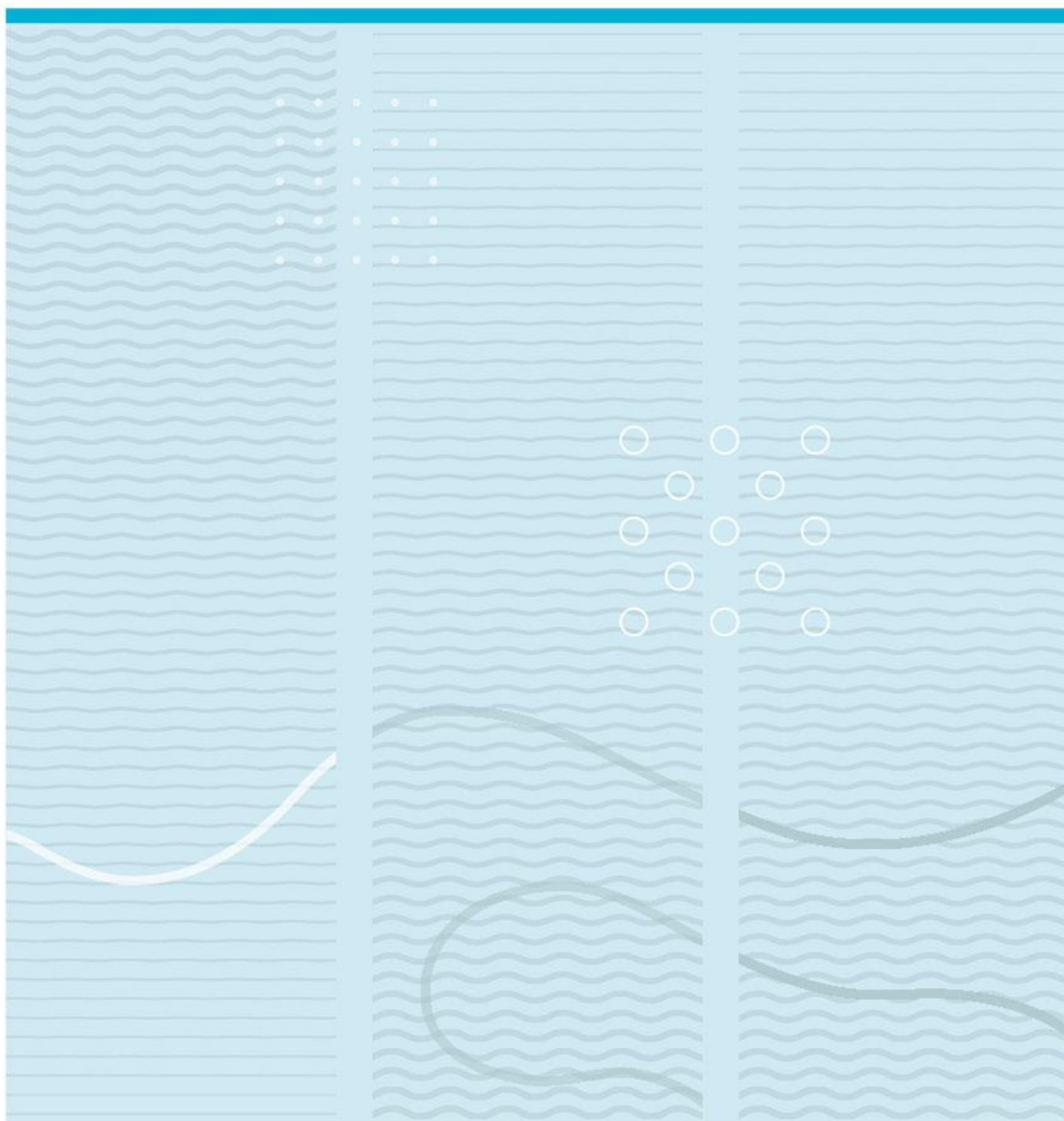


Lars-André Tokheim, Øivind Høidalen og Geir Fuglaas

Er elbilen et bærekraftig alternativ til fossilbilen?



Universitetet i Sørøst-Norge
Fakultet for teknologi, naturvitenskap og maritime fag
Institutt for prosess-, energi- og miljøteknologi
Kjølnes Ring 56
3918 Porsgrunn

<http://www.usn.no>

© 2021 Lars-André Tokheim, Øivind Høidalen og Geir Fuglaas

Sammendrag og hovedkonklusjoner

De globale klimagassutslippene må reduseres til nær null i løpet av de nærmeste tre tiårene om vi skal unngå dramatiske endringer av klimaet. Transportsektoren, herunder personbilen, står for en betydelig del av klimagassutslippet. Vi sammenligner i denne artikkelen elektrisk drevne biler med dieseldrevne biler, i Norge og i EU. Hensikten er å undersøke under hvilke forutsetninger slike biler tilfredsstillende nye myndighetskrav, samt i hvilken grad de kan bidra til at våre personlige klimafotavtrykk blir oppnådd.

Nettemisjonsfaktoren har en avgjørende innvirkning på elbilens klimafotavtrykk. I Norge er denne faktoren svært lav fordi strømproduksjonen er basert på fornybar energi. I mange andre land og regioner, for eksempel EU, er den mye høyere pga. mer bruk av fossil energi i kraftproduksjonen. Dette innebærer signifikante indirekte klimagassutslipp for elbilen.

I tillegg oppstår betydelige klimagassutslipp under bilproduksjonen, både av selve kjøretøyet og batteriet. Økt bruk av fornybare energikilder i kraftproduksjon og mer miljøvennlig batteriproduksjon ventes likevel å gradvis redusere elbilens klimafotavtrykk, så vel under produksjon som i bruk.

I dag medfører derfor produksjon og bruk av elbiler utslipp av CO₂ både i Norge og i EU, og det er altså noe misvisende å hevde at dagens elbiler er nullutslippsbiler. Dette skyldes både produksjon av batterier og bruk av kraft fra strømmettet, som delvis er basert på fossile brennstoff (kull, olje, gass), og delvis ved bruk av fornybare teknologier.

Både diesalbiler og elbiler har en kompleks global verdikjede. Det er krevende å identifisere klimafotavtrykket gjennom hele bilens livssyklus – spesielt med tanke på at diesalbiler representerer en moden teknologi, mens elbilene og særlig batteriutviklingen er i en tidlig fase. I denne studien har dette ledet til innsikt i hvilke parametere som er avgjørende å forstå og påvirke for at elbilen skal gi et viktig bidrag til det «grønne skiftet».

Våre hovedkonklusjoner kan oppsummeres som følger:

- Vårt **personlige klimabudsjett** på ca. 3 tonn CO₂ per år er i dag **overskredet**. Nordmenn har i gjennomsnitt et faktisk personlig fotavtrykk på ca. 10 t_{CO2}/år. Bilkjøring står for i gjennomsnitt 0,9 t_{CO2}/år per person, altså 30 % av det personlige klimabudsjettet.
- **Små elbiler er best** – med overgang fra *fossil-bil til elbil i Norge* kan vi redusere personbilens klimafotavtrykk (gjennom livsløpet) med **68 % for små elbiler** (62 % for store biler).
- **Grønn kjørestrom** er viktig! I EU med *langt mindre grønn strøm* enn Norge er fotavtrykks-reduksjonen **39 og 37 % for henholdsvis små og store elbiler**.
- En liten elbil *m/grønn strøm* kan anses å være **bærekraftig** – da kan fotavtrykket per bil komme ned mot *0,35 t CO₂ per år* om bilen har to brukere (bildeling).
- **Grønnere strøm** i så vel materialutvinning, bil- og batteriproduksjon som ved lading av bilen er således et **avgjørende premis** for elbilens klimavennlighet.
- **Bedre batterier** med lavere vekt, høyere energitetthet, raskere lading, lengre levetid og mer miljøvennlige råmaterialer vil være avgjørende for elbilens videre utvikling og dens globale utbredelse.
- **Batteriutvikling og -produksjon i Norge** basert på vannkraft kan utvikles til en viktig del av det «*grønne skiftet*».
- I en **dynamisk sensitivetsanalyse**, der så vel fremtidig *teknologisk utvikling* som politisk påvirkbare *klimabevisste holdninger* studeres, er elbilens klimafotavtrykk i 2035 beregnet til å kunne bli 85 % lavere enn i 2020. En slik utvikling fordrer imidlertid en «grønn» politikk, både globalt og lokalt, som gir insentiver til fortsatt teknologiutvikling, støtter vridning mot fornybar energi og, ikke minst, skaper en økende klimabevissthet hos forbrukerne.

Innhold

Sammendrag og hovedkonklusjoner	3
Innhold.....	5
Forord	6
1 Innledning	7
1.1 Overordnede rammer for utslipp av klimagasser	7
1.2 Hensikten med denne rapporten.....	7
1.3 Fotavtryks-tall publisert av andre	8
1.4 Hva er spesielt med vår studie?	9
1.5 Kort om rapportens oppbygning.....	10
2 Personbilens betydning for klimagassutslippene	11
2.1 Bilens klimafotavtrykk i ulike livsløpsfaser	11
2.2 Nettemisjonsfaktoren.....	13
2.3 Energibehov for dieselbiler	14
2.4 Energibehov for elbiler	15
2.5 Elbilens bidrag i det nasjonale klimaregnskapet	15
2.6 Klimafotavtrykk fra batteriproduksjon.....	16
2.7 Klimafotavtrykk fra kjøretøyproduksjon	17
2.8 Betydningen av rekkevidde	18
2.9 Batteriproduksjon og bærekraft	18
2.10 Framtidas batterier	19
3 Beregninger	21
3.1 Input-data.....	21
3.2 Output-data.....	23
3.3 Livsløpsfotavtrykk for elbiler og dieselbiler (dagens situasjon).....	24
3.4 Framtidsscenarier for elbilens klimafotavtrykk.....	27
4 Hovedkonklusjoner	34
Referanser	36
Vedlegg A Beregning av CO₂-fotavtrykk for elbil	41
Vedlegg B Beregning av CO₂-fotavtrykk for dieselbil	46

Forord

Denne rapporten er blitt til i et samarbeid mellom tre personer:

- Lars-André Tokheim (dr.ing.), professor i prosessteknologi ved USN, tidligere (fram til 2006) prosess- og miljøsjef ved Norcems sementfabrikk i Brevik
- Øivind Høidalen (siv.ing.), prosessmetallurg, tidligere forskningsdirektør i Norcem AS og teknisk direktør i Scancem International (1996-2001) og Indocement (Indonesia 2001-2008)
- Geir Fuglaas (siv.øk. NHH), tidligere direktør i Scancem International (1996-1999) og HeidelbergCement (1999-2018)

Vi opplever at det i den norske befolkningen er mange ulike synspunkter med hensyn til elbilens miljøvennlighet; noen kaller den et nullutslippskjøretøy, andre hevder at man like gjerne kan kjøre dieselbil. Det er åpenbart at begge deler ikke kan være sant, i hvert fall ikke dersom samme forutsetninger legges til grunn. Denne rapporten er et forsøk på å gi en vitenskapelig og kunnskapsbasert sammenlikning av elbilen og dieselbilen for å prøve å gi svar på spørsmålet om hvorvidt elbilen et bærekraftig alternativ til fossilbilen.

Studien har i hovedsak foregått under perioden med koronarestriksjoner (mars-november 2020), så kontakten mellom forfatterne har skjedd gjennom epost og regelmessige nettmøter via Zoom, noe som har fungert veldig fint.

Porsgrunn, januar 2021

Lars-André Tokheim, Øivind Høidalen og Geir Fuglaas

1 Innledning

1.1 Overordnede rammer for utslipp av klimagasser

Dersom vi skal kunne unngå en temperaturøkning på mer enn 1,5 °C innen 2050, må de totale klimagassutslippene fra nå og fram til 2050 begrenses til cirka 650 Gt CO₂-ekvivalenter (IPCC, 2018), dvs. gjennomsnittlig 22 milliarder tonn per år. Hvis disse utslippene fordeles på jordas befolkning (7,5 milliarder), får man et individuelt klimafotavtrykk på i gjennomsnitt rundt 3 tonn per person per år.

Verdens samlede klimagassutslipp i 2018 var cirka 37 milliarder tonn per år (Global Carbon Project, 2018), dvs. et individuelt fotavtrykk på rundt 5 tonn per person per år, hvilket er betegnende for klimautfordringene vi i dag sliter med. I Norge er nivået enda høyere; et utslipp på 52 millioner tonn og en befolkning på ca. 5,3 millioner gir rundt 10 tonn per person per år ifølge Global Carbon Atlas (2020). Mange fattige utviklingsland ligger derimot langt lavere enn det individuelle budsjettet: Forholdsvis befolkningsrike land som Etiopia (109 millioner mennesker) og Kongo (84 millioner mennesker) har for eksempel klimafotavtrykk på henholdsvis 0,14 og 0,03 tonn per person per år (Global Carbon Atlas, 2020), altså forsvinnende lite i forhold til det man ser i industrialiserte land.

I følge Miljødirektoratet (2020) bidrar transportsektoren med 32 % av de norske klimagassutslippene, og veitrafikken bidrar mest. En signifikant reduksjon i klimagassutslipp i denne sektoren kan derfor bidra noe til å snu utviklingen.

1.2 Hensikten med denne rapporten

I denne rapporten sammenligner vi 100 % elektrisk drevne biler med dieseldrevne biler, i Norge og i EU, bl.a. ved å gjøre egne beregninger mht. klimafotavtrykk. Hensikten er å undersøke under hvilke forutsetninger slike biler tilfredsstillende nye myndighetskrav fra EU og norske myndigheter, samt hvorvidt de kan bidra til at våre personlige utslippstall (maksimalt 3 tonn CO₂ per person per år) blir oppnådd.

Våre undersøkelser er til dels basert på tidligere publiserte studier, som i stor grad benytter livsløpsanalyser (Life Cycle Assessment – LCA) for å bestemme totalutslipp fra «vugge til grav», dvs. i tre ulike faser; produksjon, bruk og avhending/gjenvinning av bilen.

1.3 Fotavtrykks-tall publisert av andre

Flere studier av fotavtrykk fra elbiler er publisert de siste årene, for eksempel Rangaraju et al. (2015), Ellingsen et al. (2016), Yu et al. (2018), Meinreiken et al. (2018), Li et al. (2019), Kawamoto et al. (2019), Jungmeier et al. (2019), Helms et al. (2019) og Hill et al. (2020).

Det er imidlertid store variasjoner i resultatene, bl.a. fordi ulike studier har lagt ulike forutsetninger til grunn. Et viktig eksempel i så måte er andelen fornybar (CO₂-nøytral) energi som benyttes ved produksjon av strømmen elbilene går på, noe som gir svært store utslag i fotavtrykket. I tillegg har det skjedd vesentlige forbedringer i batteriteknologien i løpet av de aller siste årene, og dette gjør at tall som kanskje var riktige for fem år siden, ikke lenger er representative. Det er også visse forskjeller i forutsetninger vedrørende årlig kjørelengde, levetid og bilstørrelse. Dessuten oppgis resultatene på ulike måter, noe som gjør det litt vanskelig å sammenlikne resultatene direkte.

