

NOTITIE 15

Een écht duurzame auto kopen, kan dat wel?

6 ASPECTEN WAAROP DE HEDENDAAGSE AUTO-INDUSTRIE NOG VEEL TERREIN KAN WINNEN

24 APRIL 2024

Auteurs: Felix Marseille, Igor Koster, Tycho Smokers

Contact en website

info@labverantwoordemobiliteit.nl

www.labverantwoordemobiliteit.nl



Inleiding

Het Laboratorium voor Verantwoorde Mobiliteit bestaat uit een groep jonge (aanstaande) mobiliteitsprofessionals. Voor de meeste van ons geldt dat we op dit moment niet tot de autobezitters van Nederland behoren. Nu velen van ons nog klein en hoofdzakelijk in een stad wonen, lukt het ons relatief goed om ons leven zo in te richten dat we zonder auto eigenlijk heel goed kunnen functioneren. Veel van onze activiteiten zijn eenvoudig met de fiets of het OV te bereiken. Waarschijnlijk zal hier echter in de nabije toekomst verandering in komen: een baan op een moeilijker bereikbare plek, kinderen die naar allerlei activiteiten en plekken moeten worden vervoerd, familievakanties, en ga zo maar door. Deze aanstaande zaken die het inrichten van het leven rond de fiets en het OV moeilijker maken, gaan waarschijnlijk de reden zijn dat velen van ons op termijn een auto zullen aanschaffen, zeker als het OV in Nederland niet op korte termijn significant verbetert (zie LVM notitie 11: Alle bestemmingen bereikbaar voor iedereen).

Ons vakgebied en onze kennis op het gebied van mobiliteit en duurzaamheid maken wel dat we hoge eisen stellen aan de auto die we willen aanschaffen. Vaak wordt uitvoerig gekeken naar en vergeleken op aspecten als beenruimte, brandstofverbruik, kofferbakinhoud, en of de auto past bij het imago van de koper. Voor ons bij het lab is dit tot op zekere hoogte belangrijk, maar niet van doorslaggevend belang. Voor ons staat de duurzaamheid van de auto's in breedst mogelijke zin centraal in onze overweging. Een verantwoorde auto moet, zowel in bouw, gebruik als in afdanking een zo klein mogelijke milieuafdruk hebben, goed zijn voor zowel de eindgebruiker als de mensen die de auto en de benodigde onderdelen vervaardigen, en binnen een duurzaam business model zijn gebouwd. Kortom: People, Planet, Prosperity.

Wij vinden alleen dat het huidige aanbod van beschikbare personenauto's in Nederland ernstig tekortschiet als het gaat om duurzaamheid, ook als we alleen kijken naar elektrische auto's. Dat kan en moet veel beter. In deze notitie bespreken we een zestal punten waarop we denken dat er flinke verbeteringen mogelijk en nodig zijn. Daarbij zullen we zien dat er soms trade-offs kunnen zijn tussen verschillende duurzaamheidseisen. Daar waar er afwegingen zijn tussen duurzaamheid en functionaliteit, gebruiksgemak of kosten geven we aan hoe ver we zelf bereid zouden zijn om bij de aanschaf van een auto offers te brengen, om zo consequent te voldoen aan onze eigen ambities op het gebied van duurzaamheid. De wens om vier mensen te kunnen vervoeren en enigszins comfortabel op vakantie te kunnen gaan, maakt bijvoorbeeld dat de wat meer avant-garde autoconcepten zoals tweezitters of deelnemers van de Shell Eco-marathon en Bridgestone World Solar Challenge, te zien in figuur 1, niet zomaar zullen voldoen aan onze wensen.

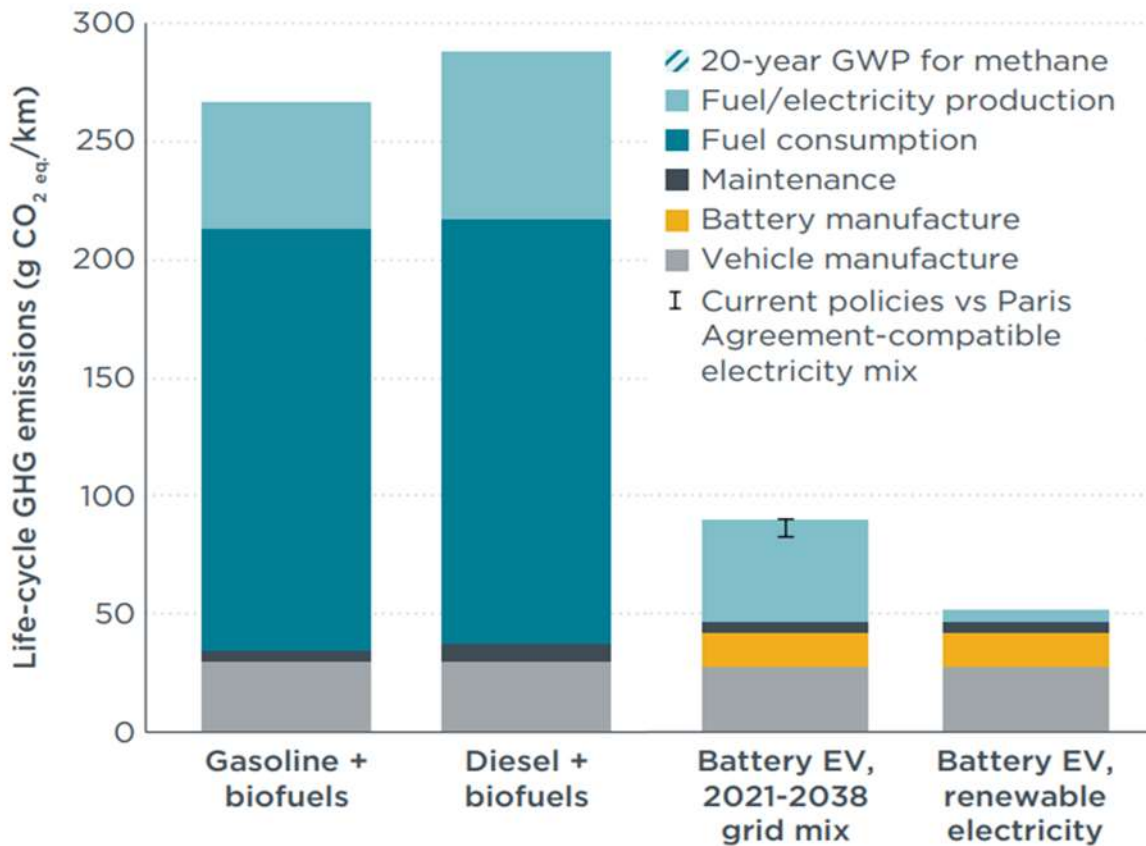


Figuur 1: Een auto van de Shell Eco-Marathon links en Bridgestone World Solar Challenge rechts (Green Team Twente, 2018 en Nuon Solar Team, 2009)

Elektrische auto's zijn duurzamer dan hun fossiel aangedreven tegenhangers, zoals te zien is in figuur 3. Maar we moeten ons realiseren dat elektrische auto's niet één pot nat zijn. Er zijn, net als bij fossiel aangedreven auto's, grote verschillen in efficiëntie en energiegebruik, duurzaamheid in productie, reparatiebaarheid en impact in de recyclingfase. Alle auto's die elektrisch zijn aangedreven krijgen in Europa automatisch een energielabel A. Maar zelfs zonder ingewikkelde sommen kun je stellen dat dit veel toepasbaarder is op een Renault Zoe (1577 kg) dan een GMC Hummer EV (4300 kg) (Figuur 2). Wil een klimaatneutrale economie echt binnen planetaire grenzen passen, dan zullen auto's en andere producten zo weinig mogelijk duurzame energie moeten gebruiken en zo weinig mogelijk grondstoffen nodig moeten hebben.



Figuur 2: Hummer EV (Charles, 2024) en Renault Zoe (Vauxford, 2018)



Figuur 3: Emissies over de gehele levenscyclus van een SUV. Gecategoriseerd in verschillende aandrijflijnen van in de EU geregistreerde SUV's in 2021; aangepast. (Bieker, 2021)

Volgens ons is een duurzame auto - die het écht verdient om een A-label te krijgen - daarom klein, licht, aerodynamisch, praktisch, verantwoord gebouwd, makkelijk repareer- en recyclebaar en vervaardigd uit zo weinig mogelijk problematische materialen als kobalt en neodymium. Als we naar het huidige aanbod van elektrische voertuigen kijken, zien we dat dat voor een groot deel bestaat uit relatief grote SUVs (Sports Utility Vehicles) met grote batterijen, veel vermogen en een hoog gewicht, waarvan veel onderdelen gemaakt zijn met te weinig oog voor mens en natuur. Wij zoeken eigenlijk naar een middenweg tussen het huidige aanbod en de meer avant-garde concepten als de 'cruiser' klasse auto's van de World Solar Challenge, zoals te zien in figuur 4.



