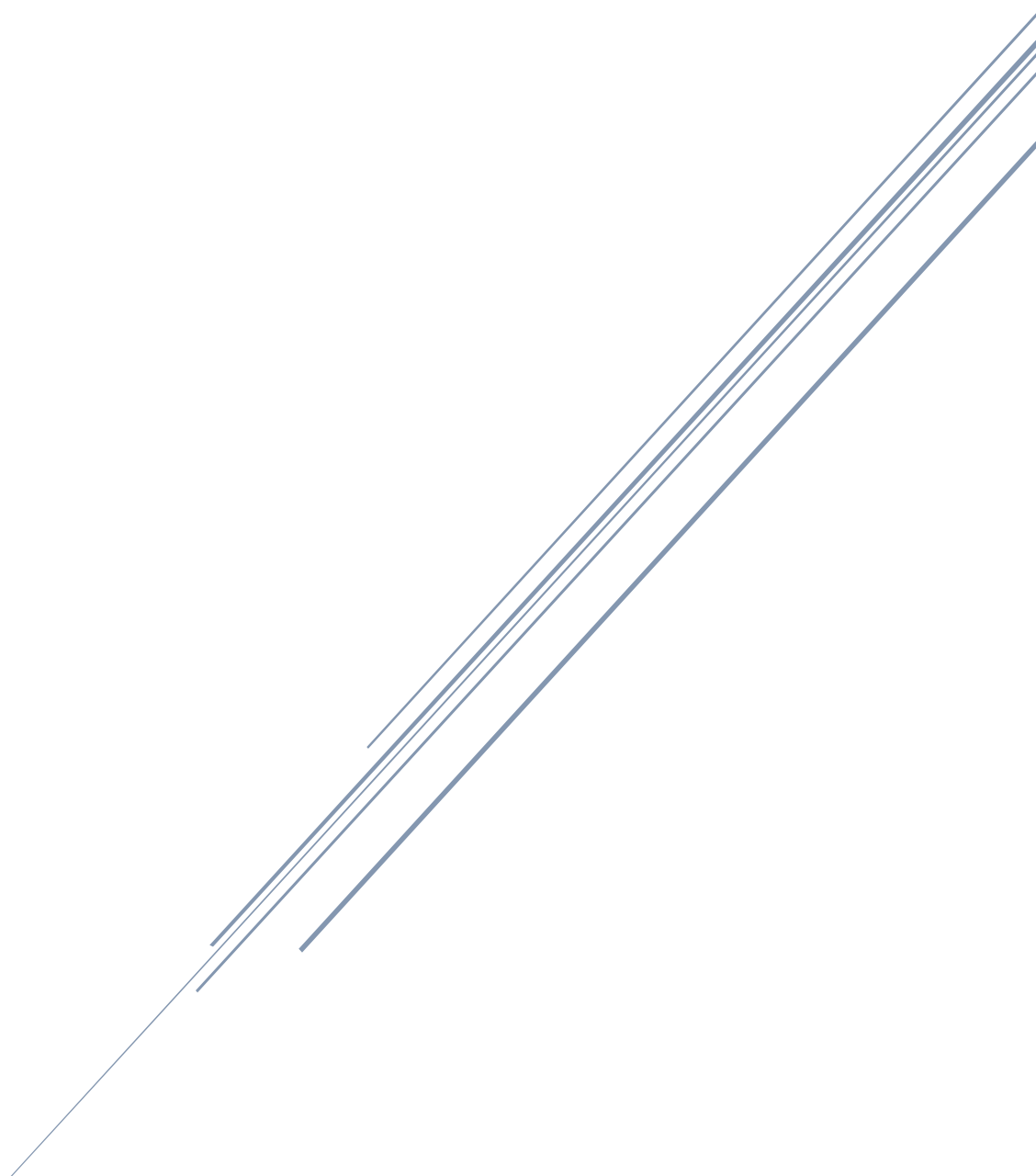


KLIMAGASSUTSLIPP VED ULIKE DRIVLINJER OG DRIVSTOFF

En litteraturgjennomgang og vurdering av begrepet
nullutslippskjøretøy i en klimasammenheng



Svein Thompson, Stakeholder AS
Februar 2020

Innholdsfortegnelse

Om rapporten.....	1
Sammendrag	2
Valg av forutsetninger	5
Oppsummert	6
Definisjon av nullutslippskjøretøy	7
Livssyklusanalyser (LCA).....	7
LCA-studier av personbiler	8
Utslipp knyttet til størrelsen på bilen	8
Utslipp knyttet til batteriproduksjonen.....	10
Utslipp fra produksjon og etterhåndtering av kjøretøy	12
Klimagassutslipp i driftsfasen	13
Samlede utslipp fra produksjon og kjøring personbil.....	15
Norske forhold.....	17
Hvilket karbonutslipp skal vi tillegge strømforbruket?	20
Tunge kjøretøy	21
Elektrifisering av busser	21
Elektriske lastebiler	22

Om rapporten

Notatet er laget på oppdrag for Drivkraft Norge, som organiserer de som omsetter drivstoff i Norge. Oppdraget er å gå igjennom livssyklusstudier som beskriver klimaeffekten av ulike drivstoff og drivlinjer for personbiler og tunge kjøretøy gjennom hele levetiden. Samt å vurdere dette opp mot den definisjonen norske myndigheter har lagt til grunn for «nullutslippskjøretøy» i inneværende Nasjonal transportplan (2018-2029).

Sammendrag

Nasjonal transportplan for perioden 2018-2029 har lagt grunnlaget for norske myndigheters videre arbeid med klimatiltak rettet mot transportsektoren. Det ble blant annet formulert en definisjon av nullutslippskjøretøy og satt spesifikke mål for innfasing av disse i perioden frem til 2030.

Den vanlige definisjonen av nullutslippskjøretøy er et kjøretøy som ikke slipper ut eksos eller andre skadelige stoffer basert på det drivstoffet og drivlinjen den anvender. I de første definisjonene av nullutslippsbiler som kom i California¹ rundt 1990 var myndighetene opptatt av alle utslipp knyttet til eksosen – unntatt CO₂. Den gangen var det fokus på bly, monodioksid, uforbrent drivstoff og sot.

I omtalen av nullutslippskjøretøy i Nasjonal transportplan 2018-2029, lagt frem våren 2017, ble nullutslippskjøretøy knyttet til *kun* klimagasser. «Begrepet nullutslippsteknologi i transport omfatter bruk av elektrisitet og hydrogen som energikilde i batterier eller brenselceller, som ved bruk ikke har utslipp av klimagasser».²

Men for effekten på det globale klima er det det samlede utslippet av klimagasser gjennom hele kjøretøyets levetid som er avgjørende. Derfor er det viktig å gjennomføre livssyklusanalyser (LCA-studier) for å kunne sammenligne klimaeffekten av ulike kjøretøytyper. Utslippene oppstår i fire faser av kjøretøyets levetid:

- Råstoffproduksjon: Fremskaffelse av de materialer som trengs for å lage kjøretøyet.
- Produksjonsfasen: Utslipp knyttet til bearbeiding av råstoffene frem til ferdig kjøretøy, inklusive eventuelle batterier.
- Driftsfasen: Utslipp knyttet forbruk av drivstoff, inklusive produksjon av drivstoffet; utslipp ved produksjon av strømmen til en el-bil; utslipp knyttet til vedlikehold (dekk, oljeskift etc).
- End-of-use: Håndtering av kjøretøy inklusive batterier, slik at de igjen blir nyttige råstoffer/materialer.

Gjennomgang av ulike LCA-studier rettet mot personbiler viser følgende tre hovedtrekk:

1. Alle biler har et betydelig CO₂-utslipp per produsert kjøretøy uavhengig av drivlinjen. Utslippet øker med bilens størrelse.
2. Utslipp fra selve batteriproduksjonen utgjør en betydelig andel av CO₂-utslipp fra en el-bil og gir en ekstra klimaulempe for el-bilen. Ved å flytte batteriproduksjonen til områder med ren strøm, kan utslippet fra batteriene cirka halveres sammenlignet med i dag.
3. I driftsfasen vil karboninnholdet i drivstoffet dominere klimagassutslippet fra en forbrenningsmotor, inklusive utslipp fra produksjon av drivstoffet; mens karboninnholdet i den strømmen som brukes til å lade el-kjøretøyet vil bidra tungt til klimagassutslippet fra et el-kjøretøy.

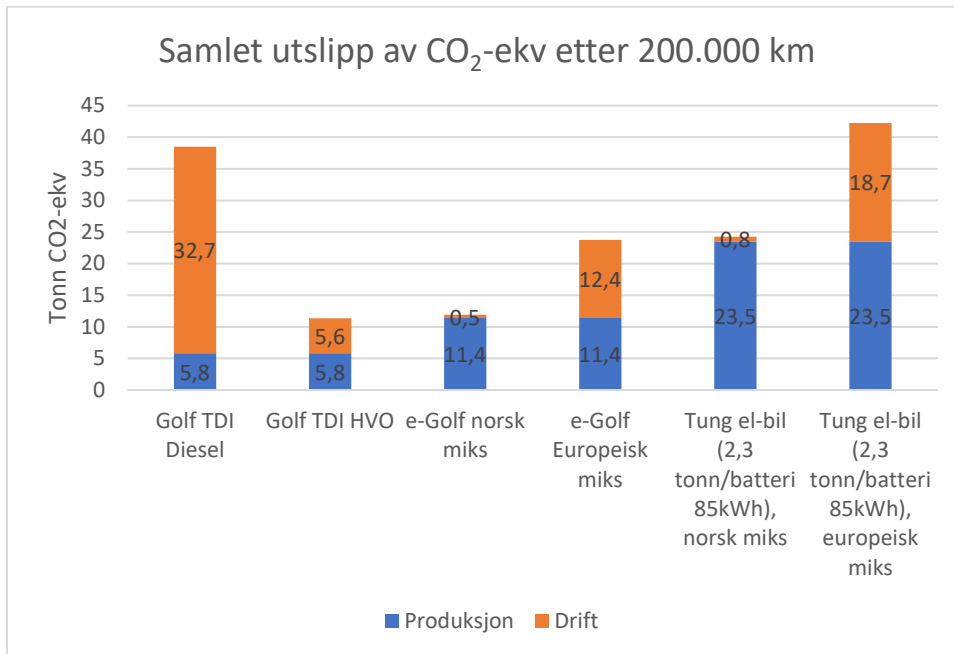
Det er ingen generell fasit på hvilken type kjøretøy som vil gi lavest klimafotavtrykk gjennom kjøretøyets levetid. Jo tyngre bilen er og jo større batteriet er, jo større vil CO₂-utslippet fra en el-bil være. Det samme gjelder for en bil med forbrenningsmotor: jo tyngre den er og jo større motoren er, jo større vil CO₂-utslippet være. Mens innblanding av biodrivstoff vil påvirke CO₂-

¹ Se denne artikkelen for en oversikt :

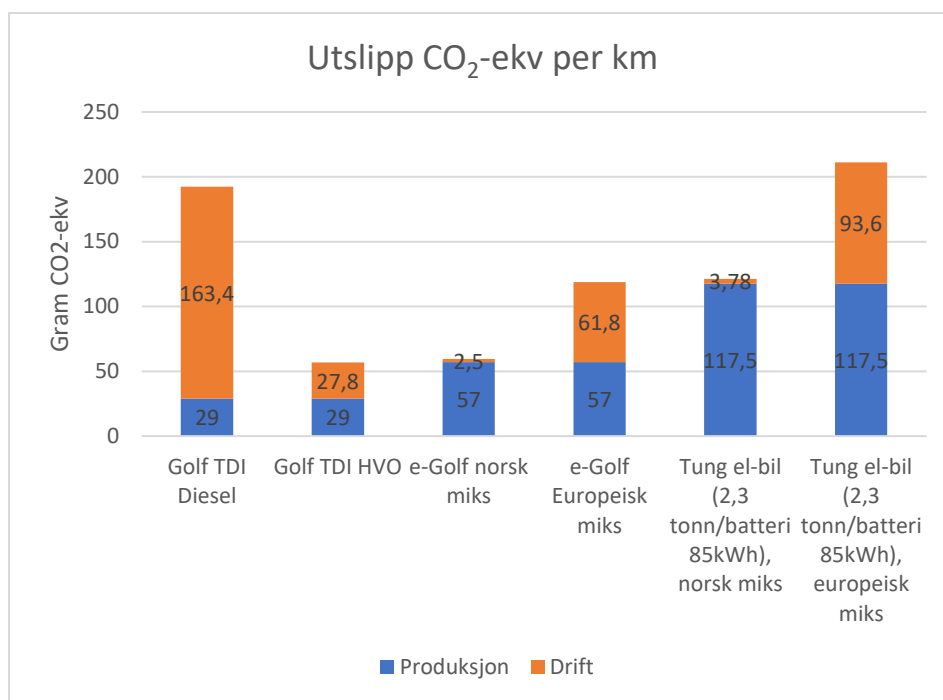
<https://theicct.org/sites/default/files/publications/Zero%20Emission%20Vehicle%20Mandate%20Briefing%20v2.pdf>

² Meld St. nr 33 (2018-2017) side 225

utslipp fra forbrenningsmotoren, vil en renere strømmiks redusere utslippet av CO₂ fra et el-kjøretøy i driftsfasen.