Li et al. (2019) har rapportert at i Kina er fotavtrykket fra elbiler i dagens situasjon faktisk 24-31 % høyere enn fra fossilbiler. Dette skyldes særlig den høye andelen kullkraft ved produksjon av strøm i Kina. De har imidlertid oppgitt at elbil-fotavtrykket ligger an til å bli ca. 15 % lavere enn dieselbil-fotavtrykket i 2030 (og 65 % lavere i 2050). Yu et al. (2018) har, i noenlunde samsvar med dette, angitt et potensial 14 % lavere fotavtrykk for elbiler ved visse optimaliserende tiltak i Kina.

Rangaraju et al. (2015) har undersøkt forholdene i Belgia, et EU-land med relativt lavt fotavtrykk fra kraftproduksjonen pga. høyt innslag av atomkraft. De har kommet fram til at fotavtrykket for elbiler er 50 % lavere enn for dieselbiler.

En studie av Hill et al. (2020) viser at det er svært store variasjoner innad i EU; de kommer fram til at fotavtrykket fra elbiler er fra 0 til 75 % lavere enn fra fossilbiler, avhengig av forutsetningene som gjelder i ulike land (særlig ulik energimiks).

En forholdsvis ny tysk rapport (Jungmeier et al., 2019) oppgir fotavtrykk på 10-42 tonn CO₂-ekvivalenter for el-bil og 33 tonn for dieselbil i dagens situasjon. Imidlertid anser de at situasjonen i 2030 går betydelig i favør av elbilen, som da vil ligge omtrent 50 % lavere enn dieselbilen. En annen tysk studie (Helms et al., 2019) oppgir omtrent samme livsløpsfotavtrykk for elbiler (33 tonn) og dieselbiler (35 tonn).

Meinrenken et al. (2015) har i en studie som gjelder for amerikanske forhold, rapportert fotavtrykk på 82 gram CO₂ per kilometer for elbil og 147 gram CO₂ per kilometer for bensinbiler, dvs. 44 % lavere utslipp for elbilen.

Kawamoto et al. (2019) har sammenliknet elbiler og fossilbiler i flere ulike regioner (USA, EU, Japan, Kina og Australia) og har kommet til at elbilen har lavere fotavtrykk i alle disse regionene unntatt i Australia, der fossilbilen kommer bedre ut.

Ellingsen et al. (2016) har i en studie kommet fram til livsløpsfotavtrykk på 21-35 tonn CO₂-ekvivalenter for el-biler, avhengig av størrelsen på bilen, mens fossilbiler med tilsvarende størrelse har avtrykk på 27-47 tonn, hvilket tilsier et elbilfotavtrykk som ligger 23-35 % lavere enn dieselbilavtrykket.

Det samlede inntrykket fra litteraturgjennomgåelsen er at det er store variasjoner, men i hovedsak rapporteres elbilen å ha noe lavere fotavtrykk enn fossilbilen.

1.4 Hva er spesielt med vår studie?

Vi har i vårt arbeid utviklet en regnemodell som beregner fotavtrykket for elbiler og dieselbiler baserte på et sett av uavhengige inputvariabler. Dette har satt oss i stand til å modellere både dagens fotavtrykk av elbiler og dieselbiler og det sannsynlige fotavtrykket i framtida som følge av mer eller mindre sannsynlige endringer i ulike input-parametere.

Vi har dessuten sett spesielt på situasjonen i Norge og sammenliknet fotavtrykket ved kjøring i Norge med kjøring i EU. En slik sammenlikning er hensiktsmessig fordi kraftproduksjonen i Norge og EU har veldig forskjellig fotavtrykk. Vi tror også at en slik sammenlikning kan bidra til å forklare hvorfor det er så ulike oppfatninger om elbilens miljøvennlighet.

Vi har dessuten klassifisert de variable input-parametrene i tre ulike grupper for å synliggjøre de ulike typer forutsetninger som ligger til grunn for mulige endringer i input-parametrene. En slik inndeling, som både involverer teknologi-framskritt, politisk styrte endringer og mulige endringer i bilbrukernes krav, tror vi kan være med på å synliggjøre hvilken utvikling som er sannsynlig for elbilen i både Norge og EU.

1.5 Kort om rapportens oppbygning

Kapittel 2 gir en redegjørelse for hvilke forhold som har betydning for fotavtrykket til elbiler og dieselmotorer, herunder hvorfor og hvordan. Vedlegg A og B viser i detalj den modellen vi har utviklet for å gjøre våre beregninger, og i kapittel 3 viser vi resultatene fremkommet ved bruk av formelverket i vedleggene kombinert med valgte input-data som er redegjort for. Konklusjonene er gitt i det siste kapitlet.

2 Personbilens betydning for klimagassutslippene

Antall personbiler i verden antas å være godt over 1,2 milliarder, men forventes å øke mot 2 milliarder i 2035 (Voelcker, 2014). I Norge, som har rundt 5,4 millioner innbyggere, er antall personbiler rundt 2,8 millioner (SNL, 2020), dvs. 1,9 personer per bil. CO₂-fotavtrykket fra disse personbilene er 4,7 millioner tCO₂/år (SSB, 2020), altså 0,9 tCO₂/år per person.

For å redusere utslippene fra biltrafikk, har EU introdusert nye regler for å oppnå en utslippsreduksjon på 90 % innen 2050. EUs forordning 2019/631 (av 17 april 2019) gir detaljerte krav til utslippsreduksjoner i 2025 og 2030. Måltallet for hele bilflåten (samlet utslipp fra fossilbiler, elektriske biler og andre biler) på 95 g_{CO₂}/km ble oppnådd i 2020 og skal ned ytterligere 37,5 % i 2030, hvilket tilsier et samlet utslippskrav på 59 g_{CO₂}/km. I rapporten «Klimakur 2030» (Miljødirektoratet 2020) har Norge tilkjennegitt lignende målsettinger, som vil føre til en sterk økning i bruk av lavutslippskjøretøy, da diesel/bensin-biler ikke vil klare de krav som settes i denne forordningen.

Norge er i dag verdensledende med hensyn til stimulering til og satsing på bruk av batteridrevne biler for å redusere CO₂-utslippene fra veitransport. Antall elbiler i Norge (inklusive hybridbiler) begynner nå å nærme seg 10 % (Elbil, 2020; OFV, 2020). Bruk av elbiler i resten av verden øker også raskt og nådde over 5,1 millioner i 2018 i følge det internasjonale energibyrået (IEA, 2019). IEA ser videre for seg at elbilsalget kan øke til 30 % av nybilsalget i 2030 og at elbilflåten dermed kan nå 250 millioner elbiler eller rundt 15 % av verdens totale bilflåte. Det er imidlertid stort spenn i prognosene og følgelig en del usikkerhet i disse tallene.

2.1 Bilens klimafotavtrykk i ulike livsløpsfaser

Enkelt sagt skapes klimagassutslipp i tre faser – først i selve produksjonen av bilen, dernest gjennom bruken i hele dens levetid og til sist i forbindelse med avhending og gjenvinning. For elbiler vil produksjon og avfallshåndtering/gjenbruk av batteriet komme i tillegg. Batteriet og elektromotoren erstatter fossilbilens dieselmotor, bensintank, gir og tilhørende fasiliteter. Med dagens teknologi har imidlertid batteriet

et betydelig klimagassutslipp som medfører at en fabrikkny elbil starter med et negativt klimafottrykk sammenlignet med en diesebil av tilsvarende størrelse. Dette negative klimafottrykket kan innhentes i bruksfasen dersom elbilens CO₂-fotavtrykk per kjørte kilometer er betydelig lavere enn diesebilens.

Klimafotavtrykket til en bensinbil, som vi ikke går nærmere inn på i denne artikkelen, er til sammenlikning noe høyere enn for en diesebil (Rangaraju et al., 2015). Vi går heller ikke inn på hybridbiler, dvs. biler som kombinerer ulike energiformer ved framdrift, da slike biler har et fotavtrykk som ligger mellom diesebiler og rene elbiler.

Utslippene forbundet med produksjon av selve bilen (karosseri etc.) kan antas å være tilnærmet proporsjonalt med dens vekt (eksklusiv batteri for elbiler). Klimafotavtrykket for produksjon av en bil med dieselmotor er noe høyere enn for en bil med elektromotor fordi fossilbilen er noe tyngre (når batteriet i elbilen ikke inkluderes). Dette skyldes bl.a. fossilbilens motor (som er tyngre enn en elektromotor), girkasse, bensintank og eksosanlegg. Derimot er dagens elbiler tyngre enn fossilbilen når batteriet inkluderes, men siden utslippsfaktoren for batteriet er annerledes enn for resten av kjøretøyet, er det hensiktsmessig å skille mellom batteriet og kjøretøyet forøvrig.

Utslippene ved batteriproduksjonen avhenger av batterikapasiteten som igjen bestemmer bilens rekkevidde. Batterikapasiteten henger sammen med batteriets vekt og dets energitetthet – dvs. hvor mange kWh batteriet kan lagre per kg batteri. Det er trolig på dette feltet man vil se den største utviklingen i tiden fremover.

Både når det gjelder produksjon av selve bilen og av batteriene kan nettemisjonsfaktoren, altså CO₂-utslippene per kWh strøm, antas å være lik i ulike land fordi produksjonen skjer på mange ulike steder; verdikjeden omfatter mange forskjellige geografiske områder med forskjellige energibærere. På denne måten adskiller produksjonsfasen seg fra bruksfasen for elbiler, der nettemisjonsfaktoren vil variere med det landet bilen kjøres i (mer om dette nedenfor).

I likhet med dieslbiler vil store elbiler ha et større fotavtrykk per kjørte km enn små elbiler. Dessuten, ettersom CO₂-utslippet fra dieselskjøring er uavhengig av land, vil elbiler kjørt i Norge være relativt sett mer fordelaktige enn elbiler kjørt i EU når man sammenligner med dieslbiler.

Bilprodusentene henviser til teststandardene «New European Driving Cycle» (NEDC) og «Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicle Test Procedure» (WLTP) (Wikipedia, 2020a). WLTP er i ferd med å erstatte NEDC da den skal gi en mer nøyaktig angivelse av bilens energiforbruk. Ingen av disse standardene tar imidlertid hensyn til enkeltpersoners kjørevaner eller vinterkjøring, og det individuelle energiforbruket kan derfor avvike fra offisielle data fra bilprodusentene.

2.2 Nettemisjonsfaktoren

I Norge, med strøm generert primært fra vannkraft, vil fotavtrykket ved bruk av en elbil være meget lavt, mens det i EU vil være betydelig høyere, ettersom nettemisjonsfaktoren der er mye høyere pga. energibærere med bl.a. innslag av kull.

Produksjon av elektrisitet i Norge hadde i perioden 2011-2015 en nettemisjonsfaktor på 47 g_{CO2}/kWh (Asplan Viak, 2016). Dette tallet inkluderer utslipp fra vugge til grav (LCA). Det er rimelig å anta at tallet er omtrent det samme i 2020. Andre kilder oppgir et utslipp på bare 11 g_{CO2}/kWh for Norge i 2018 (Carbon Footprint, 2019). Avviket skyldes sannsynligvis at disse kildene ikke benytter en LCA-tilnærming, men kun har basert verdien på direkte utslipp knyttet til den aktuelle energimixen. Dette kan indikere at fotavtrykk knyttet til etablering av infrastruktur etc. tilsvarer ca. 36 g_{CO2}/kWh.

I EU ble det LCA-baserte utslippstallet redusert fra 494 g_{CO2}/kWh i 2008 til 444 g_{CO2}/kWh i 2013 (Koffi et al., 2017a), slik at tallet i dag ligger nærmere 400 g_{CO2}/kWh som følge av en kontinuerlig reduksjon i utslippsfaktoren. Med referanse til Koffi et al. (2017b) har vi, med antakelse om samme reduksjonstakt i 2018-2020 som i perioden 2008-2018, estimert en LCA-emisjonsfaktor på 381 g_{CO2}/kWh for EU i 2020. (I rapporten til Koffi et al. (2017a) er både LCA-faktorer og standard-faktorer oppgitt, og sistnevnte verdier ble redusert fra 445 til 393 g_{CO2}/kWh fra 2008 til 2013. Dette indikerer at fotavtrykk knyttet

til infrastruktur etc. tilsvarte ca. 50 g_{CO2}/kWh. Dette tallet rimer ganske godt med det ovenfor nevnte tallet på 36 g_{CO2}/kWh for norske forhold, som er dominert av vannkraft.)

I følge IEA (2019) er den globale nettemisjonsfaktoren 518 g_{CO2}/kWh, dvs. en del høyere enn i EU og omtrent 10 ganger så høy som i Norge.

Det skal understrekes at verdiene for nettemisjonsfaktoren nevnt ovenfor, er basert på den teknologi som ligger til grunn for kraftproduksjonen. Innvirkning av kjøp og salg av opprinnelsesgarantier («grønne sertifikater») på emisjonsfaktorene er ikke tatt hensyn til.

2.3 Energibehov for dieserbiler

Motoren i nyere dieseldrevne biler (EU 6-standarden) har høyere virkningsgrad enn bensinbiler og bruker derfor også mindre drivstoff per kjørte km. Virkningsgraden, dvs. den andel av kjemisk energi i drivstoffet som omsettes til mekanisk arbeid, antas å være rundt 30 %.

Små biler bruker i dag mindre enn 5 liter diesel per 100 km, mens større biler bruker mer – selvfølgelig avhengig av forskjellige kjøremønstre.

Utslipet av klimagasser fra dieserbiler skyldes hovedsakelig forbrenning av drivstoff i bruksfasen av bilen (typisk ca. 90 %), mens utslippene fra produksjon av selve bilen spiller en mindre rolle (ca. 10 %). I tillegg må man ta hensyn til utslipp knyttet til produksjonen av drivstoffet (utvinning, transport, raffinering etc.).

Som beskrevet i en rapport av Koffi et al. (2017b), beregnes CO₂-utslippet fra forbrenning av fossile brennstoff på to måter: a) som CO₂-utslipp som kun hensyntar forbrenning av selve brennstoffet («standard approach») og b) ved bruk av livsløpsanalyser som også inkluderer utvinning, transport, raffinering og andre tap i verdikjeden («LCA approach»). Sistnevnte beregningsmåte resulterer følgelig i noe høyere utslippstall. Nevnte rapport angir at dette påslaget er 14 %, mens Buchal et al. (2019) angir 21 %.

2.4 Energibehov for elbiler

Under kjøring av en elektrisk bil overføres energien fra batteriet til elektromotoren som driver bilen. Denne motoren har høy virkningsgrad (ca. 95 %), og elektriske biler har i tillegg fordelen av å generere strøm ved nedbremsing og kjøring i nedoverbakker.