Figuur 4: Stella, de 'cruiser' zonnwagen van de TU Eindhoven (Foto: Bart van Overbeeke)

Voor ons volgen uit deze constatering drie vragen:

1. Hoe ziet een zo duurzaam mogelijke auto, binnen de gestelde eisen, er voor ons uit?
2. Waarom bestaat deze nog niet?
3. Hoe zorgen we dat de auto-industrie deze auto gaat maken?

Dit is voor ons de reden om deze notitie te schrijven. We willen laten zien op welke punten automakers de duurzaamheid van hun producten en hun mate van verantwoordelijkheid voor de hele productieketen kunnen verbeteren. Hiervoor hebben we gekeken naar de aspecten die volgens ons van grote invloed zijn op de duurzaamheid van de auto, van ontwerp, bouw en gebruik, tot uiteindelijke afdanking. Een aantal van deze aspecten valt hoofdzakelijk binnen het domein van de automakers zelf, maar sommige raken ook aan de verantwoordelijkheden van overheden en toeleveranciers. En we kijken naar de rol van de consument, waarbij we onszelf als voorbeeld nemen van hoe de wensen van op duurzaamheid gerichte consumenten afwijken van de wensen van de huidige, relatief vermogende en gemiddeld wat oudere, groep kopers van nieuwe auto's, waar fabrikanten hun productontwikkeling op afstemmen. Wij denken dat deze overwegingen de kortste route bieden voor de auto-industrie om een meer verantwoord product te leveren.

In deze notitie zullen we in totaal zes aspecten bespreken die van grote invloed zijn op de duurzaamheid van de personenauto: aerodynamica, gewicht en omvang, over-motorisering, integratie en efficiëntie, batterijsamenstelling en reparatiebaarheid en recycling. Deze voorbeelden omvatten niet alle aspecten van duurzaamheid en niet alle manieren waarop auto's in de productie-, gebruiks- en afvalfase verduurzaamd kunnen en moeten worden. We zijn ons er natuurlijk van bewust dat er veel meer mogelijk en nodig is om mobiliteit te verduurzamen dan alleen het verduurzamen van de auto (zie daarvoor de andere notities van het LVM). Maar ondanks al die alternatieven denken we dat het

concept “auto in particulier bezit” de komende decennia nog dominant zal zijn als het gaat om personenmobiliteit. Daarom focust deze notitie op de duurzame auto.

De beschreven zes aspecten zijn, wat ons betreft, aansprekende voorbeelden van de verschillende manieren waarop automakers veel terrein kunnen winnen om tot een verantwoord en duurzamer product te komen, dat ons bij de aanschaf ervan een beter gevoel geeft over onze keuze. Daarbij hebben we oog voor de dilemma’s die daarbij voor zowel de fabrikant als de gebruiker kunnen optreden en geven we aan hoe we zelf aan de gewenste verandering zouden willen bijdragen.

Inhoudsopgave

1. Aerodynamica	8
Conclusie.....	10
2. Gewicht en Omvang.....	11
Conclusie.....	14
3. Over-motorisering	16
Conclusie.....	18
4. Integratie en efficiëntie	19
Conclusie.....	21
5. Samenstelling van batterijen	22
NMC (nikkel mangaan kobalt)	22
LFP (lithium ijzerfosfaat)	22
Solid state (vaste stof)	23
Conclusie.....	24
6. Repareerbaarheid en end-of-life	25
Modulariteit.....	26
Design for disassembly	26
Conclusie.....	27
Aanbevelingen	28
Slotwoord.....	30
Bronvermelding:	31

1. Aerodynamica

Aerodynamica, ofwel luchtweerstand, is een van de drie krachten die werken op een voertuig tijdens het rijden, samen met de rolweerstand en de hellingsweerstand - waar we in Nederland gelukkig niet zoveel last van hebben. De motor moet genoeg vermogen leveren om deze weerstand te overwinnen. De rol- en hellingsweerstand zijn niet afhankelijk van de snelheid van het voertuig. De luchtweerstand daarentegen is wel afhankelijk van de snelheid en vertoont een kwadratisch verband: een verdubbeling van de snelheid betekent een verviervoudiging van de luchtweerstand. Dat betekent dus dat deze kracht minder invloed heeft bij lage snelheden, maar bij hoge snelheden veruit de grootste invloed heeft op het energiegebruik.

Om een energie-efficiënte auto te maken - die met enige regelmaat op de snelweg rijdt - is het dus belangrijk om de luchtweerstand zo klein mogelijk te maken. Dit kan door de aerodynamica van het voertuig te verbeteren. Ontwerpers kunnen hiervoor 2 variabelen beïnvloeden: de luchtweerstandscoefficiënt en het frontaal oppervlak van het voertuig. Dit zijn dus knoppen waar de autofabrikanten aan kunnen draaien tijdens het ontwerp van hun voertuigen. Laten we beginnen met het frontaal oppervlak, dat voornamelijk afhankelijk is van het soort voertuig. Hoge en brede SUV's hebben een significant groter frontaal oppervlak dan kleine hatchbacks en stationwagens. Dit is makkelijk te concretiseren met een voorbeeld: een Volvo EX90 heeft een 15% groter frontaal oppervlak dan een Tesla Model 3 (EVspecifications, n.d.)(Tesla Motors Club, 2017). Hier kan je als consument dus makkelijk de goede keuze in maken, zonder verder verstand van aerodynamica te hebben.



Figuur 5: Links de Lightyear 0 in de windtunnel (AUTOUA, 2022), met een C_d van 0,175 en rechts de Mercedes-Benz Vision EQXX (ArenaEV, 2022), met een C_d van slechts 0,17 een grote verbetering ten opzichte van bijvoorbeeld de VW Passat (0,25) (Hyde, E., 2024).

De tweede factor waar fabrikanten - en dan voornamelijk de carrosserie-ontwerpers - mee kunnen spelen is de luchtweerstandscoefficiënt. Voor een lage coëfficiënt moet de auto "glad" en druppelvormig zijn. Dat betekent dat er zo min mogelijk spitse oppervlakken, kieren en openingen zijn. Hier kan veel terrein gewonnen worden door zo min mogelijk luchthappers te hebben - die gelukkig voor elektrische auto's minder nodig zijn - en door de velgen of wielkasten dicht te maken. Daarnaast helpt het als de auto lang is, met een spits toelopende staart. Twee goede voorbeelden van zeer

aerodynamisch efficiënt ontworpen auto's zijn de Nederlandse Lightyear 0 en de Mercedes-Benz Vision EQXX, zoals te zien in figuur 5. Door de lengte van deze auto's is er bovendien extra ruimte voor zonnepanelen en door hun extreem efficiënt ontwerp zouden deze panelen een significante hoeveelheid van de benodigde jaarlijkse energie kunnen leveren, zeker in landen met meer zon dan Nederland.

Kijkend naar luchtweerstandscoefficiënt kunnen we wederom de Volvo EX90 en de Tesla Model 3 vergelijken: de Volvo heeft een ruim 25% hogere luchtweerstandscoefficiënt dan de Tesla (Volvo, 2022)(Topgear, n.d.). Gecombineerd met het frontaal oppervlak, betekent dat dus dat de EX90 ongeveer 50% meer luchtweerstand ervaart dan de Model 3, wat zeker op hoge snelheden voor een veel hoger energiegebruik zorgt.

Maar waarom worden niet alle auto's aerodynamisch ontworpen dan? Helaas zitten er wel wat nadelen aan een aerodynamisch geoptimaliseerd ontwerp. Ten eerste gaan alle auto's erdoor op elkaar lijken en krijgen ze een minder uitgesproken design, zoals ook al in figuur 5 te zien is. Aangezien efficiëntie - en daarmee dus aerodynamica - minder van belang is bij een fossiel aangedreven auto, ligt de focus hierbij vooral op esthetiek en minder op aerodynamica. Veel EV's delen hun carrosserie nog met een fossiel aangedreven tegenhanger, zoals de Hyundai Kona, Kia Niro en BMW iX1, waardoor hier vaak dus minder rekening gehouden wordt met aerodynamica bij het ontwerpen van de vorm van het voertuig.

Een ander aspect dat grote invloed heeft op de aerodynamica is de koeling van de motor. Een verbrandingsmotor is erg inefficiënt. In een personenauto wordt zo'n 55 tot 70 procent van de energie uit de brandstof omgezet in warmte, en gaat dus verloren. Om al deze warmte weg te krijgen uit het voertuig is een uitgebreid koelsysteem nodig. Zo'n systeem maakt gebruik van de rijwind om via radiatoren de koelvloeistof af te koelen. Het grote nadeel hiervan is dat dit zorgt voor een significante verhoging van de luchtweerstand van het voertuig. Aangezien elektrische voertuigen een stuk energie-efficiënter zijn, is er minder koeling nodig en wordt de aerodynamica dus minder gehinderd door grote luchthappers. Dit geeft dus mogelijkheden voor een beter aerodynamisch design, zeker voor EV-specifieke platforms.

