



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE

En komparativ livsløpsanalyse av elektriske og konvensjonelle kjøretøy

A comparative life-cycle analysis of electric and conventional vehicles

Hannah Luise Folchert

Hanne Selle Ulvang

Anette Olin Ødegård

Fornybar energi

Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap

Veileder: Erling Holden

03.06.2019

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 10.

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet våren 2019 av tre studenter ved Høgskulen på Vestlandet, som avslutning på en bachelorgrad i Fornybar energi ved Institutt for miljø- og naturvitskap. Oppgaven sammenligner utslipp av klimagasser fra ulike kjøretøyteknologier. Ideen til oppgaven ble presentert til oss av professor og veileder Erling Holden. Det dukker stadig opp nye artikler og påstander i media om hvor miljøvennlig elbiler er. Noen påstår at elbiler slipper ut mindre klimagasser enn konvensjonelle biler, mens andre påstår det motsatte. Vi synes dette temaet er svært spennende, og hadde lyst å få mer kunnskap om hva som faktisk stemmer når det gjelder klimagassutslipp fra ulike biltyper.

Ved å jobbe med denne oppgaven har vi lært mye om hvordan livsløpsanalyser gjennomføres og hvor klimagassutslippene kommer fra. Vi vil rette en stor takk til veileder Erling Holden for svært god veiledning underveis, både i form av konstruktive tilbakemeldinger og undervisning om emnet. Vi vil også takke Geoffrey Sean Gilpin og Morten Simonsen fra Høgskulen på Vestlandet, og Erik Figenbaum og Rolf Hagman fra Transportøkonomisk Institutt, for god hjelp og forslag vedrørende oppgaven.

Sogndal

03.06.2019

Hannah Luise Folchert

Hanne Selle Ulvang

Anette Olin Ødegård

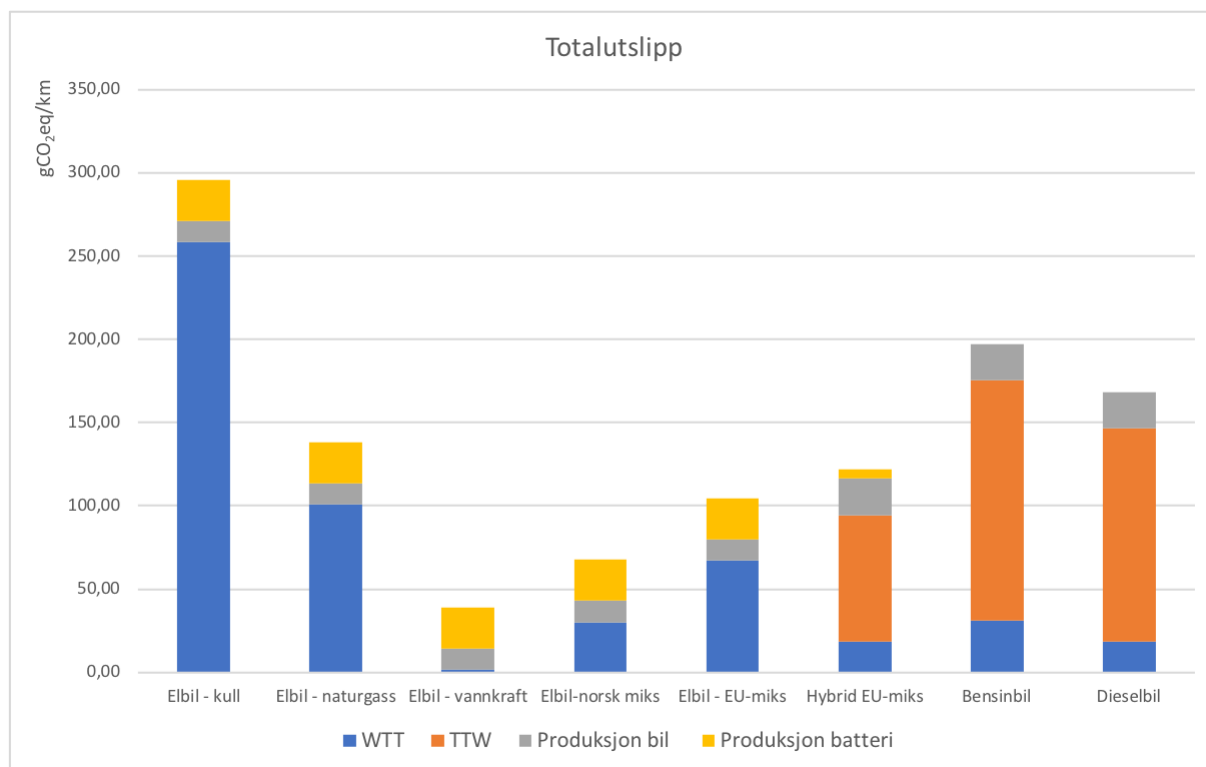
Sammendrag

I 2015 gikk FNs 193 medlemsland sammen og vedtok 17 mål for en global, bærekraftig utvikling. Dette innebærer å ende fattigdom, bekjempe ulikheter og takle klimaendringene vi i dag står overfor. Klimagassutslipp fra menneskelig aktivitet har forårsaket en global temperaturøkning på 1°C over førindustrielt nivå, og temperaturen fortsetter å øke. Bærekraftmål 13, Climate Action, har som hovedfokus å bekjempe klimaendringene og takle konsekvensene de fører med seg.

Når det gjelder menneskeskapte klimagassutslipp, er transportsektoren en av de største bidragsyterne. I Norge står transportsektoren for omtrent 30% av de totale klimagassutslippene, hvorav 56% kommer fra veitrafikk. Elektriske biler og hybridbiler har blitt presentert som et viktig tiltak til et mer bærekraftig transportsystem sammenlignet med konvensjonelle kjøretøy drevet av fossilt drivstoff. Med dette arbeidet ønsker vi å besvare følgende problemstilling:

Hvor store er klimagassutslippene fra produksjon og bruk av elbil, sammenlignet med hybrid-, diesel- og bensinbil?

Vi har valgt å ta for oss åtte ulike energikjeder. Fem av energikjedene inkluderer elektrisk bil med forskjellig elektrisitetskilde, i tillegg til en ladbar hybridbil, en bensinbil og en diesebil. Vi har utført en livsløpsanalyse av klimagassutslipp, basert på sekundærdata. Totale utslipp (Figur 1) består av produksjonsutslipp, fra kjøretøy og batteri, samt utslipp ved bruk. Bruksutslippet, Well-To-Wheel (WTW), består av to deler; Well-To-Tank (WTT) som tar for seg prosessene fra ressursutvinning til levering av drivstoff i kjøretøyet, og Tank-To-Wheel (TTW) som tar for seg drivstoffet fra det blir hentet på tanken, til det blir brukt for at bilen skal bevege seg.



Figur 1 Totale klimagassutslipp fra produksjon og bruk fra de ulike energikjedene

Vår analyse viser at elbiler har et stort potensial til å redusere WTW-utslipp, sammenlignet med konvensjonelle biler, gitt at elektrisiteten kommer fra helt- eller delvis fornybare energikilder. Dette er tilfellet for dagens norske- og europeiske elektrisitetsmiks. Når det kommer til produksjon er utslippene høyere fra el- og hybridbiler, på grunn av store utslipp knyttet til batteriproduksjon. Til tross for høye produksjonsutslipp vil det totale utslippet etter få år være større for konvensjonelle biler enn el- og hybridbiler. Unntaket er elektriske biler drevet av enkelte ikke-fornybare energikilder, som for eksempel kullkraft.

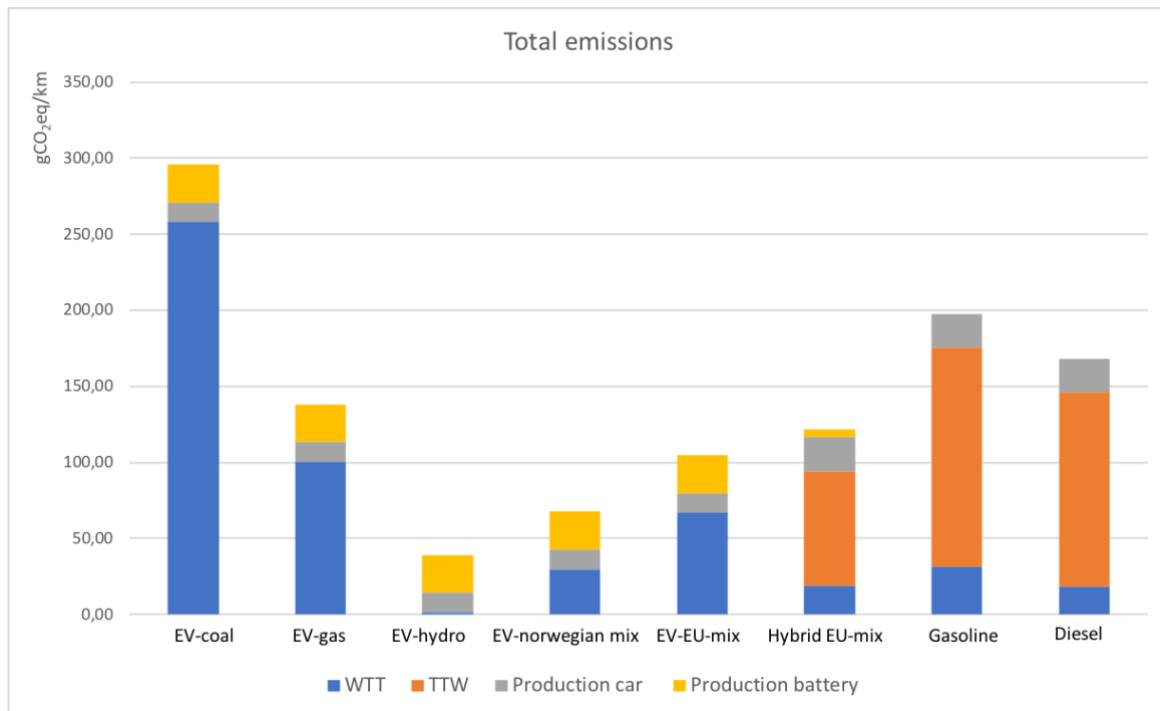
Abstract

The world is currently facing a major climate crisis. People and organizations across the world are coming together to tackle this issue. In 2015 the UN, and its member states, adopted 17 goals for a sustainable development. This involves ending poverty, combating inequalities and tackling climate change. GHG emissions from human activity have caused global temperature increase by 1 °C above pre-industrial level, and the temperature continues to rise. Sustainability goal number 13, Climate Action, involves acting to combat climate change and its impacts.

The transportation sector is among the largest contributors to man-made GHG emissions. In Norway, this sector is responsible for about 30% of total GHG emissions, of which 56% comes from road traffic. Electric cars and hybrid electric vehicles have been presented as an important measure for a more sustainable transport system compared to conventional ICEVs driven by fossil fuels. Through this analysis we try to answer the following:

How does greenhouse gas emissions from production and use of electric vehicles, compare to those of hybrid electric vehicles, and conventional ICEVs?

We have looked at eight different energy chains. Five of the energy chains include electric vehicles with different sources of electricity, a plug-in hybrid electric vehicle, a gasoline ICEV and a diesel ICEV. We have performed a life cycle analysis, based on secondary data. Total emissions (Figur 2) include emissions from the production- and use phase. The use-phase, Well-To-Wheel (WTW), consists of Well-To-Tank (WTT) which includes all processes from resource extraction to delivery of fuel to the vehicle, and Tank-to-Wheel (TTW), which includes the processes from collection at the tank, until it is used for the car to move.



Figur 2 Total GHG emissions from the different energy chains

According to our results, EVs have the potential to reduce WTW-emissions considerably, compared to conventional ICEVs, given that a portion of the electricity comes from completely- or partly renewable energy sources. This is the case for both the Norwegian and European electricity mix. When it comes to the production phase, emissions are significantly higher for electric- and hybrid electric vehicles. This is due to the energy intensive processes of battery production. Despite high emissions related to production, the total emissions of EVs will still be lower than those of conventional ICEVs. The exception is EVs powered by certain non-renewable energy sources.

Innholdsfortegnelse

Forord	ii
Sammendrag	iii
Abstract	v
Ordforklaringer	ix
Figurliste	xi
Tabelliste	xii
1 Introduksjon	13
1.1 <i>Det samfunnsmessige bakteppe</i>	13
1.2 <i>Problemstilling</i>	16
1.3 <i>Oppgavens oppbygging</i>	17
2 Kunnskapsgrunnlag	18
2.1 <i>Livsløpsstudier</i>	18
2.2 <i>Batteri</i>	20
2.3 <i>Betydning av kjøremønster</i>	23
2.4 <i>Oppsummering kunnskapsgrunnlag</i>	23
3 Metode og datagrunnlag	25
3.1 <i>Livsløpsmetodikk</i>	25
3.2 <i>Energikjedene</i>	26
3.3 <i>Produksjon</i>	27
3.4 <i>WTW</i>	29
3.4.1 <i>WTT</i>	30
3.4.2 <i>TTW</i>	36
3.5 <i>Oppsummering datagrunnlag</i>	38
4 Resultater	40
4.1 <i>Produksjon</i>	40
4.2 <i>WTT</i>	41
4.3 <i>TTW</i>	42
4.4 <i>WTW</i>	43
4.5 <i>Totale utslipp</i>	44
5 Diskusjon	48
5.1 <i>Diskusjon av resultater</i>	48
5.2 <i>Sammenligning med andre studier</i>	49
5.3 <i>Andre faktorer</i>	51
5.4 <i>Fremtidig scenario</i>	54

5.5	<i>Kritisk gjennomgang</i>	55
5.6	<i>Fremtidig forskningsbehov</i>	57
6	Konklusjon	58
7	Referanser	60
	Vedlegg	69

Ordforklaringer

- CO₂-ekvivalenter – Samlede klimagasser omregnet til CO₂.
- DRC – Den demokratiske republikk Kongo
- EU-miks – Den europeiske elektrisitetsmiksen
- EV – Electrical Vehicle - elektrisk bil
- GHG – Greenhouse gasses – Klimagasser
- GWP – Global Warming Potential
- ICCT – International Council on Clean Transportation
- ICE – Internal Combustion Engine – Forbrenningsmotor
- ICEV – Internal Combustion Engine Vehicle – Konvensjonelt kjøretøy
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
- PV – Photovoltaic
- Kraftmiks – Elektrisitet på strømmettet som stammer fra ulike energikilder
- kWh – Kilowatttime (kilowatt * time)
- LCA – Life Cycle Assessment – Livsløpsanalyse
- LFP – Lithium Iron Phosphate
- LMO – Lithium Manganese Oxide
- NCA – Lithium Nickel Cobalt Aluminium Oxide
- NCED – New European driving cycle
- NGU – Norges Geologiske Undersøkelse
- NMC – Lithium Manganese Cobalt Oxide
- Norsk miks – Den norske elektrisitetsmiksen
- TTW – Tank-To-Wheel

- Virkningsgrad – Forholdet mellom energi brukt og energi tilført for hvert ledd i energikjeden
- WLTP – Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure
- WTW – Well-To-Wheel
- WTT – Well-To-Tank

Figurliste

Figur 1 Totale klimagassutslipp fra produksjon og bruk fra de ulike energikjedene	iv
Figur 2 Total GHG emissions from the different energy chains	vi
Figur 3 Klimagassutslipp Norge	14
Figur 4 Egne utregninger for utslipp av CO ₂ /liter bensin	32
Figur 5 Egne utregninger for utslipp av CO ₂ /liter diesel	33
Figur 6 Gjennomsnittlig utslipp elektrisitetskilder	35
Figur 7 Utslipp knyttet til produksjon av kjøretøy, inkludert batteri	41
Figur 8 Utslipp knyttet til WTT delen for de ulike energikjedene	41
Figur 9 Utslipp knyttet til TTW-delen for hybrid-, bensin- og dieselbil.....	42
Figur 10 WTW utslipp	43
Figur 11 Totalutslipp	45
Figur 12 Vendepunkt diagram.....	47

Tabelliste

Tabell 1 Energikjeder inkludert i analysen	27
Tabell 2 Batterikapasitet	28
Tabell 3 Utslipp fra bilproduksjon fra ulike kilder	29
Tabell 4 Virkningsgrader	31
Tabell 5 Utslipp fra ulike elektrisitetskilder	34
Tabell 6 Rekkeviddefordeling hybridbil	36
Tabell 7 Drivstofforbruk konvensjonelle biler	37
Tabell 8 Strømforbruk elektrisk bil.....	37
Tabell 9 Bensin- og strømforbruk hybridbil	38
Tabell 10 Oppsummeringstabell	38
Tabell 11 Totalutslipp for de ulike energikjedene	44

1 Introduksjon

I dette kapitlet ser vi på klimakrisen vi i dag står overfor, og går nærmere inn på hvordan transportsektoren bidrar til klimagassutslipp og andre miljøproblemer. Vi tar for oss noe av det som gjøres på internasjonal basis for å gjøre denne sektoren mer bærekraftig, og på den måten redusere de negative miljøeffektene som veitrafikk bringer med seg. Kapitlet avsluttes med en presentasjon av problemstillingen vi tar for oss, samt oppgavens avgrensinger.