Figur 1: Figuren viser samlede utslipp av CO₂-ekv etter 200.000 kilometer for en e-Golf og en Golf TDI, som enten kjører på ren autodiesel eller på HVO og en el-bil i luksusklassen. I tillegg har vi regnet på henholdsvis norsk og europeisk strømmiks. Figuren viser at en Golf kjørt på HVO kommer best ut og vil ha litt lavere klimagassutslipp enn en e-Golf på norsk miks. En tung el-bil vil ha betydelig utslipp i produksjonsfasen, men vil med norsk strømmiks likevel komme bedre ut enn en Golf på autodiesel. Kilde: VW og egne beregninger



Figur 2: Figuren viser de samme utslippstallene som i figur 1, men er det omregnet til utslipp per kilometer etter 200 000 km. Grunnen til at driftsutslippene per kilometer er så høye for en Golf TDI, er at vi også har inkludert indirekte utslipp fra produksjon av drivstoffet. Figuren viser blant annet at utslippene i produksjonsfasen for en stor el-bil er 117,5 gram CO₂-ekv per kilometer, når vi forutsetter at batteriet holder i 200.000 kilometer. Kilde: VW og egne beregninger

I et regnestykke som bygger på WVs egen LCA-analyse av en e-Golf (38,5 kWh batteri) og en Golf TDI, men der vi har erstattet tysk strømmiks med norsk og europeisk strømmiks, kommer Golf TDI best ut, gitt at den kjøres på avansert HVO. Avansert HVO reduserer netto klimagassutslipp med 82 prosent sammenlignet med vanlig diesel.

En stor el-bil (2,3 tonn) med lang rekkevidde (85 kWh batteri) vil ha sluppet ut 23,5 tonn CO₂-ekv når den ruller ut av fabrikken i vårt regnestykke. Fordelt over 200.000 km gir det et CO₂-utslipp per km på 117,5 gram.

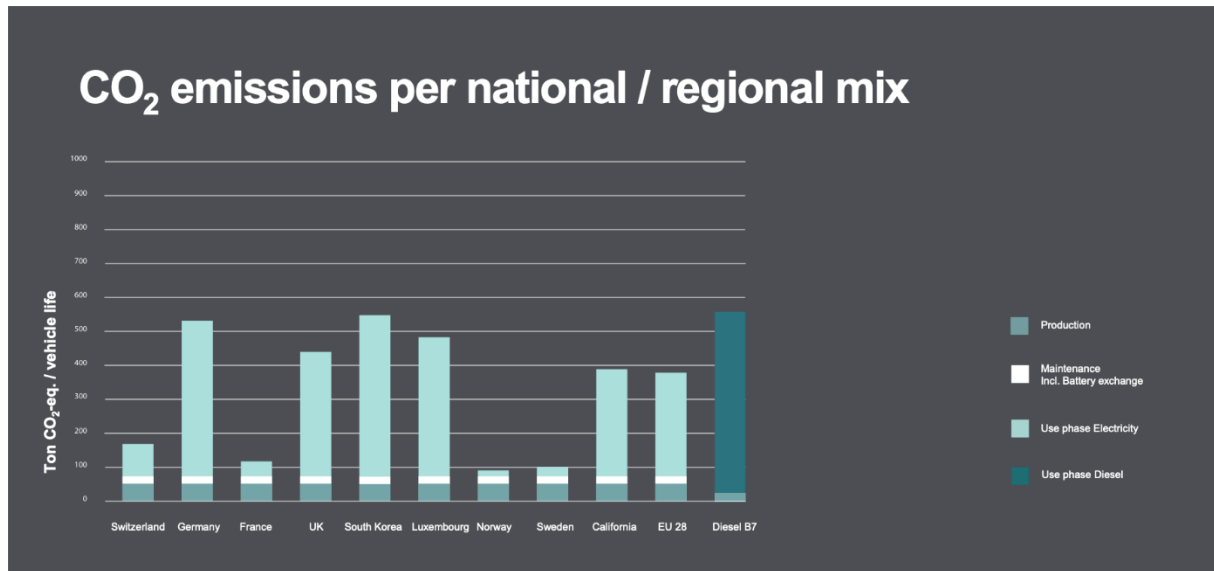
For buss og lastebil gjelder samme prinsipielle forhold som for personkjøretøy. En bybuss som kan lade ved endeholdeplassene vil klare seg med et lite batteri (50-75 kWh) i forhold til bussens størrelse, og vil dermed ha en relativt liten «klimaryggsekk» når driften starter. Det som da blir avgjørende for klimaeffekten er karboninnholdet i den strømmen som anvendes. Hvis man legger europeisk strømmiks til grunn, kan det samlede klimagassutslippet bli like lavt eller lavere ved å kjøre på biodrivstoff, ifølge to svenske undersøkelser³.

For lastebiler, som kan lade med forutsigbare mellomrom, er det i dag elektriske kjøretøy på markedet. En studie Volvo Truck har gjort av en av sine lastebiler beregnet på distribusjonskjøring med et batteri på 200 kWh, viser at samlede klimagassavtrykk blir langt lavere for et el-kjøretøy også med EU-strømmiks. Hvis man kjører lastebilen på biodrivstoff (HVO) må strømmiksen være svært ren, hvis el-lastebilen skal være bedre klimamessig. Les mer om forutsetningene på side 25.

³ M. Xylia et al. / Journal of Cleaner Production 209 (2019) og A. Nordelöf, et al. Transportation Research Part D 75 (2019) 211–222

En viktig fordel for busser og lastebiler er de vil kjøre mye lengre i løpet av sin levetid enn en personbil, og dermed vil ha flere kilometer å «fordele batteriutslippet» på. I tillegg vil de dra nytte å elmotorens egenskaper ved lav hastighet, hvis de anvendes i byer

Dersom man skal elektrifisere de tyngste lastebilene vil man trenge batterier opp mot 1000 kWh, og det vil kreve svært store investeringer i kraftige ladestasjoner plassert langs veiene i hele Europa.



Figur 3: En el-lastebil vil slippe ut mindre klimagasser over sin levetid enn en lastebil som kjører på vanlig diesel, selv med en strømmiks som i EU eller i Tyskland. Men hvis lastebilen kjører på biodrivstoff, må strømmen være svært ren hvis el-kjøretøyet skal gi lavere utslipp. Les mer om forutsetningen på side 25. Kilde: Volvo Trucks

Valg av forutsetninger

Valg av forutsetninger er viktig når man skal foreta livsyklusundersøkelser. Særlig tre forhold slår tungt ut i forhold til el-kjøretøy:

- Hvor lenge holder et batteri?
- Hvilken strømmiks skal legges til grunn?
- Hva er utslippet knyttet til batteriproduksjonen?

Mange LCA-studier har lagt 150.000 kilometer til grunn for sine studier, men Volkswagen brukte i sin LCA-studie av e-Golfen vs Golf TDI 200.000 kilometer. Det indikerer at produsenten tror batterier nå vil klare 200.000 km, som ofte vil tilsvare en bils levetid. Lengre levetid for batteriet reduserer klimaavtrykket fra batteriene. I beste fall holder batteriet lengre enn bilen, slik at det kan brukes om igjen. Her mangler man i dag praktisk erfaring og systemer for gjenbruk.

I tillegg vil CO₂-utslipp knyttet til batteriproduksjonen variere. De fleste batterier produseres i Kina i dag, men hvis produksjonen flyttes til Europa, vil utslippet gå ned, fordi strømmiksen er renere. I tillegg kan det være andre lokale forskjeller. En mye sitert svensk studie laget av IVL i 2017⁴ konkluderte med at klimagassutslipp knyttet til batteriproduksjonen var mellom 150-200 kg CO₂-ekv/kWh inklusive avfallhåndtering. Da den ble revidert i november i 2019⁵ var konklusjonen at intervallet ligger mellom 77-121 kg CO₂-ekv/kWh inklusive avfallshåndtering, men med en usikkerhet

⁴ Mia Romare, Lisbeth Dahllöf, IVL Swedish Environmental Research Institute Report number C 243 2017

⁵ <https://www.ivl.se/toppmeny/pressrum/pressmeddelanden/pressmeddelande---arkiv/2019-11-28-ny-rapport-om-elbilsbatteriers-klimatpaverkan.html>

opp mot 161 kg/kWh. I det laveste anslaget blir battericellene produsert med 100 prosent fornybar kraft. Det er selvsagt ikke representativt for dagens produksjon. Det øverste anslaget er redusert, fordi produksjonen er blitt mer effektiv på grunn av større volumer. Utslipp knyttet til bruk av materialer i batteriene setter grenser for hvor langt ned man kommer, selv om strømmen er 100 prosent fornybar.

For Norge er det spesielt interessant å diskutere hvilken strømmiks som skal brukes til lading. Skal vi forutsette at strømmen er nesten karbonfri, slik norskprodusert strøm er, eller skal vi legge til grunn karboninnholdet i strømmen i kraftmarkedet, der strømmen omsettes? Norsk kraft omsettes i et europeisk marked, og hvis forbruket av strøm i Norge øker, vil det erstattes av annen europeisk produksjon.

Det taler for å legge en europeisk miks til grunn, også når vi regner på klimaeffekten av el-kjøretøy i Norge.

Kraftverkene i Europa er underlagt EUs kvotesystem, slik at netto CO₂-utslipp ikke skal øke i Europa ved innfasing av el-kjøretøy. Dette kan brukes som et argument for å utelate CO₂-utslipp knyttet til kraftproduksjonen.

I Norge vil en elektrifisering av hele personbilparken føre til et samlet el-forbruk på 7-10 TWH. I et land som Tyskland vil det føre til en økning på 200 TWH, og da har vi ikke tatt med tunge kjøretøy. Det er stor usikkerhet om hvordan EØS-området skal klare å kombinere kravet om å kutte CO₂-utslipp fra transportsektoren med utslippskutt fra kraftproduksjon og prosessindustri for å nå målene i EUs kvotesystem i 2030, og videre mål mot 2050.

Det er gode grunner til å ta med de CO₂-utslipp som økt elektrifisering av bilparken vil medføre hos kraftprodusentene når man ser på et kjøretøys samlede bidrag til klimagassutslipp, på samme måte som man inkluderer utslipp fra produksjonen av kjøretøyet.

Oppsummert

Det finnes ikke nullutslippskjøretøy når vi snakker om klimagassutslipp. De som har null utslipp ved drift har i dag betydelige klimagassutslipp knyttet til produksjon av kjøretøy, elektrisiteten eller hydrogenet som gir fremdrift. En gradvis utfasing av karboninnholdet i kraften i Europa og andre deler av verden vil bidra til å redusere klimagassutslipp fra el-kjøretøyets både i produksjons- og driftsfasen.

Det er ingen generell fasit på hvilken type kjøretøy som vil gi lavest klimafotavtrykk gjennom kjøretøyets levetid. Jo tyngre bilen er og jo større batteriet er, jo større vil CO₂-utslippet fra en el-bil være. Det samme gjelder for en bil med forbrenningsmotor: jo tyngre den er og jo større motoren er, jo større vil CO₂-utslippet være. Mens innblanding av biodrivstoff vil påvirke CO₂-utslipp fra forbrenningsmotoren, vil en renere strømmiks redusere utslippet av CO₂ fra et el-kjøretøy i driftsfasen.