I en artikkel av Ellingsen et al. (2016) er strømforbruket angitt til 0,146 kWh/km for en liten bil med vekt 1100 kg og 0,207 kWh/km for en stor bil med vekt 2100 kg. (Biler med vekt imellom disse har mellomliggende strømforbruk-verdier.) De angitte tallene, som er basert på NEDC-standardene, inkluderer tap ved lading (4 %) og tap gjennom elektromotorvirkningsgrad (5 %).

Ifølge Autovista (2018) er energibehovet ved bruk av WLTP-standardene ca. 21 % høyere enn for NEDC-data, noe som skulle tilsi høyere energibrukstall enn det som er angitt over for de ulike bilstørrelsene. Imidlertid utvikler teknologien seg over tid, slik at tall som skrives fra ulike år, ikke uten videre kan sammenliknes.

En nokså ny test av 10 elbiler i ulike størrelser, fra små biler med ca. 200 km rekkevidde til store biler med ca. 400 km rekkevidde, viser WLTP-tall som strekker seg fra 0,122 kWh/km til 0,275 kWh/km (Autobest, 2018).

Det bemerkes imidlertid at energibehov i stor grad er avhengig av den enkeltes kjøremønster og at det reelle energiforbruket under kjøring er det som registreres i bilens display.

2.5 Elbilens bidrag i det nasjonale klimaregnskapet

Elbiler omtales ofte som «nullutslippsbiler» (Bilimportørens Landsforening, 2019; NAF, 2020a). Selv norske myndigheter bruker begrepet nullutslipp i omtale av elbiler (Regjeringen, 2017). En slik beskrivelse er misvisende ettersom klimafotavtrykket er svært avhengig av hva slags energi som benyttes til produksjon av både bil, batteri og strøm, som beskrevet ovenfor.

Fotavtrykket knyttet til elbil-produksjonen blir – i overensstemmelse med det internasjonale regelverket for nasjonal CO₂-rapportering – kun regnskapsført i produksjonslandet, ikke i Norge. Den første del av elbilens livssyklus regnes altså ikke med ved rapportering av de norske CO₂-utslippene og blir derved ikke synliggjort. Derved framstår fotavtrykket som svært lavt, særlig i et land som Norge, som produserer strøm vesentlig ved hjelp av vannkraft. Antakelig kan dette være en forklaring på at begrepet «nullutslippsbiler» har fått et slikt omfang.

2.6 Klimafotavtrykk fra batteriproduksjon

Det er forsket mye mht. miljømessige fotavtrykk fra batteriproduksjon (se f.eks. Ellingsen et al., 2016; Romare og Dahllöf, 2017; Helms et al., 2019; Jungmeier et al., 2019). Antagelsene mht. CO₂-utslipp fra batteriproduksjon varierer sterkt og flere metastudier poengterer at sikrere data bør fremskaffes.

Det synes imidlertid å være enighet om at nåværende batteriproduksjon (2019) har et fotavtrykk i området 100 – 200 kg CO₂ per kWh batterikapasitet og at klimafotavtrykket stort sett er proporsjonalt med batteristørrelsen. Det svenske miljøinstituttet IVL, som tidligere har regnet med utslipp på 150 – 200 kg_{CO2}/kWh, har i en nylig utkommet rapport (Emilsson og Dahllöf, 2019) antatt at CO₂-utslippet kun er 61 – 106 kg_{CO2}/kWh. Det understrekes imidlertid i denne rapporten at forfatterne har antatt nær fossilfrie teknologier i de nye beregningene, hvilket ikke representerer dagens situasjon, men tallene sier noe om potensialet i framtida.

Vi regner med at et utslipp på ca. 150 kg_{CO2}/kWh reflekterer klimafotavtrykket fra batterier produsert fram til 2020 – særlig med tanke på hvilke land råmaterialene kommer fra (Kina, Australia, Chile, Nigeria, India etc.) og hvilke land som i hovedsak produserer bilbatterier (Kina, Korea, Japan). En stor del av CO₂-utslippet skyldes forbruk av elektrisk kraft i land med høye utslipp av CO₂ grunnet bruk av fossilt brennstoff. Typisk har disse landene utslippsfaktorer over 500 g_{CO2}/kWh. Kina, Korea, Japan og Australia hadde i 2017 utslippsfaktorer på henholdsvis 624, 517, 492 og 800 g_{CO2}/kWh (Carbon Footprint, 2019).

Produksjon av elbil-batterier i et land som Norge, som har tilgang på grønn energi, vil kunne bidra til å redusere batterienes CO₂-fotavtrykk. Den siste tiden har det kommet medieoppslag som indikerer at oppstart av norsk batteriproduksjon, eller produksjon av komponenter til slike batterier, kan komme til å bli en realitet, bl.a. på Sørlandet (NRK, 2020), og i Porsgrunn (Herøya Industripark, 2020). Panasonic, Equinor og Hydro (TU, 2020) har dessuten nylig lansert planer for samarbeid om norsk batteriproduksjon. Alt dette er gode nyheter både med tanke på miljø og norsk industriutvikling.

2.7 Klimafotavtrykk fra kjøretøyproduksjon

En kinesisk studie, som tar for seg bilproduksjon i Kina (Li et al., 2019), rapporterer at fotavtrykket for produksjon av en dieselbil er ca. 3,8 t_{CO₂eq}/t (gjennomsnittstall for fire ulike bilstørrelser). En japansk studie (Kawamoto et al., 2019) oppgir 4,2 t_{CO₂eq}/t, mens det tilsvarende tallet oppgitt i en studie av Patterson (2018) er 3,5 t_{CO₂eq}/t. Det internasjonale energibyråets (IEAs) siste elbil-rapport (IEA, 2020) viser tall på ca. 4,4 t_{CO₂eq}/t, men dette inkluderer også avhending/resirkulering (som kan anslås til cirka 0,5 t_{CO₂eq}/t). Det er altså relativt godt samsvar mellom ulike kilder når det gjelder klimafotavtrykket for dieselkjøretøyproduksjon og et cirka-tall på 4,0 t_{CO₂eq}/t synes å være representativt.

Fotavtrykket for elbiler vil være betydelig høyere dersom man inkluderer batteriet. Kildene nevnt ovenfor har imidlertid tall som varierer mye mer for elbiler enn for dieselbiler. I studien av Li et al. (2019) er utslippene fra elbiler fra 70 % til 230 % høyere enn for dieselbiler av samme størrelse (gjennomsnitt 135 % høyere), Kawamoto et al. (2019) oppgir at elbilen har 82 % høyere fotavtrykk enn dieselbilen, studien av Patterson (2018) indikerer 97 % høyere fotavtrykk for elbilen, mens IEA (2020) har et tilsvarende tall på 79 %. Variasjonen skyldes ulike forutsetninger med hensyn til bl.a. batterikapasitet. Det er derfor mer hensiktsmessig å behandle fotavtrykket fra batterikjøretøyet eksklusivt batteri og så beregne fotavtrykket for batteriet for seg, jf. delkapittel 2.6. Ved beregning av fotavtrykk for batterikjøretøyet (uten batteri) kan det antas at det samme spesifikke fotavtrykket som for dieselbiler (4,0 t_{CO₂eq}/t) vil være representativt. Når man tar hensyn til at elbilen uten batteriet vil være lettere enn dieselbilen, blir det absolutte fotavtrykket knyttet til produksjonen tilsvarende lavere.

2.8 Betydningen av rekkevidde

En diesebil som fyller en tank på 60 liter kan forvente en rekkevidde på rundt 900 km. En vanlig elbil av omtrent samme fysiske størrelse vil ha langt kortere rekkevidde. Dette skyldes den relativt lave energitettheten i batterier sammenliknet med diesel som energikilde.

Mens de gamle blyakkumulatorene hadde en energitetthet på typisk 0,04 – 0,05 kWh/kg (1 kWh veide 20 – 25 kg), angir tidligere metastudier (Helms et al., 2019) en energitetthet for litiumionebatterier på 0,08 – 0,12 kWh/kg, og de forventer at energitettheten vil øke til 0,130 - 0,155 kWh/kg innen 2030. I henhold til nye opplysninger fra forskjellige bilprodusenter som Tesla, Volkswagen og Volvo (NAF, 2020b) er imidlertid dette nivået allerede oppnådd i 2020. Dette tyder på en rivende utvikling av nye batteriteknologier de siste årene.

Til sammenligning er imidlertid energitettheten til diesel 11,9 kWh/kg, dvs. typisk 80-90 ganger energitettheten i nåværende batterier. Riktignok er virkningsgraden for motoren i dieseler (ca. 30 %) mye lavere enn i elbiler (ca. 95 %), men selv når denne forskjellen tas i betraktning, har diesebilens energikilde en (effektiv) energitetthet som er ca. 25 ganger høyere enn i elbilen. Dette forklarer den store rekkevidden man oppnår med fossildrevne biler sammenliknet med elbiler. For å oppnå akseptabel rekkevidde for elbilen, må man følgelig ha et stort batteri, slik at mengden lagret energi kan økes.

En rekkevidde på 400 km burde for de fleste bilbrukere være tilstrekkelig under de fleste kjøreforhold. I tidsskriftet Motor (20. januar 2020) poengteres det imidlertid at rekkevidden til ladede biler reduseres med rundt 20 % om vinteren. For at elbil-brukere ikke skal ha «rekkeviddeangst», er det derfor avgjørende at det settes opp mange ladestasjoner og at disse blir flate-dekkende over hele Norge.

2.9 Batteriproduksjon og bærekraft

Litiumionebatteriet som benyttes i elbiler består av anode, katode, separator og elektrolytt. Under utlading (kjøring) vandrer litiumioner fra anoden til katoden, mens de

vandrer motsatt, fra katoden til anoden, ved lading av batteriet. Anoden består typisk av grafitt, mens katoden består av metalloksider, ofte av litium, nikkel, mangan og kobolt, men også andre metalloksider kan brukes. Elektrolytten må være flytende, men ikke vannholdig, og separatorene sikrer at kontakt mellom anode og katode ikke fører til kortslutning (Akku.Net, 2015).

Batteriene som i dag brukes i elbiler, krever energi knyttet til utvinning av råmaterialer og metallurgiske prosesser for omdanning av malmer/mineraler til metall og metallforbindelser. Produksjonen av batteriet krever i tillegg energi knyttet til celleproduksjon og sluttmontering av moduler tilpasset ulike biler og krav til bilenes bruksområder (batterienes kapasitet, bilens rekkevidde, behov for tilhengerfeste, årlig kjørelengde, etc.).

Det er både miljømessige og ressursmessige utfordringer med dagens batteriproduksjon. Ifølge IEA (2020) kan tilgjengelighet av råmaterialene kobolt og litium bli problematisk ved et fremtidig sterkt økende behov for batterier produsert med nåværende teknologier. Nigeria, som i dag er en sentral produsent av kobolt til batteriproduksjon, utvinner kobolt-mineraler delvis basert på barnearbeid (Amnesty International, 2019), hvilket ikke kan være i tråd med FNs bærekraftsmål (FN-sambandet, 2020).

EUs økonomiske og sosiale komite (The European Economic and Social Committee, EESC) understreket i et møte i Brussel 5. februar 2020 behovet for tiltak for å sikre tilgang på bærekraftige råmaterialer og teknologier ved produksjon av batterier. Per i dag produserer asiatiske land (Kina, Korea og Japan) ca. 95 % av cellene i bilbatteriene som brukes i Europa i dag, og det er derfor ønskelig at europeiske (herunder norske) firmaer tar del i dette viktige arbeidet for å gjøre batteriproduksjonen mer miljøvennlig.

2.10 Framtidas batterier

Det tyske Fraunhofer-instituttet for system- og innovasjonsforskning publiserte i desember 2017 en rapport om framtidas batteriproduksjon som vil spille en nøkkelrolle mht. elektromobilitet de neste 10-15 årene (Fraunhofer ISI, 2017). Instituttet antar at

enerigrike katoder i nikkell, mangan og kobolt (NMC) i kombinasjon med grafitt/silisium-anoder rundt 2030 kan oppnå energitettheter på 0,3 – 0,35 kWh/kg. På lengre sikt kan faststoffbatterier med litium-metall-anoder, litium-luft-batterier og andre teknologier resultere i at man oppnår enda høyere energitettheter.

Fraunhofer-instituttet ser videre for seg at fremtidens batterier vil ha kapasitet i området 60 – 80 kWh og tåle 1000 til 2000 ladesykluser. Dette vil føre til reduserte ladetider (få minutter) og bidra til at elbilen kan oppnå total kjørelengde opp mot 300 000 km.

Teknologiutviklingen hos Tesla forventes å gi energitettheter på 0,4 kWh/kg, økt batterilevetid og lavere batterikostnader i løpet av 4-5 år (Irvine og Rinaldo, 2020). Tesla planlegger også å gå bort fra kobolt som råmateriale og dessuten la batteripakken bli integrert i bilens karosseri, slik at man kan redusere vekten.

Et tysk-sveitsisk batteriteknologiselskap annonserte i 2019 at energitettheter opp mot 1 kWh/kg vil kunne oppnås det neste tiåret (Innolith, 2019), hvilket betyr at batteritettheten seksdobles sammenlignet med nåværende batterier.

Det amerikanske selskapet QuantumScape bruker i sine batterier en keramisk elektrolytt og opererer med en litium-metall anode som gir energitettheter på over 0,4 kWh/kg og oppnår ladetider på kun 15 minutter (lading fra 0 til 80%) (Lienert, 2020).

I tillegg til ladetetthet og ladetider må produksjonen av fremtidens batterier ta hensyn til råstoffinnsats og energiforbruk samt ha nødvendige utviklingsstrategier for avhending/resirkulering og eventuell bruk av utrangerte batterier til andre formål («2nd life»). Dessuten kommer viktigheten av å produsere batterier med lavest mulig produksjonskostnad.

3 Beregninger

I dette kapitlet er forskjellen på elbil og dieselbil, herunder betydningen av rekkevidde og størrelse, illustrert i form av noen konkrete beregningseksempler. Ulike framtidsscenarier er også beregnet. Beregningsmetodene er dokumentert i vedlegg A og B for henholdsvis elbil og dieselbil.

3.1 Input-data

Tabell 3.1 viser forutsetningene vi har lagt til grunn. Små og store biler blir sammenliknet, både elbiler og dieseler. Dessuten blir kjøring i Norge og i EU sammenliknet.

Typiske tall for kjørelengde (15000 km/år) og levetid (12 år) er satt like for alle bil-typer. De angitte verdier for vekt (kg) og batterienergitetthet (kWh/kg) for liten og stor elbil er avrundede gjennomsnittstall basert på tekniske spesifikasjoner for et utvalg små og store elbiler angitt på NAFs nettsider (NAF, 2020).

Masse- og lengdespesifikt el-forbruk (Wh/(km·tonn)) har vi beregnet med utgangspunkt i oppgitte data for rekkevidde (km), batterikapasitet (kWh) og brutto vekt (kg) av kjøretøy, også disse fra NAF (2020). Vektforskjellen mellom diesel- og elbil er et cirka-tall (10 %) basert på egne overslagsberegninger.