1.1 Det samfunnsmessige bakteppe

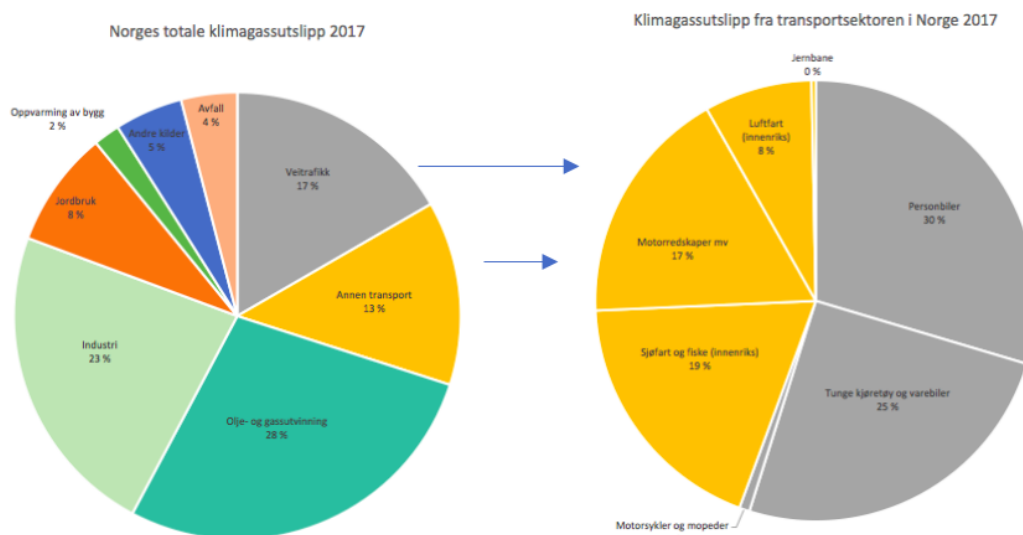
I september 2015 ble det holdt et FN-toppmøte, hvor verdensledere fra FNs 193 medlemsland gikk sammen og vedtok 17 mål for en global, bærekraftig utvikling. I årene frem mot 2030 vil de deltakende landene jobbe mot disse målene for å ende fattigdom, bekjempe ulikheter og takle klimaendringene. Målene tar for seg strategier som skal være med på å bygge økonomisk vekst, ivareta sosiale behov som utdanning, helse, sosial beskyttelse og arbeidsmuligheter, og samtidig jobbe for å bekjempe klimaendringene vi i dag står overfor (UN, 2015).

Bærekraftmål 13, Climate Action, innebærer handling for å bekjempe klimaendringene og takle konsekvensene de fører med seg (UN, 2015). I målet viser de til Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) sin rapport fra 2018. Denne rapporten gjør rede for virkningene av klimaendringene. Klimagassutslipp fra menneskelig aktivitet har forårsaket en global temperaturøkning på 1°C over førindustrielt nivå, og temperaturen fortsetter å øke. I dag stiger temperaturen med omtrent 0.2°C per tiår, og vil etter IPCCs estimeringer nå 1.5°C over førindustrielt nivå en gang mellom 2030 og 2052 (IPCC, 2018).

Vi ser allerede hvor store virkninger dette har, på naturlige, samt menneskeskapte systemer. Årlig gjennomsnittstemperatur har økt i de fleste land- og havområder, noe som fører til kraftigere og hyppigere ekstremvær, mer nedbør i enkelte områder, og tørke i andre. Isbreer og havis smelter, havnivået stiger og biologisk mangfold svekkes. Dette har konsekvenser for menneskers liv og helse, verden over (IPCC, 2018).

Alle sektorer må gjøre sin del for å redusere utslippene. Transportsektoren er blant de største bidragsyterne til menneskeskapte klimagassutslipp, og den eneste store økonomiske sektoren som har hatt en økning i utslipp siden 1990 (EEA, 2016, s. 9). Ifølge Holden et al. (2019) går 31.6% av verdens endelige energiforbruk til transportsektoren. Dette kommer hovedsakelig fra ikke-fornybare energikilder.

European Environment Agency (EEA) sin rapport fra 2016 slår fast at transportsektoren er ansvarlig for ca. 25% av Europas klimagassutslipp (EEA, 2016 s. 7), der veitransport står for rundt 70% av det totale utslippet fra sektoren (European Commission, 2016, s. 2). I Norge står transportsektoren for omtrent 30% av de totale klimagassutslippene, hvor 56% kommer fra veitrafikk (Figur 3) (Miljødirektoratet, 2018).



Figur 3 Klimagassutslipp Norge

(Miljødirektoratet og Statistisk sentralbyrå 2018/miljøstatus.no)

Globale trender tilsier at veitrafikk vil fortsette å øke i årene som kommer. The World Business Council for Sustainable Development forutsier at antall lette kjøretøy vil øke til to milliarder innen 2050, sammenlignet med 700 millioner i år 2000 (Hawkins et al., 2013). Ifølge BloombergNEF sin nye rapport "Electrical Vehicle Outlook 2019" er det estimert å være over en billion biler på veiene i dag (McKerracher et al., 2019). Dette kan ha store negative konsekvenser for globale klimagassutslipp.

Sektoren er også ansvarlig for store luft-, jord- og vannforurensninger, både lokalt, regionalt og globalt. Luftforurensing er særlig et problem i større byer. Flere steder møter ikke luftkvaliteten EU og World Health Organization (WHO) sine satte standarder. Dessuten er veitransport hovedgrunnen til støyforurensing i Europa, som fører til skade på menneskers helse og livskvalitet (EEA, 2016, s. 7).

Elektriske biler har blitt presentert som et mer bærekraftig alternativ til konvensjonelle kjøretøy som er drevet av fossilt drivstoff. Ifølge Poullikkas (2015) er teknologien bak elektriske biler svært lovende, og har potensialet til å senke klimagassutslipp i transportsektoren, samt redusere lokal forurensning. EEA (2016 s. 44) hevder at et skifte fra konvensjonelle biler til elektriske biler kan redusere utslipp av CO₂ betydelig, gitt at elektrisiteten kommer fra fornybare energikilder.

Elbiler og Plug-in hybridbiler har allerede nådd markedsandel på 29% i Norge, 6% i Nederland, og 1,5% i Kina, Frankrike og Storbritannia (Weiss et al., 2019). Ifølge McKerracher et al. (2019) forventes det at 57% av salget av personbiler, og over 30% av verdens personbilmarked i 2040 vil være elektrisk. Dette tilsier 500 millioner elektriske personbiler på veiene i 2040 og over 40 millioner kommersielle elektriske kjøretøy. I 2018 ble det solgt over to millioner elbiler i forhold til ett par tusen solgt i 2010. Likevel utgjør elbiler fortsatt bare 0,5% av verdens markedsandel (McKerracher et al., 2019).

Elbiler er kun ett av flere nødvendige tiltak for å fremme bærekraftig transport (EEA, 2016, s. 9). Stephenson et al. (2018) påstår at økt kollektiv transport og forbedring av infrastruktur er viktige bidragsyttere til et mer bærekraftig transportsystem. Andre viktige tiltak for å redusere forurensing og utslipp fra transportsektoren er å oppmuntre til aktiv reising, som sykling og gåing, samt bildeling, redusert kjøring (European Commission, 2016, s. 11-12, EEA, 2016, s. 9), og en endring i måten vi bruker transportsystemet på (EEA, 2016, s. 9). Ifølge EEA (2016, s. 43-44) er det også helt avgjørende at vi får en overgang fra fossil- til fornybar elproduksjon for at elbiler skal bidra til mindre klimagassutslipp. Når dette er sagt, er transportsektoren nødt til å belage seg på konvensjonelle biler på kort og mellomlang sikt (EEA, 2016, s. 9), mens nyere og renere teknologier utvikles (Stephenson et al., 2018, EEA, 2016, s. 9).

1.2 Problemstilling

I denne studien har vi valgt å ta for oss klimagassutslipp fra helelektriske biler og ladbare hybridbiler, for å finne ut hvor miljøvennlige de er, sammenlignet med konvensjonelle biler. Problemstillingen vi tar for oss i denne oppgaven er:

Hvor store er klimagassutslippene fra produksjon og bruk av elbil, sammenlignet med hybrid-, diesel- og bensinbil?

For å besvare denne problemstillingen har vi utført en livsløpsanalyse med fokus på klimagassutslipp som følge av produksjon og bruk av de ulike kjøretøyene. I analysen sammenligner vi elektriske biler med fem ulike kilder til elektrisitet, med hybridbil og konvensjonelle diesel- og bensinbiler.

Avgrensinger

I oppgaven vil åtte forskjellige energikjeder undersøkes, hvorav fem inkluderer elbil med elektrisitet fra ulike kilder. Elektrisitetskildene vi tar for oss er ren vannkraft, ren kullkraft, naturgass, europeisk elektrisitmiks (EU-miks) og norsk elektrisitmiks (norsk miks). I tillegg vil vi ta for oss en diesebil, en bensinbil og en ladbar hybridbil. Hybridbilen i vår analyse er drevet av bensin, i tillegg til elektrisitet fra EU-miksen. Analysen vår tar for seg personbiler, og for å gjøre analysen så nøyaktig som mulig er det valgt biler med relativt lik størrelse, masse og kraft. Når det kommer til elbilen vil vi kun ta for oss litium-ion batteri.

Fokuset i analysen vil være på blandet kjøring. Blandet kjøring innebærer en kombinasjon av bykjøring og langkjøring. De ulike bilenes miljøpåvirkning vil undersøkes med tanke på utslipp av klimagassene CO₂, CH₄ og N₂O, og vises i CO₂ ekvivalenter. Videre er oppgaven avgrenset til utslipp som følge av bruk og produksjon av kjøretøyene, inkludert batteri for hybrid- og elbil. Utslipp knyttet til infrastruktur, og materialhåndtering etter bruk er ikke tatt med. Når dette er sagt vil enkelte andre miljøproblemer knyttet til de ulike kjøretøyene gjøres rede for i kapittel 5.

1.3 Oppgavens oppbygging

Denne oppgaven er presentert i syv kapitler. Den første delen er en introduksjon til oppgaven, her blir bakgrunnen for oppgaven og problemstilling med avgrensninger presentert. I det neste kapitlet går vi gjennom kunnskapsgrunnlaget, der vi ser på eksisterende studier som omhandler temaer rundt klimagassutslipp knyttet til forskjellige kjøretøy. Videre går vi gjennom metoden og datagrunnlaget vi har brukt for å gjennomføre vår analyse. Deretter presenterer vi resultatene fra analysen. I kapittel fem diskuterer vi resultatene, og sammenligner dem med andre studier. Vi ser også på andre faktorer som ikke er tatt med i analysen vår, går kritisk gjennom usikkerheter, og diskuterer hvordan et mulig fremtids-scenario vil kunne se ut. Til slutt konkluderer vi med hva våre resultater viser, og besvarer problemstillingen vi har tatt for oss.

2 Kunnskapsgrunnlag

I dette kapitlet tar vi for oss noe av den eksisterende forskningen som finnes på dette feltet. Vi vil se på tidligere livsløpsstudier av kjøretøy, studier av litium-ion batterier og betydningen av bilens kjøremønster. Kapitlet avsluttes med en oppsummering av studiene vi har tatt for oss, hvor enigheter, uenigheter og eventuelle kunnskapshull er gjort rede for.

2.1 Livsløpsstudier

Hawkins et al. (2013) har utført en livsløpsanalyse hvor de sammenligner konvensjonelle og elektriske biler. Studien tar for seg produksjon og bruk, samt håndtering etter endt levetid. Kjøretøyenes miljøpåvirkning er vurdert innenfor ti ulike kategorier. De ser blant annet på GWP (global warming potential), toksisitet, og bruk av mineral- og fossilressurser. Resultatene fra studien viser at elbiler drevet av elektrisitet fra EU-miks gir en GWP-reduksjon på 10-24%, sammenlignet med konvensjonelle diesel- og bensinbiler. Det er her tatt utgangspunkt i en levetid på 150 000 km. Ved en levetid på 200 000 km gir elbilen en GWP-reduksjon på 27-29%, i forhold til bensinbilen. Når dette er sagt viser studiet at produksjonsfasen for elbiler har potensialet til å øke faren for en rekke andre miljøproblemer. Det er her nevnt økt risiko for toksisitet for mennesker og ferskvannssystemer, samt ferskvannseutrofiering, og negative konsekvenser knyttet til uttak av metaller.

Onn et al. (2017) har sett på hvordan elektrisitetsblandingen påvirker klimagassutslipp fra bruk av elektriske kjøretøy, med fokus på bruk i utviklingsland. De har sammenlignet flere typer elektriske biler med hybridbiler og konvensjonelle biler. Metoden som er brukt er WTW-analyse med fokus på utslipp per liter fossilt drivstoff og per kWh elektrisitet. De tar også for seg effektiviteten til bilene. Resultatet i studien viser at elektriske kjøretøy i Malaysia slipper ut 6,4-7,9% mer klimagasser enn hybridkjøretøy, men 16,0-22,5% mindre enn konvensjonelle biler. Forutsetningen for at elektriske kjøretøy skal lønne seg i et miljøperspektiv er at elektrisiteten som brukes til lading av kjøretøyet har et CO₂-utslipp som er lavere enn 700g/kWh. Studiet konkluderer med at dersom elektriske kjøretøy skal lønne seg i utviklingsland, må det elektriske nettet utbedres, og andelen elektrisitet fra fornybare energikilder økes kraftig. Studien

er mangelfull da det ikke er tatt stilling til produksjon av kjøretøyene, som spiller en stor rolle når det kommer til klimagassutslipp fra elektriske kjøretøy.

Yazdanie et al. (2014) gir en analyse av energietterspørsel og klimagassutslipp som følger av bruk av konvensjonelle- og alternative kjøretøyteknologier. Studiet jobber med et WTW-perspektiv, og tar for seg bruk av personbil i en sveitsisk kontekst. Formålet med studiet er å identifisere den teknologien og energikilden som har størst potensiale for å redusere energibehov og klimagassutslipp, sammenlignet med konvensjonelle kjøretøy. Resultatene fra studiet viser at elektrisitetsmiksen spiller en stor rolle, både for klimagassutslipp og energibehov. I alle tilfeller viste energikjeder med fornybare energikilder lave klimagassutslipp i WTW fasen. Videre hadde elektriske biler lavere utslipp enn hybridbiler når det kom til fornybare kilder til elektrisitet. Elektriske biler drevet av PV solceller viste lavest klimagassutslipp, mens hybridbil drevet av biogass hadde lavest energibehov, like under den elektriske bilen drevet av PV. Dette studiet er begrenset til drivstoffenes livsløp. En slik begrensning har tillatt dem å kunne gi en grundig analyse av dette livsløpet, men det er viktig å bemerke at energibehov og klimagassutslipp knyttet til produksjon, vedlikehold, infrastruktur, og materialhåndtering etter bruk ikke er tatt med i beregningene.

Del Pero et al. (2018) har utført en helhetlig livsløpsanalyse av konvensjonelle og elektriske personbiler. Analysen baserer seg hovedsakelig på primærdata, og tar for seg hele livsløpet fra ressursutvinning til produksjon og bruk av kjøretøyene, i tillegg til materialhåndtering etter endt levetid. Kjøretøyene sammenlignes med hensyn til en rekke miljøpåvirkninger, blant annet klimagassutslipp, forsuring, toksisitet og luftforurensning. For å vise spekteret for klimagassutslipp for det europeiske markedet, er tre ulike elektrisitetsmikser vurdert for elbiler; EU-miks, norsk miks og polsk miks. LCA analysen tar utgangspunkt i referansebilen fra SAE International sitt ALLIANCE-prosjekt, og baserer seg på en levetid på 150 000 km.

Resultatene gir et utslipp på 30 200 kg CO₂eq for hele livsløpet til konvensjonelle biler, hvor utslipp fra bruk står for den største andelen av utslippene. Det totale livsløpet til en elektrisk bil drevet av elektrisitet fra EU-miks er på 19 300 kg CO₂eq. For elektriske biler står produksjonsutslipp for 8 960 kg CO₂eq av de totale utslippene. Utslipp knyttet til

produksjon av den konvensjonelle bilen er på 4 970 kg CO₂eq. I rapporten er det også utført vendepunktanalyser som viser at bruk av elbil drevet av EU-miks vil lønne seg etter 45 000 km kjørt, sammenlignet med konvensjonelle biler. Med den norske elektrisitmiksen vil elbilen få lavere totalutslipp etter 30 000 km kjørt.

Woo et al. (2017) vurderer i hvilken grad drivstoffutslipp fra elbiler og konvensjonelle biler endrer seg i henhold til hvert lands energimiks, ved å gjennomføre en WTW analyse. Norge er tatt med i denne analysen, sammen med 70 andre land. I analysen har de samlet inn data fra hvert land om deres fordeling av kraftproduksjon. Ifølge rapporten kommer norsk energi fra 94% vannkraft, 2% naturgass, 2% vindkraft, 1% bioenergi og 1% solenergi.

I analysen ser de også på klimagassutslipp for konvensjonelle biler, og sammenligner drivstofftypene bensin og diesel. I tillegg har de kalkulert og sammenlignet klimagassutslipp for elbiler med elektrisitet fra ulike energikilder. Resultatene viser at elbiler som bruker elektrisitet fra fossile energikilder; kull, naturgass og olje, har betraktelig høyere klimagassutslipp enn når elektrisiteten kommer fra fornybare energikilder. Elbilene med fossile energikilder har høyere klimagassutslipp enn konvensjonelle biler, men konvensjonelle biler har igjen betraktelig høyere utslipp enn elbiler drevet av fornybare energikilder. Når det kommer til klimagassutslipp for elbiler i de forskjellige landene, viser resultatene at Norge var det landet med lavest klimagassutslipp for elbiler, med bare 2,3-3,4 gCO₂eq/km. Når dette er sagt tar analysen kun for seg klimagassutslipp fra drivstoffenes livsløp. Produksjon og håndtering av materialer etter endt levetid er for eksempel ikke tatt med.