Definisjon av nullutslippskjøretøy

Den vanlige definisjonen av nullutslippskjøretøy, eller ZEV (Zero emission vehicle) på engelsk, er et kjøretøy som ikke slipper ut eksos eller andre skadelige stoffer basert på det drivstoffet eller drivlinjen den anvender. I de første definisjonene av nullutslippsbiler som kom i California⁶ rundt 1990 var myndighetene opptatt av alle utslipp knyttet til eksosen – unntatt CO₂. Den gangen var det fokus på bly, monodioksid, uforbrent drivstoff og sot.

I omtalen av nullutslippskjøretøy i Nasjonal transportplan 2018-2029, lagt frem våren 2017, ble nullutslippskjøretøy knyttet til *kun* klimagasser. «Begrepet nullutslippsteknologi i transport omfatter bruk av elektrisitet og hydrogen som energikilde i batterier eller brenselceller, som ved bruk ikke har utslipp av klimagasser».⁷

Da regjeringen og Stortingets flertall ved behandlingen av NTP 2018-2029 knyttet definisjonen av nullutslippskjøretøy direkte til utslipp av klimagasser, bestemte den seg samtidig for svært konkrete mål for innfasing av *nullutslippskjøretøy*:

«Legge til grunn følgende måltall for nullutslippskjøretøy

i 2025:

- Nye personbiler og lette varebiler skal være nullutslippskjøretøy
- Nye bybusser skal være nullutslippskjøretøy eller bruke biogass

– Innen 2030 skal nye tyngre varebiler, 75 pst. av nye langdistansebusser og 50 pst. av nye lastebiler være nullutslippskjøretøy»⁸

Det er interessant å merke seg at i tillegg til kjøretøy med elektrisk drivlinje ble bybusser på biogass også definert innenfor «måltall for nullutslippskjøretøy», til tross for at det finnes flytende biodrivstoff med like god klimaeffekt⁹.

Det er svært viktig å redusere utslipp fra eksosrøret når fokus er på miljøet der kjøretøyet kjører, men når fokuset er på klima er det likegyldig hvor utslippet oppstår. Derfor lages det stadig flere og bedre livssyklusanalyser av kjøringens effekt på klima, der man også tar med seg alle andre utslipp i prosessen fra kjøretøyet lages til det gjenvinnes.

Livssyklusanalyser (LCA)

LCA-studier med tanke på klimagassutslipp bygges opp etter samme mal som andre livssyklusstudier, ved at man bestemmer seg for mål og omfang, kartlegger alle elementer som inngår, vurderer deres bidrag (til klimagassutslipp) og analyserer resultatet.

For et kjøretøy kan studien deles i det firefaser:

Råstoffproduksjon: Fremskaffelse av de materialer som trengs for å lage kjøretøyet.

⁶ Se denne artikkelen for en oversikt :

<https://theicct.org/sites/default/files/publications/Zero%20Emission%20Vehicle%20Mandate%20Briefing%20v2.pdf>

⁷ Meld St. nr 33 (2018-2017) side 225

⁸ Se fotn 2, side 217

⁹ TØI-rapport 1716-2019, Rolf Hagmann

Produksjonsfasen: Utslipp knyttet til bearbeiding av råstoffene frem til ferdig kjøretøy, inklusive eventuelle batterier.

Driftsfasen: Utslipp knyttet forbruk av drivstoff, inklusive produksjon av drivstoffet; utslipp ved produksjon av strømmen til en el-bil; utslipp knyttet til vedlikehold (dekk, oljeskift etc).

End-of-use: Håndtering av kjøretøy inklusive batterier, slik at de igjen blir nyttige råstoffer/materialer.

LCA-studier av personbiler

En gjennomgang av ulike LCA-studier av personbiler med forskjellige drivlinjer viser tre hovedtrekk:

4. Alle biler har et betydelig CO₂-utslipp per produsert kjøretøy uavhengig av drivlinjen. Utslippet øker med størrelsen.
5. Utslipp fra selve batteriproduksjonen utgjør en betydelig andel av utslipp fra en el-bil og gir en ekstra klimaulempe for el-bilen.
6. I driftsfasen vil karboninnholdet i drivstoffet dominere klimagassutslippet fra en forbrenningsmotor; mens karboninnholdet i den strømmen som brukes til å lade el-bilen vil avgjøre klimagassutslippet fra en el-bil.

Utslipp knyttet til størrelsen på bilen

I en studie utført av Linda Ager-Wick Ellingsen, Bhawna Singh og Anders Hammer Strømman i 2016¹⁰ er det beregnet en sammenheng mellom bilens størrelse og utslipp av CO₂-ekvivalenter i et spenn på 6,3-7,1 CO₂-ekv per kilo bil for en el-bil, og 3,9-5,7 kilo CO₂-ekv per kilo bil for en bil med forbrenningsmotor. Det betyr at en liten el-bil på 1000 kilo har bidratt til et klimagassutslipp på 6,7 tonn CO₂-ekv når den ruller ut av fabrikken, mens en bil med forbrenningsmotor har bidratt med 4,8 tonn CO₂-ekv, hvis vi bruker gjennomsnittstallene. For en større bil på 1500 kilo vil utslippet være henholdsvis 10 tonn CO₂-ekv og 7,2 tonn CO₂-ekv for el-bilen og bilen med forbrenningsmotor.

I en studie utført av Agora Energiwende i mai 2019¹¹ blir utslippet knyttet til produksjonen av en bil med forbrenningsmotor i kompaktklassen (knappe 1500 kilo) vurdert å gi nesten samme klimagassutslipp som en el-bil fratrukket produksjonen av batteriet. El-bilen minus batteriet medfører i Agoras studie et utslipp på 7,3 tonn CO₂-ekv og batteriet 5,1 tonn CO₂-ekv, altså et litt høyere anslag enn hos Ellingsen (2016).

En bil med forbrenningsmotor på 1500 kg vil slippe 6,7 tonn CO₂-ekv, i Agoras studie. Fordelt på 200.000 km gir det 33,5 gram CO₂-ekv per kilometer. Produksjonen av en tilsvarende el-bil gir i et utslipp på 62 gram per km etter 200.000 km.

Volkswagen gjorde en LCA-studie av en Golf TDI (diesel) og en e-Golf (elektrisk), som var av samme størrelse og utstyr, med unntak av drivlinjen i 2019¹². Dieselbilen veier 1300 kg og el-bilen 1540 kg.

Her var utslippet knyttet til produksjon av dieselbilen 5,8 tonn, eller 29 gram/km over 200.000 km. Dette passer bra med anslaget for utslipp av CO₂-ekv per kilo bil hos Ellingsen (2016), som ville gitt 6,2 tonn CO₂-ekv.

¹⁰ Ellingsen 2016, The size and range effect: Lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles

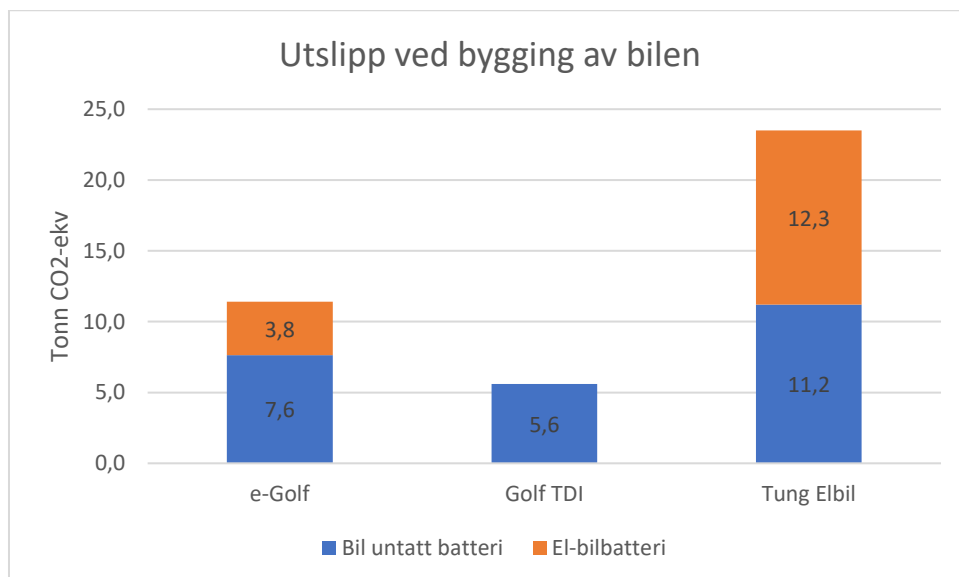
¹¹ Klimabilanz von Elektroautos, Agora Energiwende mai 2019

¹² <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/electric-vehicles-with-lowest-co2-emissions-4886>

E-Golfen veier 1540 kilo og slipper ut 11,4 ton CO₂-ekv under produksjonen, eller 57 gram CO₂-ekv over 200.000 km, inklusive batteri og drivlinje, ifølge VWs studie. Det betyr at e-Golfen slipper ut 5,6 tonn CO₂-ekvivalenter, eller 28 gram CO₂-ekv fordelt over 200.000 km, mer i produksjonsfasen enn Golf-TDI.

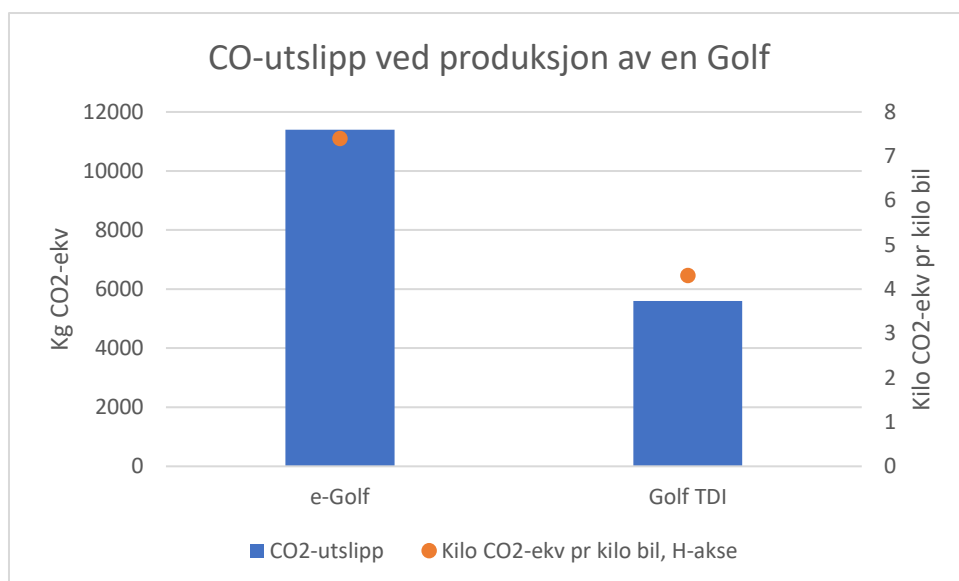
Utslippet er med andre ord det dobbelte i produksjonsfasen for en el-bil i denne størrelsen med et batteri på 35,8 kWh¹³. Produksjonen av selve batteriet i e-Golfen gir et utslipp på 3,8 tonn CO₂-ekv. I tillegg kommer andre deler som bidrar til et høyt utslipp ved bygging av en el-bil.

Vi har også laget et regneeksempel med en tung bil på 2,3 tonn og et stort batteri (85 kWh). Her er samlet utslipp i byggefasen 23,5 tonn CO₂-ekv. Vi har da brukt faktoren 145 kilo per kWh for bygging av batteri og brukt data fra Agoras LCA studie av en kompaktbil og oppskalert denne for å beregne utslipp fra resten av bilen.



Figur 4: Byggefaseen inklusive fremskaffelsen av materialer til kjøretøyene bidrar med et betydelig klimagassutslipp. Kilde: WV og egne beregninger.