Energitap (4 %) ved lading er hentet fra Ellingsen et al. (2016), mens rekkevidden per lading (km) er cirka-tall basert på hva man typisk kan forvente for henholdsvis små (200 km) og store elbiler (500 km).

CO₂-fotavtrykket for kjøretøyproduksjon kg_{CO2}/kg er basert på studiene og beregningene omtalt i delkapittel 2.7.

Det massespesifikke energibehovet for batteriproduksjon (30 kWh/kg_{batteri}) har vi beregnet ut fra publiserte tall på CO₂-fotavtrykk på 15 kg_{CO2}/kg_{batteri} (Helms et al., 2019) og en antatt nettemisjonsfaktor på 0,5 kg_{CO2}/kWh der hvor batteriet produseres.

Nettemisjonsfaktorene for Norge og EU er basert på publiserte tall, mens gjennomsnittsfaktoren for batteriproduksjon er et cirkatall basert på faktorene i de aktuelle batteriproduksjonsland.

Tabell 3.1: Input-data benyttet ved beregning av klimafotavtrykk knyttet til produksjon og bruk av ulike biltyper.

Parameter	Enhet	A Liten elbil	B Stor elbil	C Liten dieselbil	D Stor dieselbil
Årlig kjørelengde	km/år	15 000	15 000	15 000	15 000
Levetid	år	12	12	12	12
Vekt av elbil med sjåfør (uten batteri)	kg	1 100	1 600	-	-
Vektforskjell (i forhold til elbil)	-	-	-	- 10 %	- 10 %
Batteriets energitetthet (for elbil)	kWh/kg	0,125	0,150	-	-
Masse- og lengdespesifikt el-forbruk	Wh/(km·tonn)	100	80	-	-
Energitap ved lading	-	4 %	4 %	-	-
Rekkevidde per lading	km	200	500	-	-
CO ₂ -utslippsfaktor for produksjon av kjøretøy (eksklusiv batteri for elbil)	kg _{CO2} /kg	4,0	4,0	4,0	4,0
Spesifikt energibehov for batteriproduksjon	kWh/kg	30	30	-	-
CO ₂ -nettemisjonsfaktor, batteriprod.	g _{CO2} /kWh	500	500	-	-
CO ₂ -nettemisjonsfaktor for Norge	g _{CO2} /kWh	47	47	-	-
CO ₂ -nettemisjonsfaktor for EU	g _{CO2} /kWh	381	381	-	-
Brenselforbruk ved kjøring	l/(km·t)	0	0	0,032	0,032
CO ₂ -utslippsfaktor for dieselforbrenning	kg _{CO2} /l	-	-	2,66	2,66
CO ₂ -utslippstillegg for dieselproduksjon	-	-	-	20 %	20 %

Tall på lengdespesifikt brenselforbruket ved kjøring av dieselbil (l/km), og vekt av dieselbil (kg) fins tilgjengelig på internett (for eksempel www.dinside.no/motor). Vi har basert på disse tallene beregnet det masse- og lengdespesifikke brenselforbruket (l/(km·t)) for en rekke modeller. Det viser seg at gjennomsnittstallet for ulike bilstørrelser varierer lite, og vi har derfor valgt å bruke samme tall for liten og stor bil. Vi har også antatt at forbrukstallene er like i Norge og i EU, selv om det sikkert kan være noen forskjeller basert på ulikt kjøremønster og klima.

Utslippsfaktoren for dieselforbrenning ($\text{kg}_{\text{CO}_2}/\text{l}$) er beregnet basert på tetthet (kg/l) og kjemisk sammensetning av diesel (kg_C/kg), under antakelse om fullstendig oksidasjon av karbonatomene.

CO_2 -fotavtrykket for produksjon av diesel er her tatt hensyn til gjennom et påslag på 20 % relatert til utslippet fra forbrenning, jf. delkapittel 2.3.

3.2 Output-data

Utvalgte output-data, beregnet basert på input-data og beregningsmetoder beskrevet i vedlegg A og B, er vist i tabell 3.2.

Tabell 3.2: Utvalgte output-data.

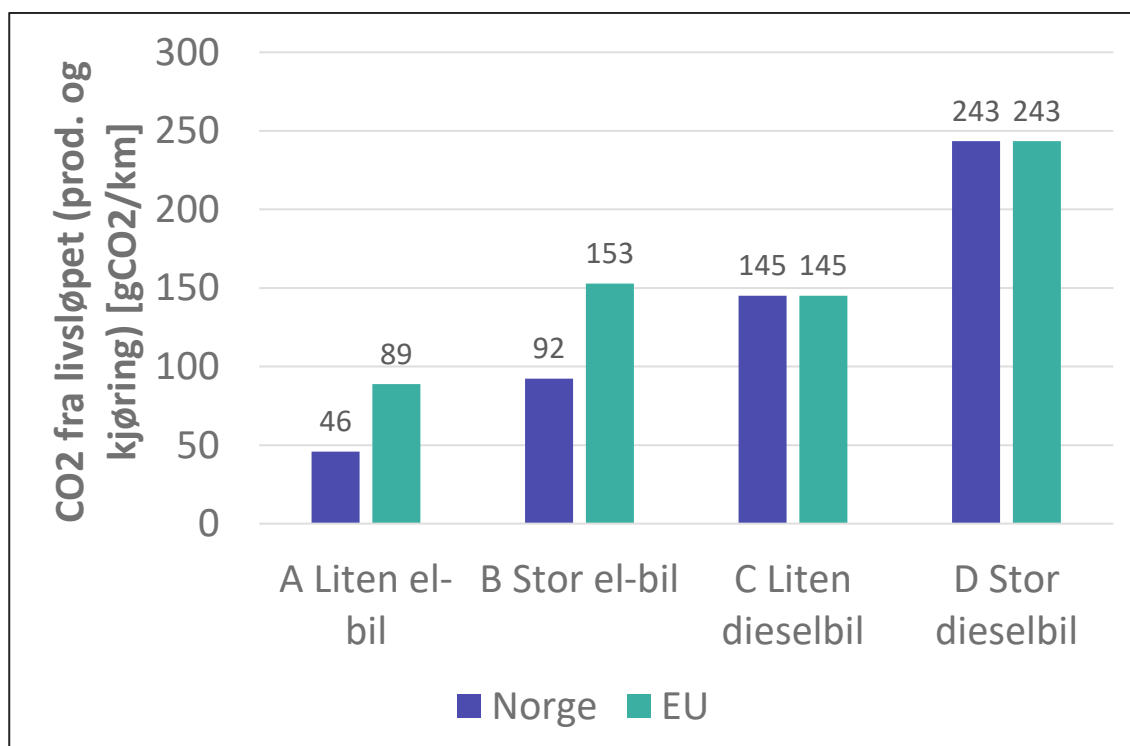
Parameter	Enhet	A Liten elbil	B Stor elbil	C Liten dieselbil	D Stor dieselbil
Vekt av batteri (for elbil)	kg	206	604	-	-
Vekt av kjøretøy med batteri og sjåfør	kg	1 301	2 179	1 178	1 969
Batterikapasitet	kWh	26	91	-	-
Brutto masse- og lengdespesifikt el-forbruk	Wh/(km·t)	99	83	-	-
Lengdespesifikt el-forbruk	kWh/km	0,128	0,181	-	-
Lengdespesifikt diesel-forbruk	l/km	-	-	0,038	0,063
CO_2 -utslipp fra bilproduksjon (eksklusiv batteri)	t_{CO_2}	4,1	6,0	4,4	7,6
CO_2 -utslipp fra batteriproduksjon	t_{CO_2}	3,1	9,1	-	-
CO_2 -utslipp fra kjøring i Norge	t_{CO_2}	1,1	1,5	21,7	36,2
CO_2 -utslipp fra kjøring i EU	t_{CO_2}	8,8	12,4	21,7	36,2
Totalt CO_2 -utslipp fra produksjon samt kjøring i Norge	t_{CO_2}	8,3	16,6	26,1	43,8
Totalt CO_2 -utslipp fra produksjon samt kjøring i EU	t_{CO_2}	16,0	27,5	26,1	43,8
Annualisert totalt CO_2 -utslipp fra produksjon samt kjøring i Norge	$\text{t}_{\text{CO}_2}/\text{år}$	0,7	1,4	2,2	3,7
Annualisert totalt CO_2 -utslipp fra produksjon samt kjøring i EU	$\text{t}_{\text{CO}_2}/\text{år}$	1,3	2,3	2,2	3,7

3.3 Livsløpsfotavtrykk for elbiler og dieserbiler (dagens situasjon)

Figur 3.1 og 3.2 viser hvordan input-tallene slår ut for de fire ulike biltypene vi har sett på, dvs. liten (A) og stor elbil (B) samt liten (C) og stor diesebil (D).

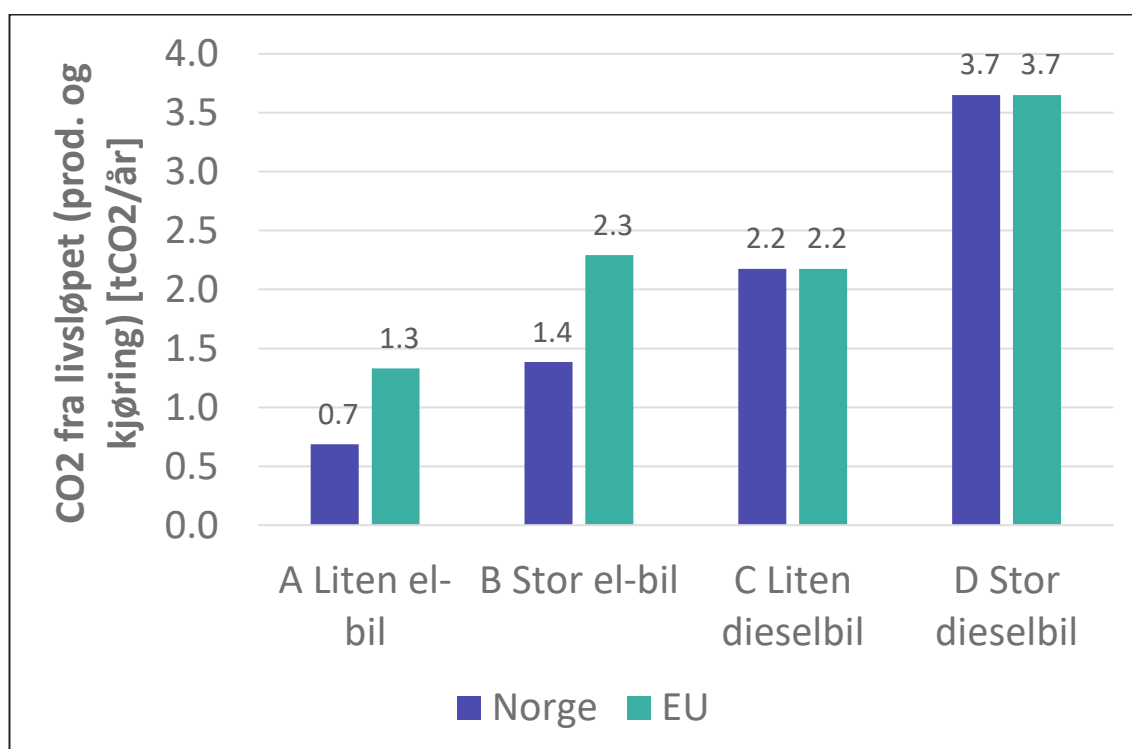
I Norge har en liten elbil et fotavtrykk på 46 g_{CO2}/km, som er omtrent 30 % av fotavtrykket til en liten diesebil (145 g_{CO2}/km). I EU er forskjellen mellom elbil og diesebil langt mindre (89 vs 145 g_{CO2}/km), noe som skyldes høyere fotavtrykk for strøm produsert i EU.

En stor elbil har betydelig større fotavtrykk enn en liten elbil pga. det økte fotavtrykket knyttet til batteriproduksjonen. I Norge er derfor fotavtrykket av en stor elbil (92 g_{CO2}/km) dobbelt så høyt som for den lille diesebilen. I EU har en stor elbil et fotavtrykk på 153 g_{CO2}/km, hvilket faktisk er mer enn fotavtrykket fra en liten diesebil, dog lavere enn fotavtrykket fra en stor diesebil (243 g_{CO2}/km).



Figur 3.1: Livsløpsutslipp av CO₂ per kjørt km for ulike biltyper.

Resultatene indikerer videre at en liten elbil kjørt i Norge har et årlig utslipp på 0,7 tonn CO₂. Om man antar at bilbruken deles på to personer i en husstand, får man et individuelt årlig elbilrelatert fotavtrykk på 0,35 tonn CO₂, dvs. om lag 12 % av det anbefalte maksimalutslipp på 3 tonn per person per år. Dette kan kanskje anses som miljømessig akseptabelt. Dette er derimot ikke tilfelle i EU, i hvert fall ikke for store elbiler (2,3 tonn per år).



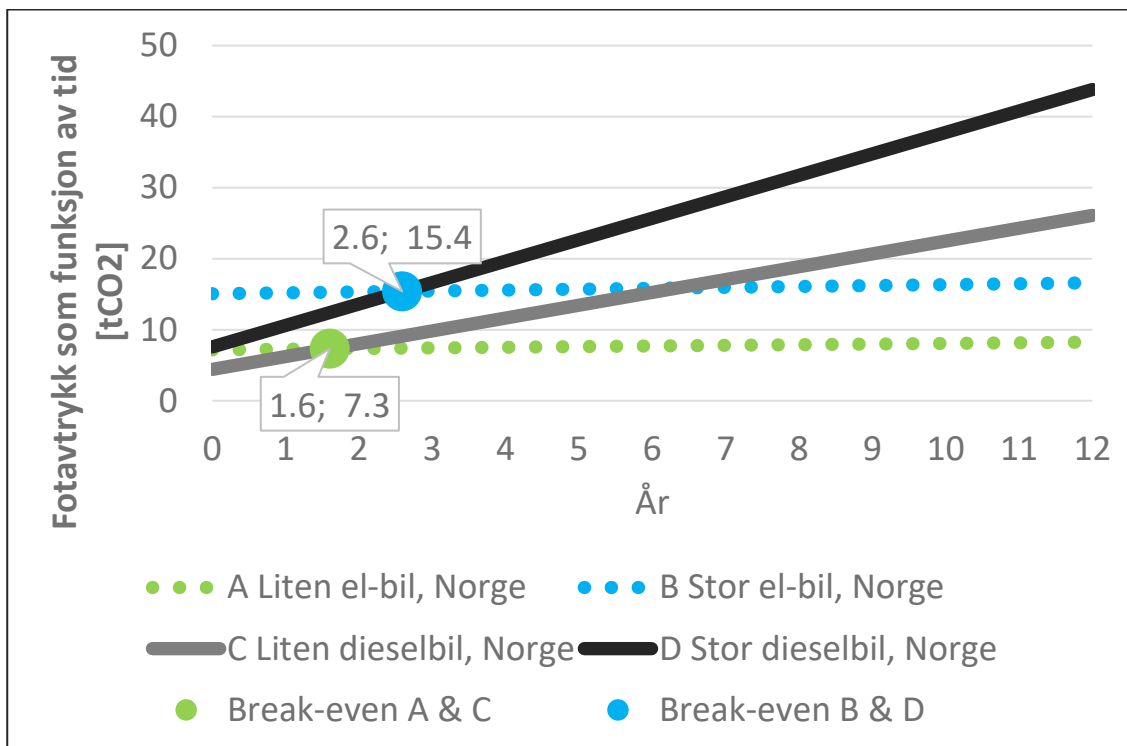
Figur 3.2: Livsløpsutslipp av CO₂ per år for ulike biltyper.

