruk pr. km sammenlignet med i3 som har 35 % lavere energiforbruk. Model 3 har 5 % høyere forbruk sammenlignet med i3. Verdiene i figuren under tar hensyn til ladetap og energien som både går til motor(ene) og ulike driftssystemer til elbilene.

Dataene ble hentet fra (EV-Database, 2021), en selvstendig nettside som samler info om elektriske biler. Bilene ble valgt ut fra ulikhet i rekkevidde, batterikapasitet og energibruk/effektivitet.

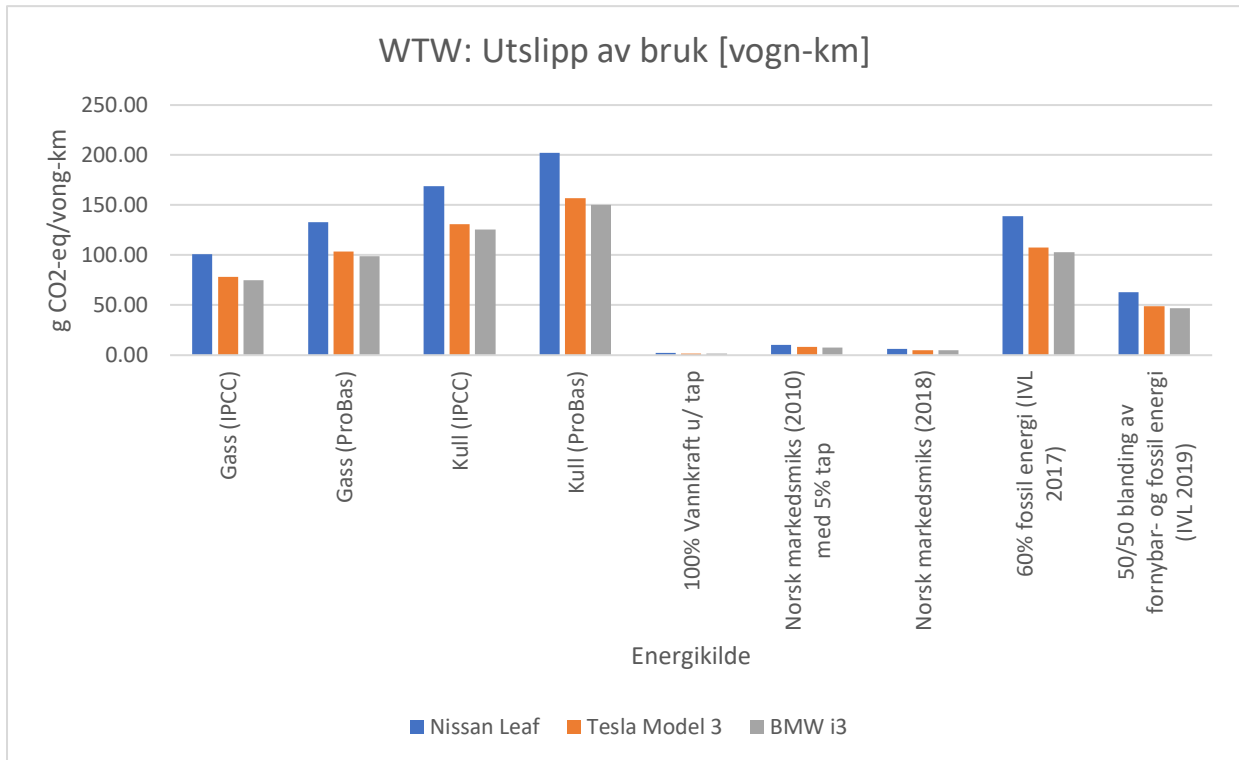
Tabell 16 viser batteristørrelsen til de utvalgte kjøretøyene. Leaf og i3 har lavere batterikapasitet sammenlignet med Model 3. Leaf har det høyeste energibruket.



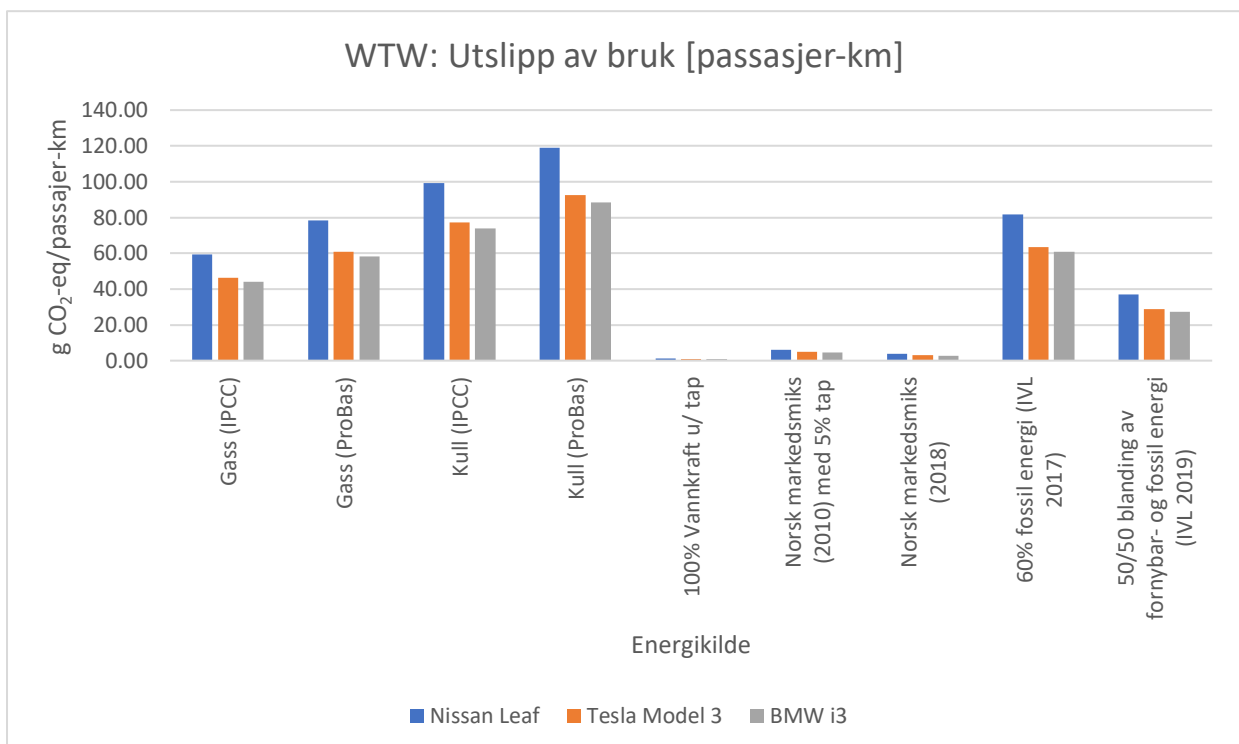
Figur 12 - Figuren viser energibruken for 3 forskjellige biler. Tallene viser energibruk for elmotor og datasystemene i bilen. Ladetap er inkludert.

4.4 Well-To-Wheel

I figurene under har vi beregnet utslippet til de tre bilene, fra energiproduksjon til bruk. Verdiene vises i gCO₂eq/vogn-km, og tar hensyn til de ulike installerte batterikapasitet til de ulike elbilene.



Figur 13 - Figuren viser summen av produksjon av elektrisitet og energibruken av bil i vogn-km.