2.2 Batteri

Den mest vanlige batteritypen brukt i elektriske biler, er litium-ion batterier. Litium-ion batterier kan produseres med en rekke ulike kombinasjoner av litiumbaserte katode- og anodematerialer. Mest vanlig er det å bruke en blanding av kobolt, nikkel og manganoksider sammen med litium som katode, men det er også mulig å bruke et jernfosfat. Dette kombineres med en anode, vanligvis grafitt. De mest brukte batteriteknologiene i dag er NMC333, LFP og NCA. Tidligere har LMO vært mye brukt, men dette er mindre vanlig ved produksjon i dag. Nåværende trender indikerer at NMC

batterier vil være det mest sannsynlige valget de neste 10-15 årene, med små modifikasjoner til dagens teknologi. Dette innebærer først og fremst et skifte fra dagens NMC333, til nyere NMC622 og NMC811 batterikjemier, i tillegg til en forbedring av dagens grafittanoder gjennom bruk av silikon, som har et betydelig større potensial for energilagring. Det foregår også forskning og utvikling av helt nye batteriteknologier, som blant annet solid-state batterier og lithium-air batterier, men implimentasjon av dette ser ikke ut til å være sannsynlig i nærmeste fremtid (Romare og Dahllöf, 2017).

Romare og Dahllöf (2017) har utført en litterærstudie i samarbeid med Swedish Environmental Resarch Institute, med fokus på dagens teknologi for litium-ion batterier. I studien sammenligner de en rekke livsløpsanalyser som har sett på klimagassutslipp fra produksjonen av litium-ion batterier. Ett av hovedformålene med studien er å finne de mest sannsynlige verdiene for klimagassutslipp knyttet til batteriproduksjon på grunnlag av de forskjellige studiene.

Resultatene fra de forskjellige studiene varierer stort, men indikerer at klimagassutslippene befinner seg mellom 120-150 kg CO₂eq/kWh. Basert på en vurdering av studienes utførelse og åpenhet knyttet til dataene, konkluderes det med at klimagassutslippene mest sannsynlig vil være mellom 150-200 kg CO₂eq/kWh. Omtrent halvparten av klimagassutslippene kommer fra selve produksjonen og monteringen av batteriet, mens resten kommer fra utvinning av materialer. Dette inkluderer blant annet gruvedrift og raffinering. Videre bemerker de at dette er en fordeling som fort kan endre seg, ettersom den avhenger av lokalisering av produksjonen og energikilden til strømforsyningen.

Ifølge Romare og Dahlöf (2017) er dagens tilgjengelige data, da særlig primærdata, ikke gode nok til å gi et detaljert bilde av batteriets produksjonsutslipp. Denne analysen kan likevel gi en god indikasjon på det totale utslippet ved produksjon.

International Council on Clean Transportation (ICCT) har i sin rapport (Hall og Lutsey, 2018) gjort rede for konsekvensene av batteriproduksjon for elektrisk kjøretøy. De presenterer og sammenligner resultatene fra en rekke studier som ser på klimagassutslipp fra produksjon av litium-ion batterier. Studiene varierer i omfang og

metodologi, med resultater fra 56 til 494 kgCO₂/kWh batterikapasitet. Dette vide spekteret viser at det er stor usikkerhet knyttet til utslipp fra batteriproduksjon. Det er klar enighet om at den største andelen av utslippene kommer fra elektrisiteten som brukes til produksjon og montering av batteriene, og at bruk av renere elektrisitet til fabrikkene derfor har potensialet til å redusere utslippene fra denne prosessen betydelig, men i hvor stor grad er fremdeles usikkert. I rapporten ser de også på den fremtidige utviklingen av batteriteknologier, samt muligheter for bruk og håndtering av batteriene etter bilens endte levetid.

Hausfather (2019) gjør rede for to livsløpsstudier av elektriske og konvensjonelle kjøretøy, utført av IFO institut og ICCT (Hall og Lutsey, 2018). Rapporten diskuterer studienes datagrunnlag og resultater. IFO sin livsløpsstudie sammenligner Tesla Model 3 med en gjennomsnittlig konvensjonell bil, mens ICCT rapporten ser på produksjon og bruk av Nissan Leaf. Begge analysene har tatt utgangspunkt i IVL sin studie (Romare og Dahllöf, 2017) for å estimere produksjonsutslipp fra bilens batteri. Resultatene fra Romare og Dahllöf (2017), i tillegg til en litteraturstudie utført av Carbon Brief, som bygger videre på den, diskuteres også i denne rapporten. Videre går Hausfather nærmere inn på betydningen av metode ved estimeringen av elektrisitetsforbruk i utførelsen av slike studier. Ifølge denne rapporten viser IVL sitt estimat på 150 kgCO₂/kWh batterikapasitet seg å være høyere enn resultater fra studier gjort de siste årene som viser et gjennomsnitt på 100 kgCO₂/kWh. Basert på nyere estimeringer, samt en indikasjon på at produksjonsfasiliteter flyttes til lokasjoner med en renere elektrisitetsmiks, har Carbon Brief satt produksjonsutslipp for batteri til 88 kgCO₂eq/kWh. Ifølge Hausfather (2019) samsvarer dette med en beregning gjort av Research Center for Energy Economics (FFE) på 87 kgCO₂eq/kWh for tysk batteriproduksjon. FFE hevder også at en økt andel fornybar energi til produksjonsanleggene vil kunne redusere utslippene til 62 kgCO₂eq/kWh. Hausfather konkluderer med at bruk av elbiler, både i USA og Europa, har potensialet til å redusere klimagassutslipp i forhold til konvensjonelle biler, og på den måten være et tiltak for å nå Parisavtalens mål om å begrense global oppvarming til 2°C over førindustrielt nivå. Dette er avhengig av et skifte fra fossil til fornybar elektrisitetsproduksjon på global basis.

2.3 Betydning av kjøremønster

Raykin et al. (2012) har sett på hvordan kjøremønster (distanse og kjøreforhold) og strømforsyning påvirker energibruk og klimagassutslipp, i Well-To-Wheel fasen for Plug-in hybridbiler. Analysen tar for seg ulike scenarioer for strømforsyning; 100% vannkraft, 100% naturgass, 100% kull og en miks fra provinsen Ontario i Canada. I WTW analysen kategoriserer de kjøremønstrene i tre ulike kategorier; City (korte distanser, lav hastighet og ingen motorveikjøring), Suburban (Lengre distanser, normal hastighet og noe motorveikjøring) og Highway (Lange distanser, høy hastighet og hovedsakelig motorveikjøring).

Resultatene viser at kjøremønstre og strømforsyning har store påvirkninger på energibruk og klimagassutslipp. Bykjøring var det som gav de laveste tallene, for alle strømforsyningene. Dette skyldes at de korte strekningene gav bilen mulighet for kontinuerlig lading. Klimagassutslipp var minst ved bykjøring med energi fra vannkraft, og størst for motorveikjøring med energi fra kullkraftverk. Faktorer som blant annet temperatur og veikvalitet er ikke tatt med i analysen.

2.4 Oppsummering kunnskapsgrunnlag

I alle studiene vi har tatt for oss er det en klar enighet om at elbiler har potensialet til å redusere livsløpsutslipp sammenlignet med konvensjonelle biler, men at dette er avhengig av en viss andel fornybar energi i elektrisitetsproduksjonen. Studiene varierer noe når det gjelder rammeverk og forutsetninger, som gir en viss variasjon i resultatene. Videre er det noe uenighet knyttet til hybridbilens utslipp, sammenlignet med konvensjonelle kjøretøy. Dette kan til dels forklares med usikkerhet ved estimering av hybridbilens kjøremønster, men er først og fremst avhengig av elektrisitetsmiksen analysen tar utgangspunkt i.

Når det gjelder utslipp fra produksjon av batterier varierer tallene svært mye. Dette skyldes den store usikkerheten og kompleksiteten knyttet til denne industrien. Videre er valg av rammeverk og avgrensninger, samt ulik strømforsyning i ulike land med på å gi et vidt spekter i utslippstallene.

Det som først og fremst skiller vår studie fra de andre, er at vi i tillegg til WTW-livsløpet har sett på utslipp knyttet til produksjon av kjøretøyene. Videre har vi inkludert hybridbil, noe de tidligere LCA analysene ikke har hatt like stort fokus på. Vår analyse tar også utgangspunkt i Europa og Norge, i større grad enn tidligere studier vi har sett på.

3 Metode og datagrunnlag

I denne studien har vi utført en livsløpsanalyse av ulike kjøretøy. Vi har tatt for oss drivstoffenes livsløp, samt deler av transportmidlenes livsløp. Summen av dette definerer vi som kjøretøyets totale utslipp. Dette kapittelet tar for seg hvilke metoder vi har brukt og hvilket datagrunnlag vi baserer vår analyse på. Første delkapittel handler om selve livsløpsmetodikken. Videre tar vi for oss de forskjellige energikjedene vi sammenligner i oppgaven. Resten av kapittelet handler om hvordan utslippene i WTW-analysen av drivstoffet, samt utslipp fra produksjonsfasen til bilene er beregnet. Til slutt oppsummerer vi hvordan vi har kommet frem til de totale utslippene for hver av energikjedene.

3.1 Livsløpsmetodikk

Livsløpsanalyser brukes for å evaluere miljømessige konsekvenser knyttet til et produkt, et system eller en aktivitet (Nestaas, 2018). Analysen tar for seg hele livsløpet, fra uttak av råmaterialer, til produksjon, bruk og håndtering av produktet etter endt levetid. Transport som kreves mellom de ulike leddene er også tatt med i en slik vurdering (Holden, 2003).

International Organization for Standardization (ISO) har utviklet en standardisert metode for utførelse av en livsløpsanalyse, eller Life Cycle Assessment (LCA). ISO standard 14040 tar for seg prinsipper og rammeverk knyttet til utførelsen av en LCA, mens ISO standard 14044 kommer med krav og retningslinjer for analysen. Denne standarden deler LCA prosessen inn i fire faser:

- Definere mål og omfang
- Inventaranalyse (Life Cycle Inventory, LCI)
- Konsekvensanalyse (Life Cycle Impact Assessment, LCIA)
- Tolking av resultater

(ISO, 2006)

Den første fasen innebærer å definere mål og omfang av LCA analysen. Dette inkluderer bestemmelse av problemstilling, avgrensninger og detaljnivå. Den andre fasen, inventaranalysen (LCI), innebærer innsamling av data som er nødvendige for å møte

målsetningen for analysen. I konsekvensanalysen vurderes dataene fra LCI fasen, for å gi et bedre bilde av den miljømessige påvirkningen av produktet som analyseres. I den fjerde, og endelige fasen oppsummeres og diskuteres resultatene. Dette gir grunnlag for konklusjon og videre anbefalinger i henhold til analysens problemstilling (ISO, 2006). I utførelsen av vår analyse har vi tatt utgangspunkt i denne ISO-standarden, men vi vil ikke gå nærmere inn på de ulike fasene gjennom oppgaven.

I denne studien vil vi ta for oss livsløp innenfor transportsektoren. Her skiller man mellom tre ulike livsløp; drivstoffenes livsløp, transportmidlenes livsløp, og infrastrukturens livsløp. Drivstoffenes livsløp tar for seg energikilden som brukes i kjøretøyet. Dette inkluderer alle ledd fra utvinning, til sluttbruken i kjøretøyet. Transportmidlenes livsløp tar for seg produksjon, vedlikehold og sluttbehandling av kjøretøyet. Innenfor infrastrukturens livsløp ser man på alle ledd knyttet til produksjon og vedlikehold av transportmidlenes infrastruktur. Dette inkluderer veier, broer, parkeringsplasser, tunneller m.m. (Holden, 2003).

I vår analyse vil vi ta for oss drivstoffenes livsløp, og deler av transportmidlenes livsløp. Vi har valgt å se vekk ifra infrastrukturens livsløp, ettersom vi antar at dette vil være likt for alle alternativene. Innenfor transportmidlenes livsløp vil vi se på produksjon av kjøretøyene, men se vekk ifra vedlikehold og håndtering av materialer etter endt levetid.

3.2 Energikjedene

I vår analyse har vi tatt for oss åtte ulike energikjeder. Med en energikjede menes en sammenkobling av alle prosessene fra utvinning av den primære energikilden til bruken av kjøretøyet (Holden, 2003). Vi har valgt ut åtte ulike energikjeder, som vi vil sammenligne. Fem av energikjedene i vår analyse omfatter elektriske biler med ulike kilder til elektrisitet. Vi tar her for oss elektrisitet fra ren vannkraft, ren kullkraft og naturgass, samt den europeiske elektrisitetsmiksen (EU-miks) og den norske elektrisitetsmiksen (norsk miks). I tillegg ser vi på en energikjede for ladbar hybridbil, med bensin som drivstoff, og elektrisitet fra EU-miksen. De to resterende energikjedene tar for seg konvensjonelle diesel- og bensinbiler. Energikjedene er presentert under, i tabell 1.

Tabell 1 Energikjeder inkludert i analysen

Navn	Nummer	Drivsystem	Energikilde	Drivstoff
EL-KULLKRAFT	[1]	Batteri + elmotor	Kull	Elektrisitet
EL-NATURGASS	[2]	Batteri + elmotor	Naturgass	Elektrisitet
EL-VANNKRAFT	[3]	Batteri + elmotor	Vannkraft	Elektrisitet
EL-NORSK MIKS	[4]	Batteri + elmotor	Norsk miks	Elektrisitet
EL-EU-MIKS	[5]	Batteri + elmotor	EU-miks	Elektrisitet
HYBRID-EU-MIKS	[6]	ICE + batteri + elmotor	Råolje + EU-miks	Bensin + Elektrisitet
KONV-BENSIN	[7]	ICE	Råolje	Bensin
KONV-DIESEL	[8]	ICE	Råolje	Diesel

3.3 Produksjon

Vår analyse er begrenset til produksjonsdelen av transportmidlenes livsløp. For å finne data til dette har vi utført en litteraturstudie med gjennomgang av sekundærdata fra tidligere livsløpsstudier, i tillegg til primærdata fra den ene bilprodusenten (tabell 3). Til vår analyse har vi valgt ut tre ulike bilmodeller, en modell for hver av kjøretøyteknologiene. Bilene er valgt med tanke på tilnærmet lik størrelse, masse og kraft. I kategorien elektriske biler har vi valgt Europas mest solgte elbil, Nissan Leaf (Nissan, 2019a). For konvensjonelle bensin- og dieslbiler har vi valgt Mercedes A180 og A180d. I kategorien hybridbil har vi valgt Toyota Prius plug-in hybrid. Det finnes lite tilgjengelige data på utslipp knyttet til produksjon av hybridbiler. Vi har derfor valgt å ta utgangspunkt i at en hybridbil vil ha like store produksjonsutslipp som

en vanlig konvensjonell bil, i tillegg til utslipp knyttet til batteriet i bilen. For å regne ut hvor store utslipp som kommer av batteriproduksjon, har vi tatt utgangspunkt i Romare og Dahllöf (2017) sitt estimat på 150-200 kg CO₂eq/kWh. Ellingsen et al. (2017) har gjort en studie på samme område og kommet frem til at utslippene fra batteriproduksjon ligger i det lavere sjiktet av estimatet til Romare og Dahllöf (2017). Vi har derfor valgt å bruke 150 kg CO₂eq/kWh batterikapasitet i våre beregninger.

For å vise hvor stor andel av utslippene som kommer fra batteriproduksjon har vi brukt samme regnestykke for elektriske biler, og delt opp gjennomsnittsutslippet fra elektriske biler i batteri og bil. Batteristørrelsene har vi funnet i bilprodusentenes opplysninger (Tabell 2).

Tabell 2 Batterikapasitet

Bil	Batteristørrelse	Kilde
Nissan Leaf	40 kWh	(Nissan, 2019a)
Toyota Prius Plug-in hybrid	8,8 kWh	(Toyota, 2019)

Utslipp fra produksjonen av batteriet alene finner vi ved å bruke formelen

$$(1) \text{ Utslipp per kWh batteri} * \text{størrelse på batteri} = \text{utslipp produksjon batteri}$$

For å finne det totale utslippet fra produksjon av hybridbilen har vi brukt formelen

$$(2) \text{ Utslipp konvensjonell bil} + \text{utslipp per kWh batteri} * \text{størrelse på batteri i hybridbil} = \text{utslipp produksjon hybridbil}$$

For beregning av produksjonsutslipp for den konvensjonelle og den elektriske bilen har vi tatt utgangspunkt i sekundærdata fra en rekke studier. Resultatene fra studiene er oppsummert under (Tabell 3).

Tabell 3 Utslipp fra bilproduksjon fra ulike kilder

Biltype	Utslipp produksjon (kgCO ₂)	Kilde	Kommentar
Konvensjonell	5600	(LowCVP, u.å)	Tall basert på en bil fra 2015
Konvensjonell	4460	(Poovanna et al., u.å)	Nissan Versa S 2018
Konvensjonell	4973	(Del Pero et al., 2018)	Referansebil
Konvensjonell	6100	(Daimler AG, 2018, s.11)	Mercedes A180d
Hybrid	6603	Egne utregninger	Konvensjonell + batteri
Elektrisk	8800	(LowCVP, u.å)	Tall basert på en bil fra 2015 inkl. batteri
Elektrisk	9670	(Poovanna et al., u.å)	Nissan Leaf S 2018 inkl. batteri
Elektrisk	8974	(Del Pero et al., 2018)	Referansebil inkl. batteri

Vi har fordelt produksjonsutslippene på kilometer kjørt gjennom bilens levetid. I vår analyse har vi satt bilens levealder til å være 20 år for alle biltypene. Dette er gjort på bakgrunn av statistikk over alder på biler vraket i 2017, fått av Opplysningskontoret for veitrafikk (E-post, 21. mai 2019). Vi har brukt den gjennomsnittlige årlige kjørelengden til en norsk personbil på 12 140 km (SSB, 2019).