Ettersom klimafotavtrykket knyttet til produksjon av en elbil er høyere enn for en dieselbil, samtidig som elbilen har lavere fotavtrykk under kjøring, tar det en viss tid før de to har likt totalfotavtrykk («break-even»). Vi har derfor beregnet hvordan klimafotavtrykket endres over tid for de ulike bilstørrelsene, i Norge og EU, og resultatet er vist i henholdsvis figur 3.3 og 3.4.

Figur 3.3 viser at det i Norge tar kun 1.6 år (tilsvarende 7,3 tonn CO₂-utslipp) før en liten elbil begynner å spare inn CO₂ sammenliknet med en liten dieselbil. Etter dette øker fotavtrykket fra elbilen svært lite fordi nettemisjonsfaktoren i Norge er lav. Den lille

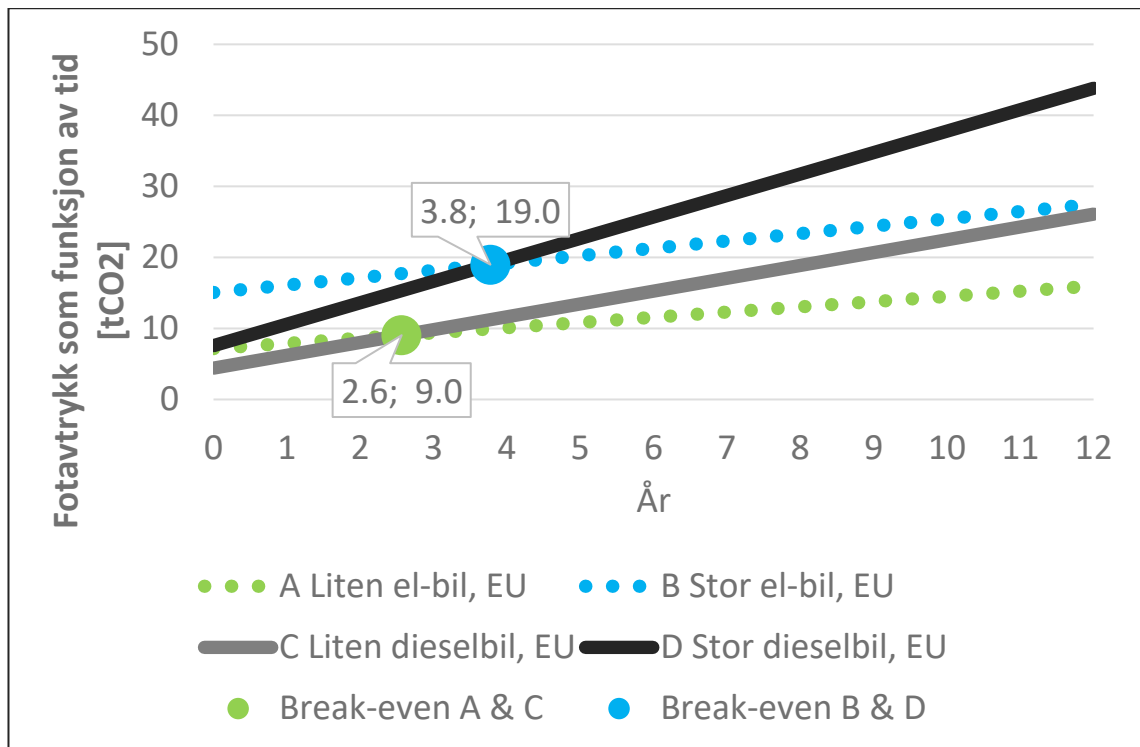
elbilen ender derfor opp med 8,3 tonn totalutslipp av CO₂ i løpet av livsløpet (12 år), mens den lille dieselbilen ender med 26,1 tonn (se tabell 3.2).

Figur 3.3 viser dessuten at store biler kjørt i Norge bruker ett år lengre, ca. 2,6 år (tilsvarende 15,4 tonn CO₂-utslipp), på å nå break-even. Utslippet ved enden av livsløpet er 16,6 tonn og 43,8 tonn for henholdsvis stor elbil og stor dieselbil (se tabell 3.2).



Figur 3.3: Break-even-fotavtrykk for små og store biler i Norge.

Figur 3.4 gir tilsvarende tall for biler kjørt i EU. Man ser at en liten elbil når break-even etter 2,6 år (tilsvarende 9,0 tonn CO₂), mens en stor elbil trenger 3,8 år (tilsvarende 19,0 tonn CO₂). Det totale klimafotavtrykket ved enden av livsløpet er 16,0 tonn for en liten elbil og 27,5 tonn for en stor elbil, dvs. betydelig høyere enn ved kjøring i Norge (se tabell 3.2). Dette skyldes høyere nettemisjonsfaktor i EU. De to dieselbilene har derimot det samme fotavtrykket i EU som i Norge ettersom utslippet ved både produksjon og kjøring er likt.



Figur 3.4: Break-even-fotavtrykk for små og store biler i EU.

3.4 Framtidsscenarier for elbilens klimafotavtrykk

I beregningene ovenfor er det forutsatt at input-tallene i tabell 1 ikke endres gjennom levetida. Imidlertid vil bl.a. EUs kvotemarked trolig føre til at de europeiske CO₂-utslippene over tid blir redusert. EU-landene har en målsetting om å redusere utslippene fra kvotepliktig sektor med 2,2 % per år fram til 2030 (EU-kommisjonen, 2020). Dette tallet stemmer relativt bra med den reduksjonen man har sett i EU hittil på 2000-tallet (Koffi et al, 2017b). Det er imidlertid behov for en betydelig større årlig reduksjon enn dette dersom man tilnærmet skal kunne nå nullutslippsmålet i 2050. Vi har derfor beregnet framtidsscenarier for elbilens klimafotavtrykk basert på at dagens nettemisjonsfaktorer vil være redusert til det halve i 2035, dvs. når halvparten av tidsperioden fra nå og fram til 2050 er over.

Det er videre svært sannsynlig at batteriproduksjonsteknologien vil utvikle seg i stor grad i løpet av de nærmeste årene, slik at klimafotavtrykket knyttet til produksjonen reduseres. Vi har lagt til grunn at batteriets energitetthet øker til 0,35 kWh/kg innen 2035 (Fraunhofer ISI, 2017) og at energiforbruket ved batteriproduksjon blir halvert.

Likeledes har vi lagt til grunn at klimafotavtrykket ved kjøretøyproduksjon (eksklusiv batteri) vil halveres som en konsekvens av halverte nettemisjonsfaktorer.

Det kan også tenkes at det masse- og lengdespesifikke energiforbruket for kjøring av elbiler vil reduseres litt i framtida, vi har derfor antatt en reduksjon fra 95 til 80 Wh/(km·t) for små elbiler og fra 80 til 70 Wh/(km·t) for store elbiler.

Videre kan det tenkes at levetida for elbilen vil være lengre i 2035 enn i dag, slik at den delen av fotavtrykket som stammer fra produksjonen, kan fordeles over flere år. Vi antar at en økning fra 12 til 16 år kan være mulig.

Endelig kan det også være interessant å se på endringer i brukerens krav til elbilen: En reduksjon i bilstørrelse, rekkevidde mellom hver lading (kanskje mest aktuelt for store elbiler) og årlig kjørelengde vil alle endre fotavtrykket i positiv retning.

Man kan dermed si at det er tre grupper av innvirkende faktorer (se tabell 3.3): A) faktorer som har å gjøre med utvikling av ny og bedre batteri- og bilteknologi, B) faktorer som er knyttet til endringer i energimix, dvs. gradvis overgang fra fossile til fornybare energikilder og C) faktorer som kan knyttes til at brukeren renonserer på kravene til elbilen.

Noen av de ovennevnte endringene vil også redusere dieselbilens klimafotavtrykk, men i langt mindre grad. I det følgende er det derfor kun innvirkningen på elbilen som er vist.

Figur 3.5 og 3.6 viser at innvirkningen av de ulike enkeltfaktorer (blå søyler) for kjøring av henholdsvis liten og stor elbil i Norge. Figur 3.7 og 3.8 viser tilsvarende for kjøring i EU. Innvirkningen av å endre alle faktorene på én gang (grønn søyle) er også vist.

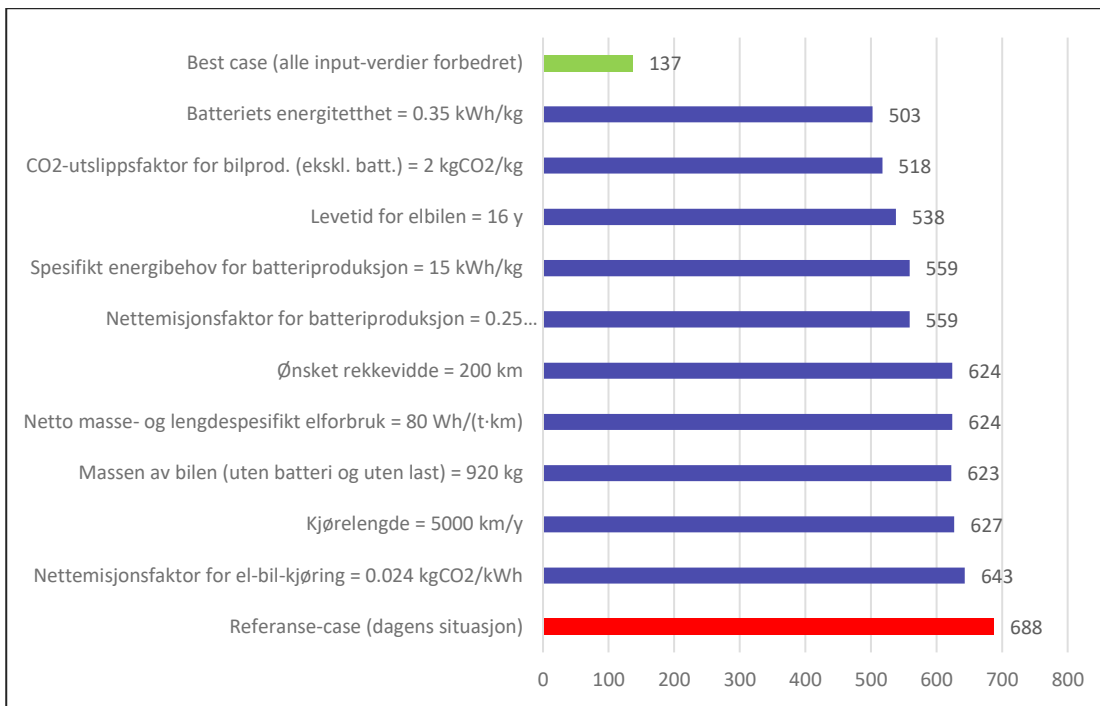
I Norge er det en økning i batteriets energitetthet til 0,35 kWh/kg som har størst betydning. Denne enkeltfaktoren vil redusere klimafotavtrykket til en liten elbil fra 688 til 503 kg/år (se figur 3.5). Nettemisjonsfaktoren for kjøring har derimot ikke så stor

betydning (reduksjon til 643 kg/år), noe som kan forklares med at emisjonsfaktoren i Norge er lav allerede i dag.

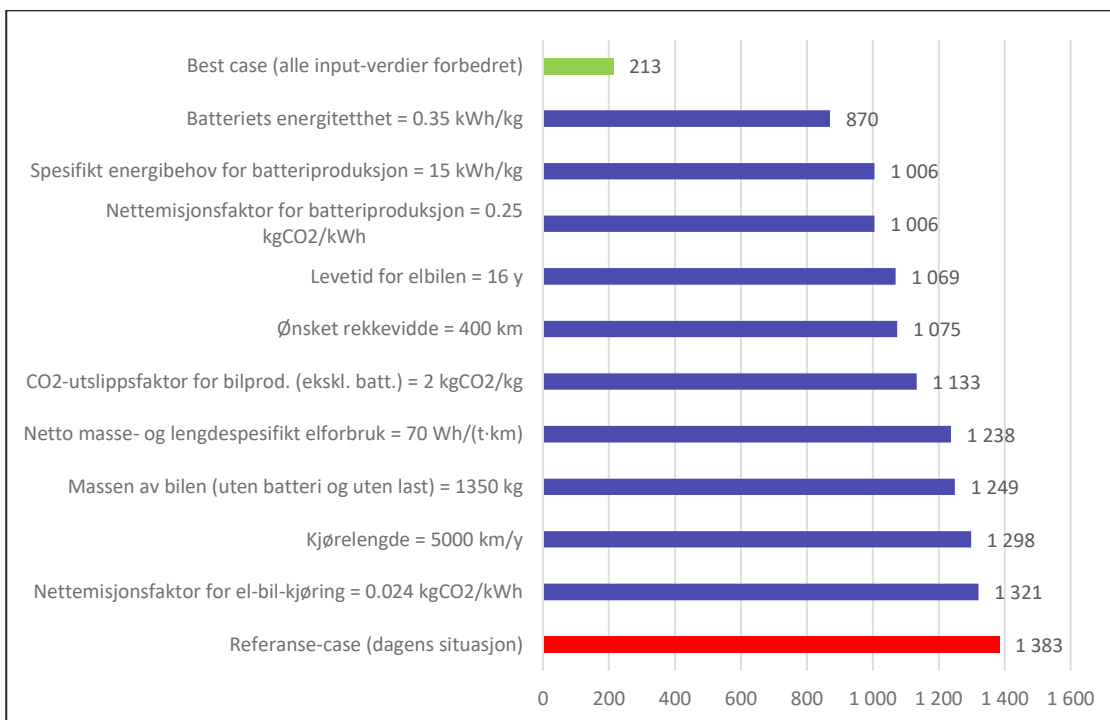
Ved kjøring av liten elbil i EU (se Figur 3.7) er det en annen rekkefølge på enkeltfaktorenes innvirkning. Kjørelengden er det enkeltbidraget som har størst betydning (fotavtrykksreduksjon fra 1331 til 842 kg/år). Dette skyldes den relativt høye nettemisjonsfaktoren i EU (sammenliknet med Norge). Dette er også grunnen til at en reduksjon i emisjonsfaktoren i EU har nest-størst innvirkning (fotavtrykksreduksjon fra 1331 til 964 kg/år).

Tabell 3.3: Endrede input-data som følge av framtidig utvikling i batteri-teknologi.