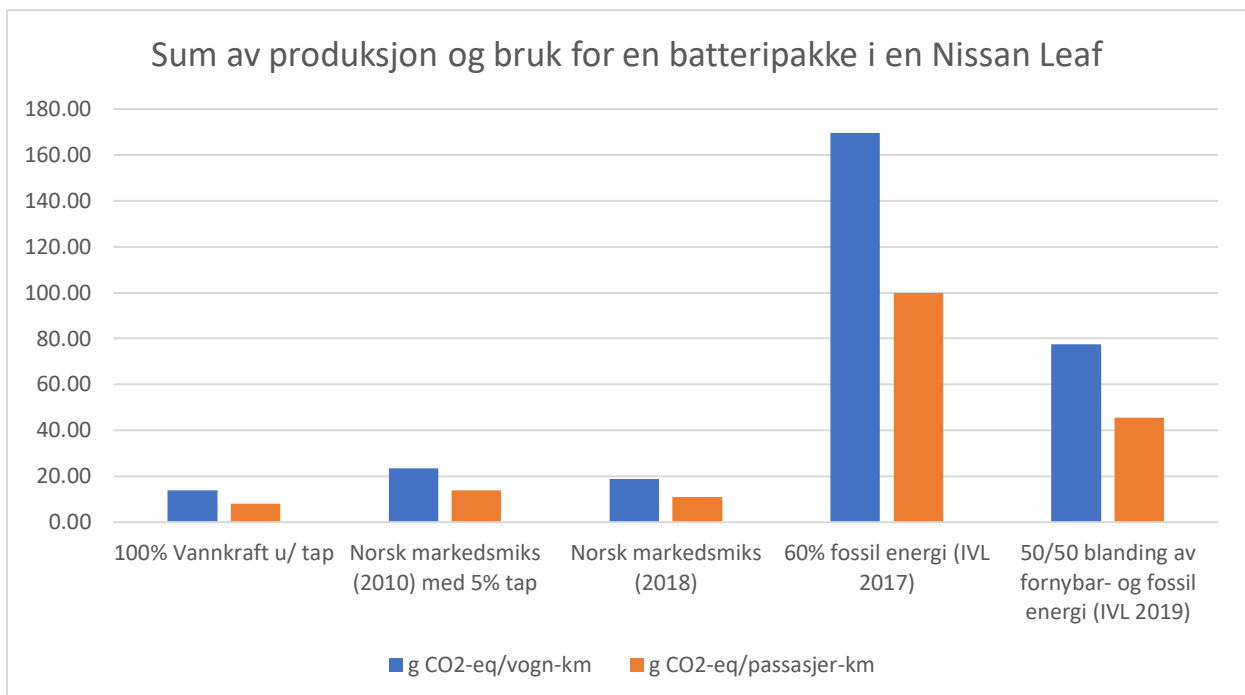


Figur 14 - Figuren viser summen av produksjon av elektrisitet og energibruken av bil i passasjer-km.

Vi ser at en Leaf har høyere utslipp enn en Model 3 eller i3 når elektrisiteten baserer seg på kull eller gass. Utslipet fra vannkraft, blanding av fornybar og norsk energi er betydelige lavere. Med energien fra vannkraft er utslippet nesten likt for alle biltyper.

4.5 Sum

I figuren under har vi tatt summen av utvinning av råmaterial, produksjon av batteripakken og bruk av en Leaf (A1+A3+WTW). Ved å summere disse får vi en graf som viser utslippet av deler av livsløpet til batteripakken.



Figur 15 - Figuren viser summen av batteriproduksjonen og bruk av bilen.

I utregningen har vi ekskludert gass og kull fra resultatet. Det er tydelige forskjeller for 60 % fossilt brensel (Romare & Dahllöf, 2017) og 50/50 blanding (Emilsson & Dahllöf, 2019). Elektrisitet fra ren vannkraft er alternativet med lavest utslipp når det tas hensyn til utvinning av råvarematerialer, produksjon av batteripakken og bruk av en Leaf basert på forutsetningene som er gjort i utregningene.

5 Diskusjon

I denne delen vil resultatene diskuteres og vurderes i henhold til de ulike rapportene dataene er basert på. Hvilke forutsetninger for troverdighet og gyldighet har utgiveren om litteraturen som publiseres, og finnes det ulike motiv som kan påvirke resultater og konklusjoner det kommer frem til? Hvilke potensielle feilkilder finnes det i oppgaven og hva som er inkludert og ekskludert i vår analyse, og om det kan få eventuelle konsekvenser for validiteten. Hvordan systemgrensene som velges påvirker resultatet.

5.1 Diskusjon rundt resultater

I våre utregninger har vi brukt deler av en LCA-analyse etter EPDs standard NS-EN 15804 for å komme fram til resultater. Systemgrensen tar for seg hele livsløpet til produktet, og det er viktig å presisere at det ikke har vært mulighet til å gjennomføre en fullstendig LCA-analyse på grunn av prosjektets tidsramme og omfang. Problemstillingen tar i hovedsak for seg klimagassutslipp som er knyttet til produksjon av et litium-ionbatteri. Ved å se på Tabell 2 ser vi at litium-ionbatterier med kjemitypen NMC er dem mest dominerende de siste årene. Studier fra IVL viser at begge rapporter baserer seg på NMC når det kommer til å regne ut klimagassutslipp. NMC er valgt i rapportene fordi denne typen kjemitype er den mest vanlige i dagens marked (Emilsson & Dahllöf, 2019). Som en del av det grønne skiftet har Volkswagen AG planer om å bygge seks nye batterifabrikker frem mot 2030. Når det kommer til valg av kjemitype til batterier, ser vi at økonomi og forbrukerens økonomiske påvirkning har en sentral rolle. For eksempel har Volkswagen, til sine rimeligste bilmodeller, uttalt at de ønsker å benytte seg av LFP-baserte katoder i sine batteri. Tesla har i økende grad tatt i bruk LFP-celler i sine rimeligste modeller, for eksempel Model 3. Til de dyrere modellene vil Volkswagen benytte seg av framtidens NMC-teknologi, NMC 811 (Klingeberg, 2021).

I en sammenligning mellom tallene i IVLs (Romare & Dahllöf, 2017) mot IVLs rapport (Emilsson & Dahllöf, 2019) ser vi at det er brukt en energimiks i 2019 som er nesten helt fornybar. Dette vises i figur 11. Dette gir store forskjeller i klimagassutslipp siden 2017-rapporten tok hensyn til bruk av 60% fossil energimiks (Romare & Dahllöf, 2017).

Det er tydelig at elbiler er kommet for å bli i dagens samfunn, og at dette vil få en stor rolle knyttet til klimagassutslipp, både når det gjelder produksjon og bruk av ulike elbiler. Scenarioet med ren vannkraft med et utslipp på 66,9 kgCO₂-eq/kWh batterikapasitet og norsk energimiks med et utslipp på 70,4 kgCO₂-eq/kWh batterikapasitet, viser hvor betydningsfullt valget av elektrisitetsmiks har for batterier når det kommer til å redusere utslippet av klimahusgasser.

Vi kan ved hjelp av figur 11 se på resultatene, hvor ProBas, den tyske databasen for livssykluser, har er tydelig høyere utslipp enn Ecoinvent, en annen database for livssykluser. Vi har regnet oss fram til at det er 38 % forskjell mellom Ecoinvent (2018) og ProBas (2010) sine studier. Vi er usikre på hvor den store forskjellen kommer fra. ProBas sine tall for vannkraft uten tap tar kun med utslipp av konstruksjonen av kraftverket og antar at Norge bruker 100 % vannkraft. Vi mener at dette tallet er urealistisk på grunn av mangel av distribusjonstap og utbygging av strømnnett. Tallet er kun relevant hvis batterifabrikken var i samme del som vannkraftanlegget. For vannkraft med distribusjonstap på 5 % er det brukt en energimiks med 93,4% vannkraft, 5,5 % gass og 1,1 % avfall. I dag består elektrisitetsmiksen av 94 % vann- og vindkraft, 2 % er kjernekraft og 4 % er fossil energi (NVE, 2020).

ProBas sine tall er ca. 26 % høyere enn tallene fra IPCC. I våre utregninger brukte vi 820 gCO₂-eq/kWh (Schlömer, et al., 2014) fra IPCC. Det høyeste tallet for kull er 910 gCO₂-eq/kWh. Verdiene er sammenlignbare med ProBas sine tall på 982 gCO₂-eq/kWh. Den knappe forskjellen kan skyldes at tallene fra IPCC er fire år nyere. Det er også mulig at ProBas har tatt høyde for «Worst Case Scenario» når de har regnet ut utslipp.