Het derde nadeel aan een aerodynamisch design, is dat er een aantal concessies gedaan moet worden op praktische aspecten van de auto. Een grote rechthoekige kofferbak is bijvoorbeeld een stuk praktischer dan de lange en lage achterbak van een Lightyear 0. Ook is een lage instap niet voor iedereen makkelijk te gebruiken. Gelukkig zijn er op het gebied van aerodynamica ook relatief grote winsten te behalen met relatief kleine maatregelen. Deze worden al veel toegepast op vrachtwagens en op enkele personenauto's. Denk hierbij aan luchtgeleiders op de voorste hoeken van een voertuig om een snellere luchtstroom langs de wielen te genereren, of aan aerodynamische wielkappen. Hierdoor hoeft je dus minder in te leveren op de praktische aspecten van de auto, en de optelsom van meerdere kleine aanpassingen kan nog steeds een significante besparing opleveren. Daarnaast zijn er ook auto's op de markt met een relatief aerodynamische vorm, veel ruimte én een acceptabel grote kofferbak, zoals de Tesla Model 3 - 649 liter (ANWB, n.d.) en de Hyundai Ioniq 6 - 401 liter (Naylor & Hyde, 2023).

Conclusie

Voor ons, als toekomstig autobezitters die graag de meest duurzame keuze maken, is het jammer om te zien dat er vooralsnog zo weinig modellen op de markt zijn die met het oog op aerodynamica ontworpen zijn. De nadruk ligt in de hedendaagse markt daarnaast ook op de SUV, een klasse auto die vaak slechtere aerodynamische prestaties levert. Er zijn inmiddels genoeg voorbeelden van auto's die aerodynamisch ontworpen zijn, zonder daarbij veel in te leveren op het design, zoals de Tesla Model 3, Hyundai Ioniq 6, en in het bijzonder de Lightyear 0.

Wij, als toekomstige autokopers, zijn in ieder geval bereid om in te leveren op aspecten als een bijzonder onderscheidend ontwerp en tot zekere mate aspecten als bagageruimte om een aerodynamischer ontworpen auto te hebben. Indien we dan toch een keer een omvangrijker voertuig nodig hebben, vinden wij het geen probleem om deze simpelweg ergens te huren.

2. Gewicht en Omvang

Na de luchtweerstand, is de rolweerstand de belangrijkste kracht die een auto tegenwerkt tijdens het rijden. De belangrijkste invloed op deze kracht is de massa van de auto. Een twee keer zo kleine massa geeft ook een twee keer zo kleine rolweerstand. Net als bij het frontaal oppervlak van de auto speelt hier dus het voertuigsegment een hele belangrijke rol. Een grote SUV (zoals een Range Rover) heeft tenslotte vrijwel altijd een hogere massa dan een hatchback (denk: VW Golf). Dat veel mensen een grote auto prefereren, mag duidelijk zijn. Vanuit een duurzaamheidsperspectief is dit echter een zeer kwalijke ontwikkeling. De voordelen die vaak genoemd worden bij een grote SUV zijn een veilig gevoel, een hoge instap en lekker veel ruimte voor als er een keer veel mensen of spullen mee moeten.

Het veiligheidsaspect is makkelijk te weerleggen, als je alleen al kijkt naar de EURO NCAP scores - een onafhankelijke maatstaf voor de veiligheid van auto's. Hier scoort een Volkswagen Polo net zo goed als bijvoorbeeld een Range Rover. De enige reden waarom een grote auto veiliger zou zijn, is dat deze bij een botsing met een kleinere auto relatief veel minder schade zal hebben dan de kleine auto. In de wereld van botstesten wordt dit 'crash compatibility' genoemd. Dit argument wordt echter alleen maar in stand gehouden doordat steeds meer mensen een te grote auto rijden, wat resulteert in een soort wapenwedloop. Als we allemaal in een kleine hatchback zouden rijden, zou dit argument vervallen. Daarnaast hebben terreinwagens en SUV's een hoger zwaartepunt, wat het risico dat de auto omslaat tijdens een ongeluk aanzienlijk verhoogt.

En als je een SUV koopt, omdat je een paar keer per jaar wat spullen moet verplaatsen, of heel af en toe met z'n vijven in de auto zit, rijdt je dus de rest van de tijd met een onnodig grote auto en ben je voor niks tweeëneenhalve ton staal aan het meesjouwen. Persoonlijk zouden wij een auto niet uitkiezen op die 5% van het gebruik, maar op de andere 95%. Hoe groot is de auto die je nodig hebt om je kinderen naar school te brengen? Indien nodig huur je dan een busje op het moment dat je moet verhuizen, zodat je niet het hele jaar met een grote auto hoeft te rijden, met de hogere brandstof-, banden-, onderhouds-, belasting- en verzekeringskosten die daarbij komen.

Helaas is het tegenwoordig steeds moeilijker om nog een kleine auto te kopen. Als je het formaat vergelijkt van Golf Mk1 uit 1974 en de huidige Golf Mk8, dan zie je duidelijk dat auto's in de afgelopen 50 jaar veel groter en zwaarder zijn geworden, van een kleine 800 kg voor de basisvariant Mk1 (Wikipedia, n.d.) naar ruim 1250 kg (Wikipedia, n.d.) voor de basisvariant Mk8. Hierdoor worden de winsten die er zijn geboekt op het rendement van de motor grotendeels tenietgedaan. Bovendien stappen veel mensen de afgelopen jaren over op een ander model - vaak een cross-over of SUV - waardoor het leeggewicht van de auto nog een paar honderd kilo meer wordt, zoals de 1600 kg van een VW Tiguan (Volkswagen, n.d.), zoals afgebeeld is in figuur 6. En dat terwijl de gemiddelde bezettingsgraad van auto's in al die tijd niet is veranderd.



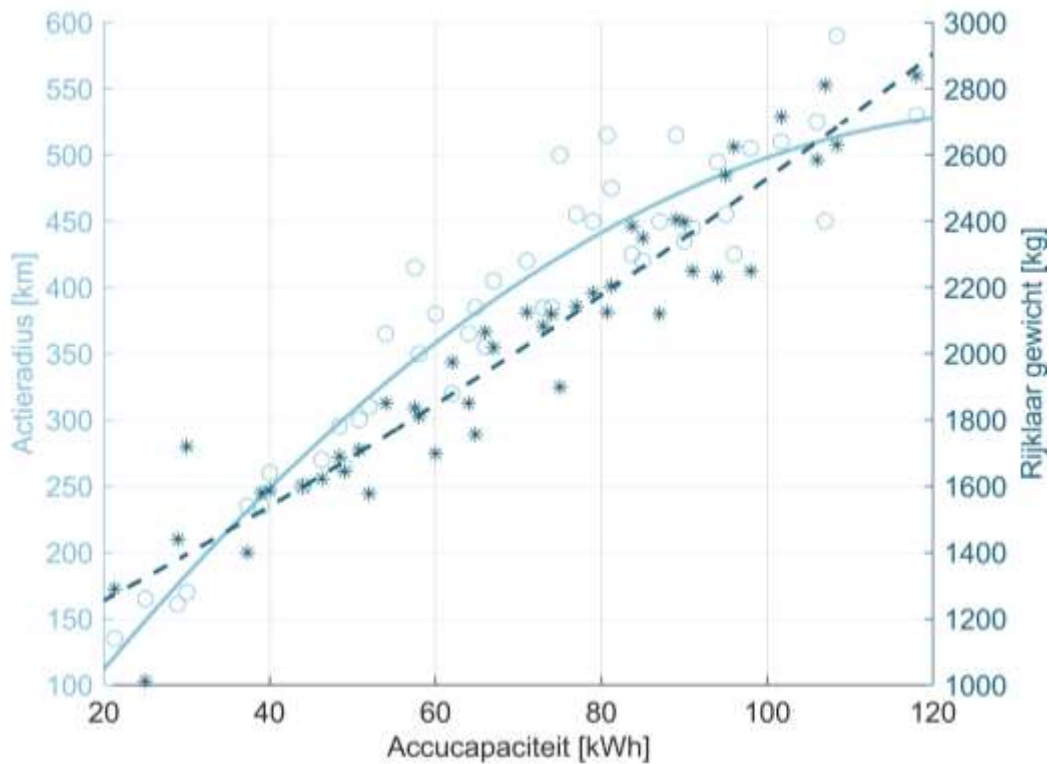
Figuur 6: Vergelijking van groei in auto's: 1974 VW Golf Mk1 vs 2024 VW Golf Mk8 en 2024 VW Tiguan (Carsized, n.d.)

Het extra gewicht van auto's komt voor een groot deel door extra veiligheidssystemen - waar wij als LVM natuurlijk niet op tegen zijn -, maar ook voor een aanzienlijk deel door extra luxe. Van stoel- en stuurverwarming, tot surround-soundsystemen met 10 speakers, tot een elektrische achterklep, alles voegt (onnodig) gewicht toe aan de auto, zorgt voor extra materiaalgebruik en kost daarbovenop ook nog eens veel energie. We moeten daarom terug naar de basisfunctionaliteiten van de auto.