¹³ https://www.volkswagen.no/content/dam/vw-ngw/vw_pkw/importers/no/bilmodeller/brosjyrer-og-priser/e-golf/volkswagen-e-golf-tekniske-data.pdf/_jcr_content/renditions/original./volkswagen-e-golf-tekniske-data.pdf



Figur 5: Klimagass-utslipp ved produksjon av en e-Golf er 7,4 kilo CO₂-ekv per kilo bil, men den er 4,3 kilo CO₂-ekv ved produksjon av en bil med forbrenningsmotor.

Utslipp knyttet til batteriproduksjonen

Det er utført svært mange studier av klimagassutslipp fra produksjon av batterier. Disse varierer mye, både fordi noen er gamle og fordi de av andre grunner ikke kan sammenlignes. Det er gjort grundige litteraturstudier av disse, der to av de yngste er Agora Verkehrswende fra mai 2019 og Romare og Dahlöf fra 2017¹⁴. Agora har også bygd opp en egen case basert på industrielle data.

Standard måte å måle utslipp fra batteriproduksjonen er CO₂-ekv per kWh. Det antas videre at dette er skalerbart, slik at utslippet stiger lineært med batteriets størrelse målt i kWh. Bakgrunnen for dette er at større batterier har flere battericeller, men at cellene er de samme.

Romare og Dahlöf ved det svenske instituttet IVL konkluderer med at det beste anslaget for utslipp av klimagasser ligger mellom 150 og 200 kg CO₂-ekvivalenter per kWh. Agora Verkehrswende bruker et anslag på 145 kg/kWh, altså noe lavere enn den svenske undersøkelsen. Dette har lenge vært et slags konsensusområde, men i november laget de en ny studie¹⁵ der de argumenterer for at det sannsynlige intervallet for CO₂-utslipp per kWh batterikapasitet er 77-121 kgCO₂-ekv/kWh, inklusive avfallhåndtering. Det gir et snitt på 99 kg CO₂-ekv/kWh.

Det laveste anslaget gjelder når battericellene produseres med 100 prosent fornybar kraft. Det er selvsagt ikke representativt for dagens produksjon, som skjer i Asia og USA. Det øverste anslaget er tatt ned, fordi produksjonen antas å være blitt mer effektiv.

Det er flere forhold som bestemmer CO₂-utslippet ved batteriproduksjon, men den viktigste parameteren er karboninnholdet i den strømmen som brukes til å produsere battericellene.

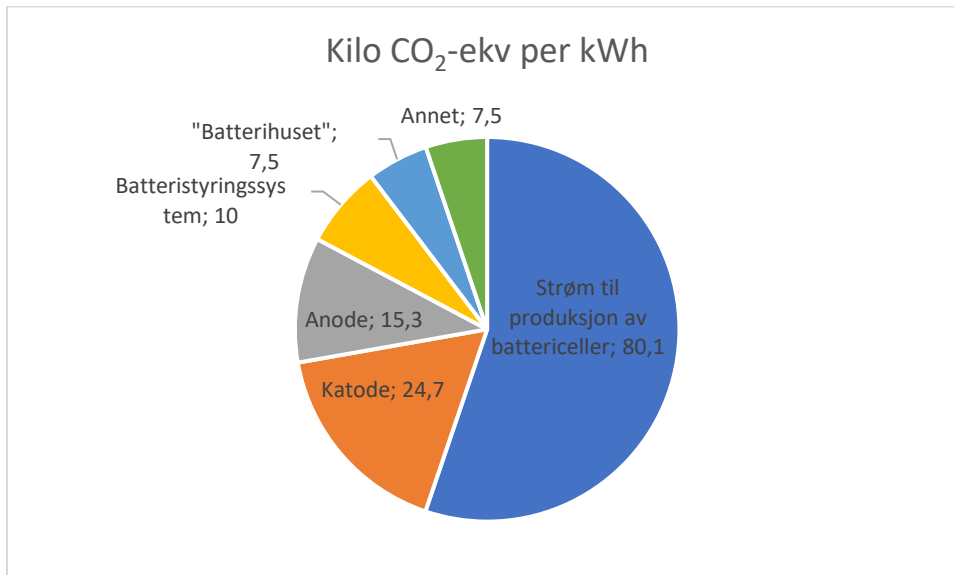
Agora-studien har sett på hvordan CO₂-utslippet fordeler seg på de ulike delene av produksjonen av et el-bilbatteri og bidrag fra de materialene som inngår i batteriet. Det viser blant annet at det ikke er nok å importere battericeller og ferdigstille batteriet i et land med grønn strøm. Battericellene står

¹⁴ Mia Romare, Lisbeth Dahlöf, IVL Swedish Environmental Research Institute Report number C 243 2017

¹⁵ <https://www.ivl.se/toppmeny/pressrum/pressmeddelanden/pressmeddelande---arkiv/2019-11-28-ny-rapport-om-elbilsbatteriers-klimatpaverkan.html>

for 55 prosent av klimaavtrykket fra batteriproduksjonen, ifølge studien. I Agora-studien baserer seg på et gjennomsnittlig karboninnhold på 805 gram CO₂-ekv/kWh, basert på dagens globale fordeling av produksjon. Hvis det hadde vært tatt utgangspunkt i kinesisk strømmiks på 1106, ville andelen blitt høyere enn 55 prosent for produksjon av battericellene.

Dette viser også at det er et stort potensialt for klimaforbedring. Bare å flytte batteriproduksjonen til europeisk strømmiks (469 gram CO₂/kWh) vil nesten halvere utslippet fra strøm til vel 40 kilo CO₂-ekv/kWh.



Figur 6: Kaken viser hvor utslipp av klimagasser oppstår i produksjonen av et batteri. Å flytte produksjonen til et område med lavt karboninnhold i strømmen vil kunne fjerne inntil 55 prosent av utslippene. Kilde: Agora Verkehrswende.

I studien utført av Volkswagen i 2018 har selskapet gjort nettopp det. De har forutsatt å flytte batteriproduksjonen til Europa til sine e-Golf og har et anslag på 105 kilo/kWh på batteriet til denne bilen¹⁶. Batteriet har en størrelse på 35,8 kWh, som gir et CO₂-utslipp på 3,9 tonn CO₂-ekv av selve batteriet. Forskjellen i utslipp under produksjonen mellom Golf TDI og e-Golf var 5,6 tonn CO₂-ekv, hvilket også viser at el-bilens klimaulempe i produksjonsfasen består av mer enn bare batteriet.

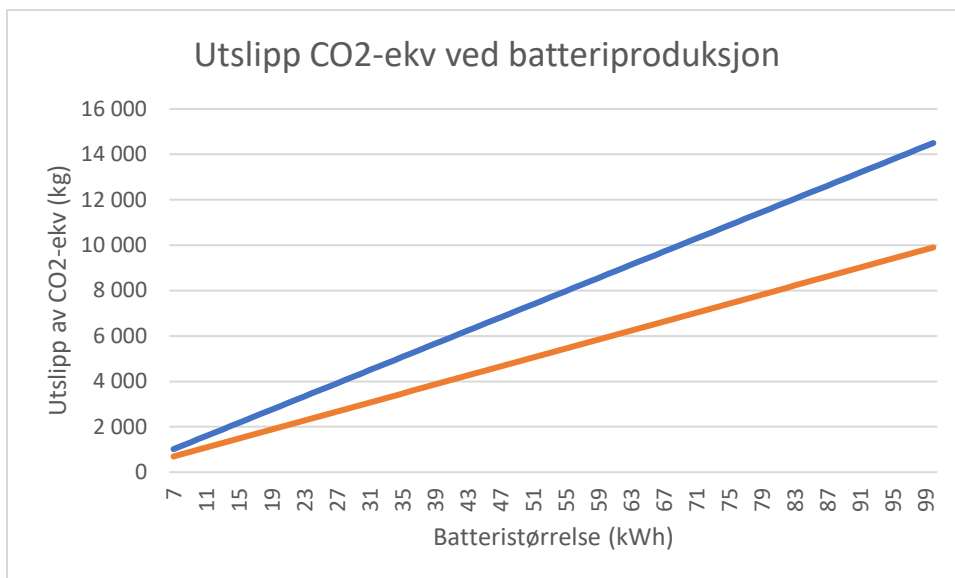
For å vurdere klimaeffekten fra produksjon av batteriet i en el-bil må man vite hvor det er laget og hvor stort det er. Hvis vi legger til grunn anslaget fra Agora med et utslipp på 145 kWh/kWh vil et batteri i en Renault Twizy på 7 kWh gi et utslipp på ett tonn CO₂-ekv, mens en Tesla S med et batteri på 100 kWh gir et utslipp på 14,5 tonn CO₂-ekv. Hvis vi fordeler dette på 200.000 km kjørt distanse, vil Renault Twizy ha et utslipp på 5 gram per km og Tesla S et utslipp på 72,5 gram per km fra batteriet.

Dette gjør det vanskelig å si noe generelt om hvor klimavennlig en el-bil er.

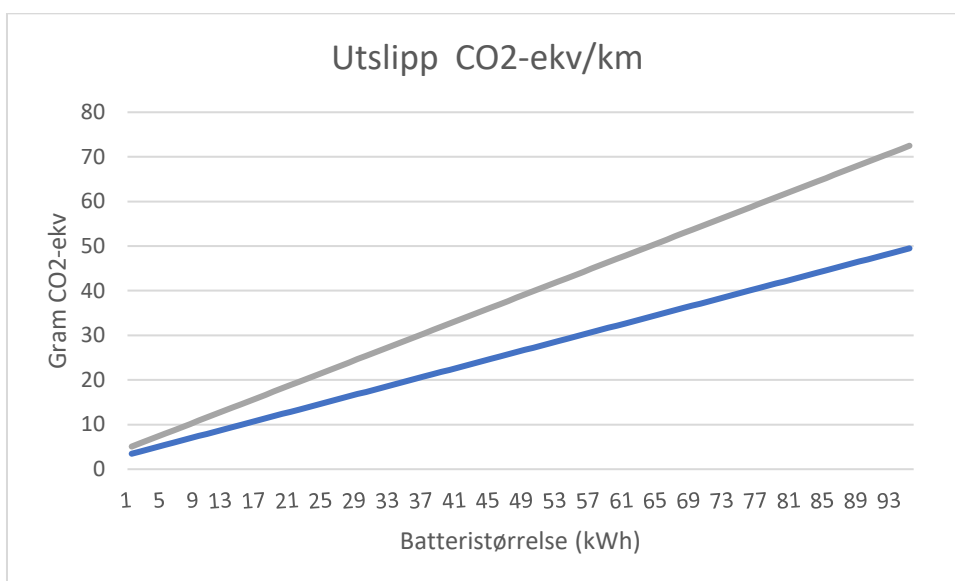
Flere og flere el-biler tilbys nå med batterier fra 80 kWh og oppover for å sikre en lengre rekkevidde. En økning i batteristørrelsen vil kunne oppveie fordelene med å flytte produksjonen til områder med lavere karboninnhold i strømmen. I en studie av DNV-GL har de forutsatt at gjennomsnittlig batteristørrelse vil tredobles fra dagens nivå og stabilisere seg på 100 kWh¹⁷.

¹⁶ Direkte kommunikasjon med representant for VW.

¹⁷ DNV GL Energy Transition Outlook 2019



Figur 7: Figuren viser hvordan utslipp av klimagasser øker med størrelsen på batteriet. For de største el-bilbatteriene på 100 kWh er utslippet av CO₂-ekv på cirka 14,5 tonn når utslippet er 145 kg/kWh. Hvis man klarer å produsere batteriene med et utslipp på 99 kg CO₂-ekv/kWh har det stor betydning for klimagassutslippet. Kilde: Mia Romare, Lisbeth Dahllöf 2017 og 2019.



Figur 8: Figuren viser utslipp av CO₂-ekv per kilometer hvis batteriet varer i 200.000 km ved et utslipp per kWh batteri på henholdsvis 145 kg CO₂-ekv og 99 kg CO₂-ekv.

Utslipp fra produksjon og etterhåndtering av kjøretøy

Agora Verkehrswende kom i desember med en utvidelse av rapporten fra våren 2019¹⁸, der de også vurderer effekten av en bil med hydrogen brenselcelle og en bil med forbrenningsmotor som går på naturgass (metan).

Der er det blant annet gjort en fullstendig gjennomgang av CO₂-utslipp knyttet til alle deler av kjøretøyene og til etterhåndtering av bilen, når den skal skrotes. Se figur 9.