Transport av gods står for store mengder CO₂-utslipp på verdensbasis, så mye som 7 % av det globale CO₂ utslippet i verden. I 2010 ble det sluppet ut 2108 Mt CO₂, fra godstransport (International Transport Forum, 2015). 2,9% av utslippet av batteriproduksjon er fra transport ifølge (Kim, et al., 2016). Kilden vi har brukt til utregning av produksjonsutslipp, Ellingsen et al., har ekskludert transportsfasen fra sin rapport. En 2,8 % økning i CO₂-utslipp utgjør ca. 5 kgCO₂-eq/kWh batterikapasitet av 175 kgCO₂-eq/kWh batterikapasitet.

5.2 Sammenligning med andre studier

(Romare & Dahllöf, 2017) og (Emilsson & Dahllöf, 2019) er, som tidligere nevnt, to av studiene som skal vurderes. Rapportene er en litteraturstudie, som med to års mellomrom, har sett på ulike livsløpsanalyser og gjort utregninger sånn at utslippene kan kvantifiseres i enheten CO₂-eq/kWh batterikapitet. Romare & Dahllöf (2017) konkluderte med at produksjon av 1 kWh batterikapitet med NMC-kjemi gav utslipp på rundt 175 kgCO₂-eq. I Emilsson & Dahllöf (2019) sin rapport er tallet for klimagassutslipp beregnet til 83,5 kgCO₂-eq, basert på samme kjemi, NMC. Dette er lavere enn Romare & Dahllöf (2017) sine verdier på rundt 150-200 kgCO₂-eq/kWh, sammenlignet med våre beregninger på 70,4 kgCO₂-eq/kWh. IVLs rapport Emilsson & Dahllöf (2019) har til sammenligning beregnet total utslipp til 83,5 kgCO₂-eq/kWh. Resultatet vårt baserer seg på norsk energimiks som i hovedsak består av vannkraft (NVE, 2020). Norsk vannkraft har ifølge våre WTT-beregninger et utslipp på 10,3 gCO₂-eq/kWh, noe som medfører lave tall for klimagassutslipp. Et eksempel er Panasonic, Hydro og Equinor som allerede har tatt et initiativ til en prosess mot å bygge en stor batterifabrikk i Norge (TU.no, 2020).

I løpet av de to årene har IVLs rapport fra 2019 gjort rede for ulike forbedringer i teknologi som reduserer klimagassutslippene betraktelig. Våre analyser viser at rapporten fra 2019 tar hensyn til utvikling av batteriteknologien. Batteritypen NMC 811 blir stadig mer anvendt og reduserer GWP med 14 % ifølge Emilsson & Dahllöf (2019), sammenlignet med NMC 111.

Det neste som er interessant å se nærmere på er om resultatene varierer om man sammenligner kjemitypene LFP, NCM og NCA. Ved å se på kjemitypene er det naturlig å rette søkelys på hvorfor IVL-rapportene kun beregner utslipp for NMC-teknologien, og om dette valget har noe påvirkning på resultatet. Ifølge (Hao, Zhexuan, Shuhua, Zongwei, & Fuquan, 2017) har batteriteknologiene LFP, NMC og NCA, fra utvinning av råmateriale til produksjon, et utslipp på 109,9, 104,1 og 96,6 kgCO₂-eq/kWh batterikapitet. Disse tallene er bundet med usikkerhet grunnet dataenes alder og hvilke forutsetninger som er gjort bak utregningene som baserer seg fra ressursutvinning til fabrikkferdig produkt. Det konkluderes med at utslippene knyttet til disse tre kjemitypene er tilnærmet identiske når det kommer til utvinning og raffinering av materialer.

5.2.1 Kritisk vurdering av litteraturen

Våre undersøkelser, samt rapportene fra IVL, viser at det er på grunn av lite åpenhet fra produsenter av batterier som gjør det vanskelig å bruke dataene til å beregne klimagassutslipp. Disse påstandene konkluderes også i (Ellingsen, Singh, & Strømman, 2016). Til våre utregninger brukte vi en batteripakke fra Nissan Leaf til å regne ut CO₂-eq/kWh batterikapasitet. I litteraturstudiet fant vi ikke primærdata fra bilprodusenten som kunne vise til utslipp per batterikapasitet. Nissans rapport fra 2015 viser til en livsløpsanalyse av en Nissan Leaf 2010, hvor utslippet oppgis i prosent sammenlignet med en fossilbil i tilsvarende størrelse (Nissan Motor Corporation, 2015). På grunn av restriktive tilgang til data er det ikke mulig for oss å bruke disse verdiene å sammenligne våre resultater knyttet til utslipp/kWh batterikapasitet.

5.3 Systemgrenser

Det finnes overveldende mengder informasjon rundt andre litteraturstudier som benytter seg av ulike metodikk, fremgangsmåte og variabler. Et valg i hvilke systemgrenser som skulle brukes har derfor vært viktig for å kunne jobbe målrettet mot et tilfredsstillende svar på vår problemstilling. Vi har i oppgaven tatt hensyn til utslipp knyttet til utvinning av råmaterialer, tilvirkning av batteripakke og energibruk av elbil som systemgrense, grunnet relevans, informasjonsmengde og sammenligningsevne mot tilgjengelig litteratur.

Det er flere interessante faktorer som kan tas med i denne avhandlingen som kunne gitt markante endringer i resultatene. Transport av materialer til fabrikkene og eventuelt hvor mange lokasjoner som kreves før batteriene kan monteres i bilene. Hvor langt materialene blir transportert og med hvilket fremkomstmiddel er avgjørende for hvilket klimaavtrykk batteriene skaper i produksjonsfasen.

5.4 Svakheter

En betydelig svakhet ved vår oppgave er usikkerheten som er knyttet til dataene som vi har basert utregningene våre på. Vi har i utregningen samlet inn ulike data fra diverse artikler. Det er viktig å presisere at de ulike rapportene baserer seg på ulike faktorer og forutsetninger, slik at resultatene våre nødvendigvis ikke er sammenlignbare med andre studier. For å finne utslipp har vi brukt en tysk database fra ProBas hvor det har vært utfordrende å tolke informasjonen. Vi har fortsatt valgt å benytte oss av denne kilden siden ProBas tar hensyn til utslipp knyttet til anleggsfasen og demningen til et vannkraftverk. Det er også knyttet usikkerhet til SSB sine tall fordi vi ikke vet om tallene gjelder for bil eller kun batteripakken.

I utregningene våre for utslippet knyttet til produksjon av et NMC litium-ionbatteri ble transportdelen ekskludert i utregningen. Transportdelen i seg selv er kompleks om vi ser på det globale batterimarkedet. Å ekskludere denne delen er en svakhet ved vår studie. Det er også verdt å nevne at IVL i sine to rapporter (Romare & Dahllöf, 2017) og (Emilsson & Dahllöf, 2019) også nevner lite om transportsfasen. Til å regne ut utslipp for råvareutvinning har vi valgt å bruke (Romare & Dahllöf, 2017) sine tall.

Ifølge rapporten til IVL (Romare & Dahllöf, 2017) ser vi at deres forutsetninger har brukt en elektrisitetssmiks med en fossil andel på 50-70 % til fabrikasjon av battericeller. Det defineres ikke hvilke fossile kilder som er brukt eller hva de resterende prosentene er. Vi tror det finnes usikkerhet om dette er produsert av fornybare energikilder, kjernekraft eller lignende.

5.5 Andre faktorer

Det er viktig å ha respekt for at elektrisiteten som er lagret i batteriene kan medføre fare for varmgang og brann (DSB, 2017). Norge er et land som har vært tidlig ute med å ta i bruk elbiler, og derfor har det vært lite kunnskap og erfaring å innhente internasjonalt. DSB (*Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap*) har i samarbeid med Direktoratet for byggkvalitet gjennomført flere forskningsprosjekter for å se nærmere på brann i elektriske kjøretøy. Konklusjonen er at det ikke finnes grunnlag for å hevde at elbiler representerer en større brannfare enn med fossilbiler (DSB, 2017). I perioden 2016-2019 har det vært registrert 2651 branner i en bensin/diesel-bil, og 60 branner i en elbil (DSB, 2020). Det er viktig å presisere at brannene ikke sier noe om brannårsak. Selv om det er rapportert 60 branntilfeller, sier disse tallene ikke noe om det batteripakkene som har tatt fyr.