Wat heb je nou écht nodig om enigszins comfortabel van A naar B te kunnen komen. Dát is waar een auto voor moet worden ontworpen, de rest is in ieder geval optioneel en potentieel overbodig. Helaas zijn alle luxeartikelen nou juist datgene wat verkoopwaarde en vooral winstmarge aan de auto toevoegt. Zeker bij EV's - die door de batterij al een hogere instapprijs hebben - wordt door de consument toch vaak een bepaald niveau van luxe verwacht, zodat ze "genoeg auto" krijgen voor hun geld. Hierdoor zie je dat autofabrikanten met EV's nog altijd voornamelijk inzetten op de duurdere segmenten, met alle gevolgen vandien.

Een andere oorzaak van het hogere voertuiggewicht is bij elektrische auto's natuurlijk de batterij. Die weegt, afhankelijk van de capaciteit, zo'n 200 tot 500 kilo. Daarbij zorgt een hogere accucapaciteit niet alleen voor een hoger batterijgewicht, de hele auto schaalt namelijk mee. Een zwaardere batterij heeft een sterker chassis nodig, wat zorgt voor een zwaardere auto, waardoor er vaak ook een grotere - en dus zwaardere - carrosserie op gebouwd wordt, wat op zijn beurt ook weer een grotere en zwaardere motor vereist. Dit is een vicieuze cirkel, want een zwaardere auto heeft weer meer energie nodig om een bepaald bereik te hebben, waardoor een grotere batterij nodig is, waardoor het gewicht nog meer toeneemt, en ga zo maar door...

Hierdoor lijkt er ook geen lineair verband tussen de actieradius en de batterijcapaciteit te zitten, zoals te zien is in figuur 7. Opvallend is hoeveel het totale voertuiggewicht lijkt toe te nemen per kWh aan accu. Laten we daarvoor de 2 extremen vergelijken. Helemaal links staat de Fiat 500e, met een accucapaciteit van 21.3 kWh en een gewicht van 1230 kg (EV database, n.d.). Helemaal rechts staat de Mercedes-Benz EQS SUV met een accu van 118 kWh en een gewicht van 2840 kg (EV database, n.d.). De batterij van de 500e weegt naar onze schatting rond de 100 kg, terwijl de batterij van de EQS rond de 500 kg weegt. Dat is een verschil van 400 kilo, terwijl de auto's in totaal ruim 1600 kilo van elkaar verschillen. Het is wellicht een oneerlijke vergelijking, omdat het twee compleet verschillende voertuigen zijn, maar het laat wel duidelijk zien wat voor trend er gaande is in de auto-industrie: er wordt door de meeste autofabrikanten gekozen voor grotere auto's met een grotere batterij om de actieradius te verhogen, in plaats van het verbeteren van de efficiëntie - in de vorm van betere aerodynamica, een lager gewicht of een efficiëntere aandrijving - van het voertuig. En de hele auto schaalt dus mee met dat grotere batterijformaat. Bovendien bevat een grotere batterij natuurlijk ook een stuk meer materialen, waarvan de meeste ook nog eens erg schaars en schadelijk voor het milieu zijn, waarover later meer.



Figuur 7: De verhouding tussen accucapaciteit, actieradius en voertuiggewicht. Gebaseerd op data van ev-database.nl

Een van de dingen die, naast de accucapaciteit, het meeste invloed heeft op het gewicht van een voertuig, is het materiaal van het chassis en de carrosserie. Om gewicht te besparen wordt er bij veel sportauto's gebruikgemaakt van koolstofvezel. Dit materiaal is veel sterker en lichter dan staal en aluminium, dus dat klinkt ideaal, toch? Helaas zitten er wel enkele nadelen aan het gebruik van koolstofvezel. Het maken van koolstofvezelpanelen is erg arbeidsintensief en daardoor behoorlijk duur. Echter, het grootste probleem van koolstofvezel is dat het momenteel nog nauwelijks te recyclen is. Hierdoor levert het een auto op die in de gebruiksfase duurzamer is, vanwege het lagere gewicht, maar over de gehele levenscyclus minder duurzaam is, door de hoge productie-uitstoot - die per auto veel hoger is dan die van staal (Kawajiri, Sakamoto, 2022)(Suer et al., 2022) - en door de sterk gecompliceerde recycling.

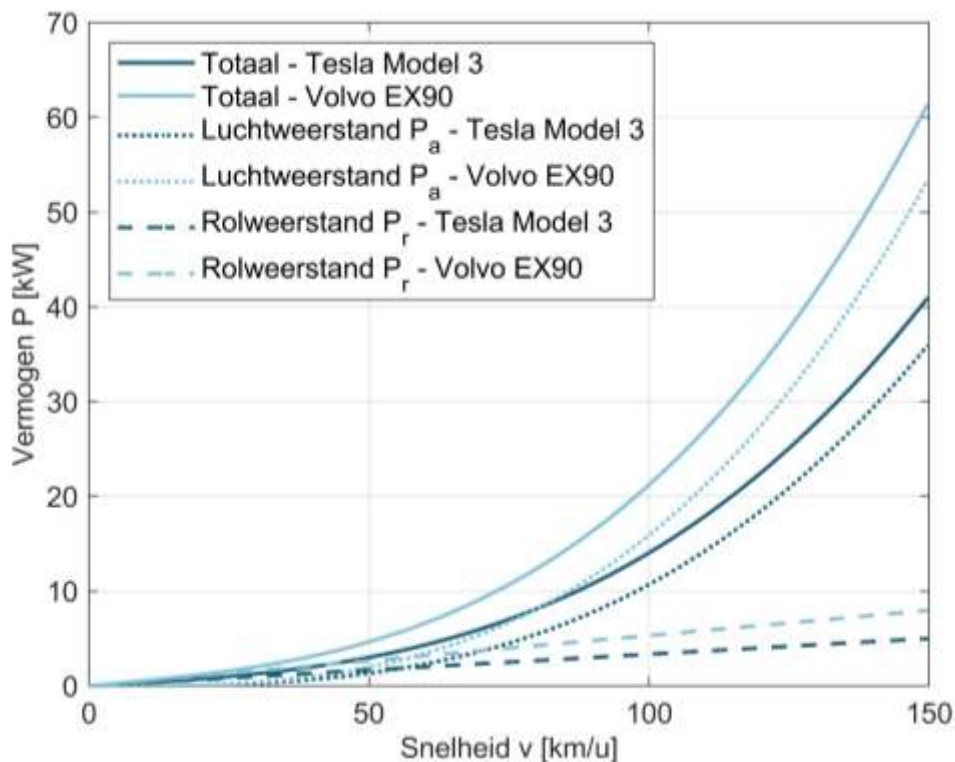
Conclusie

Auto's zijn de afgelopen decennia flink in omvang en gewicht gegroeid. Een deel van deze groei is volgens ons gerechtvaardigd. De verbeterde veiligheid van auto's met een bescheiden omvang is volgens ons iets om toe te juichen. Echter is veel van de groei volgens ons van een minder goed verdedigbare aard. De opmars van de SUV brengt veel negatieve gevolgen met zich mee. Er moet meer begrip komen voor de duurzaamheidsimpact die de omvang en het gewicht van een EV hebben. Louter elektrisch aangedreven zijn is niet genoeg om met de rechte rug te kunnen beweren dat een auto écht duurzaam is.

Wij zijn van mening dat het mogelijk is om in veel gevallen gebruik te maken van een kleiner voertuig zonder dat dit een significante impact heeft op hoe praktisch de auto in gebruik is. Auto's zouden niet moeten worden gevormd door de 5% van de gevallen dat een grote omvang nodig is, maar voor de 95% van de tijd dat er niet meer dan 4 mensen hoeven te worden vervoerd. De omvang van de auto verkleinen levert volgens ons positieve meekoppel-effecten op die de duurzaamheid van het voertuig significant ten goede komen.

3. Over-motorisering

Een derde factor die het energiegebruik van de auto beïnvloedt, is het rendement van de aandrijving. Zoals eerder benoemd moet de aandrijving genoeg vermogen leveren om de lucht-, rol- en hellingsweerstand te overwinnen. Indien de auto versnelt, is daar nog extra vermogen voor nodig. Figuur 8 geeft een overzicht van het benodigde motorvermogen om op verschillende constante snelheden te rijden, voor een Tesla Model 3 en een Volvo EX90.



Figuur 8: Totaal motorvermogen benodigd voor het rijden op verschillende constante snelheden, inclusief de oorzaken daarvan. Een vergelijking tussen de Volvo EX90 en de Tesla Model 3.

Laten we zeggen dat een auto minimaal 150 km/u moet kunnen rijden, zodat je, indien nodig, ook op de snelweg nog iemand kan inhalen. Daar heb je dan geen honderden pk's voor nodig. Zoals in de grafiek te zien is, heb je voor een Tesla Model 3 - of een auto van vergelijkbaar formaat - maar zo'n 41 kW - ongeveer 55 pk - nodig. Zelfs voor een grote SUV zoals de Volvo EX90 is maar 62 kW - ongeveer 83 pk - nodig. Om van 0 naar 100 km/u te accelereren in 10 seconden - wat volgens ons genoeg is - hebben de auto's naar onze inschatting respectievelijk zo'n 74 kW (101 pk) en 118 kW (160 pk) nodig. Maak je daar 8 seconden van - wat volgens ons onnodig is - dan wordt dat zo'n 92 kW (125 pk) en 147 kW (200 pk). Dan nog betekent dat dus dat beide auto's veel te veel vermogen hebben, met 208 kW (283 pk) (EV database, n.d.) en 205 kW (279 pk) (EV database, n.d.) in de basisuitvoeringen, om nog maar niet te spreken over de dual/twin motor uitvoeringen.