3.4 WTW

Drivstoffenes livsløp har mange forskjellige navn, betegnelsen som er mest anvendt i internasjonal litteratur i dag er "Well-to-Wheel" (WTW) (Holden, 2003, s. 7). Direkte oversatt ville den norske betegnelsen blitt "brønn-til-hjul", men vi har valgt å bruke det internasjonale begrepet "Whell-to-wheel", med forkortelsen *WTW*.

For å beregne drivstoffenes livsløp har vi utført en WTW-analyse. WTW analyser er den mest brukte metoden for beregning av miljøpåvirkning fra drivstoffenes livsløp (Moro og Lonza, 2018, s.5). I en slik analyse beregnes det hvor mye energi som kreves til prosessen, fra utvinningen av energikilden til bruk av kjøretøyet (Woo et al., 2017, s.342). Et WTW livsløp består av to deler, Well-To-Tank (WTT) og Tank-To-Wheel (TTW). Til sammen utgjør de to delene det totale WTW livsløpet. De følgende underkapitlene vil gå nærmere inn på hva som er inkludert i de to delene og hvordan vi har gått frem i utførelsen av vår analyse.

I denne oppgaven presenteres utslippene per kilometer bilen kjører. Vi har her tatt utgangspunkt i vognkilometer. For å fordele utslippene på denne måten har vi brukt bilenes drivstoff- og elektrisitetsforbruk. De forskjellige kjøretøyene må gjennom en standardisert kjøresyklus for å beregne drivstofforbruket. Tidligere har NEDC (New European Driving Cycle) blitt brukt. Denne testen viste seg å være lite realistisk, og ga lavere utslipp enn ved virkelig kjøring. 1. september 2017 kom det en forbedret kjøresyklus, Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure (WLTP). Denne testen blir brukt på alle kjøretøy under 3,5 tonn. Testen tar hensyn til spesifikasjoner for hvert enkelt kjøretøy, og er basert på reelle kjøredata. Den gir derfor et mer realistisk drivstofforbruk enn NEDC testen. Noen av endringene som er gjort fra forrige test er lenger syklustid og syklusavstand, høyere gjennomsnittshastighet, samt høyere makshastighet (ACEA,2017). Testene blir gjort i en lab, og simulerer kjøring på landevei, motorvei, i tettbygd strøk og i bytrafikk. I tillegg til å teste bilene i en lab, blir de også testet på offentlig vei. Denne delen av testen kalles «Real Drive Emission» (RDE). Bilen kjøres da i halvannen til to timer, og forholdene skal være omtrent like som i labtesten. Dersom resultatene fra RDE har for store sprik i forhold til labtesten, vil testen underkjennes (Nytt om bil, 2019). Alle beregningene i vår analyse er basert på drivstofforbruk beregnet med WLTP testen.

3.4.1 WTT

Well-To-Tank (WTT) er første del av WTW-livsløpet, og tar for seg alle ledd fra ressursutvinning til levering av drivstoffet til kjøretøyet.

Konvensjonelle biler

Utslipp forbundet med WTT-delen av livsløpet til en bil drevet av fossilt drivstoff er funnet ved å se på energiforbruket frem til drivstoffet er på tanken. For å finne ut hvor stort energiforbruket er har vi tatt utgangspunkt i virkningsgradene i de enkelte delprosessene. Dette omfatter virkningsgraden ved utvinning av energikilden, transport av energikilden, produksjon av drivstoff, distribusjon av drivstoff, samt sluttprosessering (Tabell 4). Videre har vi fordelt utslippene på hver kilometer bilen kjører, ved å se på bilens drivstofforbruk. Drivstofforbruket er presentert i neste delkapittel (Tabell 7).

Tabell 4 Virkningsgrader

Virkningsgrader	Bensin	Diesel
Utvinning av energikilde	97,0%	97,0%
Transport av energikilde	99,5%	99,5%
Produksjon av drivstoff	86,0%	91,5%
Distribusjon av drivstoff	99,0%	99,0%
Sluttprosessering	100%	100%
Total virkningsgrad WTT	82%	87%

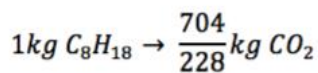
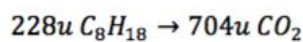
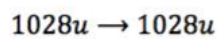
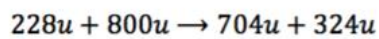
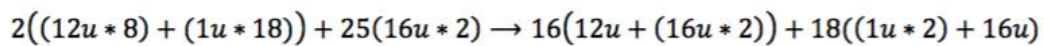
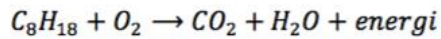
(Holden, 2003)

For å regne ut utslipp fra konvensjonelle biler fra WTT har vi brukt formelen

$$(3) WTT_{konvensjonell} = \text{Drivstofforbruk (l/km)} * \left(\frac{1}{\text{Virkningsgrad}} - 1 \right) *$$

CO_2 utslipp ved brenning av bensin/diesel (g/l)

Vi har med én bensinbil og én diesebil i analysen vår. For å finne forholdet mellom bensin og diesel som forbrennes, og utslipp av CO₂ har vi balansert reaksjonsligningen til prosessen og funnet forholdet i atommasse. Deretter har vi brukt drivstoffets tetthet til å finne utslipp av CO₂ per liter drivstoff (Figur 4 og 5). Dette gav utslipp på 2,29 kgCO₂/liter bensin, og 2,64 kgCO₂/liter diesel som forbrennes.

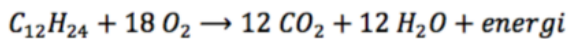
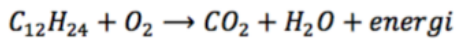


$$\rho_{bensin} = 0,74 kg/liter$$

$$0,74 kg bensin / liter bensin * \frac{704}{228} kg CO_2 / kg bensin$$

$$= 2,29 kg CO_2 / liter bensin$$

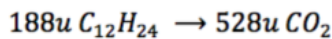
Figur 4 Egne utregninger for utslipp av CO₂/liter bensin



$$((12u * 12) + (1u * 24)) + 18(16u * 2) \rightarrow 12(12u + (16u * 2)) + 12((1u * 2) + 16u)$$

$$168u + 576u \rightarrow 528u + 216u$$

$$744u \rightarrow 744u$$



$$1kg C_{12}H_{24} \rightarrow \frac{528}{168} kg CO_2$$

$$\rho_{diesel} = 0,84 kg/liter$$

$$0,84 kg diesel / liter diesel * \frac{528}{168} kg CO_2 / kg diesel$$

$$= 2,64 kg CO_2 / liter diesel$$

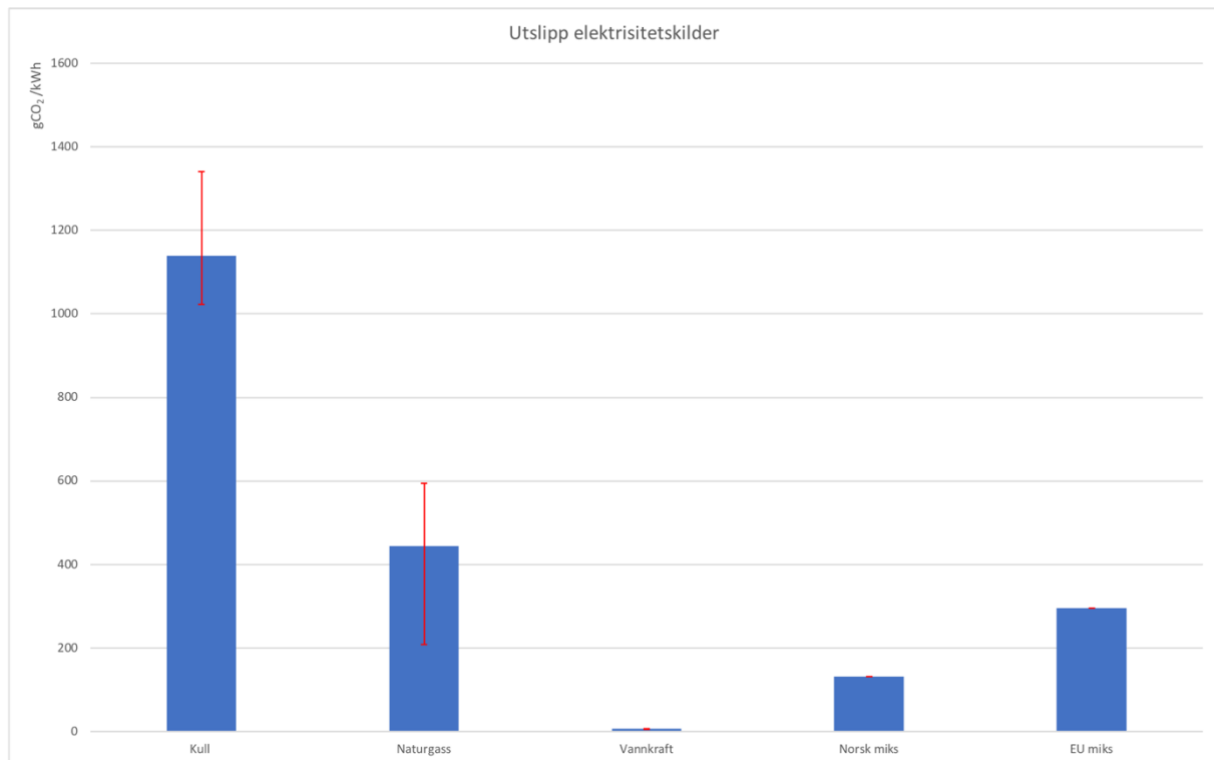
Figur 5 Egne utregninger for utslipp av CO₂/liter diesel

Elektriske biler

Ved beregning av utslipp fra WTT for elektriske biler har vi sett på produksjon av elektrisitet fra utvinning, til distribusjon av elektrisitet i stikkontakten. Vi har utført en litteraturstudie og funnet sekundærdata for utslipp per kilowattime for de ulike elektrisitetskildene (Tabell 5). I beregningene våre har vi brukt et gjennomsnitt av de ulike kildene. Den europeiske miksen endrer seg stadig til en mer og mer fornybar miks, vi har derfor valgt å bruke EEA sitt siste oppdaterte utslippstall for denne miksen, da vi anser dette som den mest pålitelige kilden. Den norske elektrisitmiksen er basert på strøm levert til nettet, samt strøm kjøpt fra nettet. Tallene er hentet fra Sintef sin rapport "Mot karbonnøytrale boligområder" fra 2014 (Fredriksen og Andresen, 2014, s 26). Hvor mye tallene varierer er ulikt for de forskjellige elektrisitetskildene. Vannkraft har liten variasjon, mens kull og naturgass har større variasjon (Figur 6). Vi har regnet med et nettap på 10% (Rosvold, 2015). Videre har vi brukt bilens elektrisitetsforbruk som er presentert i neste delkapittel (Tabell 8), og fordelt utslippet på hver kilometer bilen kjører.

Tabell 5 Utslipp fra ulike elektrisitetsskilder

Energikilde	Utslipp (gCO ₂ /kWh)	Kilde	Kommentar
Kull	1022	(Spath et al., 1999, s.29)	Gjennomsnittlig utslipp fra kullfraktverk i USA
Kull	1119	(NVE, 2017)	Beregning gjort av AIB (Association of Issuing Bodies)
Kull	1142	(IFEU, u.å.)	Tysk kraftverk, hardt kull
Kull	1183	(IFEU, u.å.)	Tysk kraftverk, brunt kull
Kull	1340	(ADAPT Consulting, 2012, s. 22)	Brukt veiledende universelle verdier for CO ₂ -faktorer
Kull	1029	(Ellingsen et al., 2016)	Gjennomsnitt fra hele verden
Naturgass	566	(Nve, 2018)	Beregninger gjort av AIB (Association of Issuing Bodies)
Naturgass	209	(Selfors et al., 2004, s. 27)	Norsk rapport om naturgass, utgitt av NVE
Naturgass	277	(ADAPT Consulting, 2012, s. 22)	Brukt veiledende universelle verdier for CO ₂ -faktorer
Naturgass	572	(IFEU, u.å.)	Tysk kraftverk
Naturgass	595	(Ellingsen et al., 2016)	Globalt gjennomsnitt
Vannkraft	6	(Nve, 2018)	Beregning gjort av AIB (Association of Issuing Bodies)
Vannkraft	7	(ADAPT Consulting, 2012, s. 22)	Brukt veiledende universelle verdier for CO ₂ -faktorer
EU-miks	296	(EEA, 2019)	Siste oppdaterte tall, fra 2016
Norsk miks	132	(Fredriksen og Andresen, 2014, s. 26)	Strøm levert til, og kjøpt fra nettet



Figur 6 Gjennomsnittlig utslipp elektrisitetskilder

Feillinjene viser høyeste og laveste tall fra kildene våre

For å regne ut utslipp fra WTT for elektriske biler har vi brukt formelen

$$(4) \text{WTT}_{elbil} = \text{Elektrisitetsforbruk}(kWh/km) * (1 + \text{nettap}(\%)) *$$

Utslipp CO₂ per kWh produsert

Ladbare hybridbiler

For beregning av utslipp fra hybridbilen har vi brukt en kombinasjon av metoden for helelektriske- og konvensjonelle biler.

Når det gjelder beregning av drivstofforbruk for hybridbiler, finnes det per dags dato ingen standard for beregning av forholdet mellom kjøring på fossilt drivstoff og elektrisitet. Vi har i våre beregninger valgt å se på bilens totale rekkevidde med fulladet batteri og full drivstofftank, og fordelt dette forholdet på hver kilometer bilen kjører (Tabell 6). Drivstofforbruket er oppgitt i produsentens opplysninger om kjøretøyet, mens strømforbruket er regnet ut ved å dele batterikapasiteten på oppgitt rekkevidde ved bruk av kun el-motoren. Bilens forbruk er presentert i neste delkapittel (Tabell 9).

Vi har deretter brukt samme fremgangsmåte som for konvensjonelle biler på bensinandelen av forbruket, og samme fremgangsmåte som for elektriske biler på strømandelen av forbruket.

Tabell 6 Rekkeviddefordeling hybridbil

	Rekkevidde (km)	Prosentfordeling
Bensin	1250	96%
Elektrisitet	50	4%
Totalt	1300	100%

(Toyota, 2019)

Toyota Prius Plug-in hybrid er en ladbar hybridbil med relativt god elektrisk rekkevidde, selv om prosentandelen kjørt på elektrisitet bare er på 4% (Tabell 6). Dersom en ladbar hybrid skal oppnå det maksimale fradraget på 23% må bilen ha en elektrisk rekkevidde på minst 50 km (Skatteetaten, u.å.). I 2017 var det 24 ladbare hybrider på markedet, hvorav bare en tredjedel hadde rekkevidde på minst 50 km (Haugneland, 2017).

3.4.2 TTW

Tank-To-Wheel (TTW) delen tar for seg drivstoffet fra det blir hentet på tanken, til det blir brukt for at bilen skal bevege seg.

Konvensjonelle biler

Konvensjonelle biler slipper ut klimagasser direkte ved kjøring ved at fossilt drivstoff forbrennes i motoren. For å regne ut hvor mye konvensjonelle biler slipper ut fra TTW delen av livsløpet har vi tatt utgangspunkt i bilens drivstofforbruk (Tabell 7), og brukt formelen

$$(5) TTW = \text{Drivstofforbruk (l/km)} * CO_2\text{utslipp ved brenning av bensin/diesel (g/l)}$$

Tabell 7 Drivstofforbruk konvensjonelle biler

Bil	Forbruk
Mercedes A180	0,063 liter bensin per km
Mercedes A180d	0,049 liter diesel per km

(Mercedes, 2019)

Mercedes oppgir at bilen bruker 6,7-5,9 l/100km når den er bensindrevet, og 5,2-4,5 l/100km når den er dieseldrevet. Variasjonen i drivstofforbruk kommer av at modellene kan fås med ulikt tilleggsutstyr som vil påvirke forbruket. I vår analyse har vi valgt å bruke medianen av tallene de oppgir slik at vi får ett tall for hvert av kjøretøyene (Tabell 3).

Elbiler

Elektriske biler forbrenner ikke drivstoff i motoren og vil derfor ikke ha utslipp knyttet til TTW-delen av livsløpet. Forbruket av elektrisitet er fortsatt nyttet til å beregne utslipp per km i form av WTT-utslipp. Bilens strømforbruk er oppgitt i Tabell 8.

Tabell 8 Strømforbruk elektrisk bil

Bil	Forbruk
Nissan Leaf	0,206 kWh per km

(Nissan, 2019b)

Ladbare hybridbiler

Ettersom ladbare hybridbiler bruker både elektrisitet og fossilt drivstoff som drivkraft, vil utslippene fra TTW-delen også være en kombinasjon av elektriske- og konvensjonelle biler. Elektrisitetsandelen av forbruket fører ikke til utslipp knyttet direkte til kjøringen mens bensin-/dieselandelen vil føre til utslipp. Andelen som er kjørt på fossilt drivstoff beregnes på samme måte som utslipp knyttet til TTW-delen for konvensjonelle kjøretøy. Bilens forbruk er oppgitt i tabell 9.

Tabell 9 Bensin- og strømforbruk hybridbil

Bil	Forbruk
Toyota Prius Plug-in hybrid	0,034 liter bensin per km
Toyota Prius Plug-in hybrid	0,176 kWh per km

(Toyota, 2019)

3.5 Oppsummering datagrunnlag

I tabell 10 har vi oppsummert parameterne brukt i vår analyse. Produksjonsfasen er delt inn i produksjon av selve bilen og produksjon av batteriet.