5.5.1 Hva med kobolt som kreves i NMC-teknologien?

Et stort voksende marked for batterier til forskjellige applikasjoner som biler, båter, mobiltelefoner og andre elektroniske enheter krever ressurser av flere typer materialer. Disse kan i fremtiden bli mer utfordrende å innhente (D. Gourley, Or, & Chen, 2020). Med tanke på dagens utvikling vil det kreve store ressurser fra forskjellige materialer for å produsere batterier. Hvor materialene kommer fra, hvor langt de er fraktet og under hvilke forhold er derfor vesentlig.

NMC-batterier, som vi fokuserer på i denne avhandlingen, inneholder for mineralet kobolt, en ressurs som kan bli mangelvare allerede i 2030. Dette gjør kobolt til det mest verdifulle materialet i batteriet (D. Gourley, Or, & Chen, 2020).

Over 60 % av jordens koboltressurser stammer fra DR Kongo som er kjent for politiske vanskeligheter og arbeid som foregår under dårlige forhold, som kan medføre usikkerhet rundt eksporten av kobolt (Eian, 2018). I 1978 steg prisen i været etter kobolt grunnet interne konflikter, og som omtales som «Cobolt Crisis» (D. Gourley, Or, & Chen, 2020). Det finnes derfor interesse rundt å kartlegge potensialet for utvinning av kobolt i Europa som kan være med på å sikre leveranse med større sikkerhet og under bedre forhold for klima og mineralutvinnere. NGU (*Norges geologiske undersøkelse*) har i sine undersøkelser kommet frem til at det finnes tre aktive gruver i Finland for kobolt og at det finnes flere egnede lokasjoner som bør ses nærmere på (Eian, 2018).

Det finnes alternativ batteriteknologi som ikke krever bruk av kobolt. LFP har egenskaper som gjør at den anses som trygg i bruk. LFP-batterier har lavere energitetthet enn NMC-batterier, noe som gjør dem tyngre som igjen kan påvirke batterirekkevidden til elbiler (D. Gourley, Or, & Chen, 2020). Bruken av LFP-batterier i dagens marked baserer seg derfor mer på systemer hvor vekt ikke er en avgjørende faktor (D. Gourley, Or, & Chen, 2020).

5.6 Resirkulering

I rapporten til IVL 2017 (Romare & Dahllöf, 2017) vises det til lite resirkulering av litium-ionbatterier grunnet dårlig kunnskap rundt batterienes oppbygging, at det er liten grad av økonomisk støtte og at fåtallet av batteriene som er produsert de siste fem-ti årene, har nådd enden av livsløpet. Batteriene som resirkuleres, demonteres hvor metaller som anses som verdifulle blir skilt vekk. IVLs rapport fra 2019 (Emilsson & Dahllöf, 2019) viser til informasjon der det ikke finnes en kommersiell raffinert resirkuleringsmetode, og at det finnes lite informasjon om hvilket omfang av klimagasser som slippes ut gjennom denne prosessen.

Når flere elektriske kjøretøy nærmer seg enden av livsløpet må det vurderes om litium-ionbatteriene kan brukes i andre enheter som energilagringssystemer, eller demonteres/resirkuleres. Resirkulering av batterier på en effektiv, økonomisk og miljøvennlig måte krever at det blir innført klare politiske spilleregler som legger til rette for en bærekraftig og tydelig fremgangsmåte. (Qinyu, Fuquan, Zongwei, Shuhua, & Han, 2017). Kostnader knyttet til produksjon av litium-ionbatterier kan reduseres om man øker levetiden og bruker flere av materialene videre (Wang, Wang, & Yang, 2020).

5.7 Fremtidig arbeid

Vi har fokusert på produksjon hvor vi valgte å ekskludere transportfasen på grunn av tidsbegrensninger og utfordringer med å finne tilgjengelig data. Vi oppfordrer til videre studier av produksjonsfasen av litium-ionbatteri der transportfasen inkluderes i livsløpsanalysen. Kjemitypene LMO, NCA og LFP er ikke brukt til analysering av utslipp-, og vi anbefaler videre studier rundt utslippsbildet og hvordan den endrer seg med de ulike kjemitypene. Videre anbefaler vi videre undersøkelse av utslipp fra forskjellige energimikser fra andre land, og mer samarbeid mellom LCA-produsenter og produsenter av batteri for å sikre at informasjon og data blir mer transparente.

6 Konklusjon

I denne oppgaven har vi sett nærmere på problemstillingen «*Hvor store er GHG-utslippene fra produksjon av litiumbatterier for ulike elektrisitetsmiks?*» og «*Hvor store er klimagassutslippene fra bruk av elbil?*». I den forbindelse har vi sett på utslippet som er knyttet til produksjon av et NMC litium-ionbatteri per kWh batterikapasitet. Analysen vår ser også på utslippet til batteripakken for en Nissan Leaf 2018-modell og energibruk for ulike elbiler hvor NCA og to ulike NMC-kjøretøyer sammenlignes. Vi har følgende konklusjoner:

6.1 Produksjonsfasen

- Batteriproduksjon med hensyn til produksjonsfasen ved hjelp av vannkraft, norsk markedsmiks med import og blanding av fornybar energi med 5 % tap er beregnet til 1,67 – 8,37 kgCO₂/kWh batterikapasitet. Vi ser en økning av utslipp for fornybart energimiks-rikt fossilt brensel miks 24,50 – 109,80 kgCO₂/kWh batterikapasitet.
- Batteripakken til en Leaf har lavere utslipp av CO₂-ekvivalenter når batteriet produseres og lades opp med norsk markedsmiks, blanding av fornybar energi og vannkraft. Ved bruk av fossile energikilder (60 %) ser vi en økning av utslipp av CO₂-ekvivalenter. Om energimiksen blandes med 50/50 med fornybar og fossil energimiks ser vi en 119 % reduksjon i CO₂-ekvivalenter. Elektrisitetsmiksen vil variere etter hvor mye innslag av fornybar/fossil energi som blandes inn.
- Utslippet knyttet til utvinning av råvarematerial er i vår undersøkelse beregnet til 59-65-kgCO₂eq/kWh batterikapasitet.

6.2 I bruksfasen

Norsk energimiks, blanding av fornybar energi med 5 % tap og vannkraft har de lave utslippene sammenlignet med gass, kull og IVL sine elektrisitetsmiks. Våre beregninger tyder på at i3 og Model 3 har lavere utslipp i bruksfasen enn om vi tar hensyn til gCO₂-eq/vogn-km enn hva en Leaf. WTW-utregning.

- Nissan Leaf 2018-modell med en 40 kWh batteripakke har lavest utslipp om batteriet produseres med hjelp av norsk markedsmiks med import. *Global Warming Potential* er beregnet til 12,31 gCO₂-eq/vogn-km. Om 50/50-blanding av fornybar og fossil energi benyttes med tall fra IVLs rapport fra 2019 er utslippet beregnet til 14,61 gCO₂-eq/vogn-km. Utslippet for en batteripakke for Nissan Leaf har høyest utslipp om andelen fossilt brensel øker. For en elektrisitetsmiks med 60% fossilt brensel med tall fra IVLs rapport fra 2019 har vi beregnet utslipp på 30,62 gCO₂-eq/vogn-km.

- Utslippet fra strømproduksjon er lavest for utelukkende ren vannkraft som ligger på 10,29 gCO₂-eq/kWh batterikapasitet. Norsk energimiks har et utslipp 31,70 gCO₂-eq/kWh. Resten av energikildene fra blanding av fornybar energi (ProBas) til kull har beregnet utslipp på 51,40 – 982 gCO₂-eq/kWh batterikapasitet.