Natuurlijk is wat extra vermogen fijn, maar dan nog zou een niet al te grote auto met 100 tot 150 pk prima uit de voeten kunnen. Bij auto's met een verbrandingsmotor wordt vaak nog het argument gebruikt dat een auto met veel vermogen fijner rijdt. In werkelijkheid komt dat niet per se door het extra vermogen, maar voornamelijk door het extra koppel - ofwel de duwkracht - die de motor kan leveren. Aangezien elektromotoren inherent veel meer, en veel directer, koppel kunnen leveren dan verbrandingsmotoren, heb je geen grote motor nodig om dezelfde rijervaring te bieden.

Door een motor te gebruiken met minder vermogen kan deze kleiner zijn. Dat scheelt gewicht, ruimte en materialen. In veel elektromotoren zitten permanent-magneten, die veelal gemaakt zijn van schaarse materialen, zoals neodymium. Hoe minder hiervan nodig is, hoe beter. Daarnaast kan ook de vermogenselektronica - die de motor aanstuurt - kleiner worden, wat onder andere veel koper bespaart. Bovendien zal een kleinere motor vaker rond zijn meest efficiënte werkpunt zitten bij normaal gebruik, waardoor er nog meer energie bespaard wordt. Dat meest efficiënte werkpunt is - voor de meeste elektromotoren - op middelmatige snelheid en bij middel tot hoog koppel (X-engineer, n.d.).

Bovendien levert een lager gewicht eenzelfde versterkend effect op als eerder benoemd in deze notitie, maar in dit geval positief. Een kleinere motor is lichter en kan in een lichtere constructie worden bevestigd, waardoor er ook minder batterij nodig is om dezelfde actieradius te hebben, waardoor deze ook weer kleiner kan worden, enzovoorts.

Een ander bijkomend voordeel van een kleine motor - en dan vooral een met minder koppel - is dat het zorgt voor minder agressief rijgedrag. Dat is niet alleen fijn voor de medeweggebruiker, maar zorgt er ook voor dat alle andere onderdelen van de aandrijving kleiner kunnen zijn. De transmissie en banden hoeven niet meer zoveel koppel aan te kunnen, waardoor ze kleiner kunnen zijn. Dat levert voor de banden niet alleen een lager gewicht op, maar ook nog eens een lagere rolweerstandscoefficiënt en minder fijnstofuitstoot door bandenslijtage.

Aangezien elektrische auto's door hun vaak wat hogere gewicht - ten opzichte van hun fossiel aangedreven tegenhangers - al een hogere fijnstofuitstoot van de banden hebben, is het belangrijk om er alles aan te doen om dit te beperken. Daarnaast levert een rustige rijstijl ook nog eens minder remslijtage op, omdat er meer gebruik gemaakt kan worden van regeneratief remmen op de elektromotor. Dat bespaart energie en fijnstofuitstoot door slijtage van de remmen. Ook leidt snel optrekken door meer bandenslijtage, wat ook weer meer fijnstofuitstoot oplevert. Over zulke fijnstofuitstoot is wel regelgeving in ontwikkeling, maar het is voor de consument totaal niet duidelijk hoe goed of slecht de auto die ze kopen daarin presteert.

Iets wat mogelijk kan helpen om de rijstijl van autogebruikers minder agressief te maken, is letterlijk en figuurlijk de voet van de bestuurder van het gaspedaal af te halen. Een automatisch rijdend voertuig kan beter anticiperen, door onder andere te communiceren met de infrastructuur en andere automatische voertuigen. Bovendien hoeft een automatisch rijdend voertuig zijn zelfvertrouwen niet op te vijzelen met stoplichtsprintjes en houdt het zich netjes aan de geldende maximumsnelheid. Echter wordt de energiewinst hiervan grotendeels tenietgedaan door het hoge energiegebruik van de systemen die benodigd zijn voor het automatisch rijden, zoals lidars, radars, camera's en krachtige

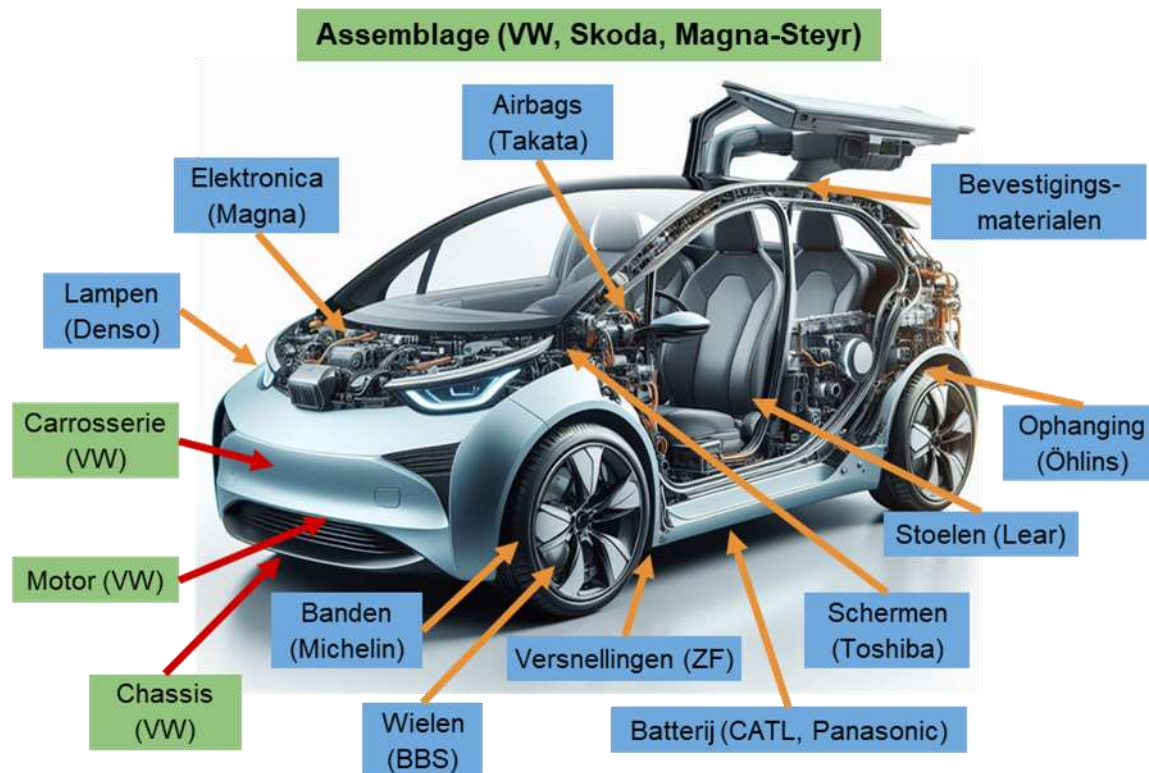
computersystemen. Bovendien zorgen al die extra systemen ook voor extra gewicht en materiaalgebruik, wat op zijn beurt weer zorgt voor extra emissies.

Conclusie

Een groot deel van het huidige aanbod aan elektrische voertuigen is over-gemotoriseerd. Dit heeft een aantal negatieve gevolgen voor de duurzaamheid van de voertuigen. Het materiaalverbruik van de auto is groter, de auto's worden onnodig verzwaard door inbouw van grotere motoren en de ingebouwde grotere motoren werken niet op hun efficiëntste punt, omdat ze gemaakt zijn voor het leveren van een groter vermogen. Hiernaast maakt een groter vermogen agressief en asociaal rijgedrag makkelijker, wat niet alleen het energiegebruik verhoogt, maar ook extra slijtage van banden en remmen oplevert, wat op zijn beurt weer zorgt voor onder andere meer fijnstofuitstoot. Auto's met duurzame ambities zouden genoeg vermogen moeten leveren voor dagelijks gebruik - dus maximaal 100 pk - en een bescheiden topsnelheid, net als bij de fossiel aangedreven instapmodellen het geval is.

4. Integratie en efficiëntie

De gemiddelde autokoper is zich vaak bewust van het merk en model van de auto die zij kopen. Maar van wie kopen we nou écht onze auto? Een aspect dat vaak wordt gemist, is dat de overgrote meerderheid van de onderdelen van de auto niet door de OEM's (autofabrikanten van zoals Volkswagen, Mercedes-Benz, Toyota) wordt geproduceerd. De hedendaagse auto-industrie is een industrie van verticale desintegratie, om op die manier zoveel mogelijk kosten te kunnen besparen. Dit betekent dat onderdelen als wielen, banden, stoelen, veren, schokdempers, lampen, versnellingsbakken, ramen en nog vele andere worden ontworpen, geproduceerd en geleverd door toeleveranciers. Deze toeleveranciers met namen als Bosch (elektronica en brandstofinjectie), Fuyao (autoglas), Magna (carrosseriepanelen, lampen elektronica), ZF-Friedrichshafen (versnellingsbakken), en Denso (verwarming en airco's) hebben vaak nauwelijks tot geen naamsbekendheid of reputatie bij het auto-kopende publiek.