¹⁸ Klimabilanz von strombasierten Antrieben und Kraftstoffen, Agora Verkehrswende desember 2019

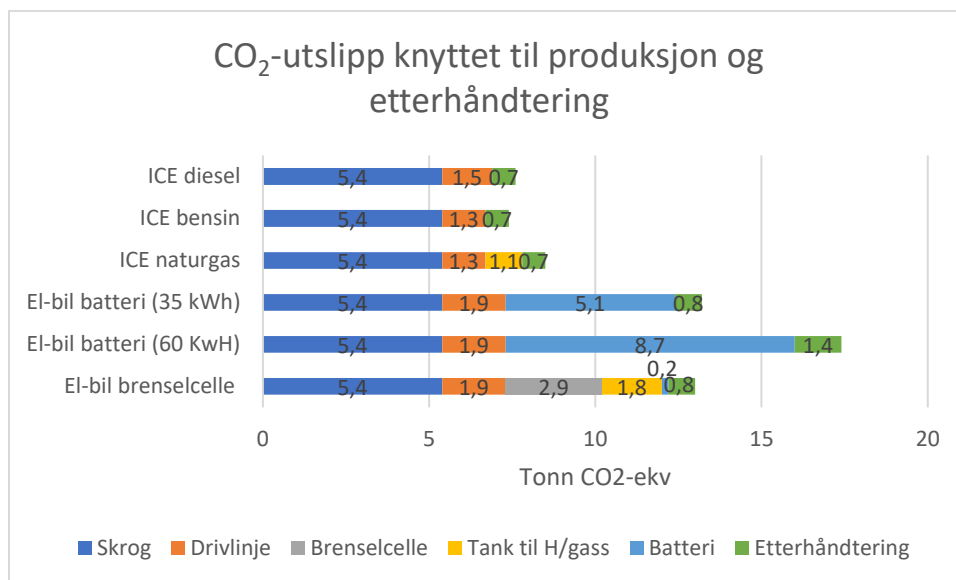
Det er tatt utgangspunkt i en kompaktbil (størrelse som en Golf) og alle har samme karosseri og utrustning med unntak av valg av drivlinje og tank til både hydrogen og naturgass.

Karosseri etc har et utslipp på 5,4 tonn for alle kjøretøy.

Batteribilen skiller seg ut med et stort klimaavtrykk knyttet til batteriet og det øker altså med 145 kilo per kWh i Agoras modell, derfor har et batteri på 60 kWh et utslipp som er 3,6 tonn CO₂-ekv større enn et på 35 kWh.

Også el-bilen med lading av batteri underveis, altså hydrogen brenselceller, har et stort ekstra klimaavtrykk ved produksjonen: Brenselcelle, 2,9 tonn; tank 1,8 tonn; batteri, 0,2 tonn; til sammen 4,9 tonn CO₂-ekvivalenter.

Den elektriske drivlinjen har dessuten 0,6 tonn større CO₂-utslipp enn forbrenningsmotoren (ICE). Dermed bli CO₂-ryggsekken 5,6-5,4 tonn CO₂-ekv for en el-bil med brenselceller og 5,8-5,6 tonn CO₂-ekv for el-bilen med lite batteri, og 10 tonn for en el-bil med et batteri på 60 kWh. Dette må tas igjen gjennom bruk av strøm med tilstrekkelig lavt CO₂-innhold, hvis el-bilen skal bli mer klimavennlig enn en bil med forbrenningsmotor.



Figur 9: Figuren viser klimaavtrykket i produksjonen av samme kjøretøy med ulike drivlinjer og drivstoff. Kilde: Agora Verkehrswende.

Klimagassutslipp i driftsfasen

Klimagassutslipp i driftsfasen vil bestå av flere elementer: Drivstoff, skifte av olje, dekk, bytte av deler etc. For el-bilen vil man ikke ha utslipp knyttet til drivstoff, men til CO₂-utslipp knyttet til produksjon av strømmen som medgår til drift av bilen.

Forbrenningsmotor

For en bil med forbrenningsmotor vil dette være avhengig av karboninnholdet i drivstoffet. En liter diesel slipper ut 2,68 kilo CO₂. Forbruket over bilens levetid vil altså avhenge av samlet forbruk, som avgjøres av kjørelengde og kjøremønster. For en ny VW Golf TDI 115 oppgis utslippet til 135 gram CO₂/km (WLTP). Hvis vi antar en samlet kjørelengde på 200.000 km, vil den slippe ut 27 tonn CO₂ i løpet av sin levetid. I tillegg må vi legge til utslipp som oppstår under produksjon av dieselen, som er på cirka 21 prosent. Det gir et samlet utslipp på 32,7 tonn CO₂-ekvivalenter fra drivstoffet over levetiden på 200.000 km.

Hvis denne Golfen isteden hadde brukt avansert HVO, så ville utslippet bare vært 5,6 tonn, eller 28 gram CO₂-ekv/km. Avansert HVO har nemlig en netto klimaeffekt sammenlignet med vanlig diesel på 83 prosent, viser tall fra Miljødirektoratet. I gjennomsnitt hadde alt biodrivstoff omsatt i Norge i 2018 en netto klimaeffekt på 72,3 prosent.¹⁹

Netto klimaeffekt på de biodrivstofftypene som ble omsatt i Norge i 2018 varierte fra 56 prosent til 90 prosent. Høyest ligger såkalt avansert B100 (avansert RME) basert på rapsolje. Biogass har en nettoeffekt på 87 prosent og avansert HVO 83 prosent. Konvensjonell HVO har en nettoeffekt på 72 prosent.

HVO er populært fordi det kan blandes rett på tanken og brukes under alle forhold.

Tabell 1: Tabellen under er hentet fra Rolf Hagman TØI-rapport 1716 2019, og viser klimaeffekten av ulikt drivstoff inklusive indirekte utslipp sammenlignet med vanlig diesel. Den viser at moderne biodrivstoff har svært høy klimaeffekt. Hydrogenbilen kommer relativt dårlig ut pga stort energitap sammenlignet med el-bilen.

Tabell: Reduksjon av klimapåvirkning for energibærere i et livsløpsperspektiv (kilde til varmeenergi) i forhold til fossile alternativer CO₂/MJ i 2018 (Miljødirektoratet 2019).

Energibærere - reduksjon av CO₂-ekv i forhold til fossilt alternativ		
	C	
Energibærere	Utslppsreduksjon	
Fossil diesel	0%	1,00
Naturgass	0%	1,00
Biogass	87%	0,87
Etanol ED95 (konvensjonell)	56%	0,56
Etanol ED95 (avansert)	86%	0,86
B100 (konvensjonelt RME)	58%	0,58
B100 (avansert RME)	90%	0,90
HVO 100 (konvensjonelt)	72%	0,72
HVO 100 (avansert)	83%	0,83
El batteri	99%	0,99
El som hydrogen	95%	0,95

Vi ser av tabellen over de ulike biodrivstoffenes klimaeffekt at det er realistisk å redusere klimagassutslipp i en forbrenningsmotor under driftsfasen med mellom 50 og 90 prosent, avhengig av hvilke av de i dag tilgjengelige drivstoff som anvendes. I fremtiden vil det antagelig foreligge flere alternativ med varierende klimaeffekt²⁰.

Elektrisk drivlinje

Fra en el-bil er det ingen direkte klimagassutslipp under driftsfasen, hvis vi ser bort fra slitasje på dekk og andre deler.

¹⁹ Mail med representant for Miljødirektoratet

²⁰ Se f eks <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fchem.2019.00392/full> om utvikling av power-to-X technologies, inklusive syntetisk drivstoff

Utslipet knytter seg til produksjonen av strømmen. Utslipet vil da bestå av to faktorer: Forbruket av strøm under kjøring og karboninnholdet i ladestrømmen.

Strømforbruket varierer med størrelsen på batteriet og øker med hastigheten og vekten på bilen.

En ny e-Golf bruker i gjennomsnitt 0,14 kWh per km, ifølge LCA-studien fra VW. En stor bil vil bruke mer, både fordi den er tyngre og fordi det er grunn til å tro at den vil kjøre større deler av tiden på høy hastighet. Vi har regnet på et strømforbruk på 0,2 kWh per km i eksempelet med en tung bil med stort batteri²¹.

Over 200.000 km gir dette et forbruk på 28.000 – 40.000 kWh for henholdsvis en e-Golf og en stor el-bil.

Hva det betyr i antall CO₂-ekvivalenter er helt avhengig av hvilket karboninnhold strømmen har.

Vi har her regnet på effekten av norsk og europeisk strømmiks. En e-Golf vil slippe ut 12,4 tonn CO₂-ekv over 200.000 km med europeisk miks, men bare 0,5 tonn med norsk miks. En stor bil (2,3 tonn og 85 kWh batteri) vil slippe ut 18,7 tonn CO₂-ekv over 200.000 km med europeisk miks og bare 0,8 tonn med norsk miks.

Tabell 2: Tabellen viser hvordan forbruk og strømmiks påvirker klimagassutslipp i driftsfasen.

Utslipp av CO₂ fra kjøring med el-bil				
	Karbon innhold i strømmen Gram CO ₂ /kWh	e-Golf: Forbruk per km (kWh/km)	Gram CO ₂ -ekv/km	Tonn CO ₂ -ekv over 200.000 km
Norsk miks	18,9	0,132	2,4948	0,5
Europeisk miks	468	0,132	61,776	12,4
	Karbon innhold i strømmen	Stor bil: Forbruk per km (kWh/km)	Gram CO ₂ -ekv/km	Tonn CO ₂ ekv over 200.000 km
Norsk miks	18,9	0,2	3,78	0,8
Europeisk miks	468	0,2	93,6	18,7

Samlede utslipp fra produksjon og kjøring personbil

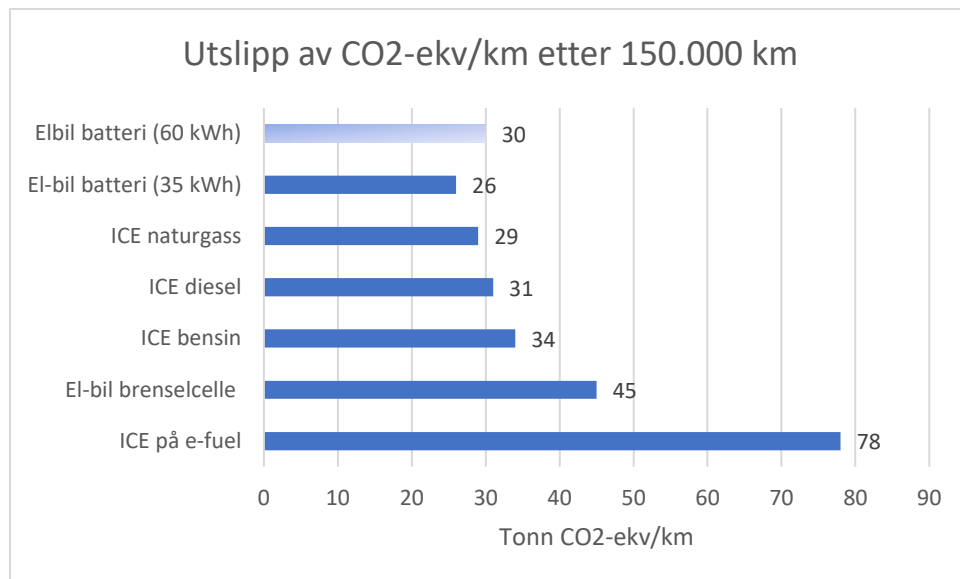
Vi har tidligere vist til studien fra Agora Verkehrswende fra desember 2019. Her er det laget en oppsummering av de samlede klimagassutslipp fra alle deler av bilens livsløp. Figur 7 under viser at etter 150.000 kilometer vil en el-bil med et batteri på 35 kWh ha sluppet ut 26 tonn CO₂-ekv og dermed være den mest klimavennlige løsningen gitt de forutsetninger som er gjort. Biler med

²¹ Se f.eks informasjon fra Audi om to av deres el-biler <https://www.naf.no/elbil/elbiler-i-norge/audi-e-tron-quattro/>

forbrenningsmotorer følger kakk i hæl: Naturgass 29 tonn CO₂-ekv, diesel 31 CO₂-ekv og bensin 34 tonn CO₂-ekv.