Vedlegg

Regnearket som har blitt brukt til å beregne resultater ligger vedlagt – Vedlegg 1

Analyse over litteraturen som har blitt anvendt i oppgaven ligger vedlagt – Vedlegg 2

Referanseliste

- Accardo, Antonella; Dotelli, Giovanni; Musa, Marco Luigi; Spessa, Ezio;. (2021, januar 27.). Life Cycle Assessment of an NMC Battery for Application to Electric Light-Duty Commercial Vehicles and Comparison with a Sodium-Nickel-Chloride Battery.
- Aalerud, P. (2012, juni). *NTNU*. Hentet fra Primærenergikonseptet og beregning av primærenergifaktorer: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/234970/567007_FULLTEXT01.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Armand, M., Axmann, P., Bresser, D., Copley, M., Edstrøm, K., Christian, E., & ... Zhang, H. (2020, september 10.). *Lithium-ion batteries – Current state of the art and anticipated developments*. Hentet fra ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com.galanga.hvl.no/science/article/pii/S0378775320310120>
- Armand, M., Axmann, P., Bresser, D., Copley, M., Edstrøm, K., Ekberg, C., & ... Zhang, H. (2020, september 10.). *Lithium-ion batteries – Current state of the art and anticipated developments*. Hentet fra ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com.galanga.hvl.no/science/article/pii/S0378775320310120>
- Berkowitz, R. (2019, desember). Hentet fra There's a lithium battery in your future: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1557/mrs.2019.297.pdf>
- Boland, A., Cherry, M., & Dickson, R. (2017). *Doing a Systematic Review: A Student's Guide*. Los Angeles: SAGE Publications Ltd. Hentet fra *Doing a Systematic Review: A Student's Guide*.
- Braco, E., Martín, I. S., Berrueta, A., Sanchis, P., & Ursúa, A. (2020, november). *ScienceDirect*. Hentet fra Experimental assessment of cycling ageing of lithium-ion second-life batteries from electric vehicles: <https://www.sciencedirect.com.galanga.hvl.no/science/article/pii/S2352152X20315322>
- Brandslet, S. (2019, desember 09.). *Nå skal litium også resirkuleres*. Hentet fra Gemini: <https://gemini.no/2019/12/na-skal-litium-resirkuleres/>
- Christensen, A. (2017, desember 04.). *Forskning.no*. Hentet fra Spør en forsker: Hvor skitne er elbilens batterier?: <https://forskning.no/miljoteknologi-spor-en-forsker-samferdsel/spor-en-forsker-hvor-skitne-er-elbilens-batterier/305563>
- Coffin, D., & Horowitz, J. (2018, desember). *The Supply Chain for Electric Vehicle Batteries*. Hentet fra USITC: https://www.usitc.gov/publications/332/journals/the_supply_chain_for_electric_vehicle_batteries.pdf
- Dalland, O. (2012). *Metode og oppgaveskriving for studenter*. Oslo: Gyldendal akademisk.
- Dalland, O. (2017). *Metode og oppgaveskriving*. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag.

- D. Gourley, S. W., Or, T., & Chen, Z. (2020, september 25.). *iScience*. Hentet fra Breaking Free from Cobalt Reliance in Lithium-Ion Batteries: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589004220306970>
- DSB. (2017, mars). *Elbil - lading og sikkerhet*. Hentet fra <https://www.dsb.no/lover/elektriske-anlegg-og-elektrisk-utstyr/tema/elbil---lading-og-sikkerhet/#elbiler-lading-og-brannfare>
- DSB. (2020). *Branner i personbiler*. Hentet fra <https://www.dsb.no/nyhetsarkiv/2020/branner-i-personbiler/>
- Eian, R. (2018, desember 11.). *Norges Geologiske Undersøkelse*. Hentet fra KARTLEGGER FOREKOMSTER AV KOBOLT I EUROPA: <https://www.ngu.no/nyheter/kartlegger-forekomster-av-kobolt-i-europa>
- Elbilstatistikk. (2021, mai 26.). *Registrering av nye elbiler i Norge*. Hentet fra <https://elbilstatistikk.no/>
- Ellingsen, L.-W., Singh, B., & Strømman, A. (2016, mai 6.). Hentet fra The size and range effect: lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/5/054010/pdf>
- Emilsson, E., & Dahllöf, L. (2019). Hentet fra Lithium-Ion Vehicle Battery Production : <https://www.ivl.se/download/18.14d7b12e16e3c5c36271070/1574923989017/C444.pdf>
- EV-Database. (2021, mai). *Electric Vehicle Database*. Hentet fra <https://ev-database.org/>
- EVvolumes. (2017). *EVVolumes*. Hentet fra <https://www.ev-volumes.com/>
- FN. (2021, mars 19.). *Stoppe klimaendringene*. Hentet fra FN: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/stoppe-klimaendringene>
- Gavin, H., Roberto, S., Emma, K., Laura, D., Slater, P., Stolkin, R., . . . Anderson, P. (2019, juli 6.). *Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles*. Hentet fra Nature: <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1682-5.pdf>
- Halvorsen, K. (1989). *Å forske på samfunnet*. Oslo: Bedriftsøkonomens forlag.
- Hao, H., Zhexuan, M., Shuhua, J., Zongwei, L., & Fuquan, Z. (2017). *GHG Emissions from the Production of Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles in China*. China: State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing.
- Holden, E. (2003, februar). *Vestlandsforskning*. Hentet fra Energi og miljødata for alternative og konvensjonelle drivstoffer – år 2010: https://www.vestforsk.no/sites/default/files/migrate_files/rapport-2-03.pdf
- IEA. (2020, juni). *Global EV Outlook 2020*. Hentet fra <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020#the-global-electric-vehicle-fleet-expanded-significantly-over-the-last-decade-underpinned-by-supportive-policies-and-technology-advances>
- International Transport Forum. (2015). *The Carbon Footprint of Global Trade*. Hentet fra <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/cop-pdf-06.pdf>

- IPCC. (2018). *Special Report*. Hentet fra Global Warming of 1.5 °C: <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- Katwala, A. (2018, august 5.). *The spiralling environmental cost of our lithium battery addiction*. Hentet fra Wired: <https://www.wired.co.uk/article/lithium-batteries-environment-impact>
- Kawamoto, R., Mochizuki, H., Moriguchi, Y., Nakano, M., Motohashi, M., Sakai, Y., & Inaba, A. (2019, mai 11.). *MDPI*. Hentet fra Estimation of CO2 Emissions of Internal Combustion Engine Vehicle and Battery Electric Vehicle Using LCA: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/9/2690>
- Küng, L., Bütler, T., Georges, G., & Boulouchos, K. (2019). How much energy does a car need on the road?
- Kim, H. C., Wallington, T. J., Arsenault, R., Bae, C., Ahn, S., & Lee, J. (2016). *Cradle-to-Gate Emissions from a Commercial Electric Vehicle Li-Ion Battery: A comparative Analysis*. Hentet fra Environ. Sci. Technol.: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.6b00830>
- Klingeberg, M. (2021, mars 15.). *Volkswagen vil bygge seks giga-batterifabrikker*. Hentet fra Teknisk Ukeblad: <https://www.tu.no/artikler/volkswagen-vil-bygge-seks-giga-batterifabrikker/507979>
- Kushnir, D. (2015). *Lithium Ion Battery Recycling Technology 2015: Current State and Future Prospects*. Gøteborg: Chalmers University Environmental Systems Analysis.
- LCA.no. (u.d.). Hentet fra EN 15804 – Europeisk standard for EPDer til bygg og anlegg: <https://lca.no/epd-basert-pa-en-15804/>
- Lead holder. (2011, juli 9.). *Liion-18650-AA-battery*. Hentet fra Wikimedia Commons: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Liion-18650-AA-battery.jpg>
- Lee, H., & Lee, K. (2020, august 17.). *MDPI*. Hentet fra Comparative Evaluation of the Effect of Vehicle Parameters on Fuel Consumption under NEDC and WLTP: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/16/4245/htm>
- Lima, P. (2020, april 4.). *Comparison of different EV batteries in 2020*. Hentet fra PushEVs: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620330511>
- Liu, Z., Hu, Q., Yu, L., & Hu, X. (2021, mars 12.). *Advanced materials*. Hentet fra Thermoregulating Separators Based on Phase-Change Materials for Safe Lithium-Ion Batteries: <https://onlinelibrary-wiley-com.galanga.hvl.no/doi/full/10.1002/adma.202008088>
- Luo, X., Sun, X., Zhang, Z., Fanran, M., & Yang, J. (2020, juli 15.). *Life cycle assessment of lithium nickel cobalt manganese oxide (NCM) batteries for electric passenger vehicles*. Hentet fra ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620330511>
- Meyer, G. (2010, desember 8.). *Battery-Pack-Leaf*. Hentet fra Wikimedia Commons: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Battery-Pack-Leaf.jpg>