Figuur 9: Hypothetische samenstelling van een personenauto. Leveranciers per onderdeel zijn illustratief.

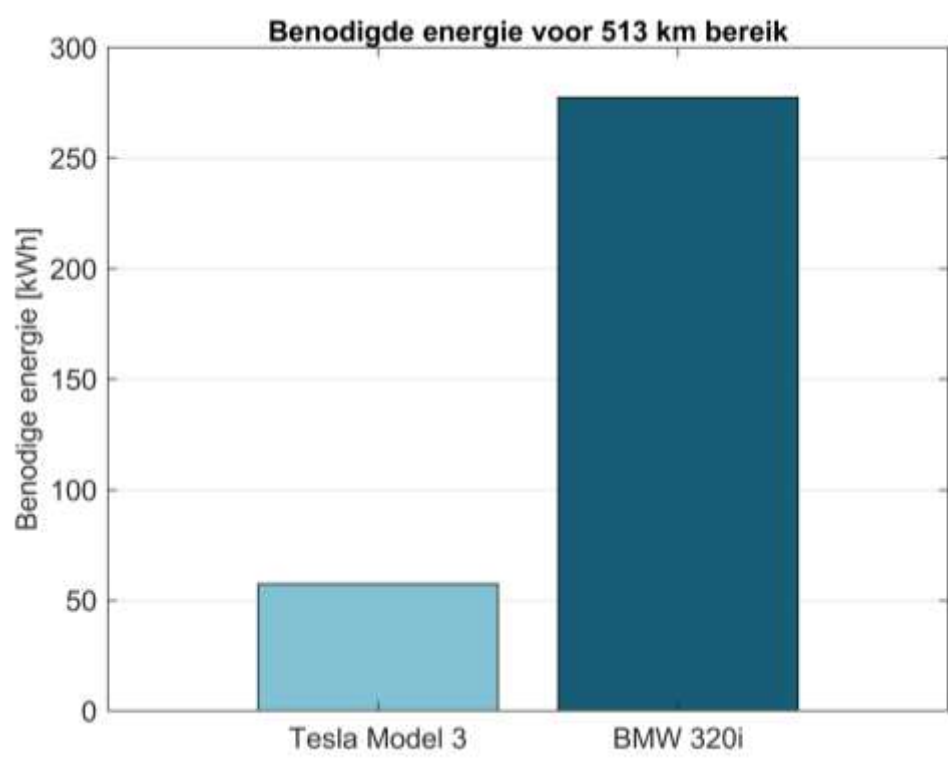
Dit systeem van desintegratie heeft alleen wel verreichende gevolgen voor het ontwerp en met name de efficiëntie van het resulterende voertuig. Om dit te beschrijven, nemen we het voorbeeld van de interieurverwarming.

Benzine en dieselauto's zijn zo inefficiënt dat het ontwerpen van de interieurverwarming in het verleden ontzettend simpel was. Een verbrandingsmotor heeft een omzettefficiëntie van tussen de 30% en 45%. Dit betekent dat bij het leveren van een vermogen dat hoog genoeg is om 100 km/u op de snelweg te rijden, de auto al snel tientallen kW aan warmte produceerde. Dit staat gelijk aan meerdere

elektrische huiskamerkachels en was dus ruim voldoende om het interieur mee te verwarmen. Deze warmte werd met een radiator doorgegeven aan het ventilatiesysteem en voilà, een warme cabine.

Elektrische auto's zijn echter veel efficiënter, wat betekent dat er minder restwarmte overblijft om bij lage buitentemperaturen de cabine te verwarmen. Er is wel koeling voor onderdelen als de motor en de batterij, maar het vermogen aan warmte dat hierbij vrijkomt is vaak niet genoeg om de cabine op een koude dag mee te verwarmen. Er moet dus warmte worden geproduceerd met de energie uit de batterij, wat directe invloed op het rijbereik heeft.

Het is mogelijk om voor de gehele elektrische auto een geïntegreerde koeling en verwarming te ontwikkelen. Hiermee maakt men dan optimaal gebruik van de energie die in de batterij van de auto zit. Maar omdat de verschillende onderdelen van de auto van verschillende toeleveranciers komen, wordt dit vaak niet gedaan, omdat dit onmogelijk of té moeilijk wordt geacht. Maar efficiënt omgaan met de beschikbare energie is met de noodzaak om duurzame mobiliteit te realiseren door middel van de elektrische auto van essentieel belang geworden. Benzine- en dieselaangedreven auto's dragen nou eenmaal veel meer energie mee in hun brandstoftank dan de batterij van een EV, zoals te zien is in figuur 10. Dat komt doordat benzine vele malen energie-dichter is dan zelfs de beste batterijen. Hierdoor kan er minder makkelijk veel energie meegenomen worden in EV's, en is efficiëntie, zeker van secundaire systemen zoals de verwarming, van veel groter belang.



Figuur 10: Benodigde energie voor een rijbereik van 513 kilometer voor de Tesla Model 3 en BMW 320i. (AutoWeek, 2018, Tesla Inc, n.d.)

Conclusie

Dit probleem zit diep, zowel voor de genoemde verwarming als voor andere onderdelen. Het heeft namelijk te maken met de manier waarop de auto-industrie is georganiseerd. Uitbesteding en desintegratie zijn de norm geworden om een zo laag mogelijke prijs en zo hoog mogelijke marge te halen, maar dit is ten koste van de energie-efficiëntie gegaan. Om dit probleem op te lossen, moeten autofabrikanten meer controle terug nemen als het gaat om het ontwerp van onderdelen die van groot belang zijn voor de efficiëntie van de auto en voor de integratie van die onderdelen. Denk hierbij aan koeling, verwarming, elektrische systemen en aandrijfsystemen. Zo kunnen deze onderdelen met nauwere integratie worden ontworpen, wat zal leiden tot een energie-efficiëntere auto. Gezien de complexiteit van dit - al decennia bestaande - systeem van leveranciers, zal deze verandering niet van de enige op de andere dag plaatsvinden. Momenteel is Tesla het enige bedrijf dat hierin geslaagd is, wat voornamelijk komt doordat zij relatief recentelijk met een schone lei konden beginnen, zonder langstaande afspraken en relaties met leveranciers. Dit heeft er mede voor gezorgd dat de basisvariant van de Tesla Model 3 het laagste energiegebruik per kilometer heeft van alle momenteel beschikbare EV's in Nederland.

Als (toekomstige) consumenten hebben we maar beperkte invloed op deze oplossingsrichting. Het is als koper moeilijk om inzicht te krijgen in de mate waarin merken en modellen zich onderscheiden in hoeveel systeemintegratie er wordt toegepast. Het is echter wel waarschijnlijk dat meer systeemintegratie tot wat duurdere voertuigen leidt, want de verticale desintegratie is in belangrijke mate gedreven door kostenbesparing. Oog hebben voor het energiegebruik per kilometer en bereid zijn om iets meer te betalen voor een efficiëntere elektrische auto kan echter wel helpen. Uiteindelijk moet er dan Europese normstelling komen voor het energiegebruik van elektrische voertuigen, om de voertuigfabrikanten te verplichten tot het verbeteren van de efficiëntie van hun auto's.

Een ander, nog niet genoemd, nadeel van de verticale desintegratie is dat die het moeilijk maakt om inzicht te krijgen in de duurzaamheid van de hele aanvoerketen van voertuigproductie. Daarbij gaat het niet alleen om energie en materialen maar ook om milieu- en arbeidsomstandigheden bij de winning van materialen en de productie van componenten.

Juist bij het maken van een product dat moet bijdragen aan verduurzaming van mobiliteit zou het wat ons betreft vanzelfsprekend moeten zijn dat de hele productieketen voldoet aan wetgeving met betrekking tot duurzaamheid, milieu en arbeidsomstandigheden. Deze wetgeving moet wat ons betreft even streng zijn als de Europese wetten en consistent zijn met de duurzaamheidsdoelen die we willen bereiken en met de eisen die we als consument zelf aan onze eigen werkomstandigheden stellen. Helaas is dat door de verticale desintegratie en de daaruit volgende globalisering van de voertuigproductieketen niet het geval.

5. Samenstelling van batterijen

Iets waar veel consumenten niet of nauwelijks bewust van zijn, is dat er, niet alleen qua techniek maar ook qua duurzaamheidsimpact, grote verschillen bestaan tussen de batterijen die in moderne elektrische auto's zitten. Er zijn 3 chemische samenstellingen die we in deze notitie graag verder willen bespreken, omdat dit de meest voorkomende of veelbelovende varianten zijn: NMC (nikkel mangaan kobalt), LFP (lithium ijzerfosfaat) en solid state (vaste stof) batterijen. Deze batterijen hebben namelijk elk hun voor- en nadelen als het gaat om hun karakteristieken, prestaties en duurzaamheid. De keuze over debatterijtechnologie heeft een significante impact op hoeveel duurzamer een elektrische auto is dan zijn fossiel aangedreven tegenhanger.