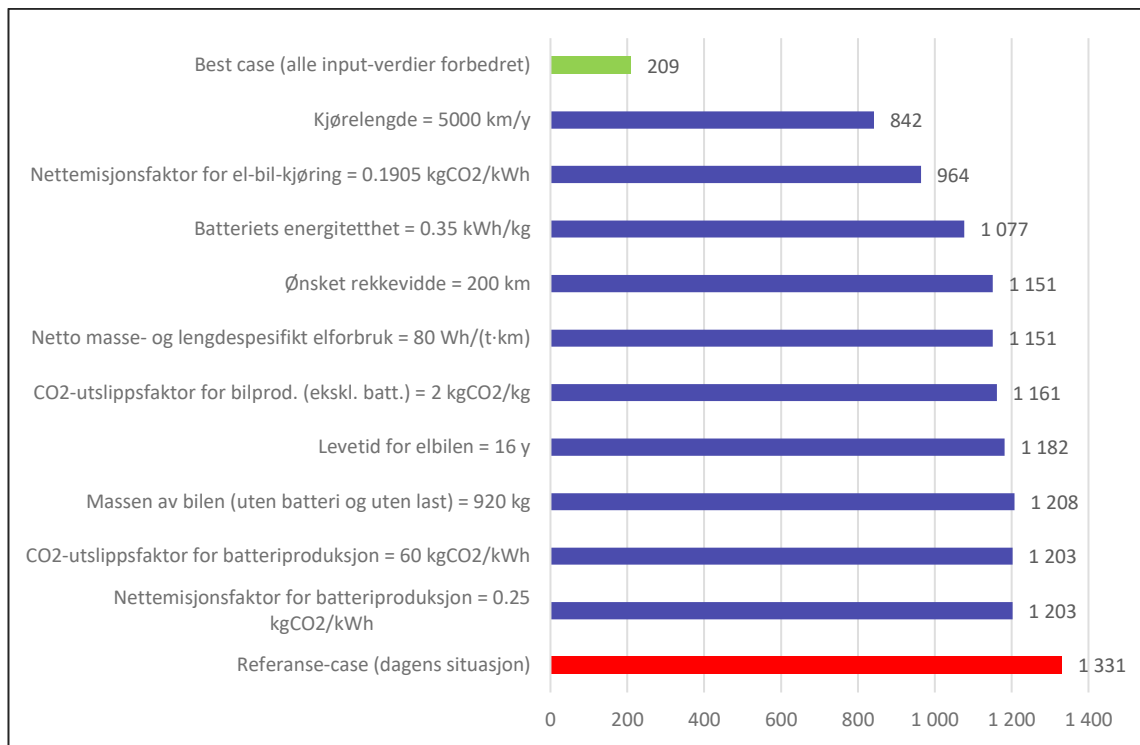
Type	Parameter	Enhet	Verdi i 2020	Antatt verdi i 2035
A	Batteriets energitetthet, for liten elbil	kWh/kg	0,135	0,350
A	Batteriets energitetthet, for stor elbil	kWh/kg	0,150	0,350
A	Masse- og lengdespesifikt el-forbruk, liten elbil	Wh/(km·tonn)	95	80
A	Masse- og lengdespesifikt el-forbruk, stor elbil	Wh/(km·tonn)	80	70
A	Levetid	År	12	16
A	Spesifikt energibehov for batteriproduksjon	kWh/kg	30	15
A/B	CO ₂ -utslippsfaktor for produksjon av kjøretøy (eksklusiv batteri for elbil)	kg _{CO2} /kg	4	2
B	CO ₂ -nettemisjonsfaktor, batteriprod.	g _{CO2} /kWh	500	250
B	CO ₂ -nettemisjonsfaktor for bruk i Norge	g _{CO2} /kWh	47	24
B	CO ₂ -nettemisjonsfaktor for bruk i EU	g _{CO2} /kWh	381	191
C	Massen av bilen (uten batteri og uten last), liten elbil	kg	1020	920
C	Massen av bilen (uten batteri og uten last), stor elbil	kg	1500	1350
C	Årlig kjørelengde (mindre reising)	km/år	15 000	5 000
C	Rekkevidde per lading, liten elbil	km	200	200
C	Rekkevidde per lading, stor elbil	km	500	400



Figur 3.5: Innvirkning på annualisert totalt CO₂-utslipp (kg/år) ved endring av enkeltfaktorer (blå søyler) og alle faktorer på én gang (grønn søyle), sammenliknet med dagens situasjon (rød søyle). Case: Liten elbil kjørt i Norge.



Figur 3.6: Innvirkning på annualisert totalt CO₂-utslipp (kg/år) ved endring av enkeltfaktorer (blå søyler) og alle faktorer på én gang (grønn søyle), sammenliknet med dagens situasjon (rød søyle). Case: Stor elbil kjørt i Norge.



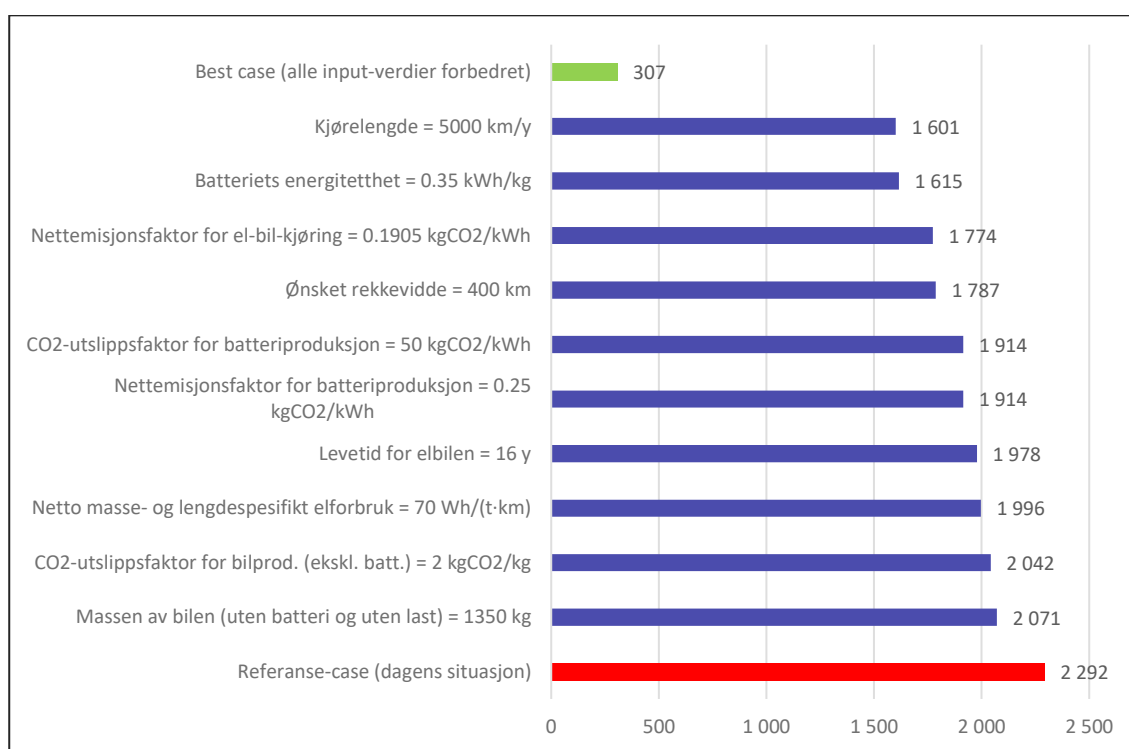
Figur 3.7: Innvirkning på annualisert totalt CO₂-utslipp ved endring av enkeltfaktorer (blå søyler) og alle faktorer på én gang (grønn søyle), sammenliknet med dagens situasjon (rød søyle). Case: Liten elbil kjørt i EU.

Også for store elbiler kjørt i EU (se figur 3.8) har kjørelengden størst betydning. Imidlertid ser man at en økning i batteriets energitetthet nå har større betydning enn for små elbiler, noe som skyldes at de store bilene har mye større batterier og derved står for en forholdsvis større del andel av fotavtrykket. Økt energitetthet alene reduserer fotavtrykket fra 2292 til 1615 kg/år.

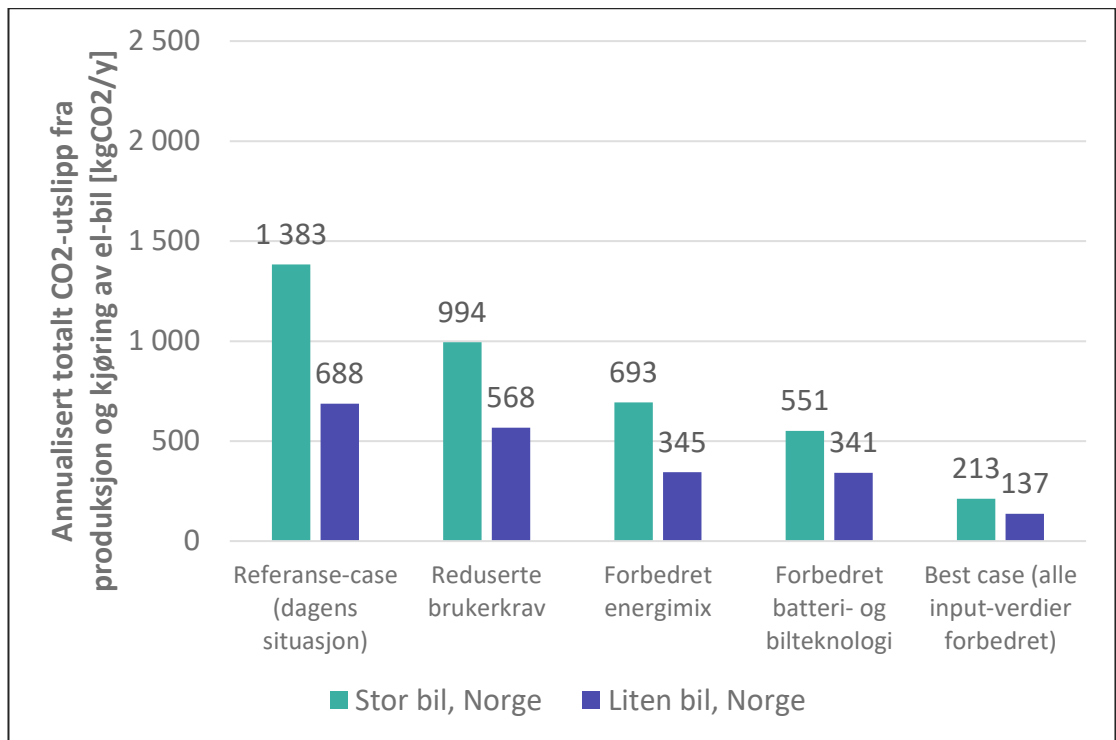
I Figur 3.9 er innvirkningen på årlig klimafotavtrykk ved endring av faktorene i hver av de tre faktorgruppene A, B og C vist, for kjøring av liten og stor elbil i Norge. Man ser at reduserte brukerkrav er mindre viktig enn endret energimix og forbedret batteri- og energiteknologi. En halvering av emisjonsfaktorene vil gi en reduksjon til 693 og 345 kg/år for henholdsvis stor og liten bil. Forbedret batteri- og bilteknologi er imidlertid enda mer effektivt, særlig for store elbiler. Alle faktorene samlet gir en reduksjon i klimafotavtrykk fra 688 til 137 kg/år for liten bil (80 % reduksjon). For stor bil reduseres fotavtrykket fra 1383 til 213 kg/år (85 % reduksjon). Disse potensielle framtidsværdiene

(137 og 213 kg/år) er lave og må kunne sies å være bærekraftige med tanke på at det er status halvveis fram til 2050 som betraktes.

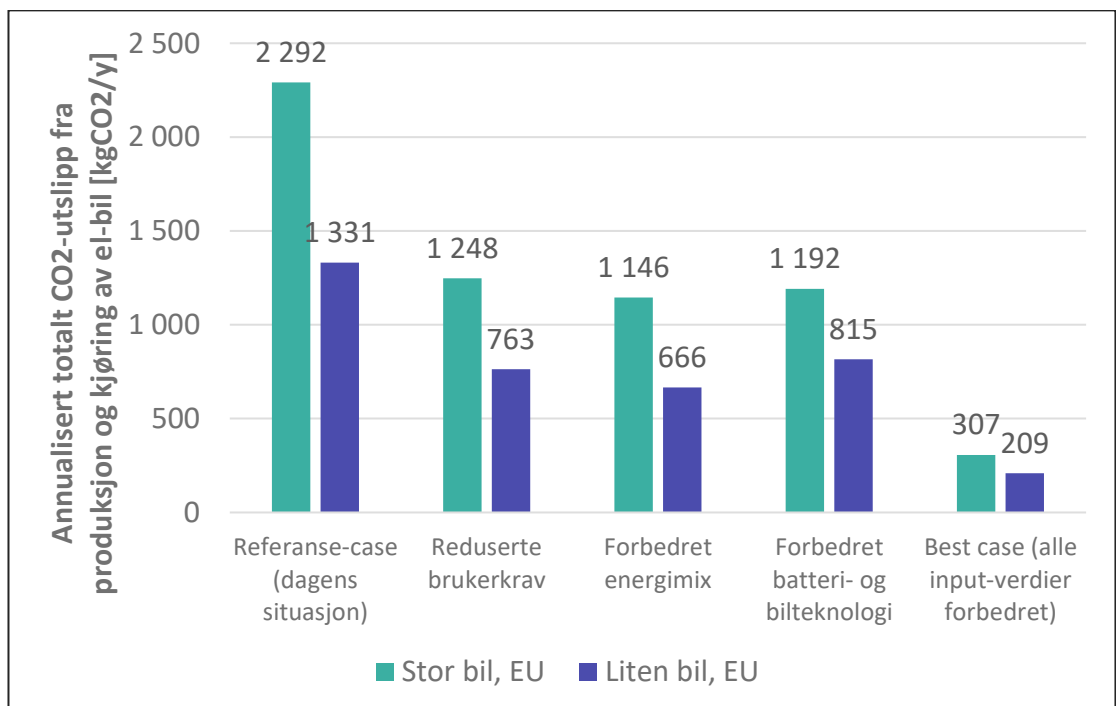
Figur 3.10 viser tilsvarende effekter for kjøring i EU. I dette caset er innvirkningen omtrent like stor fra hver av de tre enkeltgruppene av faktorer. Dette er tilfelle både får små og store elbiler. Man ser også at dersom alle faktorer forbedres, så vil det samlede fotavtrykket reduseres til 209 kg/år for små elbiler (85 % reduksjon) og 307 kg/år for store elbiler (87 % reduksjon). Også dette er lave verdier, som må kunne anses som bærekraftige.



Figur 3.8: Innvirkning på annualisert totalt CO₂-utslipp ved endring av enkeltfaktorer (blå søyler) og alle faktorer på én gang (grønn søyle), sammenliknet med dagens situasjon (rød søyle). Case: Stor elbil kjørt i EU.