- Moelven Industrier ASA. (2020, november 23.). *Environmental Product Declaration*. Hentet fra EPD-Norge.no: https://www.epd-norge.no/getfile.php/1316167-1606121798/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-2547-1284_Planned-wood-of-pine-or-spruce.pdf
- Næringslivets Hovedorganisasjon. (2018, september). *NHO*. Hentet fra Verden og oss (Næringslivets perspektivmelding): https://www.nho.no/siteassets/publikasjoner/naringslivets-perspektivmelding/pdf-er-30okt18/nho_perspektivmeldingen_hele_web_lowres.pdf
- Nikkei staff writers. (2020, desember 10.). *Nikkei ASIA*. Hentet fra asia.nikkei: <https://asia.nikkei.com/Spotlight/Most-read-in-2020/Toyota-s-game-changing-solid-state-battery-en-route-for-2021-debut>
- Nissan Motor Corporation. (2015, mars 31.). Hentet fra Nissan Motor Corporation Sustainability Report 2015: https://www.nissan-global.com/EN/DOCUMENT/PDF/SR/2015/SR15_E_P112.pdf
- Normann Elsrud, J., & Bjørnå, L. (2020, mars 9.). *Circle K*. Hentet fra Hva påvirker elbilens ladehastighet: <https://www.circlek.no/elbillading/ladenytt/dette-pavirker-ladehastighet>
- NVE. (2020, juli 06.). Hentet fra Strømforbruk i Norge har lavt klimagassutslipp: <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-energi/stromforbruk-i-norge-har-lavt-klimagassutslipp/>
- NVE. (2020, juni 15.). *Hvor kommer strømmen fra?* Hentet fra Klimadeklarasjon for fysisk levert strøm 2019: <https://www.nve.no/energiforsyning/kraftproduksjon/hvor-kommer-strommen-fra/?ref=mainmenu>
- Pavlovic, J., Marotta, A., & Ciuffo, B. (2016, juni 2.). *ELSEVIER*. Hentet fra CO2 emissions and energy demands of vehicles tested under the NEDC: [https://www.sciencedirect-com.galanga.hvl.no/science/article/pii/S0306261916307152](https://www.sciencedirect.com/galanga.hvl.no/science/article/pii/S0306261916307152)
- ProBas. (2000). *Vann-KW-gross-NO-2000*. Hentet fra <https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/prozessdetails.php?id={0E0B2D8D-9043-11D3-B2C8-0080C8941B49}>
- ProBas. (2010). *Gass_KW-GT-DE-2010*. Hentet fra <https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/prozessdetails.php?id={1233794B-EC94-43BC-B76C-6EF72362F4AF}>
- ProBas. (2010). *Lignite-KW-DT-DE-2010-Lausitz*. Hentet fra <https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/prozessdetails.php?id={AEBB0700-4D03-42FA-A6CB-0796CE54D6DD}>
- ProBas. (2010). *Netz-el-NO-2010-local*. Hentet fra <https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/prozessdetails.php?id=%7bEEC084ED-A6EB-4706-9D57-3DED962A3DEE%7d>

- Qinyu, Q., Fuquan, Z., Zongwei, L., Shuhua, J., & Han, H. (2017, juni 1.). *Comparative Study on Life Cycle CO2 Emissions from the Production of Electric and Conventional Vehicles in China*. Hentet fra Elsevier: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217309049>
- Ramoni, M. O., & Zhang, H.-C. (2013, desember). *End-of-life (EOL) issues and options for electric vehicle batteries*. Hentet fra ResearchGate: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10098-013-0588-4.pdf>
- Rapier, R. (2019, august 4.). *Why China is Dominating Lithium-Ion Battery Production*. Hentet fra Forbes: <https://www.forbes.com/sites/rrapier/2019/08/04/why-china-is-dominating-lithium-ion-battery-production/?sh=5be3016c3786>
- Regjeringen. (2017, april 05.). *Regjeringen.no*. Hentet fra En grønnere transporthverdag: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/en-gronnere-transporthverdag/id2548633/>
- Regjeringen. (2021, januar 29.). Hentet fra Strømnettet - Derfor svinger strømprisene: <https://www.regjeringen.no/no/tema/energi/stromnettet/id2001217/>
- Reiner, K. (2018). *Lithium-Ion Batteries: Basics and Applications*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Romare, M., & Dahllöf, L. (2017, mai). *The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries*. Hentet fra (...): <http://www.hpv.popol.eu/co2report.pdf>
- Saraten, A., & Fiskaa, G. (2019, juli 29.). *Forbrenningsmotor*. Hentet fra Store Norske Leksikon: <https://snl.no/forbrenningsmotor>
- Schlömer, S., Bruckner, T., Fulton, L., Hertwich, E., McKinnon, A., Perczky, D., & ... Neelis, M. (2014). *Technology-specific Cost and Performance Parameters*. Hentet fra IPCC: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf#page=7
- Simonsen, M. (2010, januar 14.). Hentet fra ENERGIBRUK OG UTSLIPP FRA PERSONTRANSPORT MED PERSONBIL. EN LIVSLØPSANALYSE.: <http://sip1.vestforsk.no/pdf/Personbil/PersontransportBil.pdf>
- Skillebæk, F. M. (2020, juni 14.). *Nå er det solgt over 300.000 elbiler*. Hentet fra elbil24: <https://www.elbil24.no/nyheter/na-er-det-solgt-over-300000-elbiler/72566729>
- SSB. (2021, mars 25.). Hentet fra Bilparken: <https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/landtransport/statistikk/bilparken>
- Statistisk sentralbyrå. (2019, august 28.). Hentet fra SSB: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/artikler-og-publikasjoner/transport-star-for-30-prosent-av-klimautslippene-i-norge>
- Stiftelsen Østlandsforskning. (2020). *Sto-projects*. Hentet fra LCA-kurs: <http://www.sto-projects.com/lcakurs/index.asp>
- Swedish Energy Agency. (2014, juni 12.). *Energimyndigheten*. Hentet fra Hållbar energi för alla: <http://www.energimyndigheten.se/om-oss/>