Hvis man ønsker økt rekkevidde og kjøper en bil med et batteri på 60 kWh, øker utslippet til 30 tonn CO₂-ekv.

Studien er gjort under forutsetning av at strømmen har såkalt tysk miks. Miksen er videre valgt som et gjennomsnitt av strømmiksen i dag (2018) og 2030 under forutsetning av at innfasingen av fornybarkraft fortsetter i den takt som er forutsatt av myndighetene. Det gir et karboninnhold på 421 gram CO₂/kWh i Agoras modell. Til sammenligning er CO₂-innholdet i norsk kraft 18 gram CO₂-ekv/kWh.²²



Figur 10: Figuren viser samlede klimagassutslipp fra samme kjøretøy med ulike drivlinjer, batteristørrelse og drivstoff. Vi ser at en liten el-bil slipper ut minst 26 tonn CO₂-ekv i løpet av sin levetid (150.000 km). Strømmiksen er tysk. Kilde: Agora Verkehrswende.

Hvis vi fordeler de samlede utslipp over 150.000 km vil utslippet fra batteribilen med det lille batteriet ha et utslipp på 173 gram CO₂ per kilometer. Se figur 11.

Vi ser at en bil med hydrogen brenselceller er svært lite klimavennlig.

Det samme gjelder e-fuel. E-fuel er et drivstoff – flytende eller i gassform – som er laget ved å la hydrogen reagere med CO₂, for å danne syntetiske hydrokarboner. For å lære mer om denne teknologien kan man lese "Recent Advances in Power-to-X Technology for the Production of Fuels and Chemicals"²³ av Bruna Rego de Vasconcelos og Jean-Michel Lavoie.

Hydrogen kan dannes på prinsipielt to ulike måter: Splitte metan i to (hydrogen og karbondioksid) ved en kjemisk prosess eller splitte vann i to (hydrogen og oksygen) ved elektrolyse. Den første prosessen gir et stort CO₂-utslipp og er derfor lite attraktiv, med mindre det kan kombineres med CO₂-fangst.

Elektrolyse er derfor lagt til grunn i Agoras modell, og med tysk kraftmiks gir dette et hydrogen med høyt klimagassavtrykk. Det er langt høyere enn å bruke strømmen direkte i en el-bil, fordi omdanning

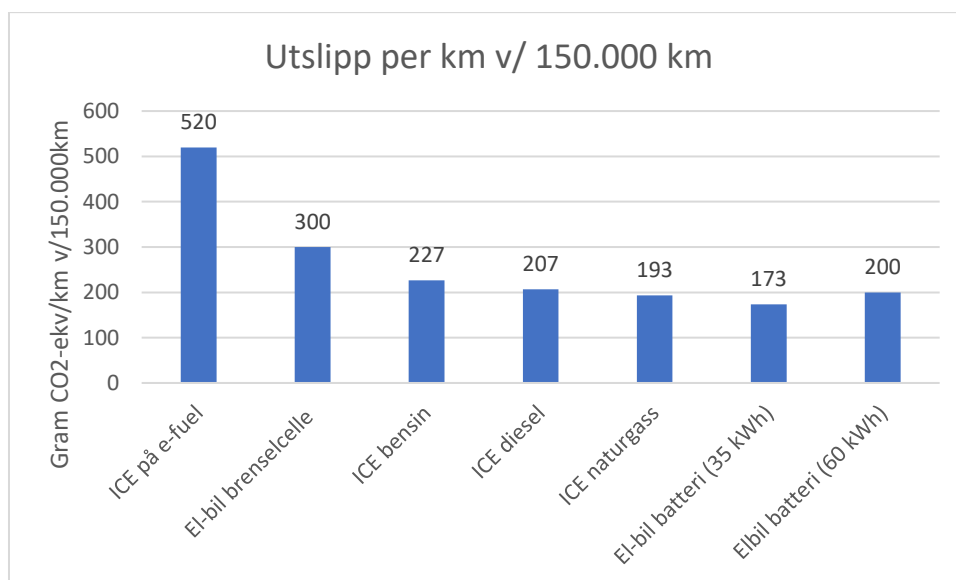
²² NVEs varedeklarasjon 2018

²³ <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fchem.2019.00392/full> 5. juni 2019

til hydrogen er energikrevende, og enda mer energi går tapt når man skal produsere strømmen i brenselcellene.

Det samme gjelder når man skal bruke hydrogen til å lage e-fuel. «Tysk» hydrogen har høyt karboninnhold og mye energi går tapt når man skal lage e-fuel. Agora konkluderer med at veien om hydrogen kun er fornuftig for personbiler i en situasjon der man har et overskudd av ren fornybar energi. Dit er det ikke ventet at Tyskland kommer før etter 2050.

Ikke alle er enige i dette. Det er argumentert for at et kraftmarked med et høyt innslag av fornybar og uregulerbar kraft (vind og sol) vil få lange perioder med et kraftoverskudd, som det ikke vil være mulig å selge. Dermed kan det være fornuftig å lagre dette i form av hydrogen. Hydrogenet kan brukes direkte i en forbrenningsmotor eller som e-fuel i en forbrenningsmotor eller i en brenselcelle i en el-bil. For en diskusjon av dette kan man lese professorene Christoph Buchal, Hans-Dieter Karl og Hans-Werner Sinns gjennomgang av tema ²⁴. De mener kraftmarkedet vil «mettes» når vind og sol når et tilstrekkelig nivå i den tyske kraftproduksjonen og «tyte ut» som gratis kraft i gunstige perioder.



Figur 11: Her ser vi klimagassutslipp per kilometer fra samme kjøretøy med ulik utrustning basert på tysk strømmiks etter 150.000 km. Kilde: Agora Verkehrwende.

Norske forhold

Ved å bruke Volkswagens LCA-studie av sine to biler og tilpasse dem til norske forhold er det mulig å gjøre en sammenligning av en el-bil og en diesebil. E-Golfen er antagelig en nokså representativ el-bil i det norske markedet. Den har en vekt på 1540 kilo, mens diesebilen veier 1300 kilo. Batteriet på 35,8 kWh, er også nokså representativt. Utslipp per kWh er på e-Golfens batteri 105 kg CO₂-ekv.

Det er imidlertid en utvikling i retning av stadig større batterier og tyngre biler i Norge. Vi har derfor også laget et eksempel med en stor bil. Vi har brukt utslippsparemetere fra den tyske forskningsinstitusjonen Agora Verkehrwende mht CO₂-utslipp for produksjon av el-bilens batteri på 145 kg CO₂-ekv/kWh og for resten av bilen på 7,3 tonn for en 1500 kg tung el-bil og skalert den opp.

²⁴ Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO₂-Bilanz? ifo Schnelldienst 8 / 2019 72. Jahrgang 25. April 2019

Denne store bilen har vi antatt veier 2,3 tonn og har et batteri på 85 kWh. Det er ikke det største batteriet på markedet, men er representativt for luksusklassen av el-biler som selger godt i Norge.

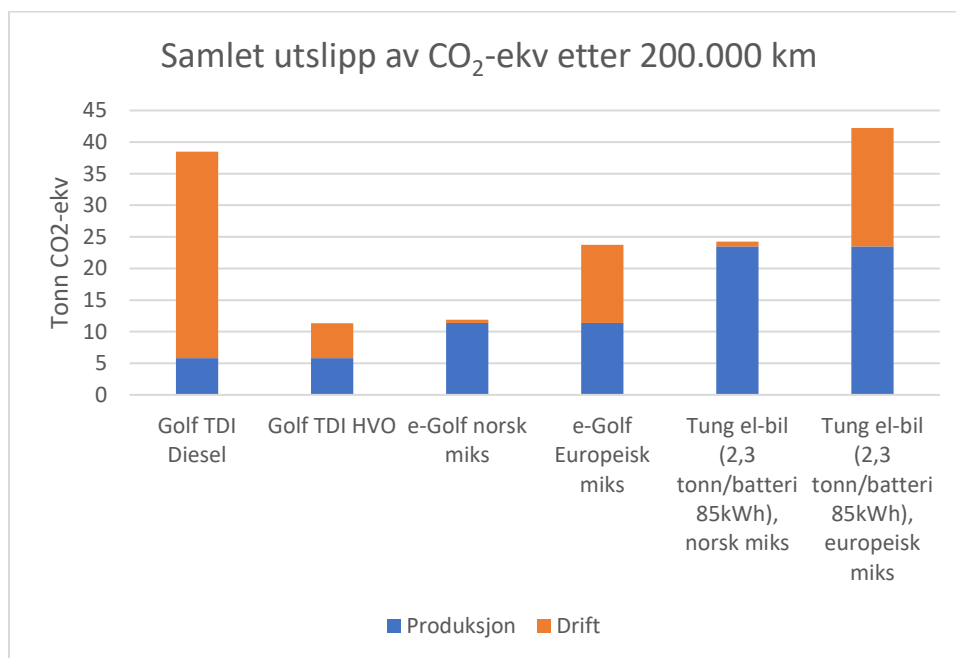
Vi har brukt forbruks- og utslippstall fra VW: 136 gram CO₂/km og elforbruk på 13,2 kWh/100 km. Til den tunge el-bilen har vi satt forbruket skjønnsmessig til 20 kWh/100 km kjøring.

Vi har også testet el-bilen mot to ulike strømforutsetninger:

- Norsk miks: 18,9 gram CO₂-ekv per kWh
- Europeisk miks: 468 gram CO₂-ekv per kWh

Dieselen har vi testet under to forutsetninger:

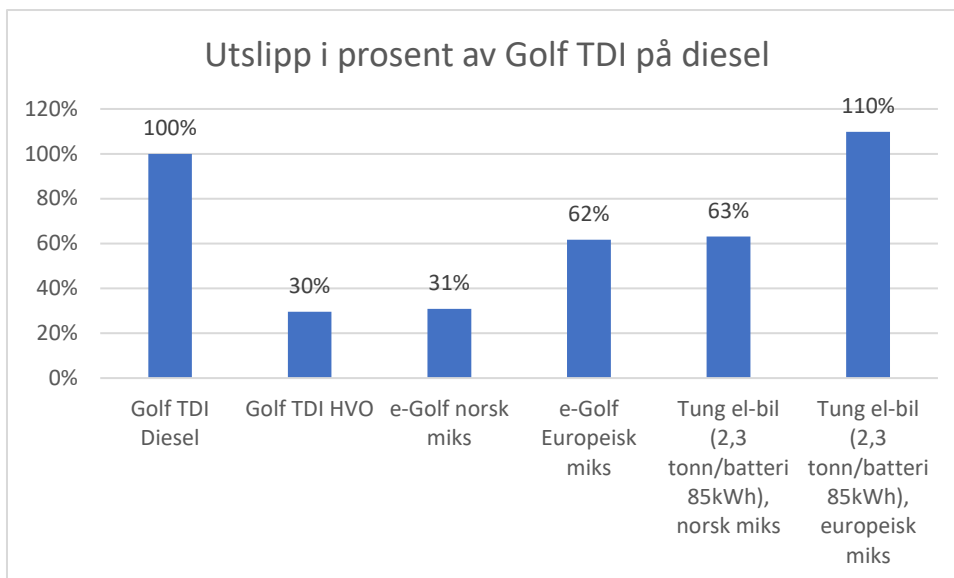
- 100 % diesel + 21 prosent indirekte utslipp
- 100 % HVO, som gir en netto klimaeffekt på 83 prosent av dieselen, inklusive indirekte utslipp



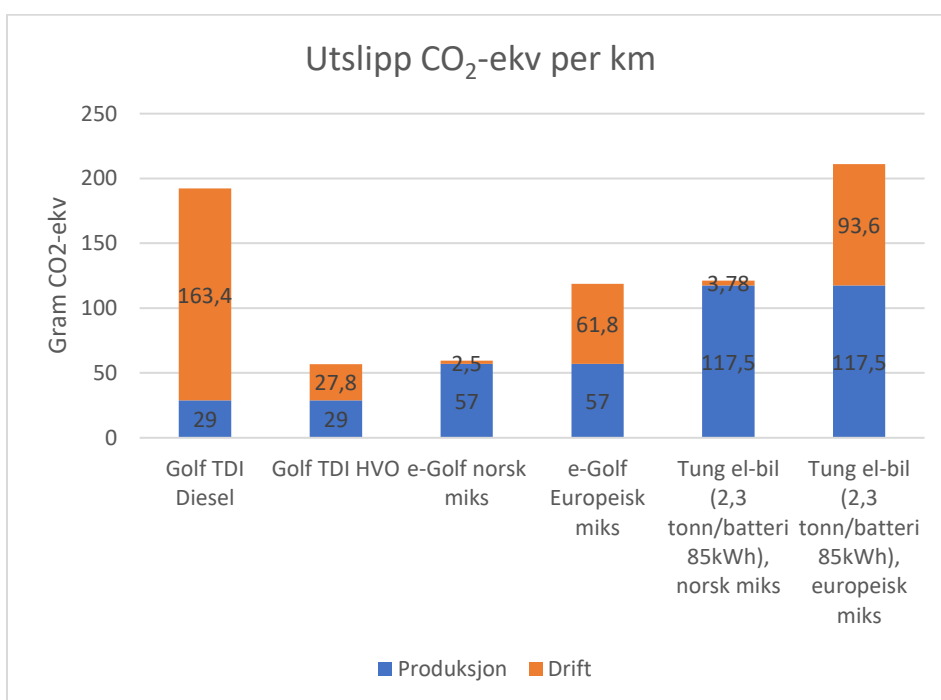
Figur 12: Figuren viser at den mest klimavennlige bilen er en Golf TDI som går på 100 prosent avansert HVO. Deretter følger en e-Golf som kjører på norsk strømmiks. En tung el-bil slipper ut 23,5 tonn CO₂-ekv før den er kommet i drift, men europeisk strømmiks gir det et større klimafotavtrykk enn for en Golf på ren autodiesel.