Figur 3.9: Innvirkning på annualisert totalt CO₂-utslipp ved endring av faktorer knyttet til reduserte forbedret batteri og bilteknologi (A-faktorer), forbedret energimix (B-faktorer) og brukerkrav (C-faktorer), sammenliknet med dagens situasjon. Case: Norge.



Figur 3.10: Innvirkning på annualisert totalt CO₂-utslipp ved endring av faktorer knyttet til reduserte forbedret batteri og bilteknologi (A-faktorer), forbedret energimix (B-faktorer) og brukerkrav (C-faktorer), sammenliknet med dagens situasjon. Case: EU.

4 Hovedkonklusjoner

Som vi har vist ovenfor, fører produksjon og bruk av elbiler til utslipp av CO₂ både i Norge og i EU. Det er derfor misvisende å hevde at elbiler er nullutslippsbiler. Dette skyldes produksjon av bilenes batterier og bruk av kraft fra strømmettet, som delvis er produsert ved forbrenning av fossile brennstoff (kull, olje, gass), delvis ved bruk av fornybare teknologier.

Våre hovedkonklusjoner er som følger:

- **Klimabudsjett overskredet:** Globalt bør vi i tiden fram til 2050 begrense oss til et gjennomsnittlig *individuell klimafotavtrykk* på 3 t CO₂ per år og person. Bilkjøring alene står i dag for ca. 30 % av dette personlige, klimabudsjettet dette og er følgelig ikke bærekraftig.
- **Små elbiler best:** Overgang fra *fossil-bil til elbil i Norge* kan redusere personbilens klimafotavtrykk (gjennom livsløpet) med 68 % for små elbiler og 62 % for store biler.
- **Grønn kjørestrøm:** I EU – som i dag har langt mindre grønn strøm enn Norge – er fotavtrykks-reduksjonen ved overgang fra diesel- til elbil 39 og 37 % for små og store elbiler.
- **Liten elbil m/grønn strøm bærekraftig:** En liten elbil drevet av grønn strøm kan i Norge gi et fotavtrykk på ca. 0,7 t CO₂ per år, som ved bildeling (to personer per bil) kan anses å være tilnærmet bærekraftig i en overgangsperiode fram mot et nullutslippssamfunn. Grønnere strøm er således et avgjørende premiss for elbilens klimavennlighet!
- **Grønn produksjonsstrøm:** Likeledes vil grønnere strøm i batteri- og kjøretøyproduksjon på sikt forbedre elbilens bærekraft.
- **Bedre batterier:** Utvikling av batteriteknologien – herunder vektreduksjon, høyere energitetthet, raskere lading, lengre levetid og mer miljøvennlige råmaterialer – vil være avgjørende for elbilens videre utvikling og globale utbredelse. Dieselmotoren, som har vært utviklet gjennom mer enn 100 år, har neppe et tilsvarende forbedringspotensiale.

- **Betydelig potensiale for reduksjon i klimafotavtrykk fram mot 2035:** En kombinasjon av forventet utvikling i batteriteknologi (bl.a. økning i energitetthet til 0,35 kWh/kg), 50 % reduksjon i alle nettemisjonsfaktorer samt reduserte brukerkrav knyttet til årlig kjørelengde (70 % reduksjon), rekkevidde (200 km for små elbiler, 400 km for store) og bilstørrelse (10-15 % reduksjon) vil samlet sett kunne redusere elbilens klimafotavtrykk med cirka 85 % i 2035 sammenliknet med i 2020. Man kan dermed nå nivåer på i størrelsesorden 200-300 kg/år, som må kunne anses som bærekraftig både i Europa og Norge.
- **Norsk batteriproduksjon?** Den norske og grønne vannkraften gjør at en mulig *fremtidig norsk satsing på batteriutvikling og -produksjon* kan utvikle seg til å bli en viktig del av det «grønne skiftet». Dette kan skje ved målrettet grunnforskning på batteriområdet i norske forskningsmiljøer og ved at næringslivet, ved hjelp av virkemiddeltiltak i offentlig regi, aktivt investerer i ny batteriteknologi.

Referanser

- Akku.net (2015), "Lithium-Ionen-Akku – 10 spannende Fakten zur Herstellung des Energiespeichers", Akku.net – The Battery People, 26. februar 2015
- Amnesty International (2019), "Aksjon: Kongo. Vi vil ha etiske batterier", nettside aksessert mai 2020, <https://amnesty.no/aksjon/vi-vil-ha-etiske-batterier>
- Asplan Viak (2016), "Nordisk strøm blir renere", nettartikkel, 3. februar 2016 (<https://www.asplanviak.no/aktuelt/2016/02/03/nordisk-stroem-blir-renere/>)
- Autobest (2018), "First Independent European Real Range Test for Electric Vehicles", Nettside aksessert mai 2020, <http://autobest.org/first-european-independent-ev-real-range-test-press-release/>
- Autovista (2018), "WLTP Focus: Understanding disparities in WLTP and NEDC-correlated data", Autovista Group, nettside aksessert mai 2020, <https://autovistagroup.com/news-and-insights/wltp-focus-understanding-disparities-wltp-and-nedc-correlated-data>
- Bilimportørenes Landsforening (2019), "Kun salg av nullutslippsbiler i 2025 – BILs vurderinger", nettside aksessert mai 2020, <https://bilimportorene.no/vi-tror-pa-2025-malene/>
- Buchal, C., Karl, H., Sinn, H. (2019), "Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO2-Bilanz?" (tysk), Rapport, IFO Schnelldienst 8/2019
- Carbon Footprint (2019), "Carbon footprint - Country specific electricity grid greenhouse gas emission factors, last updated june 2019", Rapport, Carbon Footprint Ltd, tilgjengelig her: https://www.carbonfootprint.com/docs/2019_06_emissions_factors_sources_f_or_2019_electricity.pdf
- Hill et al. (2020), "Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA", Rapport, Europakommisjonen, 2020
- Elbil (2020), "Statistikk elbil - Bestand og markedsandel", nettside aksessert mai 2020, <https://elbil.no/elbilstatistikk/>
- Ellingsen, Singh og Strømman (2016), "The size and range effect: lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles", Environ. Res. Lett. 11, 054010
- Emilsson og Dahllöf (2019), "Lithium-Ion Vehicle Battery Production - Status 2019 on Energy Use, CO₂ Emissions, Use of Metals, Products Environmental Footprint,

- and Recycling”, Rapport, IVL Swedish Environmental Research Institute, Sverige, 2019
- EU-kommisjonen (2020), “Emissions cap and allowances”, nettside aksessert mai 2020, EU, https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/cap_en
- FN-sambandet (2020), “FNs bærekraftsmål”, nettside aksessert mai 2020, <https://www.fn.no/Om-FN/FNs-baerekraftsmaal>
- Fraunhofer ISI (2017), “Energiespeicher-Roadmap (Update 2017) – Hochenergie-Batterien 2030+ und Perspektiven Zukünftiger Batterietechnologien”, Rapport, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsvorschung, Tyskland, 2017
- Global Carbon Atlas (2020), nettside med data over globale karbonutslipp, aksessert mai 2020, <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>
- Global Carbon Project (2018), nettside mai 2020, <https://www.globalcarbonproject.org/>
- Helms, H., Kämper, C., Biemann, K., Lambrecht, U., Jöhrens, J., Meyer, K. (2019), “Klimabilanz von Elektroautos - Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial” (tysk), Rapport, Agora Verkehrswende
- Herøya Industripark (2020), “Elkem velger Herøya til gigantfabrikk for batterimateriale”, Herøya Industripark, nettside, aksessert august 2020, <https://www.heroya-industripark.no/aktuelt/elkem-velger-heroeya-til-gigantfabrikk-for-batterimateriale>
- Irvine, M. and Rinaldo, M. (2020): “Tesla’s Battery Day and the energy transition”, web article, DNV-GL, oktober 2020
- Innolith (2019), “Innolith Energy Technology brings 1000 km EV within range”, Innolith AG, nettside publisert 4. april 2019, <https://innolith.com/innolith-energy-technology-brings-1000km-ev-within-range/>
- IPCC (2018), “Summary for Policymakers” I: Masson-Delmotte et al.: “Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty”, World Meteorological Organization, Geneve, Sveits
- IEA (2019), “Global EV Outlook 2019 – Scaling-up the transition to electric mobility”, Rapport, International Energy Agency

- IEA (2020), "Global EV Outlook 2019 – Entering the decade of electric drive?", Rapport, International Energy Agency
- Jungmeier, G., Canella, L., Pucker-Singer, J., Beermann, M. (2019), "Geschätzte Treibhausgasemissionen und Primärenergieverbrauch in der Lebenszyklusanalyse von Pkw-basierten Verkehrssystemen" (tysk), Rapport, Johanneum Research Life
- Kawamoto, R., Mochizuki, H., Moriguchi, Y., Nakano, T., Motohashi, M., Sakai, Y. and Inaba, A. (2019): "Estimation of CO2 Emissions of Internal Combustion Engine Vehicle and Battery Electric Vehicle Using LCA", Sustainability, 11
- Koffi, B., Cerutti, A., Duerr, M., Iancu, A., Kona, A., Janssens-Maenhout, G. (2017a), "Covenant of Mayors for Climate and Energy: Default emission factors for local emission inventories, European Commission", Rapport, Joint Research Centre, Directorate Energy, Transport and Climate, Air and Climate unit
- Koffi, B., Cerutti, A., Duerr, M., Iancu, A., Kona, A., Janssens-Maenhout, G. (2017b), "CoM Default Emission Factors for the Member States of the European Union, Dataset Version 2017", Rapport, Joint Research Centre, Directorate Energy, Transport and Climate, Air and Climate unit
- Li, Y., Ha, N. and Li, T. (2019): "Research on Carbon Emissions of Electric Vehicles throughout the Life Cycle Assessment Taking into Vehicle Weight and Grid Mix Composition", Energies, 12
- Lienert, P. (2020), "VW-backed U.S. battery maker QuantumScape to go public at \$3.3 bln valuation", Web article, <https://www.reuters.com/article/quantumscape-ma-kensington-idUSL1N2FZ1K5>, Reuters, 3 September 2020
- Meinreiken, C.J., Lackner, K.S.: "Fleet view of electrified transportation reveals smaller potential to reduce GHG emissions", Applied Energy, 138, 393-403, 2018
- Miljødirektoratet (2020a), "Klimakur 2030: Tiltak og virkemidler mot 2030", Rapport M-1625 | 2020
- Miljødirektoratet (2020b), "Klimagassutslipp fra transport", Miljøstatus, nettside aksessert mai 2020, <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/klimagassutslipp-fra-transport/>

- NAF (2020a), “Kun nullutslippsbiler i 2025?”, nettside, Norges Automobil-Forbund, aksessert mai 2020, <https://www.naf.no/her-finner-du-naf/lokalavdelinger/lokalavdeling-bodo/artikkel/kun-nullutslippsbiler-i-2025-/>
- NAF (2020b) “Elbiler i Norge – Elbilguiden”, nettside, Norges Automobil-Forbund, aksessert september 2020, <https://www.naf.no/elbil/elbiler-i-norge/>
- Nealer, R. and Hendrickson, T.P. (2015), “Review of Recent Lifecycle Assessments of Energy and Greenhouse Gas Emissions for Electric Vehicles”, Curr Sustainable Renewable Energy Reports (2015), 2, pp. 66–73
- Nissan (2020), “Zero Emission”, nettside, Nissan Motor Corporation, aksessert 2020, <https://www.nissan-global.com/EN/ZEROEMISSION/HISTORY/LEAFMY18/>
- NRK (2020), “Vil bygge batterifabrikk til over fem milliarder kroner”, NRK Sørlandet, Nettside, aksessert august 2020, <https://www.nrk.no/sorlandet/vil-bygge-batterifabrikk-til-over-fem-milliarder-kroner-1.15023860>
- OFV (2020), “Kjøretøybestanden per 1. Mars 2020”, Opplysningsrådet for veitrafikken, <https://ofv.no/kjoretoybestanden/kj%C3%B8ret%C3%B8ybestanden-1-3-2020>
- Patterson, J. (2018): “Understanding the life cycle GHG emissions for different vehicle types and powertrain technologies – Final report for LowCVP”, Rapport nr. RD18-001581-2, Low Carbon Vehicle Partnership, August 2018
- Rangaraju, S, De Vroey, L., Messagie, M., Mertens, J., Van Mierlo, J. (2015), “Impacts of electricity mix, charging profile, and driving behavior on the emissions performance of battery electric vehicles: A Belgian case study”, Applied Energy, 148, s. 496–505
- Regjeringen (2017), “En grønnere transporthverdag”, Regjeringens nettsted, aksessert <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/en-gronnere-transporthverdag/id2548633/>
- Romare og Dahllöf (2017), “The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries A Study with Focus on Current Technology and Batteries for light-duty vehicles”, Rapport, IVL Swedish Environmental Research Institute, Sverige
- SNL (2020), “Personbiler i Norge”, nettside aksessert mai 2020, https://snl.no/personbiler_i_Norge

SSB (2020), "Utslipp til luft", Nettside, Statistisk sentralbyrå, oppdatert 2. november 2020, <https://www.ssb.no/klimagassn>

TU (2020), "Panasonic, Equinor og Hydro lanserer batterisamarbeid", Teknisk Ukeblad, <https://www.tu.no/artikler/panasonic-equinor-og-hydro-lanserer-batterisamarbeid/502875>

Voelcker, J. (2014), "1.2 billion vehicles on world's roads now, 2 billion by 2035: Report", Green Car Reports, nettsideartikkel fra juli 2014, aksessert 2020, https://www.greencarreports.com/news/1093560_1-2-billion-vehicles-on-worlds-roads-now-2-billion-by-2035-report

Wikipedia (2020a), "New European Driving Cycle", nettside aksessert mai 2020, https://en.wikipedia.org/wiki/New_European_Driving_Cycle

Wikipedia (2020b), "WLTP", nettside aksessert mai 2020, <https://no.wikipedia.org/wiki/WLTP>

Yu, A., Wei, Y., Chen, W., Peng, N., Leng, L.: "Life cycle environmental impacts and carbon emissions: A case study of electric and gasoline vehicles in China", Transportation Research Part D, 409-420, 2018

Vedlegg A Beregning av CO₂-fotavtrykk for elbil

Elbilens vekt, batterikapasitet og energibruk

Den totale massen av elbilen, $m_{el-bil,tot}$ [kg], er summen av kjøretøyets masse (uten batteri), m_{el-bil} [kg], batteriets masse, m_{batt} [kg], og massen av lasten, m_{last} [kg]:

$$m_{el-bil,tot} = m_{el-bil} + m_{batt} + m_{last} \quad (A.1)$$

Lasten vil være summen av massene av føreren, passasjerene og øvrig nyttelast. Ved angivelse av spesifikt energiforbruk for elbiler er det vanlig å legge til grunn lasten av kun sjåføren; dvs. massen av eventuelle passasjerer eller bagasje tas ikke med. Dette er for å muliggjøre sammenlikning på like premisser. 75 kg er standard masse for en sjåfør.