Tabell 10 Oppsummeringstabell

Parametere	Verdi	Kilde	Kommentar
Årlig kjørelengde	12 140 km	(SSB, 2019)	Gjennomsnittlig kjørelengde for personbil i Norge (2018)
Tap i strømnnett	10%	(Rosvold, 2015)	Tap av strøm i nettet, fra kraftstasjon til forbruker
Levealder	Bil: 20 år	Opplysningskontoret for veitrafikk (e-post 21.mai 2019)	Antagelser gjort på bakgrunn av uttalelser fra fagfolk og fra statistikk over alder på biler vraket i 2017
	Batteri: 20 år	Erik Figenbaum, forskningsleder ved transportøkonomisk institutt (e-post, 23. Mai 2019)	
Utslipp produksjon	Elektrisk: 9148kgCO ₂	Se tabell 3	Gjennomsnitt fra tabell 3
	Hybrid: 6603kgCO ₂		
	Konvensjonell: 5283kgCO ₂		

Utslipp strøm- produksjon	Kull: 1139gCO ₂ /kWh	Se tabell 5	Gjennomsnitt fra tabell 5
	Naturgass: 444gCO ₂ /kWh		
	Vannkraft: 6,5gCO ₂ /kWh		
	EU-miks: 296gCO ₂ /kWh		
	Norsk-miks: 132gCO ₂ /kWh		
Drivstoff-/ strømforbruk	Bensin: 0,063 l bensin/km	Se tabell 7,8 og 9	
	Diesel: 0,049 l diesel/km		
	Elbil: 0,206 kWh/km		
	Hybrid: 0,034 l bensin/km 0,176 kWh/km		
Utslipp batteri	150gCO ₂ /kWh	(Romare og Dahllöf, 2017) og (Ellingsen et al., 2017)	Romare og Dahllöf (2017) sine antagelser, kombinert med uttalelser fra Ellingsen et al. (2017)

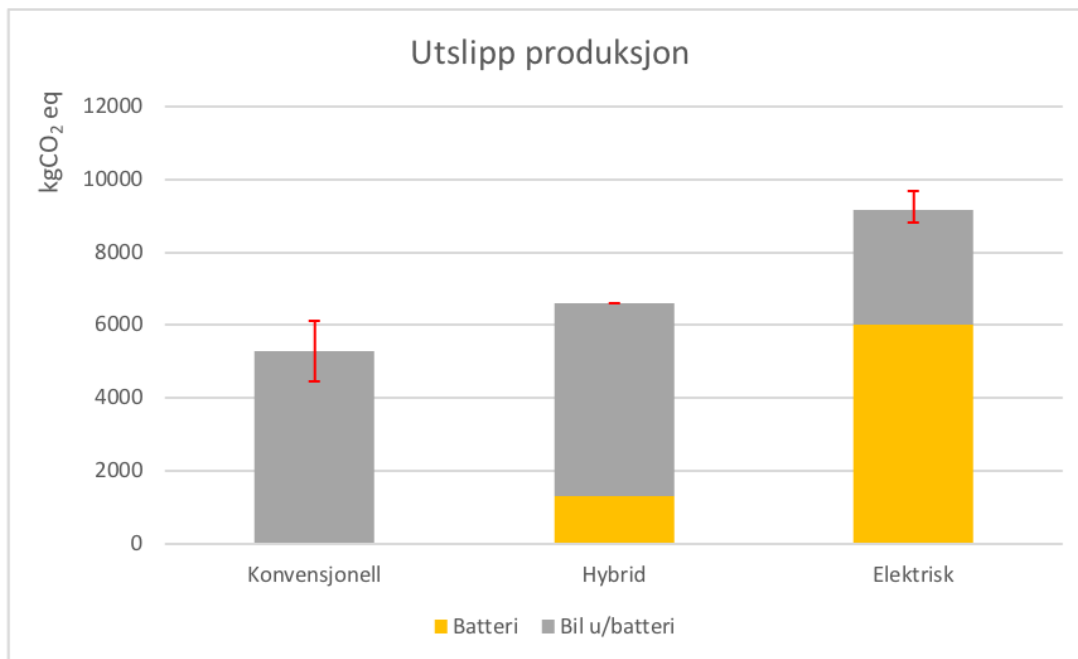
4 Resultater

Analysen vår baserer seg på sekundærdata fra ulike kilder, og fokuserer på utslipp av CO₂ ekvivalenter (CO₂, CH₄ og N₂O), fra produksjon- og bruksfasen for de ulike kjøretøyene. Resultatene vises i gram CO₂ ekvivalenter per kilometer (g/km). Dersom utslippene er oppgitt i CO₂ og ikke CO₂ ekvivalenter er dette fordi utslipp av andre gasser er ansett som ubetydelige i det aktuelle tilfellet. Det er viktig å presisere at det finnes flere andre viktige aspekter som burde tas med når man skal sammenligne biltyper, som luftforurensning, materialhåndtering etter bruk, arbeidsvilkår, økonomi og effektivitet. Resultatene våre kan derfor bare brukes til å se på klimagassutslipp knyttet direkte til produksjon og bruk av kjøretøyet. Det er flere usikre faktorer som har betydning på resultatet og det er gjort antagelser om levetid for bil og batteri. Det kan derfor være at biler som kommer dårlig ut i denne analysen, kommer bedre ut i andre analyser der andre forutsetninger er gjort, og vice versa.

I dette kapitlet vil vi presentere resultatene våre for hvor store klimagassutslipp de ulike energikjedene har, samt hvor store utslippene knyttet til produksjonsfasen for kjøretøyene er. Kapitlet er delt inn i produksjon, WTT, TTW og WTW. Til slutt går vi gjennom de totale utslippene.

4.1 Produksjon

Når det gjelder produksjon av kjøretøy, har den elektriske bilen klart størst utslipp etter våre funn, med et utslipp på 9 148 kgCO₂eq. Hybridbiler har noe lavere utslipp grunnet mindre batteri, og ligger på 6 603 kgCO₂eq. Den konvensjonelle bilen har det laveste produksjonsutslippet på 5 283 kgCO₂eq. Resultatene er et gjennomsnittstall av kildene våre, og vises nedenfor i Figur 7. Feillinjen tar for seg spekteret av kildene våre, og viser den laveste og høyeste verdien.

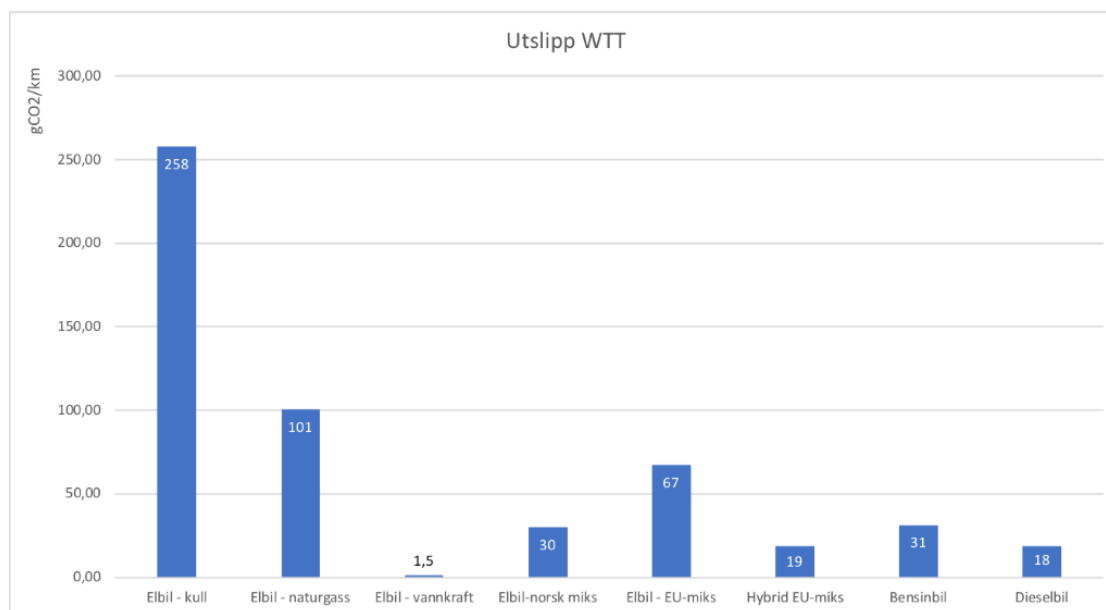


Figur 7 Utslipp knyttet til produksjon av kjøretøy, inkludert batteri

Feillinjene viser høyeste og laveste tall fra kildene våre

4.2 WTT

Når det gjelder utslipp fra WTT-fasen av livsløpet er det stor variasjon mellom de ulike energikjedene. Utslippene er vist i gCO₂/km basert på en levetid på 20 år og en årlig kjørelengde på 12 140 km. Figur 8 tar for seg hver av energikjedene, og viser hvor stort spekteret for WTT-utslipp er.

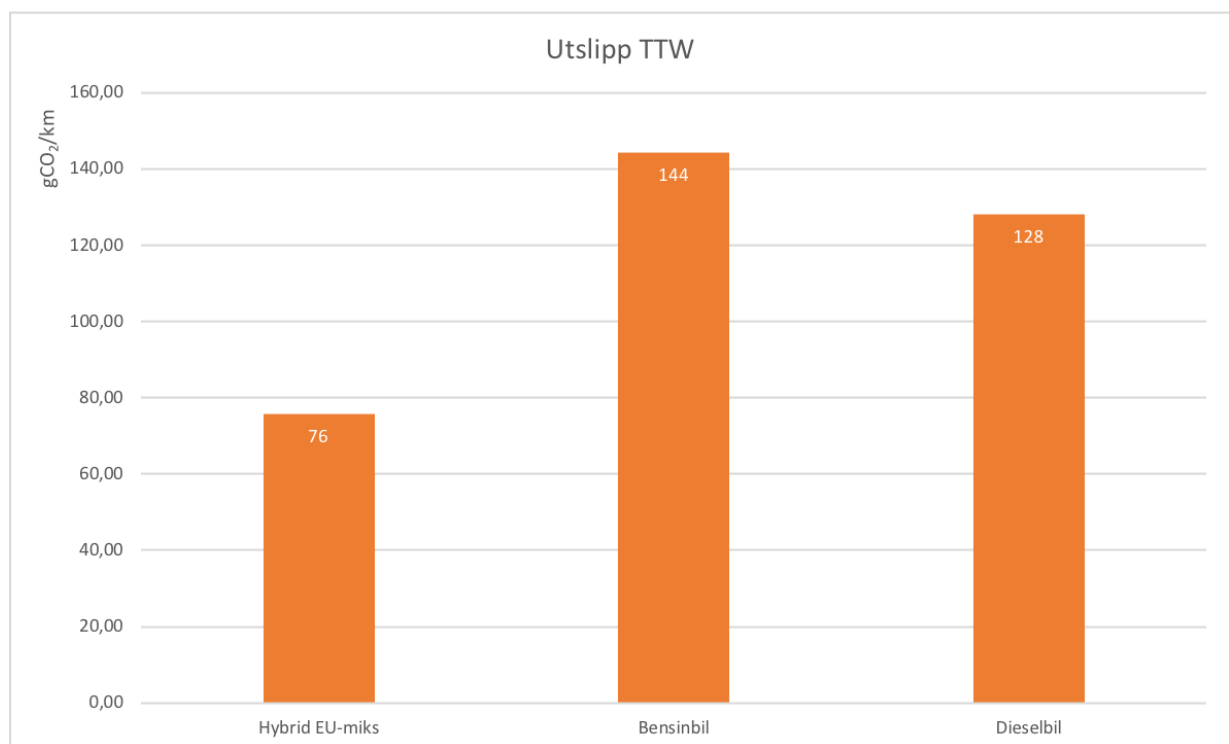


Figur 8 Utslipp knyttet til WTT delen for de ulike energikjedene

Elektrisitet fra vannkraft har det klart laveste utslippet, med 1,5 gCO₂/km, mens elektrisitetsproduksjon fra kullkraft har et utslipp på 258 gCO₂/km. De konvensjonelle kjøretøyene har relativt lave WTT-utslipp. Dette kommer av at dette er effektive energikjeder, med en høy virkningsgrad.

4.3 TTW

TTW delen av livsløpet tar for seg direkte utslipp ved kjøring. De elektriske bilene har ikke utslipp i denne fasen, og er derfor ikke vist her. Figur 9 viser utslippene fra hybrid-, bensin- og diesebil.



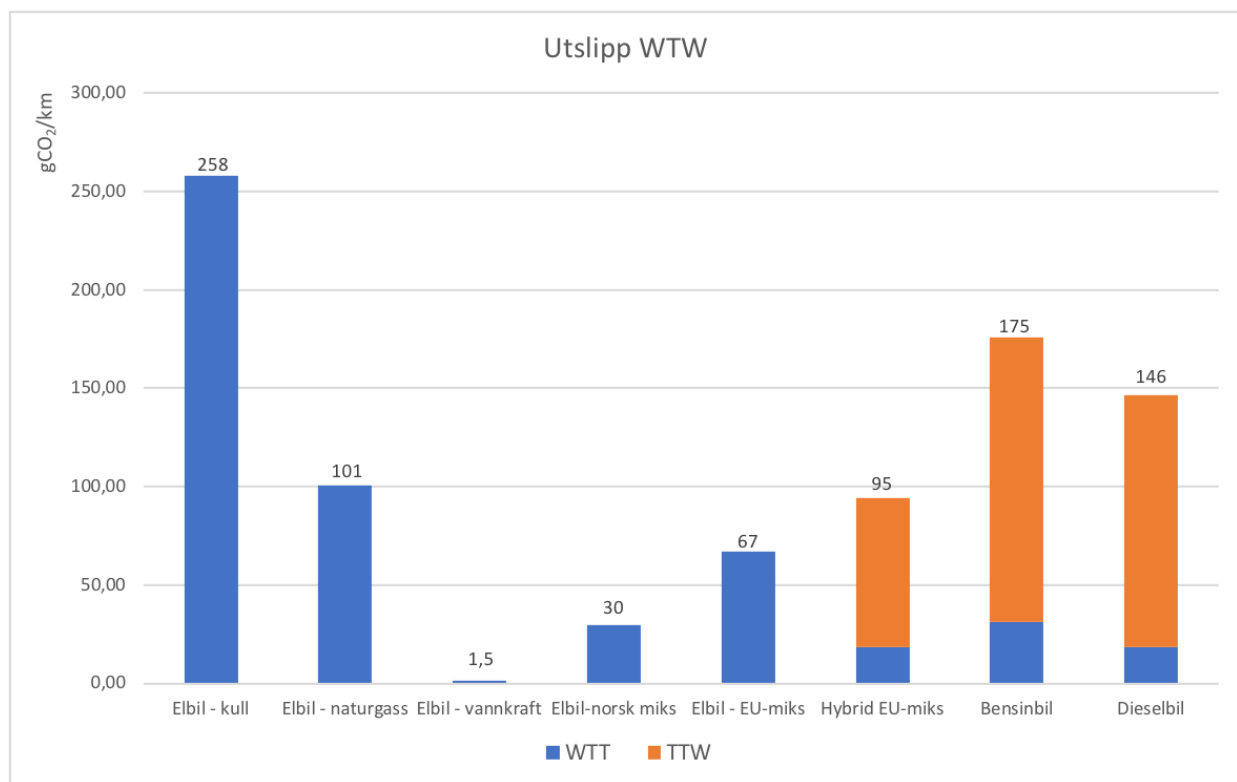
Figur 9 Utslipp knyttet til TTW-delen for hybrid-, bensin- og diesebil

Som man ser på tabellen over er det bensinbilen som kommer dårligst ut, med et utslipp på 144 gCO₂/km. Diesebilen har noe lavere utslipp, med 128 gCO₂/km, mens hybridbilen har nesten halvparten så store utslipp som bensinbilen. Dette kommer av at en liten prosentandel av drivkraften til hybridbilen kommer fra elektrisitet som ikke gir direkte utslipp ved kjøring. Videre er det en variasjon i drivstofforbruket til de to modellene vi har tatt for oss som er årsaken til resten av differansen. Hybridbilen har et

drivstofforbruk på 0,034 l/km, mens bensinbilen har et forbruk på 0,063 l/km. Dette er med på å gi et lavt utslipp for denne fasen av hybridbilens livsløp.

4.4 WTW

Vi har satt sammen utslippene fra WTT og TTW til en samlet WTW-analyse (Figur 10). De elektriske bilene som går på strøm fra fornybare, eller til dels fornybare energikilder kommer best ut. Hybridbilen og den elektriske bilen med strøm fra naturgass kommer omtrent likt ut. De konvensjonelle bilene har en del høyere utslipp, mens den elektriske bilen med strøm fra kullkraft har klart høyere utslipp enn de andre energikjedene.



Figur 10 WTW utslipp

4.5 Totale utslipp

Tabell 11 gir en oversikt over de totale utslippene for de ulike energikjedene i analysen, hvor utslippene fra WTT, TTW og produksjon utgjør det totale utslippet.