Som vi ser av figuren ovenfor er det mest klimavennlige valg i vår undersøkelse å kjøre en diesebil på HVO. Det gir et samlet utslipp etter 200.000m på 11,4 tonn CO₂-ekv, fulgt tett av e-Golfen kjørt på norsk elkraft-miks. En tung bil kjørt på norsk elkraft-miks gir også en reduksjon i klimagassutslipp sammenlignet med en Golf TDI på diesel. En tung el-bil kjørt på europeisk miks vil slippe ut 10 prosent mer enn en Golf TDI på diesel.

Hvis man legger en europeisk strømmiks til grunn, kan man stille spørsmålet slik: Hvor høy må innblandingen av HVO i diesel være for at det samlede CO₂-utslippet blir det samme for en Golf TDI og en e-Golf? Svaret er 30,9 prosent HVO innblanding. Grunnen til at innblandingsprosenten (over hele levetiden) ikke behøver å være større, skyldes at e-Golfen har 11,4 tonn CO₂-ekv «i ryggsekken» fra produksjonen mot bare 5,8 tonn CO₂-ekv for Golf TDI.



Figur 13: Figuren viser en sammenligning av samlede klimagassutslipp for ulike kjøretøy etter 200.000 km sammenlignet med en Golf TDI (diesel).



Figur 14: Her vises utslippstallene for ulike kjøretøy per kilometer etter 200.000 km.

Vi ser av figur 14 ovenfor at utslipp per kilometer etter 200.000 km gir relativt høye klimagassutslipp for alle typer el-biler tatt i betraktning at de kalles «nullutslippsbiler», fordi utslippet i produksjonsfasen er så høy. For en e-Golf er utslippet i produksjonsfasen 57 gram CO₂-ekv og for en tung bil med et stort batteri (85 kWh) ligger den 117,5 gram CO₂-ekv.

I tillegg kommer utslipp ved lading, slik at samlede utslipp etter 200.000 km blir 121,3 gram CO₂-ekv på norsk strømmiks og 221,1 gram CO₂-ekv på europeisk strømmiks for en tung el-bil.

Sammenlignet med en Golf DTI på ren diesel, gir også en e-Golf på europeisk miks mye lavere utslipp per km. Det samme gjelder for en tung bil på norsk kraftmiks, mens en tung bil på europeisk kraftmiks har høyeste utslipp per km av alle.

Hvilket karbonutslipp skal vi tillegge strømforbruket?

Det er vanlig i norske studier å tillegge forbruket av strøm null eller svært lav effekt på CO₂-utslippet. NVE operer med et karboninnhold på 18,9 gram CO₂-ekv/kWh en livssyklusanalyse, mens det gjennomsnittlige CO₂-utslippet fra en europeisk miks er på 468 gram CO₂/kWh. En drøfting av tema gjort i et posisjonspapir av MoZEES (Mobility Zero Emission Energy Systems) and CenSES, to sentre for fremragende forskning innenfor klimaspørsmål²⁵, er konklusjonen at man kan se bort fra de utslipp som oppstår ved å elektrifisere transportsektoren i Europa, fordi utslippet oppstår i en sektor (kraftsektoren) som er underlagt EUs system for kvotehandling. Det betyr at uansett hvor store utslipp som økt elektrifisering av transportsektoren fører til, vil det ikke gi en økning i CO₂-utslippene.

Dette betyr ikke nødvendigvis at man ikke skal være nøye med å regne med utslipp av ekstra CO₂-utslipp fra det europeiske kraftmarkedet som følge av elektrifisering av transportsektoren. Den praksis finner man hos for eksempel tyske forskere eller tyske bilselskaper, når de lager LCA analyser av el-biler.²⁶

Første spørsmål er å vurdere om norsk kraftforbruk påvirker kraftproduksjonen i land utenfor Norge. Gitt de omfattende mellomlandsforbindelsene til våre naboland i Norden og til kontinentet er åpenbart svaret på det spørsmålet ja. Kort sagt, hvis vi bruker mer kraft vil vi kunne selge mindre kraft til våre naboland, som dermed må øke egen produksjon til en gitt etterspørsel.

Deretter er spørsmålet om hva slags utslippstall man skal legge til grunn. Det vanligste er å bruke et gjennomsnitt for CO₂-utslipp/kWh, som i 2016 var 468 CO₂-ekv/kWh i Europa²⁷. Alternativt kan man spørre seg hva slags type kraftproduksjon det vil øke. Sol- og vindkraftproduksjon kan ikke reguleres opp, slik at økt etterspørsel må møtes med produksjon av kull- eller gasskraft. I så fall vil riktig anslag ligge omtrent på det dobbelt. Vi har lagt til grunn gjennomsnittstallet for Europa i denne rapporten.

Det er med andre ord ingen tvil om at utslippet av CO₂ vil øke ved innføring av el-biler i Norge. En full elektrifisering av personbilparken vil kunne bety mellom 7 og 10 TWh ekstra kraftproduksjon. Statnett har i regnet 14TWh som et aktuelt potensial for hele transportsektoren.²⁸ Hvis vi skulle oppgradert tallene til for eksempel tysk nivå, ville vi snakke om cirka 200 TWh ekstra kraftproduksjon bare for å dekke personbilparken. Tar vi med tungtransporten er vi oppe i 300 TWh ny kraftproduksjon i et land som i 2018 produserte 642 TWh²⁹.

Tyskland og resten av Europa har en stor utfordring i å dekke avvikling av kull- og gasskraftverk med fornybar kraft, mens mange land samtidig gradvis avvikler kjernekraften.

Det var ved utgangen av 2018 ti prosent avstand mellom faktisk utslipp og taket under EU-ETS³⁰. Fra 2019 vil EU-kommisjonen kunne bruke tiltak for å stramme inn differansen og fra 2023 kan de stryke kvoter. Det derfor ventet at prisene vil stige videre enn det vi har sett etter at disse tiltakene ble kjent i desember 2017.

²⁵ Position Paper: Decarbonization of transport and the role of electrification

²⁶ Se f eks tidligere henvisninger til Agora Verkehrswende og VW henvist til tidligere

²⁷ Agora Verkehrswende

²⁸ Statnett rapport Et elektrisk Norge 2019

²⁹ Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO₂-Bilanz? ifo Schnelldienst 8 / 2019 72.

Jahrgang 25. April 2019

³⁰ The European Power Sektor 2018, Sandbag og Agora 2019

En kraftig økning i utslipp fra kull- og gasskraftverk innenfor EU-ETS vil gi en økning i kvoteprisene og bidra til enda høyere kraftpriser i EU. I dag koster en kWh 32,00 Cent/kWh, eller 3,24 kroner for en tysk husholdning.

Hvis utslippene fra kraftproduksjonen stiger eller synker mindre enn forutsatt, må utslippene fra prosessindustrien i EU synke mer, med fare for relokalisering og karbonlekkasje. Dette er blant annet omtalt i EU-kommisjonens Green Deal, som ble presentert i desember 2018. Her diskuteres også muligheten for å innføre klimatoll på utenlandske varer for å beskytte europeisk industri. Kvotetaket skal ned med 43 prosent fra 2005 til 2030 og nå null i 2050, ifølge Green Deal.

Det er ikke gitt at det vil være mulig å gjennomføre elektrifiseringen av transportsektoren i Europa og samtidig nå de ambisiøse målene for avkarboniseringen av kraftsektoren. På bakgrunn av dette, har vi i dette notatet valgt å ta med CO₂-utslipp knyttet til produksjon av strømmen, som brukes til å lade batteriene i el-kjøretøyene.

Når man først inkluderer klimagassutslipp fra strømproduksjonen ved lading av el-kjøretøy, kan det også være rimelig å bruke europeisk miks når el-kjøretøy skal vurderes mot biler med forbrenningsmotor i en livssyklusanalyse.

Tunge kjøretøy

Elektrifisering av busser

Bybusser er en interessant case for elektrifisering, fordi du kan kombinere relativt små batterier med et meget høyt antall passasjerkilometer over bussens og batterienes levetid. Et batteri antas å måtte byttes én gang i løpet av bussens levetid, og litt avhengig av lengden på bussruten, vil man kunne klare seg med et batteri i størrelsen 50-120 kWh. Det betyr at klimagassutslipp knyttet til produksjonen av batteriene er i størrelse med en litt stor el-bil, men utslippet fordeles på langt flere personkilometer.

Det er gjennomført to svenske undersøkelser av bybusser i Stockholm som begge er publisert i 2019. Den første (M. Xylia et al. / Journal of Cleaner Production 209 (2019)) foretar en økonomisk vurdering av hva som er en optimal fordeling mellom elektrifisering og bruk av biodrivstoff basert på totale kostnader. I kostnadene inngår alle kostnader nyttet til selve bussvirksomheten og (lade-) infrastrukturen.

Konklusjonen er at det vil være optimalt å elektrifisere 52 ruter og kjøre 91 ruter på HVO i Stockholm. Det gir et lavere utslipp av CO₂-ekvivalenter, gitt forutsetningen om at el-bussene kjører på såkalt nordisk miks. Nordisk tilsvarer her 136 gram CO₂-ekv/kWh. Det er kullkraftproduksjonen i Danmark og Finland som trekker dette opp i forhold til norsk og svensk miks.

Hvis man forutsetter at man kjøper seg fri ved å kjøpe opprinnelsesgarantier (garantert fornybar strøm) synker miksen til 9 gram CO₂-ekv/kWh. Grunnen til at den ikke er null er det utslippet som oppstår ved å bygge vindmøller etc. Med en energimiks på 9 gram CO₂-ekv/kWh vil en full elektrifisering gi lavest utslipp av CO₂-ekv., men også høyest kostnader for kollektivtransportsekskapet.