Batteriets masse, m_{batt} [kg], kan beregnes ved å dividere batterikapasiteten, E_{batt} [kWh], med energitettheten, \hat{E}_{batt} [kWh/kg]:

$$m_{batt} = \frac{E_{batt}}{\hat{E}_{batt}} \quad (A.2)$$

Batteriets energitetthet er avhengig av hva slags batteriteknologi som anvendes, og verdien kan variere litt mellom ulike produsenter. Energitettheten øker etter hvert som det skjer teknologiske framskritt.

Batteriets kapasitet anvendes på fremdrift av kjøretøyet, dvs. batterikapasiteten kan uttrykkes som produktet av elbilens rekkevidde per lading, L_{rv} [km], og det lengdespesifikke energiforbruket under kjøring, \hat{E}_{el} :

$$E_{batt} = L_{rv} \hat{E}_{el} \quad (A.3)$$

Det lengdespesifikke energiforbruket kan uttrykkes som produktet av elbilens totalmasse og det masse- og lengdespesifikke energiforbruket under kjøring, \tilde{E}_{el}

[kWh/(km·kg)] multiplisert med en ladetapsfaktor som hensyntar energitapet ved lading av elbilen, f_{lading} [-]:

$$\hat{E}_{el} = \tilde{E}_{el} f_{lading} m_{el-bil,tot} \quad (A.4)$$

Det lengde- og massespesifikke el-forbruket er en noenlunde konstant verdi, men den vil variere noe avhengig av luftmotstand og rullemotstand, dvs. den vil variere med bilens fysiske utforming. Ettersom luftmotstanden i stor grad er korrelert med bilens overflateareal vil verdien typisk være noe lavere for store biler fordi areal/masseforholdet avtar når bilstørrelsen øker.

Man kan spesifisere følgende verdier:

- bilens netto masse, m_{el-bil} (basert på hva slags bilstørrelse man har behov for),
- lastmassen ($m_{last} = 75$ kg; standard)
- elbilens rekkevidden per lading, L_{rv} (basert på hva slags transportbehov man har)
- batteriets energitetthet, \hat{E}_{batt} (basert på aktuell batteriteknologistatus)
- masse- og lengdespesifikt energibehov under kjøring, \tilde{E}_{el} (basert på erfaringstall for gjeldende bilstørrelse og utforming), inkludert et lite energitap ved lading
- ladetapsfaktoren, f_{lading} (basert på aktuell batteriteknologistatus)

Når disse seks verdiene er angitt, vil likning (A.1)-(A.4) utgjøre fire likninger med fire ukjente. Likningssettet kan følgelig løses, og man kan bestemme verdien på de ukjente:

- batteriets masse, m_{batt}
- kjøretøyets totalmasse, inkludert bil, batteri og last (dvs. fører), m_{tot}
- batteriets kapasitet, E_{batt}
- det lengdespesifikke el-forbruket, \hat{E}_{el}

CO₂-fotavtrykk fra produksjon av kjøretøyet

CO₂-fotavtrykket fra produksjon av selve kjøretøyet (uten batteri), $m_{CO_2,el-bil}$ [kgCO₂], er produktet av bilens masse, m_{el-bil} [kg], og CO₂-utslippsfaktoren for bilproduksjon, $f_{CO_2,bil}$ [kgCO₂/kg]:

$$m_{CO_2,el-bil} = m_{el-bil} f_{CO_2,bil} \quad (A.5)$$

CO₂-utslippsfaktoren kan antas å være konstant, og bilens masse er selvsagt avhengig av dens fysiske størrelse (lengde, bredde, høyde mv) og utforming, så denne vil variere.

CO₂-fotavtrykk fra produksjon av batteriet

CO₂-fotavtrykket fra produksjon av batteriet, $m_{CO_2,batt}$ [kgCO₂], er produktet av batterikapasiteten, E_{batt} [kWh], og den energispesifikke CO₂-utslippsfaktoren for batteriproduksjon, $f_{CO_2,batt}$ [kgCO₂/kWh]:

$$m_{CO_2,batt} = E_{batt} f_{CO_2,batt} \quad (A.6)$$

Beregning av batterikapasiteten er vist ovenfor.

Den energispesifikke CO₂-utslippsfaktoren for batteriproduksjon kan beregnes ved å dividere det massespesifikke CO₂-utslippet fra batteriproduksjon, $\hat{m}_{CO_2,batt,prod}$ [kgCO₂/kg], dividert med batteriets energitetthet, \hat{E}_{batt} [kWh/kg] (se ovenfor):

$$m_{CO_2,batt} = \frac{\hat{m}_{CO_2,batt,prod}}{\hat{E}_{batt}} \quad (A.7)$$

Det massespesifikke CO₂-utslippet fra batteriproduksjon er produktet av spesifikt energibehov for batteriproduksjon, $\hat{E}_{batt,prod}$ [kWh/kg], og nettemisjonsfaktoren for det land eller område der batteriet produseres, $f_{CO_2,nett,prod}$ [kgCO₂/kWh]:

$$\hat{m}_{CO_2,batt,prod} = \hat{E}_{batt,prod} f_{CO_2,nett,prod} \quad (A.8)$$

Det spesifikke energibehovet for batteriproduksjon kan antas å være konstant (inntil man har utviklet batteriproduksjonsmetoder som gir lavere fotavtrykk).

Nettemisjonsfaktoren vil falle etter hvert som faser ut fossile brensler og faser inn fornybare energikilder i kraftproduksjon.

Årlig CO₂-fotavtrykk fra kjøring av elbil

Det årlige CO₂-fotavtrykket fra kjøring med elbilen, $\dot{m}_{CO_2, kjøring, el}$ [kgCO₂/år], er produktet av det lengdespesifikke el-forbruket, \hat{E}_{el} [kWh/km], årlig kjørelengde, \dot{L}_{kl} [km/år], og nettemisjonsfaktoren der hvor bilen kjøres, $f_{CO_2, nett, kjøring}$ [kgCO₂/kWh]:

$$\dot{m}_{CO_2, kjøring, el} = \hat{E}_{el} \dot{L}_{kl} f_{CO_2, nett, kjøring} \quad (A.9)$$

Nettemisjonsfaktoren er avhengig av energimixen i landet hvor bilen kjøres. Den årlige kjørelengden er en parameter som kan spesifiseres avhengig av transportbehov.

Beregning av det lengdespesifikke el-forbruket, \hat{E}_{el} , er vist ovenfor.

Totalt CO₂-fotavtrykk for en elbil gjennom dens levetid

CO₂-fotavtrykk fra kjøring med elbilen gjennom hele dens levetid, $m_{CO_2, kjøring, el}$ [kgCO₂], er produktet av det årlige CO₂-fotavtrykket fra kjøring med elbilen, $\dot{m}_{CO_2, kjøring, el}$ [kgCO₂/år], og bilens levetid, t_{lt} [år]:

$$m_{CO_2, kjøring, el} = \dot{m}_{CO_2, kjøring, el} t_{lt} \quad (A.10)$$

Levetida kan fastsettes basert på erfaringstall og kan slik sett anses som kjent, mens det årlige CO₂-fotavtrykket er vist i forrige avsnitt.

Summen av CO₂-fotavtrykkene fra bilproduksjon ($m_{CO_2, el-bil}$ [kgCO₂]), batteriproduksjon ($m_{CO_2, batt}$ [kgCO₂]) og kjøring ($m_{CO_2, kjøring, el}$ [kgCO₂]) gir det samlede CO₂-fotavtrykket, $m_{CO_2, tot, el}$ [kgCO₂]:

$$m_{CO_2,tot,el} = m_{CO_2,el-bil} + m_{CO_2,batt} + m_{CO_2kjøring,el} \quad (A.11)$$

Annualisert totalt CO₂-fotavtrykk for en elbil

Det totale årlige CO₂-fotavtrykket for elbilen, $\dot{m}_{CO_2,tot,el}$ [kg/år], kan beregnes som det totale CO₂-fotavtrykket, $m_{CO_2,tot,el}$ [kg], dividert med levetida, t_{lt} [år]:

$$\dot{m}_{CO_2,tot,el} = \frac{m_{CO_2,tot,el}}{t_{lt}} \quad (A.12)$$

Vedlegg B Beregning av CO₂-fotavtrykk for dieselbil

CO₂-fotavtrykk fra produksjon av kjøretøyet

CO₂-fotavtrykket fra produksjon av kjøretøyet, $m_{CO_2,diesel-bil}$ [kg_{CO2}], er produktet av bilens masse, $m_{diesel-bil}$ [kg], og CO₂-utslippsfaktoren for bilproduksjon, $f_{CO_2,bil}$ [kg_{CO2}/kg]:

$$m_{CO_2,diesel-bil} = m_{diesel-bil} f_{CO_2,bil} \quad (B.1)$$

CO₂-utslippsfaktoren for kjøretøysproduksjonen kan antas å være konstant.

Dieselbilens masse bør være basert på en størrelse som er sammenliknbar som elbilens størrelse og bør derfor beregnes ut fra elbilens masse (dvs. netto masse (uten batteri), m_{el-bil} , og batteriets masse, m_{batt}) og en vektreduksjonsfaktor, $f_{diesel-el}$, som angir hvor mye lettere dieselbilen er enn elbilen:

$$m_{diesel-bil} = (m_{el-bil} + m_{batt})(1 - f_{diesel-el}) \quad (B.2)$$

Vektreduksjonsfaktoren kan antas å være konstant (typisk ca. 10 %).

CO₂-utslippsfaktor for dieselforbrenning

Utslippsfaktoren knyttet til dieselforbrenning, $f_{CO_2,diesel,forbr}$ [kg_{CO2}/l], er produktet av dieselens massetetthet, ρ_{diesel} , og den massespesifikke utslippsfaktoren for dieselforbrenning, $\hat{f}_{CO_2,diesel,forbr}$ [kg_{CO2}/kg]:

$$f_{CO_2,diesel,forbr} = \hat{f}_{CO_2,diesel,forbr} \rho_{diesel} \quad (B.3)$$

Dieselens tetthet kan anses å være en konstant. Det samme gjelder den massespesifikke utslippsfaktoren, som kan beregnes basert på den kjemiske sammensetninga til diesel (en blanding av ulike hydrokarboner).

Utslippsfaktoren knyttet til produksjonen av diesel, $f_{CO_2,diesel,prod}$ [kgCO₂/l], kan uttrykkes som produktet av utslippsfaktoren knyttet til dieselforbrenning, $f_{CO_2,diesel,forbr}$ [kgCO₂/l], og en produksjonstilleggsfaktor, $r_{CO_2,diesel,prod}$ [%]:

$$f_{CO_2,diesel,prod} = f_{CO_2,diesel,forbr} r_{CO_2,diesel,prod} \quad (B.4)$$

Tilleggsfaktoren vil kunne variere for ulike produksjonsland, men kan for denne beregningens skyld anses å være en konstant.

Den totale CO₂-utslippsfaktoren for diesel, $f_{CO_2,diesel,tot}$ [kgCO₂/l], er summen av utslippsfaktoren knyttet til dieselforbrenning, $f_{CO_2,diesel,forbr}$ [kgCO₂/l], og utslippsfaktoren knyttet til dieselproduksjon, $f_{CO_2,diesel,prod}$ [kgCO₂/l]:

$$f_{CO_2,diesel,tot} = f_{CO_2,diesel,forbr} + f_{CO_2,diesel,prod} \quad (B.5)$$

Årlig CO₂-fotavtrykk fra kjøring av dieselbil

CO₂-utslippsfaktoren for dieseldilkjøring, $\hat{m}_{CO_2,kjøring,diesel}$ [kgCO₂/km], er produktet av det lengdespesifikke dieselforbruket, \hat{V}_{diesel} [l/km], og den totale CO₂-utslippsfaktoren for diesel, $f_{CO_2,diesel,tot}$ [kgCO₂/l]:

$$\hat{m}_{CO_2,kjøring,diesel} = \hat{V}_{diesel} f_{CO_2,diesel,tot} \quad (B.6)$$

Det lengdespesifikke dieselforbruket, \hat{V}_{diesel} [l/km], kan beregnes som produktet av det masse- og lengdespesifikke dieselforbruket, \tilde{V}_{diesel} [l/(km·t)], og dieseldilens totale masse:

$$\hat{V}_{diesel} = \tilde{V}_{diesel} m_{diesel-bil,tot} \quad (B.7)$$

Dieseldilens totale masse vil være summen av dilens masse uten fører og massen av føreren (lasten), som vil være den samme som for en elbil (75 kg er standard):

$$m_{diesel-bil,tot} = m_{diesel-bil} + m_{last} \quad (B.8)$$

Det masse- og lengdespesifikke dieselforbruket, \tilde{V}_{diesel} [l/(km·t)] kan variere litt med bilens form (ulik luftmotstand), men vil være noenlunde konstant.

Det årlige CO₂-fotavtrykket fra kjøring med dieselbilen, $\dot{m}_{CO_2kjøring,diesel}$ [kgCO₂/år], er produktet av CO₂-utslippsfaktoren for dieselbilkjøring, $\hat{m}_{CO_2,kjøring,diesel}$ [kgCO₂/km], og årlig kjørelengde, \dot{L}_{kl} [km/år]:

$$\dot{m}_{CO_2,kjøring,diesel} = \hat{m}_{CO_2,kjøring,diesel} \dot{L}_{kl} \quad (B.9)$$

Totalt CO₂-fotavtrykk for en dieselbil gjennom dens levetid

CO₂-fotavtrykk fra kjøring med dieselbilen gjennom hele dens levetid, $m_{CO_2,kjøring,diesel}$ [kgCO₂], er produktet av det årlige CO₂-fotavtrykket fra kjøring med dieselbilen, $\dot{m}_{CO_2,kjøring,diesel}$ [kgCO₂/år], og bilens levetid, t_{lt} [år]:

$$m_{CO_2,kjøring,diesel} = \dot{m}_{CO_2,kjøring,diesel} t_{lt} \quad (B.10)$$

Summen av CO₂-fotavtrykkene fra bilproduksjon, $m_{CO_2,diesel-bil}$ [kgCO₂] og kjøring, $m_{CO_2,kjøring,diesel}$ [kgCO₂], gir det samlede CO₂-fotavtrykket, $m_{CO_2,tot,diesel}$ [kgCO₂]:

$$m_{CO_2,tot,diesel} = m_{CO_2,diesel-bil} + m_{CO_2,kjøring,diesel} \quad (B.11)$$

Annualisert totalt CO₂-fotavtrykk for en dieselbil

Det totale årlige CO₂-fotavtrykket for dieselbilen, $\dot{m}_{CO_2,tot,diesel}$ [kg/år], kan beregnes som det totale CO₂-fotavtrykket, $m_{CO_2,tot,diesel}$ [kg], dividert med levetida, t_{lt} [år]:

$$\dot{m}_{CO_2,tot,diesel} = \frac{m_{CO_2,tot,diesel}}{t_{lt}} \quad (B.12)$$