- The Norwegian EPD Foundation. (2020, november 23.). Hentet fra Environmental Product Declaration: https://www.epd-norge.no/getfile.php/1316167-1606121798/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-2547-1284_Planned-wood-of-pine-or-spruce.pdf
- Tolomeo, R., De Feo, G., Adami, R., & Osséo, L. S. (2020, juni 5.). *Application of Life Cycle Assessment to Lithium Ion Batteries in the Automotive Sector*. Hentet fra MDPI: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/11/4628>
- TU.no. (2020, desember 21.). *Batterifabrikk leter etter tomt i Norge*. Hentet fra <https://www.tu.no/artikler/batterifabrikk-leter-etter-tomt-i-norge/504618>
- UNIT. (2020, april 24.). Hentet fra Oria søketjeneste : <https://www.unit.no/tjenester/oria-soketjeneste>
- Varga, Bogdan Ovidiu; Sagoian, Arsen; Mariasiu, Florin. (2019, mars 12.). *MDPI*. Hentet fra Prediction of Electric Vehicle Range: A Comprehensive Review of Current Issues and Challenges: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/5/946>
- Vestlandsforskning. (u.d.). Hentet fra Energibruk korte reiser MJ pr passasjer-km: <http://transport.vestforsk.no/>
- Wang, L., Wang, X., & Yang, W. (2020, februar 22.). *Applied Energy Elsevier*. Hentet fra Optimal design of electric vehicle battery recycling network – From the perspective of electric vehicle manufacturers: [https://www.sciencedirect-com.galanga.hvl.no/science/article/pii/S0306261920308400](https://www.sciencedirect.com/galanga.hvl.no/science/article/pii/S0306261920308400)
- Yu, X., Sandhu, N., Yang, Z., & Zheng, M. (2020, mai 25.). *ELSEVIER*. Hentet fra Suitability of energy sources for automotive application – A review: <https://www.sciencedirect-com.galanga.hvl.no/science/article/pii/S0306261920306814>
- Zhou, S. W. (2020). *Carbon Management for a Sustainable Environment*. Clear Water, Kowloon, Hong Kong: Department of Civil & Environmental Engineering, Hong Kong University of Science and Technology.