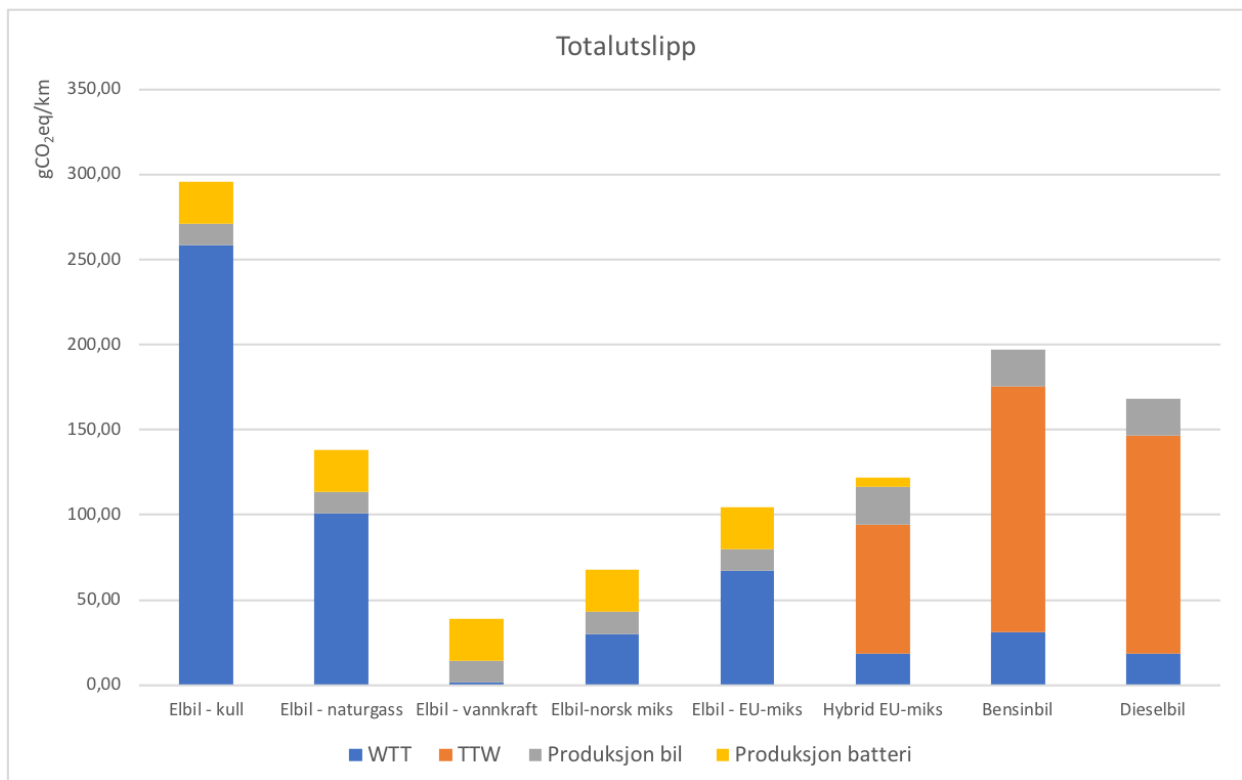
Tabell 11 Totalutslipp for de ulike energikjedene

Energikjede	WTT (gCO ₂ /km)	TTW (gCO ₂ /km)	WTW (gCO ₂ /km)	Produksjon m/batteri (gCO ₂ eq/km)	Total (gCO ₂ eq/km)
[1] EL-KULLKRAFT	258	0	258	38	<u>296</u>
[2] EL-NATURGASS	101	0	101	38	<u>139</u>
[3] EL-VANNKRAFT	1,5	0	1,5	38	<u>40</u>
[4] EL-NORSK MIKS	30	0	30	38	<u>68</u>
[5] EL-EU-MIKS	67	0	67	38	<u>105</u>
[6] HYBRID-EU- MIKS	19	76	95	28	<u>123</u>
[7] KONV-BENSIN	31	144	175	22	<u>197</u>
[8] KONV-DIESEL	18	128	146	22	<u>168</u>

Tallene er avrundet

Figur 11 tar for seg det totale livsløpsutslippet til kjøretøyene gitt i gCO₂eq/km. Det er store variasjoner i utslippene for de ulike kjøretøyene. Når det gjelder de elektriske

bilene kommer utslippet an på elektrisitetskilden. Jo større andelen fornybar energi er, jo lavere utslipp vil bilen ha. Med unntak av elbilen drevet av kullkraft vil alle energikjedene vi har tatt for oss for elbil ha et lavere utslipp enn de konvensjonelle bilene. Ser man på vannkraftscenarioet har den elektriske bilen et potensial for totalutslipp på 40 gCO₂eq/km, sammenlignet med de konvensjonelle bilenes utslipp på 168-197 gCO₂eq/km. Også hybridbilen med elektrisitet fra EU-miksen viser seg å være konkurransedyktig i forhold til diesel- og bensinbilene. Sammenlignet med elbilen med samme strømforsyning, vil den ha noe høyere utslipp.



Figur 11 Totalutslipp

Vår analyse har gitt grunnlag for følgende konklusjoner:

- For elektriske biler vil en økt andel fornybar energi til elektrisitetsproduksjonen føre til lavere totalutslipp.
- For det totale livsløpet har elbilen drevet av 100% fornybar energi lavest utslipp.
- Hybridbilen har høyere totalutslipp enn elbil med samme elektrisitetskilde.
- De konvensjonelle bilene har høyere totalutslipp enn el- og hybridbilene, med unntak av elbilen drevet av kullkraft.

Vendepunkt

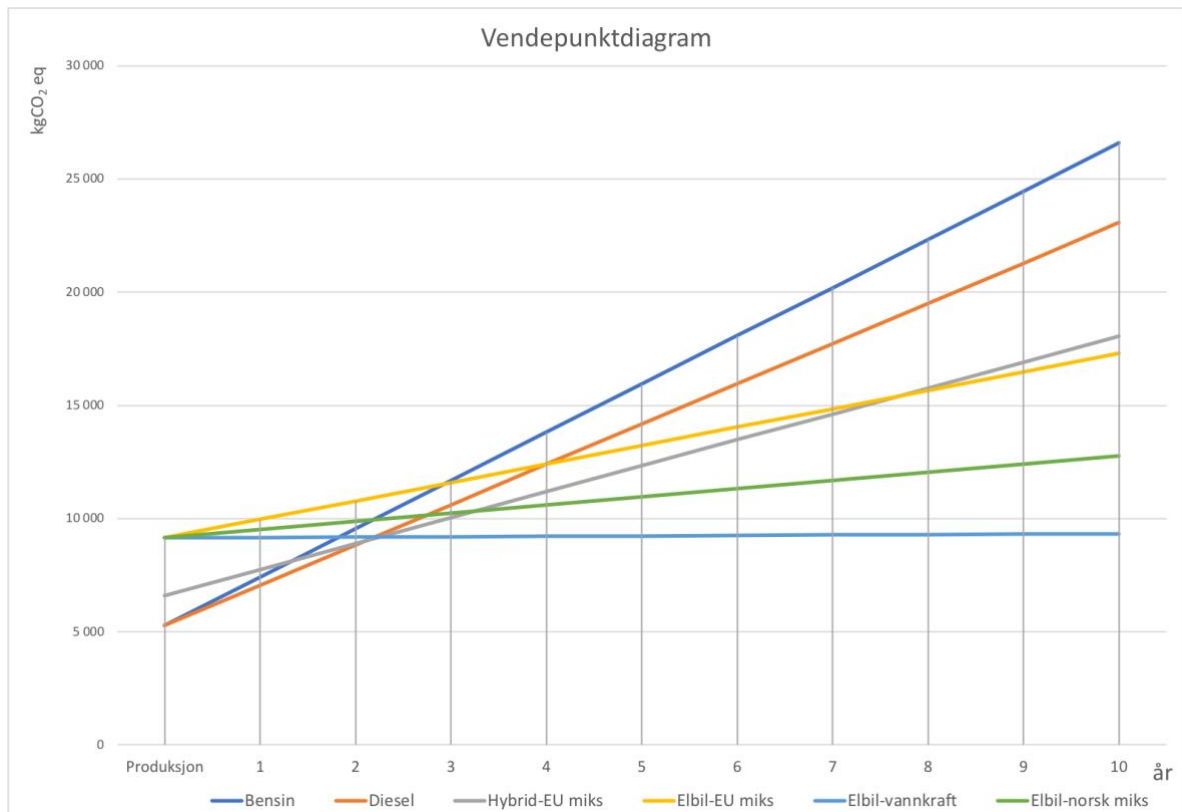
Vi har valgt ut fem av energikjedene, og laget et vendepunkt diagram, vist i Figur 12. Et vendepunkt diagram er en alternativ måte å vise frem de totale utslippene (Figur 11).

Diagrammet viser totalutslipp for den aktuelle bilen etter antall år i bruk, med en årlig kjørelengde på 12 140 km. Grafen til hver bil starter på produksjonsutslippene, ettersom dette er utslipp som vil være der fra starten av bilens levetid.

Vendepunkt diagrammet viser så hvordan det totale utslippet vil øke ved bruk.

Diagrammet viser hvor lang tid det vil ta før de totale utslippene fra de ulike kjøretøyene krysses, og hvilke energikjeder som vil lønne seg på lang sikt, når det gjelder klimagassutslipp.

Diagrammet tar for seg de konvensjonelle bilene, hybridbilen, og elbilen med europeisk- og norsk elektrisitetsmiks og vannkraft. Vi anser disse som de mest aktuelle energikjedene for det norske markedet. Grunnen til at vi har inkludert elbilen drevet av ren vannkraft er for å vise potensialet elbilen har ved en 100% fornybar elektrisitetsproduksjon. Ettersom produksjonsutslippet er høyere for bilene med batteri, vil ikke de lønne seg de første årene. De vil likevel få lavere totalutslipp enn de konvensjonelle bilene etter få år, på grunn av lave utslipp ved bruk.



Figur 12 Vendepunkttdiagram

Vendepunktanalysen har gitt grunnlag for følgende konklusjoner:

- Selv om den elektriske bilen har større utslipp ved starten av sin levetid, som følge av produksjonen, vil den på lang sikt ha betydelig lavere totalutslipp enn konvensjonelle- og hybridbiler, gitt at elektrisitetsmiksen er delvis fornybar.
- Med dagens norske elektrisitetsmiks vil elbilen ha lavere totalutslipp enn konvensjonelle biler etter to-tre år.
- Med dagens europeiske elektrisitetsmiks vil elbilen ha lavere totalutslipp enn konvensjonelle biler etter tre-fire år.
- Hybridbilen vil være konkurransedyktig i forhold til elektriske biler de første årene, men etter åtte år i bruk vil den elektriske bilen få lavere totalutslipp.
- Ved bruk av en 100% fornybar elektrisitetskilde, i vår analyse vannkraft, vil elbilen ha det laveste totalutslippet etter to år. Innen syv år vil totalutslippet være halvparten av den konvensjonelle bensinbilen.

5 Diskusjon

I dette kapitlet vil resultatene fra vår analyse oppsummeres og diskuteres. Videre vil vi sammenligne resultatene med andre lignende studier, og diskutere hvordan en fremtidig kraftmiks med bare fornybar energi vil kunne påvirke utslippene. Til slutt vil vi gå gjennom mulige feilkilder i oppgaven, samt andre faktorer som vi ikke har tatt med, som vil kunne påvirke resultatene.

5.1 Diskusjon av resultater

Vi har i denne analysen studert hvor store klimagassutslippene fra produksjon og bruk av elbil er, sammenlignet med hybrid-, diesel- og bensinbil. Vi har tatt utgangspunkt i en rekke elektrisitetskilder for å vise spekteret for elektriske biler, og potensialet de har når det kommer til utslippsreduksjon, i forhold til konvensjonelle biler.

Ser man på det totale livsløpsutslippet, er det store variasjoner mellom elbiler med ulik kilde til elektrisitet. Med dagens norske, og europeiske elektrisitetsmiks vil elbilen ha lavere utslipp enn konvensjonelle diesel- og bensinbiler. De vil også ha et lavere totalutslipp enn en hybridbil med samme kilde til elektrisitet.

Når det gjelder produksjonsfasen har elbilen, med dagens teknologi og produksjonspraksis, klart større klimagassutslipp enn de andre kjøretøyene. Dette kommer av de store utslippene knyttet til batteriproduksjonen. Produksjon av litium-ion batterier krever utvinning og raffinering av sjeldne metaller. Dette er en energikrevende prosess på grunn av de høye varme- og sterilforholdene som er involvert (Hall og Lutsey, 2018).

Elbilens bruksutslipp er i stor grad avhengig av den lokale energimiksen, hvor en økt andel fornybar energi reduserer utslippene. Resultatene våre varierer fra 1,5 gCO₂/km ved bruk av ren vannkraft, til 258 gCO₂/km ved elektrisitet fra kullkraft. Elektriske biler har altså et stort potensial til å redusere livsløpsutslipp, sammenlignet med konvensjonelle biler og hybridbiler, men dette er helt avhengig av elektrisitetsmiksen som brukes.

5.2 Sammenligning med andre studier

Ifølge Hawkins et al. (2013) vil den elektriske bilen drevet av elektrisitet fra EU-miks ha et livsløpsutslipp på 197 gCO₂eq/km for bilen med NCM batteri, og 206 gCO₂eq/km for bilen med LFP batteri. Dette er et høyere utslipp enn vi kom fram til i vår analyse, på 106 gCO₂eq/km. Når dette er sagt har Hawkins et al. (2013) tatt utgangspunkt i en levetid på 150 000 km. Vår analyse baserer seg på en levetid på 20 år, med en årlig kjørelengde på 12 140 km, altså en total kjørelengde på 242 800 km. Ser man på det fulle livsløpet, vil resultatene samsvare mer. Resultatene vil da bli 29 550 kgCO₂eq (NCM), og 30 900 kgCO₂eq (LFP), fra Hawkins et.al (2013), sammenlignet med 25 737 kgCO₂eq i vår analyse. Videre bør det nevnes at deres analyse inkluderer håndtering etter endt levetid, i tillegg til produksjon og bruk, og at EU-miksen i deres analyse er noe eldre og dermed vil ha en større andel ikke-fornybar energi, enn i vår analyse.

Videre har vi kommet frem til at livsløpsutslipp for elbil drevet av norsk elektrisitmiks ligger på 30 gCO₂/km i et WTW-perspektiv og på 68 gCO₂eq/km når produksjonen av kjøretøyet er inkludert. Ifølge Woo et al. (2017) vil en elbil i Norge, sett i et WTW-perspektiv, ha et gjennomsnittlig utslipp på 2,3 gCO₂eq/km. De har ikke tatt med produksjon i sin analyse. Resultatene er betydelig lavere enn det vi har kommet frem til. Dette kommer trolig av at Woo et al. har tatt utgangspunkt i den norske kraftproduksjonen, som er 98% fornybar. Energimiksen i vår analyse er basert på strøm levert til nettet, samt strøm kjøpt fra nettet, etter tall fra Sintef sin rapport (Fredriksen og Andresen, 2014, s 26).

Våre resultater stemmer noe overens med Yazdanie et al. (2014) sin analyse av hybrid- og elektriske kjøretøy. Yazdanie et al. (2014) hevder at elektriske biler har lavere utslipp enn hybridbiler når elektrisiteten kommer fra fornybare energikilder. Dette er noe vi også har kommet frem til. Når dette er sagt viser våre tall at en elbil med elektrisitet fra en ikke-fornybar energikilde som kull, vil ha større utslipp enn hybridbilen. (Onn et al. 2017), en studie utført i Malaysia, kom frem til at elektriske kjøretøy slipper ut 6,4-7,9% mer klimagasser enn hybridkjøretøy, men 16,0-22,5% mindre enn konvensjonelle biler. I følge Itten et al. (2014, s. 49) bygger det meste av kraftproduksjonen i Malaysia seg på fossilt brensel, hvor naturgass står for 64% og hardt kull for 27% av den totale

kraftproduksjonen. Bare 8% av elektrisiteten kommer fra vannkraft, og ingen elektrisitet blir importert til landet. Ettersom elektrisitetsmiksen i Malaysia hovedsakelig kommer fra ikke-fornybare energikilder, kan dette kan være med på å forklare hvorfor en hybridbil kom bedre ut enn elbilene med tanke på klimagassutslipp i denne analysen.

Ettersom produksjon av elbil og hybridbil har større utslipp enn konvensjonelle biler, vil de i de første leveårene ha et høyere totalutslipp. Vår vendepunktanalyse viser at en elektrisk bil drevet av EU-miksen vil lønne seg i forhold til bensinbilen etter tre år, og i forhold til dieselbilen etter fire år. Det tilsvarer henholdsvis 36 420 km og 48 560 km, basert på vår årlige kjørelengde på 12 140 km. Dette stemmer overens med Del Pero et al. (2018) sin analyse, hvor en elektrisk bil drevet av den europeiske elektrisitetsmiksen vil lønne seg etter 45 000 km kjørt, sammenlignet med konvensjonelle biler. Analysen skiller ikke mellom diesel- og bensinbil. Med den norske elektrisitetsmiksen får elbilen lavere totalutslipp enn den konvensjonelle, etter 30 000 km kjørt. Dette samsvarer også med våre resultater, hvor den elektriske bilen med den norske miksen lønner seg etter to til tre år, som tilsvarer mellom 24 280 og 36 420 km.

Alle studiene, inkludert vår, har kommet frem til at en elbil har lavere utslipp enn konvensjonelle kjøretøy sett i ett livsløpsperspektiv, gitt at elbilen er drevet av en helt eller delvis fornybar elektrisitetsmikse, som for eksempel vannkraft og EU-miks. Selve resultatene fra analysen vår varierer noe i forhold til andre analyser, grunnet forskjellige metoder og ulike parametere, som årlig kjørelengde og energikilde. Dette gjør at grad av lønnsomhet for de ulike energikjedene varierer. Videre er det stor enighet om at produksjon av elbil og hybridbil vil føre til større utslipp enn konvensjonelle biler, grunnet utslippene som kommer fra produksjon av batteriet. Når dette er sagt, er det store usikkerheter og uenigheter knyttet til hvor store disse utslippene er. Dette kommer hovedsakelig av mangel på primærtall, samt ulike rammeverk, avgrensinger og metode.