NMC (nikkel mangaan kobalt)

Lithium-ion batterijen van het type NMC worden momenteel het meest gebruikt in elektrische auto's. NMC-batterijen hebben een relatief hoge energiedichtheid, wat het mogelijk maakt om een relatief inefficiënt voertuig een hoge actieradius te geven, omdat het vergroten van de batterij relatief weinig gewicht aan de auto toevoegt. De technologie van NMC was bij het begin van de opmars van de elektrische auto rond 2009 ook al relatief ver doorontwikkeld, omdat deze al werd toegepast in apparaten als mobiele telefoons en laptops. Dit betekende dat er ook een productiecapaciteit bestond waar aanvankelijk dankbaar gebruik van kon worden gemaakt.

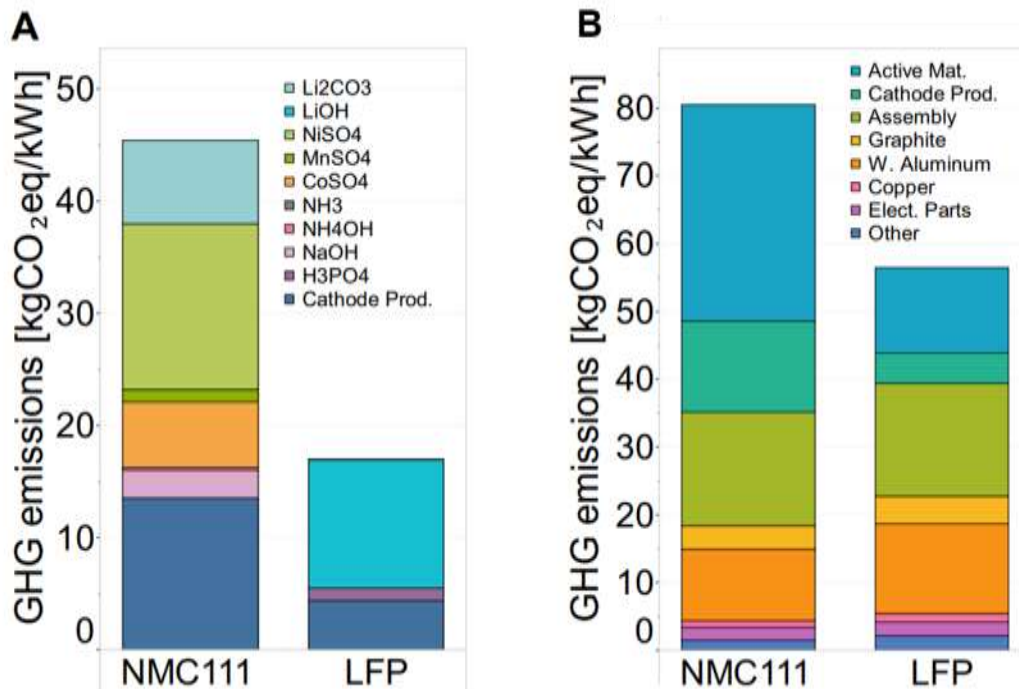
NMC heeft echter een groot nadeel: een deel van de elektrode van de batterij maakt gebruik van kobalt, en dat is niet onomstreden. Kobalt wordt hoofdzakelijk gewonnen in de Democratische Republiek van de Congo en bij de winning van deze grondstof is er op grote schaal sprake van zeer slechte arbeidsomstandigheden, kinderarbeid en milieuverontreiniging (Hinton-Beales, D., 2022). Naast al deze problemen is kobalt ook nog een duur materiaal dat gevoelig is voor prijsschokken.

LFP (lithium ijzerfosfaat)

Voor een aantal van deze problemen kan de LFP-batterij uitkomst bieden. De elektrode die in de NMC-batterij uit lithium, nikkel, mangaan en kobalt bestaat, is in de LFP batterij gemaakt van lithium-ijzerfosfaat. Dit materiaal heeft een veel robuustere en grotere supply chain dan kobalt, nikkel en mangaan. Daarbovenop is het ook nog eens veel goedkoper per kg (SMM, 2024). Het nadeel dat tegenover al deze voordelen staat is dat LFP-batterijen voor hetzelfde gewicht een kleinere actieradius opleveren. LFP-batterijen bevatten voor hetzelfde gewicht ongeveer 30% minder energie, en dus komen ze, met hetzelfde energiegebruik, ongeveer 30% minder ver per laadbeurt. Wel kunnen LFP batterijen beter tot 100% opgeladen en tot 0% ontladen worden zonder de batterij te beschadigen, waardoor ze in de praktijk minder snel degraderen dan hun NMC-tegenhanger (Karimov, 2022).

Het gebruik van onder andere minder belastende materialen in de samenstelling van de batterij maakt dat de LFP een significant lagere milieudruk heeft dan een NMC batterij. Dit is duidelijk te zien in figuur 11. Bij een batterij van 100 kWh is de CO₂-besparing van LFP ten opzichte van NMC bij de bouw al 2300 kg (Llamas-Orozco, J. A., Meng, F., Walker, G. S. et al., 2023). Dit is vergelijkbaar met 2 retourvluchten

van London naar New York (Kommenda, 2021) of het afleggen van 20.000 km in een VW Golf Mk 8 (Volkswagen, n.d.).



Figuur 11: Milieuimpact van NMC- en LFP-lithium-ion batterijen: Links (A) de milieuimpact van de materialen voor de celproductie, rechts (B) de impact van de productie van de gehele batterij. (Llamas-Orozco, J. A., Meng, F., Walker, G. S. et al., 2023).

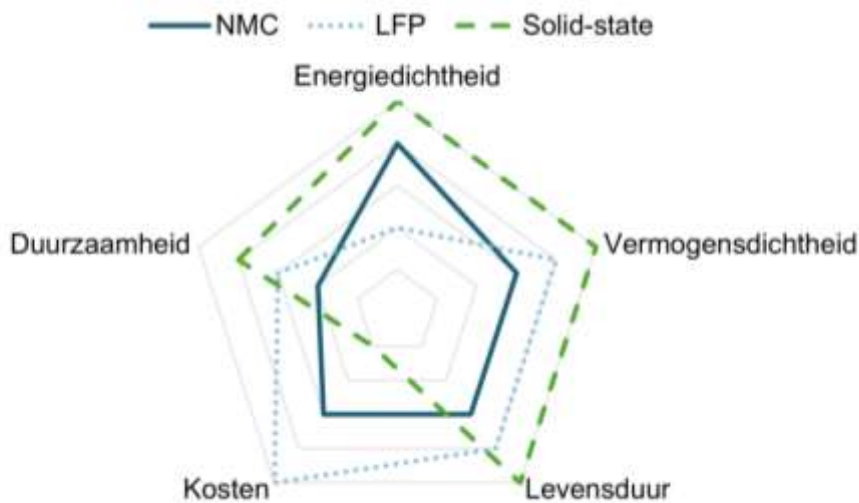
Solid state (vaste stof)

Alle in auto's toegepaste batterijtechnologieën maken gebruik van een vloeibaar elektrolyt. Deze stof, die de uitwisseling van ionen tussen anode en kathode en dus het laden en ontladen van de batterij mogelijk maakt, bevat in NMC- en LFP-batterijen lithium dat is opgelost in fluorfosfaat (Llamas-Orozco, J. A., Meng, F., Walker, G. S. et al., 2023). Onderzoekers en technici zijn al jaren bezig met het ontwikkelen van een methode om een elektrolyt in vaste vorm in batterijen toe te passen. Deze ontwikkeling zou een aantal voordelen met zich meebrengen: solid state batterijen kunnen dezelfde actieradius leveren bij een kleinere batterij-omvang en minder gewicht, ze kunnen sneller worden opgeladen, hebben een lagere milieudruk, gaan langer mee dan de al aanzienlijke levensduur van huidige batterijtechnologieën en zijn nóg veiliger dan bestaande batterijen (Gorman, 2023).

Dit klinkt allemaal fantastisch, maar er is natuurlijk een reden dat LFP- en NMC-batterijen nog altijd de dienst uitmaken op de hedendaagse automarkt. Solid-state batterijen zijn gewoonweg nog niet ontwikkeld genoeg voor massaproductie en grootschalige toepassing. Verschillende automakers, waaronder Toyota, hebben beloftes gedaan voor de toepassing van solid-state technologie in hun elektrische auto's (McLain, 2017), maar tot nu toe zijn nog geen van deze beloftes ingelost.

Conclusie

NMC-batterijen hebben jarenlang de dienst uitgemaakt voor elektrische auto's. Maar deze batterijen hebben serieuze nadelen als het gaat om duurzaamheid, kosten en levensduur zoals te zien is in figuur 12. Een duurzamere auto zal, tot de massaproductie van vaste-stof batterijen mogelijk is, gebruik moeten maken van batterijcellen met een LFP-samenstelling. Dit zal echter wel betekenen dat deze auto's een wat kleinere actieradius zullen hebben dan ze zouden kunnen hebben gehad met een NMC-samenstelling. Wij, als milieubewuste autokopers, zijn bereid een grotere actieradius op te offeren als dat betekent dat we een auto kopen met een batterij die gemaakt is van meer verantwoorde materialen, met een lagere milieudruk. Bovendien kan het verschil in actieradius gemakkelijk worden gecompenseerd door verbetering van de aspecten van het auto-ontwerp die eerder in deze notitie zijn genoemd: aerodynamica, gewicht, omvang en een nauwere integratie van onderdelen.