Her legger vi inn alt vi søker på.		Dato for søk	Database	Antall treff	Søkeord	Kommentar
1	Ressurs SSB, Bilparken, https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/landtransport/statistikk/bilparken	25.03.2021	Google		SSB	SSB er en faglig uavhengig institusjon. Informasjonen ble brukt til å finne mengden elbiler i Norge
2	IEA, Global EV Outlook 2020, https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020	25.03.2021	Google		Growth of ev sales	
3	IVL, The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries	07.04.2021	Google Scholar	21600	GHG Lithium Ion Batteries	Søket ble brukt til å finne GHG utslipp av Li-ion produksjon. IVL er et svenskt miljøinstitutt. Kilden ble brukt til å finne mengden GHG utslipp fra li-ion produksjon
4	Forbes, Why Is China Dominating Lithium-Ion Battery Production, https://www.forbes.com/sites/rriapier/2019/08/04/why-china-is-dominating-lithium-ion-battery-production/?sh=5be3016c3786	08.04.2021	Google		How many lithium ion batteries are produced	Ble brukt til å finne hvor mange li-ion batterier som blir produsert i verden og hvem som produserer mest
5	Wired, The spiralling environmental cost of lithium battery addiction, https://www.wired.co.uk/article/lithium-batteries-environment-impact	09.04.2021	Google		Is lithium ion battery environmentally friendly	Brukt til å finne miljøkonsekvensene av å utvinne litium
6	MDPI, Application of Life Cycle Assessment to Lithium Ion Batteries in the Automotive Sector, https://www.mdpi.com/2071-1050/12/11/4628	12.04.2021	World Wide Science	600	Lithium ion batteries LCA	Ble brukt til å finne hva metaller som blir brukt til å produsere NCM batterier
7	Elsevier, Life cycle assessment of lithium nickel cobalt manganese oxide (NCM) batteries for electric passenger vehicles, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620330511	14.04.2021	Google Scholar	377	LCA NCM batteries	Ble brukt til å finne energi bruk for å produsere NCM batterier
8	Springer, Who's Driving Electric Cars, https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-38382-4	15.04.2021	Oria	153	Electric car, use	Avgrenset ved dato 2019-2021 og avkrysset for søk etter bok. Inneholder informasjon om bruk av elektriske kjøretøy.
9	https://libkey.io/libraries/1463/articles/206654233/full-text-file?utm_source=api_85	19.04.2021	Oria	9341	lithium, future, battery, electrical vehicle	Oria er brukt som søkemetor. Søkte først uten electrical vehicle, fikk 23 284 treff. Fikk redusert til 9 341 treff. Avgrenset til de siste fem årene.
10	USITC, The supply Chain for Electric Vehicle Batteries, https://www.usitc.gov/publications/332/journals/the_supply_chain_for_electric_vehicle_batteries.pdf	19.04.2021	Google Scholar	17600	Ev battery supply chain	Søket var originalt på 41.700 og ble begrenset til 2017 og nyere for å få antall treff ned til 17600.
11	Springer, End-of-life (EOL) issues and options for electric vehicle batteries, https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10098-013-0588-4.pdf	20.04.2021	Google Scholar	89800	ev battery end of life	Kilden ble brukt til å finne hva som blir gjort med et li-ion batteri når det ikke lengre kan brukes i en elbil
12	https://www.mdpi.com/2076-3417/11/3/1160	20.04.2021	Oria	67	nmc car battery lifespan	Brukes for å finne estimert kjørelengde for elbil.
13	Nature, Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles, https://www.nature.com/articles/s41586-019-1682-5.pdf	20.04.2021	Google Scholar	16900	Recycling electric vehicle batteries	Søket ble avgrenset til rapporter og artikler fra 2017 og nyere. Brukt til å finne forskjellige resirkulerings prosesser for li-ion
14	Springer, Lithium-Ion Batteries: Basics and Applications, https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-53071-9	21.04.2021	Oria	79	Lithium-Ion batteries	Søket ble begrenset til utgivingsdato de siste 5 årene og at søkeordet måtte være i tittelen
15	Prediction of Electric Vehicle Range: A Comprehensive Review of Current Issues and Challenges	28.04.2021	Oria	9431	electric vehicle range, prediction	Kilden viser faktorer som påvirker energibruken til elektriske biler. Søket ble begrenset ved å legge inn 2 år utgivningstid
16	Suitability of energy sources for automotive application – A review	28.04.2021	Google	Direktesøk		Relevanse fra 2017-rapporten
17	2017 BMW i3 EPA Rated For 114 Miles Range (hybridcars.com)	28.04.2021	Oria	8780	fuel energy density, car	Tall om energitethet
18	2017 BMW i3 EPA Rated For 114 Miles Range (hybridcars.com)	28.04.2021	Google	560 000	bmw i3 2016 battery capacity	-/-
19	EPD basert på EN 15804 - LCA.no - Skybaserte løsninger for miljødokumentasjon	30.04.2021	Google	46 000	EN 15804, epd, lca	Informasjon om systemgrensen som benyttes til å besvare problemstillingen
20	https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/themen/mobilitaet/daten/ekz_pkm_tkm_verkehrsmittel.pdf	30.04.2021	Vestlandsforskning v/ Morten Simonsen			Østeriske miljøverndepartement, oppdatert mai 2020
21	https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/artikler-og-publikasjoner/elbiler-reducerer-utslipp-per-personkilometer?tabell=405070	30.04.2021	SSB	4	passasjerbelegg	brukt til beregning av utslipp per person- og tonnkilometer fra veitrafikk
22	Elsevier, Comparative Study on Life Cycle CO2 Emissions from the production of Electric and Conventional Vehicles in China, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217309049	04.05.2021	Google	186 000	How much CO2 emissions to produce a car	For å finne utslipp av CO2-ekv ved produksjon av konvensjonelle og elektriske biler
23	EV-Database, Nissan Leaf, https://ev-database.org/car/1106/Nissan-Leaf	03.05.2021	Google	5,4 mill	Nissan leaf battery size	Brukt til å finne batterikapasitet til 2019 Nissan Leaf
24	SSB, Kjørelengde etter kjøretøytype, https://www.ssb.no/statbank/table/12577/tableViewLayout1/	04.05.2021	Google	Ikke relevant	SSB	For å få relevante tall avgrenset vi det fra 2015 til 2019, valgte kun diesel, elektrisitet og ladbar hybrid (bensin).
25	https://usa.nissannews.com/en-US/releases/release-f6fc40f78a54118a8a01526272638f0-us-2017-nissan-leaf-press-kit#	05.05.2021	Google	1 830 000	2017 nissan leaf battery size	Brukt til å finne batterikapasitet til 2017 Nissan Leaf
26	https://www.ssb.no/statbank/table/12578/tableViewLayout1/	05.05.2021	Direktesøk SSB	28	gjennomsnittlig kjørelengde	Å finne ut av gjennomsnittlig kjørelengde til en elektrisk personbil i Norge 2019
27	https://www.ssb.no/statbank/table/05522/tableViewLayout1/	05.05.2021	Direktesøk SSB	37	bilparken	Å finne ut av gjennomsnittlig alder kjøretøy ved vraking i Norge
28	Carbon Management for a Sustainable Environment SpringerLink (hvl.no)	06.05.2021	Oria	13276	greenhouse gas ghg carbon	Informasjon om GHG
29	https://www.vestforsk.no/sites/default/files/migrate_files/rapport-2-03.pdf	06.05.2021	Vestlandsforskning	5	well-to-wheel	Utredning om WTW-systemet
30	https://pluginbc.ca/wp-content/uploads/2018/05/Environmental-Life-Cycle-Assessment-of-Electric-Vehicles-in-Canada.pdf	06.05.2021	Google	243 000	Nissan Leaf lca	Ble brukt til å finne tall for utslipp av produksjon av Nissan Leaf
31	https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/prozessdetails.php?id={0E0B2D8D-9043-11D3-B2C8-0080C8941B49}	07.05.2021	Vestlandsforskning v/ Morten Simonsen	Ikke relevant	Ikke relevant	Ble brukt til å analysere utslipp gCO2-ekv/kWh
32	https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/derfor-svinger-stromprisene/id2830569/	09.05.2021	Google	173 000	norsk strømmnett internasjonal	For å se nærmere på norske strømmnettet og import
33	http://sip1.vestforsk.no/pdf/Personbil/PersontransportBil.pdf	09.05.2021	Vestlandsforskning v/ Morten Simonsen	Ikke relevant	Ikke relevant	Verdier for utregning av produksjon og bruk av batteri
34	http://www.cres.gr/greenbuilding/PDF/prend/set1/WI_02+04_TC-approval_version_pREN_15203+15315.pdf	09.05.2012	Google Scholar			
35	Breaking Free from Cobalt Reliance in Lithium-Ion Batteries	10.05.2020	Google Scholar	7580	Lithium iron phosphate battery cobalt free	Brukt for å finne batteriteknologier uten kobolt.
36	KARTLEGGING FOREKOMSTER AV KOBOLT I EUROPA	10.05.2020	NGU		Kobolt	Informasjon om kobolt og tilgjengeligheten av dette i Europa.
37	https://www.nve.no/energiforsyning/kraftproduksjon/hvor-kommer-strommen-fra/?ref=mainmenu	11.05.2021	NVE			For å finne klimadeklarasjon for energi som er levert til Norge de siste årene
38	https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf#page=7	12.05.2021	Google	5 290 000	co2 emissions per kwh by fuel type	Kilden er tatt fra referanselisten på Wikipedia
39	Toyota's game-changing solid-state battery en route for 2021 debut	13.05.2021	Vestlandsforskning v/ Morten Simonsen			Informasjon om ny batteriteknologi (solidstate)
40	https://www.nissan-global.com/EN/DOCUMENT/PDF/SR/2015/SR15_E_P112.pdf	15.05.2021	Google	189 000	nissan leaf lca co2	Informasjon om utslipp knyttet til produksjon av batteripakke til en Nissan Leaf
41	https://www.dsb.no/lover/elektriske-anlegg-og-elektrisk-utstyr/tema/elbil---lading-og-sikkerhet/#elbiler-lading-og-brannfare	20.05.2021	Google	2090	dsb bilbrann norge	For å finne litteratur angående bilbranner i Norge for å sammenligne fossilt mot elbilbatteri
42	Optimal design of electric vehicle battery recycling network – From the perspective of electric vehicle manufacturers	19.05.2021	Oria	1972	electric vehicle, recycling	Resirkulering batteri
43	https://www.dsb.no/nyhetsarkiv/2020/branner-i-personbiler/	20.05.2021	Google	2090	dsb bilbrann norge	For å finne litteratur angående bilbranner i Norge for å sammenligne fossilt mot elbilbatteri
44	https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/cop-pdf-06.pdf	20.05.2021	Google	2 560 000	ghg emissions from goods transport	Utslipp fra goods transport over verden
45	Stiftelsen Østlandsforskning LCA	27.05.2021	Google	8930	lca livsløpsvurdering	Informasjon om LCA og systemgrenser
46	Hva påvirker elbilens ladehastighet?	28.05.2021	Google	140 000	lading av elbil hastighet	Lading av elbil
47	Estimation of CO2 Emissions of Internal Combustion Engine Vehicle and Battery Electric Vehicle Using LCA	30.05.2021	Oria	8223	use phase car CO2	Utslipp bruk fase
48	Experimental assessment of cycling ageing of lithium-ion second-life batteries from electric vehicles	30.05.2021	Oria	6469	battery second life lithium ion	Nytt liv til batterier etter bruk i elbil (energilagring f.eks)
49	https://forskning.no/miljøteknologi-spor-en-forsker-samferdsel/spor-en-forsker-hvor-skitne-er-elbilens-batterier/305563	01.05.2021	Google	34300	utslipp batteri elbil bilproduksjon forskning	Se nærmere på klimagassutslipp knyttet til produksjon av litium-ionbatterier
50	https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal	31.05.2021	Google	87800	fn bærekraftsmål 2015	Litteratur for FNs bærekraftsmål 2015-2030
51	ProBas - Prozessdetails: Wasser-KW-gross-NO-2000 (umweltbundesamt.de)	04.05.2021	ProBas	Ikke relevant	Energi, strøm, fonybar, vannkraft	Vann-KW-gross-NO-2000
52	ProBas - Prozessdetails: Netz-el-NO-2010-lokal (umweltbundesamt.de)	04.05.2021	ProBas	Ikke relevant	Energi, strøm, kraftdistribusjon infrastruktur	Nettverk-el-NO-2010-local
53	ProBas - Prozessdetails: Braunkohle-KW-DT-DE-2010-Lausitz (umweltbundesamt.de)	04.05.2021	ProBas	Ikke relevant	Energi, strøm, ikke-fornybar, kull, kraftverk uten varmeutnyttelse	Lignite-KW-DT-DE-2010-Lausitz
54	ProBas - Prozessdetails: Gas-KW-GT-DE-2010 (umweltbundesamt.de)	04.05.2021	ProBas	Ikke relevant	Energi, strøm, ikke-fornybar, gass, kraftverk uten varmeutnyttelse	Gass-KW-GT-DE-2010
55	Registreringer av nye elbiler i Norge (elbilstatistikk.no)	20.05.2021	Google	163 000	elbiler i norge statistikk	Brukt til å finne hvor mange elbiler det er i Norge sortert etter merke
56	Comparison of different EV batteries in 2020 (update) – PushEVs	23.05.2021	Google	264 000	NCM 622 battery	Brukt til å finne hvilke kjemi forskjellige elbiler bruker
57	Verden og oss	02.06.2021	Google	97 000	uforutsigbart klima fremover	Klimapåvirkning utslipp
58	Hva påvirker elbilens ladehastighet?	02.06.2021	Google	17 900	ladehastighet elbil	Finne ladehastighet elbil hjemme og offentlig.
59	Comparative Evaluation of the Effect of Vehicle Parameters on Fuel Consumption under NEDC and WLTP	02.06.2021	Oria	329	wltp, nedc	Informasjon angående testprosedyrer for kjøretøy (WLTP, NEDC)
60	Lithium-ion batteries – Current state of the art and anticipated developments	03.06.2021	Oria	34 596	lithium ion battery	Bruksområder litium-ionbatterier
61	Cradle-to-Gate Emissions from a Commercial Electric Vehicle Li-Ion Battery: A Comparative Analysis Environmental Science & Technology (acs.org)	03.06.2021	Direktesøk Google	Ikke relevant	Cradle-to-Gate Emissions from a Commercial Electric Vehicle Li-Ion Battery	Kilde fra IVL 2017