5.3 Andre faktorer

Oppgaven vår baserer seg kun på direkte utslipp ved produksjon av bilen, samt direkte utslipp fra produksjon av drivstoff og elektrisitet som bilen drives av. Det finnes en rekke andre prosesser som er nødvendige for at en bil skal kunne brukes, som også vil føre til klimagassutslipp, eller ha andre negative konsekvenser. Vi vil i dette delkapittelet gjøre rede for noen av de andre miljømessige- og samfunnsmessige konsekvensene som kommer med produksjon og bruk av ulike kjøretøy. Vi fremhever at dette bare er et lite utvalg av faktorene som er av betydning her.

Oppgaven vår tar ikke for seg infrastruktur, da dette anses å være likt for alle bilene. Dette er likevel en forenkling av virkeligheten. Antall bensin- og dieselpumper mot antall ladestasjoner vil blant annet ikke være likt. Klimagassutslipp knyttet til dette vil derfor heller ikke være like store. Etersom det tar lenger tid for en elbil å lade opp batteriet enn det tar for en konvensjonell bil å fylle drivstoff vil det være behov for et større antall ladestasjoner i forhold til antall biler, enn det er behov for bensin-/dieselpumper. Per 21. mai 2019 er det 2 483 ladestasjoner i Norge (NOBIL, 2019). En stor del av ladingen blir gjort hjemme hos bileierne, men behovet for flere ladestasjoner vil fortsatt øke så lenge elbilbestanden er på vei oppover. Alle nye ladestasjoner som settes opp vil føre til en viss grad av klimagassutslipp. Når dette er sagt vil dette behovet også være avhengig av utviklingen innen elbilrekkevidde.

Vi har slått fast at batteriproduksjon fører til store klimagassutslipp, men det har også andre negative konsekvenser. Et av metallene som blir brukt i litium-ion batterier er kobolt (UiO, 2011). Den demokratiske republikk av Kongo (DRC) står for over halvparten av verdens koboltforsyning, og ifølge regjeringen sine egne estimater er 20% av denne kobolten hentet ut av mennesker som jobber på ulovlige løsarbeiderkontrakter. Det er mellom 110 000 og 150 000 slike arbeidere i den sørlige delen av landet, hvorav minst 40 000 er barn. Disse arbeiderne graver for hånd, kun ved hjelp av helt enkle verktøy, for å få løs steiner i dype gruveganger. Mangelen på sikkerhetsutstyr, som åndedrettsvern, ansiktsbeskyttelse og hansker fører til at disse arbeiderne får kroniske sykdommer og alvorlige, potensielt dødelige luftveissykdommer som følge av langvarig eksponering til støv med innhold av kobolt og andre metaller (Amnesty International, 2017).

EU jobber i dag med å kartlegge muligheter for utvinning av kobolt i Europa. Dette arbeidet er blant annet Norges geologiske undersøkelse (NGU) med på å gjøre. Det overordnede prosjektet som går ut på å kartlegge ressursene i Europa heter FRAME (Forecasting and Assessing Europe's Strategic Raw Materials needs). NGU leder et underprosjekt som vil vare fra 2018 til 2021, med mål om å lage en oversikt over forekomster av kobolt, litium og grafitt. Kobolt er et biprodukt av nikkel- og kobberproduksjon, noe som betyr at det kan utvinnes kobolt av gamle kobber- og nikkelforekomster. Det finnes allerede koboltproduksjon i Norge, på Nikkelverket i Kristiansand. Her får de nikkelråstoff fra Canada, som de renser slik at de får flere rene metaller, blant annet kobolt. Også i Finland finnes det tre kobolt-gruver i drift, og det finnes flere andre steder som har ressurser og kan være aktuelle for koboltutvinning. Alle nye gruver i Europa vil være underlagt en streng lovgiving for miljø- og arbeidsforhold (Eian, 2019).

Slik utviklingen er nå vil bilparken bare bli mer og mer elektrisk, og etterspørselen etter kobolt vil øke, med mindre alternative materialer blir tatt i bruk. Med dagens kobolt-situasjon, og dens negative konsekvenser for arbeiderne og samfunnene involvert, er en slik utvikling urovekkende. EU er allerede i gang med å undersøke muligheter i Europa, men skal batteriproduksjon kunne forsvares, må også lovgivingen for arbeidsforhold andre steder i verden bli strengere.

Elektriske biler slipper ikke ut klimagasser i TTW-fasen, det fører til et lavere totalutslipp, men også til bedre luftkvalitet i mye trafikkerte områder. I større byer, som Oslo, er forurensing fra trafikk noen dager så høy at personer i risikogrupper blir rådet til å holde seg inne. For å begrense konsentrasjonen av partikkelforurensning har det vært innført forbud mot bruk av diesebil i enkelte perioder. Grunnen til at forbudet rettes mot dieserbiler er at de har det høyeste utslippet av nitrogenoksider (Bymiljøetaten, Oslo kommune, u.å.). Ved lave temperaturer, vil det også kunne oppstå et fenomen kalt inversjonseffekt, som er med på å forverre påvirkningen fra luftforurensing. Ettersom den kalde luften er tyngre enn den varme vil den synke i terrenget. Den varme luften vil da legge seg som et lokk over den kalde luften, som ikke vil kunne stige opp. Dette fører til en mer konsentrert luftforurensing ved bakken.

Inhalering av små forbrenningspartikler fra eksos har flere negative helseeffekter. Det kan påvirke blodtrykk, hjerterytme, blodets leveringsevne og ikke minst føre til luftveisplager. Forekomsten av kroniske og akutte luftveissykdommer, som kols og astma, er sterkt knyttet til luftforurensing fra trafikkerte veier. De vanligste komponentene i eksosen fra konvensjonelle biler er nitrogenoksider (NO_x) og svoveldioksid (SO₂), eksponering av disse kan gi inflammatoriske reaksjoner i luftveiene som kan gi økt forekomst av bronkitt og forverring av astma (Ledermann og Hole, 2015). Med elektriske biler vil det ikke oppstå eksos ved kjøring, og man fjerner dermed en viktig faktor for luftforurensing. Bilene vil fortsatt føre til svevestøv fra blant annet veislitasje, men totalt vil forurensingen være mye lavere enn fra konvensjonelle biler. En hybridbil kan også velge å kjøre på elektrisitet i byer og tettbygde strøk, for å minske luftforurensingen her.

Det har lenge vært skepsis rundt elbiler på grunn av det man kaller “rekkeviddeangst”. Forbrukerne har vært redde for at bilen ikke kan kjøre langt nok til å nå det neste ladepunktet på den planlagte strekningen. Elbilene kommer nå med større og større batteri, og rekkevidden har blitt kraftig forbedret de siste årene. Elbilen med størst rekkevidde i dag er Tesla Model S Long Range, som har en rekkevidde på 610 km regnet etter WLTP-standarden (NAF, u.å.). Konvensjonelle biler i samme størrelse kan fortsatt ha en bedre rekkevidde enn dette. Samtidig som rekkevidden på elbilene blir bedre, blir det også satt opp flere ladestasjoner rundt om i landet som kan bidra til mindre “rekkeviddeangst”. En annen faktor som spiller inn, er tiden det tar å lade disse batteriene. Flere ladestasjoner får nå hurtigladere som gjør at lading tar kortere tid, men det vil likevel ta mye lengre tid enn det tar å fylle opp en drivstofftank. Større rekkevidde vil også føre til at det tar lenger tid å lade opp bilen. Man kan derfor foreløpig ikke sammenligne elektriske biler og konvensjonelle biler som like effektive fremkomstmidler.

I Norge finnes en rekke tiltak for å oppfordre til kjøp og bruk av elektriske kjøretøy. Både hybridbiler og elbiler har lavere avgifter og får også andre subsidier, som blant annet gratis bompasseringer, billigere ferje og økt vrakpant. Vi ser i dag flere og flere elbiler på de norske veiene. Sammenlignet med en lik økning i konvensjonelle biler, er

dette positivt for klimaproblematikken, men elbiler er fortsatt en stor utslippskilde. Andre alternativer, som økt kollektivtransport, samt forflytning til fots eller med sykkel ville vært mer fordelaktig for klimaet. Det fryktes at fordelene man får med å kjøre elbil i Norge, kan gjøre at folk som egentlig kunne gått over til kollektivtransport eller sykkel, velger å heller kjøpe en elbil. Kollektivtransport er en svært miljøvennlig transportmåte ettersom veldig mange mennesker blir transportert på en gang. Dette krever også mindre plass og man reduserer klimagassutslipp ved at man i mindre grad trenger å utvide infrastrukturen.

5.4 Fremtidig scenario

Det er tydelig at strømforsyning spiller en stor rolle for klimagassutslipp, både fra produksjon og bruk av de ulike kjøretøyene. Vannkraft-scenariet viser potensialet elbil har for reduksjon av livsløpsutslipp, med et utslipp på 40 gCO₂eq/km. Vår analyse tar ikke for seg bruk av fornybar energi ved produksjon av kjøretøyet. Her har vi jobbet med tall fra dagens praksis. Omtrent halvparten av utslippene fra batteriproduksjonen kommer fra elektrisiteten brukt til å produsere og montere batteriene (Hausfather, 2019). Skulle fremtidig bilproduksjon og materialutvinning være drevet av fornybar energi vil dette redusere livsløpsutslippene ytterligere. Et godt eksempel på dette er Nissan som allerede har tatt et steg i riktig retning, for å redusere miljøpåvirkningen fra produksjonsfasen. Fabrikken i Sunderland i England, som produserer Nissan Leaf, har tatt i bruk vindmøller (2005) og solceller (2016) som elektrisitetskilde til fabrikken. Dette vil til sammen utgjøre 7% av anleggets årlige strømbehov, som er nok strøm til å produsere rundt 31 374 elektriske kjøretøy i året (Nissan Insider, u.å).

Ifølge Hall og Lutsey (2018) peker en rekke trender mot reduserte livsløpsutslipp for elektriske biler, selv med en fremtidig utvidet batterikapasitet. En renere elektrisitmiks, for produksjon og lading vil være den største pådriveren for dette. Videre har litium-ion batterier potensialet til å gjenbrukes etter bilens endte levetid. Dette vil gjøre det mulig å spre det opprinnelige utslippet over flere bruksområder. Ifølge Hall og Lutsey (2018) vil batteriet trolig beholde 75-80% av den opprinnelige kapasiteten ved slutten av bilens levetid.

Gjenvinning av batteriene er en annen mulighet. I dag er materialproduksjon ansvarlig for rundt halvparten av klimagassutslippene fra batteriproduksjon. Resirkulerte materialer har som oftest lavere CO₂-utslipp enn utvinning av de samme materialene fra primærkilden. Produksjon av resirkulert aluminium skaper for eksempel 95% mindre klimagassutslipp enn produksjon av aluminium fra naturlige kilder. Gjenvinning av litium-ion batterier er fremdeles en lite utbredt praksis, men det forventes at dette vil bli mer vanlig etterhvert som elbilindustrien vokser (Hall og Lutsey, 2018).

5.5 Kritisk gjennomgang

I dette delkapittelet vil vi gå gjennom flere usikkerhetsmomenter i oppgaven vår.

En stor svakhet ved vår studie er usikkerheten knyttet til datagrunnlaget vi har basert våre beregninger på. Til utførelsen av vår analyse har vi samlet inn sekundærdata fra diverse artikler. Det å finne utslippstall fra produksjonen viste seg å være en stor utfordring, grunnet mangel på tilgjengelig og god primærdata. Vi har ikke funnet produksjonstall direkte fra Nissan eller Toyota, det eneste primærtallet vi har funnet er fra Mercedes-Benz. Mangel på god data, da særlig primærdata anses som en svakhet ved vår studie. I tillegg ville resultatet muligens blitt mer realistisk dersom vi hadde fått med flere kilder for produksjonsdelen, særlig for ladbare hybridbiler. Hvor stort utslippet fra produksjonsfasen er, varierer svært mye mellom kildene våre. Utslippene er avhengig av hvilken bilmodell som er valgt, hvor i verden bilene er produsert, hvor materialene kommer fra og hva elektrisitetsmiksen er. Vi har valgt å bruke kilder som oppgir utslippstall i omtrent samme størrelse. Vi har ikke tatt med kilder med svært avvikende verdier, som for eksempel Qiao et al. (2016) som oppgir produksjonstall fra Kina på elektriske- og konvensjonelle biler på henholdsvis 14 746 kgCO₂eq og 9 173 kgCO₂eq per bil.

Vi har valgt tre forskjellige bilmodeller til å representere de forskjellige biltyperne. Bilene vi har valgt er omtrent like store, og er sammenlignbare når det gjelder en rekke egenskaper, som kraft og masse. Likevel er det ulike modeller, fra ulike bilprodusenter, og det vil derfor være noen forskjeller. Den største forskjellen som hadde innvirkning på våre resultater var drivstofforbruket. Drivstofforbruket påvirker særlig TTW utslippene, men ettersom våre WTT utslipp er basert på drivstofforbruket til de samme bilene vil

også utslippene i denne delen påvirkes. Toyota Prius Plug-in hybriden har et mye lavere bensinforbruk per km enn Mercedes A180 har, henholdsvis 0,034 liter per km mot 0,063 liter per km. Dette fører til at hybridbilen kommer bedre ut i analysen enn den ville gjort om de hadde hatt samme forbruk.

I vår analyse har vi tatt utgangspunkt i at utslipp fra batteriproduksjon ligger på 150 gCO₂eq/kWh batterikapasitet, og at utslippene øker lineært med kapasiteten. Dette er en antagelse vi har tatt, men det er store usikkerheter og diskusjoner knyttet til temaet. Ifølge Kendall og Ambrose (2016) vil ikke utslipp fra batteriproduksjon øke lineært med økt batterivekt eller -kapasitet. Studiet viser at de største batteriene, fra biler med en rekkevidde på 250 km, har lavest utslipp per kWh, mens de minste batteriene hadde det høyeste utslippet per kWh. Dette samsvarer også med ICCT sin rapport (Hall og Lutsey, 2018), som estimerer at en 50% økning i batterikapasitet kun vil øke batteriets produksjonsutslipp med 18%. Etter denne påstanden vil elbilen- og hybridbilens utslipp fra batteriproduksjon være mer likt enn vi har antatt i vår analyse.

Videre har vi gått ut ifra at batteriets levetid vil være like lang som bilens levetid. International Council on Clean Transportation sin rapport (Hall og Lutsey, 2018) tar utgangspunkt i at batteriet vil leve ut bilens levetid på 150 000 km. Dette er gjort med bakgrunn i tilgjengelig industridata, som tilsier at forringelse eller erstatning av batteri ikke er typisk innenfor denne tidsrammen. Ifølge rapporten har andre livsløpsanalyser brukt lignende forutsetninger for batteriets levetid. I vår analyse har vi tatt samme antagelse. Når dette er sagt har vi gått ut ifra en levetid på 20 år, med en årlig kjørelengde på 12 140 km, som gir en total levetid på 242 800 km. Dersom vi går ut ifra at batteriet kun holder halve bilens levetid, måtte vi tatt med i beregningene våre at en bil ville brukt to batteri per levetid. Med våre beregninger ville da den heelektriske bilen ført til 6000 kg CO₂eq ekstra i produksjonsutslipp, og det ville tatt omtrent fem og et halvt år før en bensinbil hadde sluppet ut like mye klimagasser totalt som en elbil med norsk elektrisitetsmiks.

Et annet stort usikkerhetsmoment i oppgaven vår er beregningene av utslipp knyttet til kjøring av den ladbare hybridbilen. Ettersom det ikke finnes noen standardisert metode for å beregne andel kjørt på fossilt drivstoff og andel kjørt på elektrisitet har vi valgt å ta utgangspunkt i en full drivstofftank og et fulladet batteri. Denne situasjonen er svært lite

reell for en eier av en hybridbil. En hybridbil vil mest sannsynlig drives av elektrisitet på korte strekninger, og av bensin/diesel ved kjøring over lengre strekninger. Dette forholdet vil også være avhengig av hvor hyppig bilens batteri lades opp. De fleste hybridbiler vil bli ladet før de har kjørt 1 300 km. De vil også lade ved bremsing og i nedoverbakker. Å oppgi klimagassutslipp per km fra en hybridbil er derfor svært kompleks, og det vil variere stort etter kjøremønsteret til den aktuelle bilen.

Vi vil presisere at personlige tanker og holdninger kan ha hatt innvirkning på valg, beregninger, og tolkning av resultat. Noe som muligens kan føre til bias i oppgaven. Det samme gjelder for kildene vi har brukt.

5.6 Fremtidig forskningsbehov

Vår oppgave viser at elektriske biler har et stort potensial til å minke klimagassutslippene fra veitrafikken. Når dette er sagt er det flere usikkerheter og svakheter ved vår analyse. Vi oppfordrer derfor til videre forskning på dette området. Særlig er det behov for flere livsløpsstudier av hybridbiler. For at kjøretøyets livsløp skal kunne analyseres på en mer nøyaktig og realistisk måte kreves det også mer primærdata. I dag finnes det lite tilgjengelig data for ulike bilmodellens produksjonsutslipp. Det er særlig stor usikkerhet knyttet til batteriproduksjon, og bør derfor gjøres flere analyser av produksjonsutslipp ved ulike fasiliteter rundt om i verden. Videre er det noe forbedringspotensial ved utførelsen av kjøresyklus tester, spesielt for hybridbilens kjøremønster, for å få mer realistiske tall på utslipp ved kjøring. Mer informasjon om levetid, for bil og batteri, vil også bidra til større sikkerhet ved fremtidig forskning. Vi oppfordrer også til mer forskning på fremtidige gjenvinningsteknologier for kjøretøyets materialer.