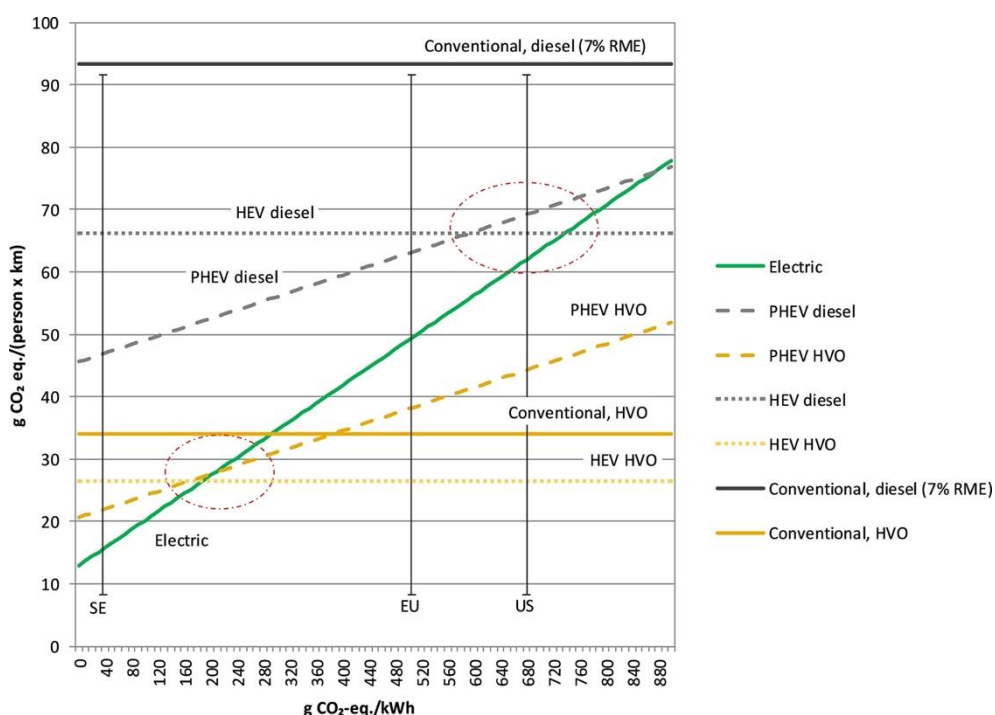
Tabell 3: Etter en kostnadsopptimalisering av alle bussruter i Stockholm viste det seg at det ga bedre klimaeffekt å la noen busser være elektriske og noen kjøre på HVO. Kilde M. Xylia et al.

	Kostandsoptimalisert rute: 91 ruter på HVO, 52 på el	Kun el-busser dekket av opprinnelsesgarantier	Kun el-busser på nordisk miks	Alle på HVO
--	--	---	-------------------------------	-------------

Utslipp tonn CO ₂ - ekv per år	12 730	9 880	30 190	25 650
---	--------	-------	--------	--------

Den andre analysen (A. Nordelöf, et al. Transportation Research Part D 75 (2019) 211–222) tar utgangspunkt i en gitt rute og sammenligner klimagevinstene mellom el- og vanlig buss kjørt på ulike drivstoff. Denne bussen operer også med et lite batteri (76 kWh) og forutsetter svensk strømmiks i hovedscenariet (47 gram CO₂-ekv/kWh) og stiller spørsmålet også på en annen måte: På hvilket nivå av strømmiks vil det alltid være best å velge en helelektrisk buss? Resultatet er at det på denne bussruten alltid vil være best med en ren el-buss inntil en strømmiks på 200 gram CO₂-ekv/kWh. På det nivået vil det være bedre med en ladbar hybrid (ikke plug-in) som går på HVO.

Hvis man bytter til EU-miks (517 gram CO₂-ekv i denne analysen) vil HVO være langt å foretrekke. Se figur under.



Figur 15: Figuren viser hvordan det samlede CO₂-utslippet med ulike elektriske drivlinjer utvikler seg med stigende karboninnhold i strømmiksen (g CO₂-eq./kWh). El-bussen og en buss kjørt på HVO vil ha samme utslipp med en strømmiks på cirka 280 gram CO₂/kWh i dette regnestykket for denne bussruten i Stockholm. Kilde A. Nordelöf, et al.

Hvis vi sammenligner en el-bil med en elektrisk bybuss er det én stor forskjell. En vanlig el-bil vil ha et batteri på 35-45- kWh, mens de busser som har vært involvert i de to undersøkelsene fra Stockholm hadde et batteri på 76 kWh (Nordeløf m fl) og 60 kWh (Xylia m fl). Disse bussene lades ved endestasjonene. Vi ser at en el-buss dermed har en forholdsvis liten klimaryggsekk fra batteriproduksjonen, når vi tar i betraktning at energiforbruket for en buss er cirka ti ganger så høyt som i en bil. En el-bil i luksusklassen har et like stort eller større batteri som en bybuss.

Dette bidrar til å gi den elektriske bybussen et lavt klimafotavtrykk.

Elektriske lastebiler

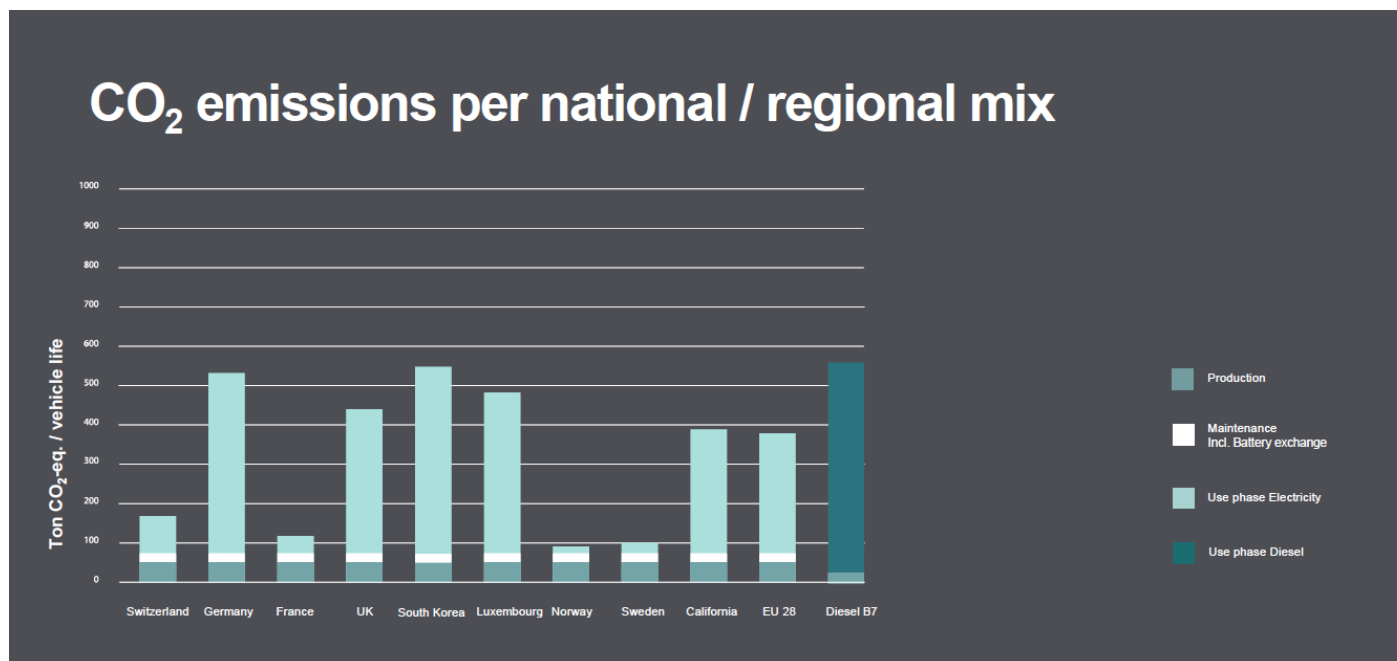
Det er i dag lastebiler på markedet med batterier. Disse anbefales brukt som distribusjonsbiler rundt byer eller i faste regionale ruter, der man har tilgang på ladestasjoner med jevne mellomrom.

Volvo har en kalkulator på sin hjemmeside³¹, der man kan velge ulike lastbiler og sammenligne ulike drivlinjer og drivstoff. Lastebilene Volvo FLE er utstyrt med et batteri på 200 eller 300 kWh (4 eller seks batterier på hver 50 kWh).

I materiale tilsendt oss fra Volvo Truck går det frem at en lastebil som kjører på diesel med 7 prosent biodrivstoff (B7) vil slippe ut cirka 560 tonn CO₂ i løpet av sin levetid, men den elektriske vil komme langt bedre ut i de fleste tilfeller. Forutsetningene er:

- 10 års levetid/750 000 km kjørt/bykjøring
- FE Electric: forbruk 1,04 kWh/km, 4 batterier á 50 kWh/ ett batteribytte/Batteriutslipp cirka 100 kg/Wh
- FE Diesel: forbruk 0,25 liter/km, diesel B7

Hvis lastebilen hadde vært elektrisk og kjørt på europeisk miks (EU 28) ville utslippet vært på cirka 380 millioner tonn CO₂. Det er en betydelig reduksjon. Hvis man legger norsk strømmiks til grunn, reduseres utslippet til cirka 95 millioner tonn. Hvis vi istedenfor for diesel (B7) hadde kjørt på avansert HVO ville samlet utslipp vært cirka 125 millioner tonn CO₂-ekv.



Figur 16: Utslippet fra en Volvo FE Electric er langt mindre enn fra en tilsvarende lastebil som kjører på Diesel med 7 prosent biodrivstoffinnblanding, selv om en strømmiks som i EU. Med norsk eller svensk miks blir faller utslippet med mer enn 80 prosent over lastebilens levetid (10 år, 750 000 km kjørt). Kilde Volvo Trucks

En vitenskapelig artikkel av Lei Yang , Caixia Hao and Yina Chai fra 2018³² konkluderer med at lastebiler i mellomklassen (6-14 tonn) har samme utslipp som en lastebil med forbrenningsmotor, når man måler i CO₂-ekv per tonnkilometer. Yang m fl bruker standard forutsetninger for utslipp for batteriproduksjon (141 kg/kWh) og batteriet er på 100 kWh. Men de bruker kinesisk strømmiks, som er på cirka 1100 gram CO₂-ekv/kWh, altså det dobbelte av den tyske miksen. Ved en tysk, europeisk

³¹ https://www.volvotrucks.com/en-en/trucks/environmental-footprint/environmental-footprint-calculator.html?lang=en&market=en&view=compare&trucks=fl,fl_electric&ucategories=urban

³² Life Cycle Assessment of Commercial Delivery Trucks: Diesel, Plug-In Electric, and Battery-Swap Electric, 2018

eller norsk kraftmiks vil Yang også få et bedre klimaresultat for sin mellomstore elektriske lastebil, noe han også viser i en sensitivitetstest.

I en studie gjort av FEV Consulting³³ av de tyngste langdistansekjøretøyene er konklusjonen at en trekkvogn med forbrenningsmotor slipper ut 4 prosent mindre over sin levetid enn en elektrisk med batteri og 26 prosent mindre enn med hydrogen brenselceller. Det som er spesielt for disse kjøretøyene er det voldsomme energibehovet som oppstår på grunn av rullemotstand og vindmotstand. Når farten øker klarer en bil med forbrenningsmotor (nesten) å utligne dette ved å optimalisere motorytelsen gjennom girene, mens energiforbruket øker lineært med økt fart i en elektrisk motor. Men også her vil selvsagt valg av strømmiks slå tungt ut. Hvis man velger noe annet enn europeisk miks, vil det påvirke resultatet opp eller ned for den batterielektriske løsningen.

FEV Consulting har også laget scenarier der de har gjort forbedringer på alle sider ved selve kjøretøyet (glideren), drivlinjene og forutsatt at all strømproduksjon i Europa er fornybar i 2050. Selv med forutsetning om 100 prosent fornybar strøm, tror FEV Consulting at forbrenningsmotoren vil være mest klimavennlig i 2050. Det skyldes at drivstoffet i 2050 ikke er fossilt, men syntetisk. Det kan enten være rent hydrogen eller e-fuel laget av hydrogen og CO₂.

Infrastruktur

For elektriske lastebiler som ikke har en fast rute, vil oppbygging av infrastruktur bli en stor og kostbar investering. Batteriene vil være i størrelse 300-1000 kWh og vil kreve hurtigladere plassert ut på strategiske plasser. Gjerne i forbindelse med hvile eller lasting og lossing. Å skulle skifte batterier, slik man gjør på en drill, er komplisert siden batteriene vil veie flere tonn. Siden ladingen tar tid, vil det kreve enorme oppstillingsplasser i tillegg til kraftige elektriske ladere.

Her har man en stor utfordring, som bør kartlegges nøye før man satser på å elektrifisere denne delen av flåten.

³³ Low Carbon Pathways until 2050 – Deep dive on heavy-duty transportation juli 2019