6 Konklusjon

I denne oppgaven har vi sett nærmere på problemstillingen “Hvor store er klimagassutslippene fra produksjon og bruk av elbil, sammenlignet med hybrid-, diesel- og bensinbil?”. I oppgaven har vi sett på eksisterende og potensielle fremtidige energikjeder for å kartlegge utslippene fra de forskjellige kjøretøyene. Vi har kommet frem til fire konklusjoner.

1. Produksjonsutslipp er høyere fra elektriske biler enn hybrid- og konvensjonelle biler. Dette er på grunn av store klimagassutslipp knyttet til batteriproduksjon. Våre beregninger tilsier at helelektriske biler har høyest utslipp, mens hybridbiler med mindre batteri slipper ut noe mindre klimagasser. Konvensjonelle biler slipper ut minst klimagasser ved produksjon. Hvor store utslippene i produksjonsfasen er avhenger i stor grad av hvor bilene er produsert, og hvilken strømforsyning som brukes på det aktuelle produksjonsstedet.
2. Strømforsyningen til elektriske biler spiller en stor rolle for klimagassutslipp ved bruk. Elbiler har potensialet til å redusere WTW utslipp betydelig, sammenlignet med konvensjonelle biler, gitt at en viss andel av elektrisiteten kommer fra fornybare energikilder.
3. Selv om den elektriske bilen har større totalutslipp ved starten av sin levetid, som følge av produksjonen, vil den på lang sikt ha betydelig lavere totalutslipp enn konvensjonelle- og hybridbiler, gitt at elektrisitetsmiksen er delvis fornybar. Med dagens norske- og europeiske elektrisitetsmikser vil elbilen ha lavere totalutslipp enn konvensjonelle biler etter henholdsvis to-tre og tre-fire år.
4. Dersom man i fremtiden klarer å gjøre elektrisitetsmiksen 100% fornybar, vil en elektrisk bil lønne seg etter rett over to år i bruk, med tanke på klimagassutslipp. En elektrisitetsmikser fra fornybare energikilder vil også føre til mye lavere utslipp knyttet til produksjon av kjøretøyet.

Det er viktig å bemerke seg at denne konklusjonen kun kan brukes til å sammenligne kjøretøy i forhold til klimagassutslipp.

7 Referanser

ADAPT Consulting (2012) *Vekting av elektrisitet i energipolitikken* [Internett]. Energi Norge. Tilgjengelig fra:

<[https://www.energinorge.no/contentassets/e86a4dc8771845dfb03fee35c1d0f45d/v
ekting-av-elektrisitet---sluttrapport-2012-06-01.pdf](https://www.energinorge.no/contentassets/e86a4dc8771845dfb03fee35c1d0f45d/vekting-av-elektrisitet---sluttrapport-2012-06-01.pdf)> [Lest 24. mars 2019].

Ambrose, H., Kendall, A. (2016) Effects of battery chemistry and performance on the life cycle greenhouse gas intensity of electric mobility. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [Internett], 47, s. 82-194. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.05.009>

Amnesty International (2017) *Time to recharge: Corporate action and inaction to tackle abuses in the cobalt supply chain* [Internett]. London: Amnesty International. Tilgjengelig fra: <<https://www.amnesty.org/download/Documents/AFR6273952017ENGLISH.PDF>> [Lest 21. mai 2019].

Bymiljøetaten (u.å) *Dieselforbud* [Internett]. Oslo kommune. Tilgjengelig fra: <<https://www.oslo.kommune.no/gate-transport-og-parkering/dieselforbud/#gref>> [Lest 15. mai 2019].

Daimler AG. (2018) *Environmental Certificate Mercedes-Benz A-Class* [Internett]. Untertürkheim: Daimler AG, Department: Group Environmental Protection. Tilgjengelig fra: <<https://www.daimler.com/documents/sustainability/product/daimler-environmental-certificate-mb-a-class.pdf>> [Lest 29. april 2019].

Del Pero, F., Delogu, M., Pierini, M. (2018) Life cycle assessment in the automotive sector: a comparative case study of internal combustion engine (ICE) and electric car. *Procedia Structural Integrity* [Internett], 12, s. 521-537. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.11.066>

Eian (2019) *Kartlegger forekomster av kobolt i Europa* [Internett]. Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra: <<https://www.ngu.no/nyheter/kartlegger-forekomster-av-kobolt-i-europa>> [Lest 21. mai 2019].

Ellingsen, L.A., Hung, C.R., Strømman, A.H. (2017) Identifying key assumptions and differences in life cycle assessment studies of lithium-ion traction batteries with focus on greenhouse gas emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [Internett], 55, s. 82-90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.06.028>

Ellingsen, L.A., Singh, B. og Strømman, A.H. (2016) The size and range effect: lifecycle greenhouse gas emissions of electrical vehicles. *Environmental Research Letters* [internett], 11 (5). Tilgjengelig fra: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/5/054010>> [Lest 22. mai 2019].

European Automobile Manufacturers' Association (u.å.) *WLTP facts.eu* [Internett]. Tilgjengelig fra: <<https://wltpfacts.eu/>> [Lest 15. mai 2019].

European Commission (2016) *Communication from the commission to the European parliament, the council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: A European Strategy for Low-Emission Mobility* [Internett]. Brüssel: European Commission. Tilgjengelig fra: <https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:e44d3c21-531e-11e6-89bd-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF> [Lest 26. mai 2019].

European environment agency (2016) Electric vehicles in Europe. *EEA report* [Internett], 20, s. 1-74. DOI: 10.2800/100230

European environment agency (2019) *Overview of electricity production and use in Europe* [Internett]. Tilgjengelig fra: <<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-2/assessment-4>> [Lest 10. mai 2019].

Fredriksen, E. og Andresen, I. (2014) *Mot karbonnøytrale boligområder* [Internett]. ZEB Project rapport nr. 18. The Research Centre on Zero Emission Buildings. Tilgjengelig fra:<<https://www.sintefbok.no/book/download/1023>> [Lest 2. mai 2019].

Hall, D., Lutsey, N. (2018) Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions. *International Council on Clean Transportation Briefing* [Internett], s 1-12. Tilgjengelig fra:<https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EV-life-cycle-GHG_ICCT-Briefing_09022018_vF.pdf> [Lest 20. mars 2019].

Haugneland, P. (2017) *Dette er de gode ladbare hybridene* [Internett]. Norsk elbilforening. Tilgjengelig fra:<<https://elbil.no/dette-er-de-gode-ladbare-hybridene/>> [Lest 23. mai 2019].

Hausfather, Z. (2019) *Factcheck: How electric vehicles help to tackle climate change* [Internett]. Carbon Brief. Tilgjengelig fra:<<https://www.carbonbrief.org/factcheck-how-electric-vehicles-help-to-tackle-climate-change>> [Lest 26. mai 2019].

Hawkins, T. R., Singh, B., Majeau-Bettez, G. og Strømman, A. H. (2013). Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology* [Internett], 17, s. 53-64. DOI: [10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x](https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x)

Holden E. (2003) *Energi- og miljødata for alternative og konvensjonelle drivstoffer* [Internett]. VF-rapport 2/2003. Sogndal: Vestlandsforskning. Tilgjengelig fra:<<https://vestforsk.no/nn/publication/energi-og-miljodata-alternative-og-konvensjonelle-drivstoffer-ar-2010>> [Lest 24. januar 2019].

Holden, E., Gilpin, G., Banister, D. (2019) Sustainable Mobility at Thirty, *Sustainability* 2019 [Internett], 11(7). DOI: <https://doi.org/10.3390/su11071965>

IFEU– Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg (u.å.) *Greenhouse gas emission figures for fossil fuels and power station scenarios in Germany* [Internett] Tyskland: Wingas. Tilgjengelig

fra: <https://www.wingas.com/fileadmin/Wingas/WINGAS-Studien/Energieversorgung_und_Energiewende_en.pdf> [Lest 19. april 2019].

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2018) *Special Report Global Warming of 1.5°C* [Internett]. Tilgjengelig fra: <<https://www.ipcc.ch/sr15/>> [Lest 22. mars 2019].

International Organization for Standardization (ISO) (2006) *ISO 14040:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*. [Internett]. Tilgjengelig fra: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>> [Lest 09. mai 2019].

Itten, R., Frischnecht, R., Stucki, M. (2014) *Life Cycle Inventories of Electricity Mixes and Grid* [Internett]. Versjon 1.3. Uster: treeze Ltd. Tilgjengelig fra: <<http://esu-services.ch/fileadmin/download/publicLCI/itten-2012-electricity-mix.pdf>> [Lest 20. mai 2019].

Ledermann og Hole (2015) *Forurenset uteluft kan føre til luftveissykdommer* [Internett]. LHL Astma og allergi. Tilgjengelig fra: <<https://www.lhl.no/lhl-astma-og-allergi/uteluft/kulde-kan-gi-usunn-uteluft/>> [Lest 22. mai 2019].

LowCVP (u.å) *Lifecycle emissions from cars* [Internett]. Tilgjengelig fra: <<https://www.lowcvp.org.uk/assets/workingdocuments/MC-P-11-15a%20Lifecycle%20emissions%20report.pdf>> [Lest 30. april 2019].

McKerracher, C., Izad-Najafabadi, A., Soulopoulos, N., Doherty, D., Frith, J., Albansese, N., Grant, A., Berryman, I. (2019) *Electrical Vehicle Outlook 2019. BloombergNEF* [Internett]. Tilgjengelig fra: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/?fbclid=IwAR2sgYukbQsBeLsl9fsbkWy6HIS56jvnYgi-t02KafTCy_dLqTRRY3ztcwU> [Lest 25. mai 2019]

Mercedes-Benz (2019) *Mercedes-Benz A-klasse: spesifikasjoner* [Internett]. Tilgjengelig fra: <<https://www.mercedes-benz.no/passengercars/mercedes-benz-cars/models/a-class/hatchback-w177/specifications/nba-3-ontop.module.html>> [Lest 3.mars 2019].

Miljødirektoratet (2018) *Klimagassutslipp fra transport* [Internett]. Tilgjengelig fra: <<https://www.miljostatus.no/tema/klima/norske-klimagassutslipp/utslipp-av-klimagasser-fra-transport/>> [Lest 24.mai 2019].

Moro, A. og Lonza, L. (2018) Electricity carbon intensity in European Member States: Impacts on GHG emissions of electric vehicles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [Internett], 64, s. 5-14.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.07.012>

NAF (u.å) *Elbiler i Norge – elbilguiden* [Internett]. Tilgjengelig fra: <https://www.naf.no/elbil/elbiler-i-norge/> [Lest 21.mai 2019]

NOBIL (2019) *Statistikk fra NOBIL* [Internett]. Tilgjengelig fra: <<https://info.nobil.no/index.php/nyheter/89>> [Lest 21. mai 2019].

Nestaas, I. (19. oktober 2018) Livsløpsanalyse. i: *Store Norske Leksikon* [Internett] Tilgjengelig fra: <<https://snl.no/livsl%C3%B8psanalyse>> [Lest 02. april 2019].

Nissan (2019_a) *Nissan Leaf* [Internett]. Tilgjengelig fra: <<https://www.nissan.no/biler/nye-biler/leaf.html>> [Lest 13. mai 2018].

Nissan (2019_b) *Nissan Leaf versjoner og spesifikasjoner* [Internett]. Tilgjengelig fra: <<https://www.nissan.no/biler/nye-biler/leaf/priser-spesifikasjoner.html#grade-LEAFZE1A-0|specs>> [Lest 3. mars 2019].

Nissan Insider (u.å) *Nissan switches on Sunderland solar farm* [Internett]. Tilgjengelig frå: <<http://nissaninsider.co.uk/nissan-switches-on-sunderland-solar-farm/>> [Lest 15. mai 2019]

Noregs vassdrags- og energidirektorat (2017) *Nasjonal varedeklarasjon 2016* [Internett]. Oppdatert 28.juni 2018. Oslo: NVE. Tilgjengelig fra:<<https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten-for-energi-rme-marked-og-monopol/varedeklarasjon/nasjonal-varedeklarasjon-2016/>> [Lest 16. mars 2019].

Noregs vassdrags- og energidirektorat (2018) *Nasjonal varedeklarasjon 2017* [Internett]. Oppdatert 28.juni 2018. Oslo: NVE. Tilgjengelig fra:<<https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten-for-energi-rme-marked-og-monopol/varedeklarasjon/nasjonal-varedeklarasjon-2017/>> [Lest 16. mars 2019].

Nytt om bil (2018) *Hva er WLTP?* [Internett]. Tilgjengelig fra:<<https://www.nyttombil.no/hva-er-wltp/>> [Lest 23. mai 2019].

Onn, C.C., Mohd, N.S., Yuen, C.W., Loo, S.C., Koting, S., Rashid, A.F.A., Karim, M.R., Yusoff, S. (2017) Greenhouse gas emissions associated with electric vehicle charging: The impact of electricity generation mix in a developing country. *Transport and Environment* [Internett], 64, s. 15-22. DOI: [10.1016/j.trd.2017.06.018](https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.06.018)

Poovanna, P., Davis, R. og Argue, C. (u.å) *Environmental Life Cycle Assessment of Electric Vehicles in Canada* [Internett]. Tilgjengelig fra:<https://pluginbc.ca/wp/wp-content/uploads/2018/05/Environmental-Life-Cycle-Assessment-of-Electric-Vehicles-in-Canada.pdf?fbclid=IwAR0AqKBcLgZMn7WD_A0t863EDPJ9t5jT2Pw04ftn0TaagZa00qTkG40BxyY> [Lest 30. april 2019].

Poullikkas, A. (2014) Sustainable options for electric vehicle technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [Internett], 41, s. 1277-1287. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.016>

Qiao, Q., Zhao, F., Liu, Z., Jiang, S., Hao, H. (2017) Comparative Study on Life Cycle CO2 Emissions from the Production of Electric and Conventional Vehicles in China. *Energy Procedia* [Internett], 105, 3584-3595. DOI: [10.1016/j.egypro.2017.03.827](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.827)

Raykin, L., MacLean, H. L., Roorda, M. J. (2012) Implications of Driving Patterns on Well to Wheel Performance of Plug-in Hybrid Electric Vehicles, *Environmental Science & Technology* [Internett], 46, s. 6363-6370. DOI: [dx.doi.org/10.1021/es203981a](https://doi.org/10.1021/es203981a)

Romare, M. og Dahllöf, L., (2017) *The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries* [Internett]. C 243. Stockholm: IVL Environmental Research Institute Ltd. Tilgjengelig fra: <https://www.ivl.se/download/18.5922281715bdaebede9559/1496046218976/C243+The+life+cycle+energy+consumption+and+CO2+emissions+from+lithium+ion+batteries+.pdf> [Lest 15. april 2019].

Rosvold, K.A. (2015) Nettap, *Store norske leksikon* [Internett]. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/nettap> [Lest 15. mars 2019].

Selfors, A., Thorsen, K., Hofstad, K., Fagerlund, K.H., Wiggen, T.M. (2004) *Naturgass – en generell innføring* [Internett]. Rapport nr 12 - 2004, Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2004/rapport2004_12.pdf [Lest 24. mars 2019].

Skatteetaten (u.å) *Beregning av engangsavgiften for ladbare hybrider* [Internett]. Tilgjengelig fra: <https://www.skatteetaten.no/person/avgifter/bil/importere/hvilke-avgifter-ma-du-betale/engangsavgift/hva-er-engangsavgiften/ladbare-hybrider/> [Lest 23.mai 2019].

Spath, P.L., Mann, M.K., Dawn, R.K. (1999) *Life Cycle Assessment of Coal-fired Power Production* [Internett]. NREL/TP-570-25119. Colorado: NREL- National Renewable Energy Laboratory. Tilgjengelig fra: <https://www.nrel.gov/docs/fy99osti/25119.pdf> [Lest 24. mars 2019].

Statistisk sentralbyrå (2019) *Kjørelengder* [Internett]. Tilgjengelig fra: <<https://www.ssb.no/transport-og-reiseliv/statistikker/klreg>> [Lest 23. mars 2019].

Stephenson, J., Spector, S., Hopkins, D., McCarthy, A. (2018) Deep interventions for a sustainable transport future. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [Internett], 61, s. 356-372. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.06.031>

Toyota (2019) *Prius Plug-in E-brosjyre* [Internett]. Tilgjengelig fra: https://www.toyota.no/new-cars/prius/index.json#/ajax/%2Fnew-cars%2Fprius-plugin%2Fplugin_2017.json [Lest 3. mars 2019].

United Nations General Assembly (2015) *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development* [Internett]. United Nations, Tilgjengelig fra: http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E [Lest 20. april 2019].

Universitetet i Oslo: Kjemisk institutt (2011) *Li-ion - for framtiden* [Internett]. Tilgjengelig fra: <https://www.mn.uio.no/kjemi/forskning/tema/batterier/artikler/li-ion-for-framtiden.html> [Lest 21. mai 2019].

Weiss, M., Zerfass, A. og Helmers, E. (2019) Fully electric and plug-in hybrid cars – An analysis of learning rates, user costs, and costs for mitigating CO₂ and air pollutant emissions. *Journal of Cleaner Production* [Internett], 212, s. 1478-1489. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.019>

Woo, J., Choi, H. og Ahn, J. (2017) Well-to-wheel analysis of greenhouse gas emissions for electric vehicles based on electricity generation mix: A global perspective. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [Internett], 51, s. 340-350. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.01.005>

Yazdanie, M., Noembrini, F., Dossetto, L., Boulouchos, K. (2014) A comparative analysis of well-to-wheel primary energy demand and greenhouse gas emissions for operation

of alternative and conventional vehicles in Switzerland, considering various energy carrier production pathways. *Journal of Power Sources* [Internet], 249, s. 333-348. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.10.043>

Vedlegg

Regnearket med våre beregninger ligger vedlagt (Vedlegg 1).