Figuur 12: Kwalitatieve vergelijking van NMC, LFP en solid state batterijen op verschillende criteria.

6. Repareerbaarheid en end-of-life

Het minst duurzame wat je met een auto kunt doen is er een bouwen. Zeker voor elektrische auto's is het bouwen van het voertuig verantwoordelijk voor een significant gedeelte van de uitstoot tijdens de gehele levenscyclus. De opdracht is dus duidelijk: houd de elektrische auto, nadat hij is geproduceerd, zo lang mogelijk op de weg. Maar in dit streven komen we soms op afwegingen uit die geen eenduidig antwoord opleveren. Een paar van deze dilemma's zullen we hier uitlichten.

In de jaren 50 werden auto's gebouwd met een korte verwachte levensduur, waarbij de fabrikant ervoor zorgde dat, op het moment dat het nieuwe model uitkwam, de oude auto kon worden ingeruild voor een nieuwe, na slechts een aantal jaar (Fastercapital, 2024). De levensduur van auto's is in de afgelopen 70 jaar echter steeds langer geworden (Harley, 2023). Elektrische auto's hebben op dit gebied het voordeel dat ze minder bewegende delen hebben en daarom minder intensief onderhouden hoeven te worden (Letmathe & Suarez, 2017) en potentieel langer meegaan. Er zijn echter wel praktijken die te maken hebben met repareerbaarheid die ons zorgen baren. Onder andere de batterijen van elektrische auto's worden steeds moeilijker om (deels) te vervangen. De stevige en soms permanente integratie van dit soort onderdelen door ze bijvoorbeeld in de structuur van de auto vast te lijmen geeft voordelen op het gebied van efficiëntie, door te helpen bij het halen van een lager gewicht, maar heeft serieuze gevolgen voor de reparatiemogelijkheden van deze onderdelen.

De casus van de modellen van Tesla is hier illustratief: De batterij van de Tesla Model S bestond ooit uit 16 modules die individueel vervangen konden worden (Cuma et al., 2017). De Model 3 uit 2018 had in eerste instantie 4 modules, die al strakker geïntegreerd waren in de structuur van de auto en dus minder makkelijk vervangen kunnen worden (Field, 2019). Deze batterij-indelingen worden tegenwoordig echter niet meer toegepast door Tesla. Bij de nieuwste versie van de Model Y is de batterij volledig geïntegreerd in de structuur van het voertuig (Lambert, 2021) en extreem moeilijk te repareren (St John, 2023).

Met dit nieuwe ontwerp is de batterij lichter en dus efficiënter geworden door het wegnemen van bijvoorbeeld de individuele behuizingen van de 16 modules in het ontwerp van de vroege Model S. Dit is echter ten koste gegaan van de mogelijkheid tot reparatie van het batterijpakket, of verhoogt de kosten daarvan sterk. Dit verhoogt het risico dat een auto, die zonder deze manier van bouwen gerepareerd had kunnen worden, op de schroothoop belandt en vervangen wordt door een nieuw geproduceerd model. Hier is dus een duidelijk dilemma tussen de repareerbaarheid en efficiëntie van het desbetreffende voertuig.

Waar dit toe kan leiden toont het - natuurlijk wat extreme - voorbeeld van een Finse eigenaar die zijn auto met dynamiet opblies in plaats van de door Tesla aangeboden reparatie van €22.000 te laten uitvoeren (Roth, 2021). Dit soort (explosieve) afdankingen moeten kosten wat kost voorkomen worden om ervoor te zorgen dat de milieu-impact van het produceren van een nieuwe auto zo weinig mogelijk voorkomt.

Wij zijn van mening dat een OEM duidelijk moet kunnen verantwoorden waarom keuzes rond reparatiebaarheid zijn gemaakt en waarom praktijken als het vastlijmen en in de dragende structuur van het voertuig integreren van onderdelen worden toegepast. Als dit duidelijke en significante efficiëntiewinst oplevert zou dit te rechtvaardigen kunnen zijn, zo niet, dan moet hier kritisch naar gekeken worden. Op dit moment worden elektrische voertuigen nog vaak gebouwd op het platform van een bestaande fossiel aangedreven auto, maar nu speciaal voor elektrische auto ontworpen platforms steeds populairder worden, moet kritisch naar de door de OEM gekozen route uit dit dilemma gekeken worden.

Modulariteit

Modulariteit van onderdelen kan, op punten waar de integratie van onderdelen niet van significante invloed is voor de totale efficiëntie, uitkomst bieden voor het repareren of upgraden van deze onderdelen en daarmee de noodzaak tot de vervanging van een auto verminderen.

Sommigen van ons (leden van het lab) zijn oud genoeg om zich de vervangbare autoradio te herinneren. Het Duitse instituut voor standaardisering (DIN) heeft twee standaarden voor de afmeting van autoradio's: de 'single-' en 'double-' standaard. Veel autoradio's volgden deze standaard tot de introductie van uitgebreide 'infotainment' systemen in de afgelopen 20 jaar. Dit heeft echter als gevolg dat wanneer de technologie van een auto verouderd raakt deze niet gemakkelijk meer up-to-date kan worden gemaakt. Het mogelijk maken van het vernieuwen van de delen van een auto die de auto dateren, zoals routenavigatie en andere digitale hulp- en infotainmentsystemen, maar ook zaken als de interieur- en stoelbekleding, zouden ervoor kunnen zorgen dat auto's die op deze plekken achter gaan lopen minder snel afgedankt worden.

Om voor tussentijdse "upgrades" minder afhankelijk te zijn van de OEM zou het wenselijk zijn dat gelijksoortige standaarden worden ontwikkeld als voor de genoemde autoradio van vroeger. Dit geeft de eigenaar van een auto eventueel de mogelijkheid onderdelen die veel gebruik en slijtage zien, of onderdelen die door snelle technologische verandering snel gedateerd raken, individueel te vervangen zonder de hele auto af te danken.

Dit is extra nodig wanneer elektrische voertuigen door de lange levensduur van batterijen en elektrische aandrijving veel langer mee gaan dan de huidige conventionele voertuigen. Die laatste gaan gemiddeld zo'n 300.000 km mee, maar met bijvoorbeeld solid-state batterijen komen levensduren in beeld die een veelvoud daarvan zijn.

Design for disassembly

Als laatste zou het praktisch zijn dat, daar waar mogelijk, auto's zo gemaakt worden dat ze aan het eind van hun leven makkelijk uit elkaar gehaald kunnen worden. Zeker als het gaat om de onderdelen die op andere plekken een tweede leven zouden kunnen krijgen.

De batterijen van oude EV's worden op sommige plekken al gebruikt als stationaire batterijen die duurzame stroom opslaan om zo het elektriciteitsnet te helpen bij het aan elkaar koppelen van vraag en aanbod. Om dit soort tweede-levenstoepassingen te creëren moet het wel mogelijk zijn de benodigde componenten uit elkaar te halen, om ze zo dit tweede leven te kunnen geven. Hiernaast moet het ook mogelijk zijn om ze aan te kunnen passen om goed in hun nieuwe functie dienst te kunnen doen. Denk hierbij aan het plaatsen van een nieuw batterijmanagementsysteem of het vervangen van de behuizing van de batterij. Dit is zeker van belang bij de eerder genoemde vaste stof batterijen die een veel langere levensduur zullen hebben.

Conclusie

Al met al is er naar onze mening nog veel terrein te winnen als het gaat om het verlengen van de levensduur van voertuigen en het mogelijk maken van hoogwaardig hergebruik en recycling aan het eind van de levensduur. Om het ons als toekomstige autobezitters, die ondanks onze duurzame ambities natuurlijk toch ook gevoelig zijn voor mode en de aantrekkingskracht van nieuwe snufjes, makkelijker te maken om lang met een voertuig te doen, zou het helpen als onderdelen die sterk aan mode onderhevig zijn, of gedateerd raken door snelle technologische ontwikkeling, gedurende het leven van een auto kunnen worden vervangen.

Aanbevelingen

In deze notitie beschrijven we dat er bij het verduurzamen van auto's meer komt kijken dan alleen het elektrificeren van de aandrijflijn. Een belangrijk criterium voor een écht duurzame auto is dat die in productie en gebruik maximaal zuinig omgaat met energie (ook al is die straks duurzaam geproduceerd) en met materialen die schaars of milieubelastend zijn. Als aankomend autokopers zouden we op dit soort aspecten graag duurzame keuzes willen kunnen maken. Daar waar er trade-offs zijn tussen duurzaamheid en functionaliteit geven we aan welke prijs - in de brede zin van het woord - we bereid zijn, of bereid zouden moeten zijn, te betalen voor een duurzamer product. Nog mooier zou het zijn als we die keus helemaal niet hoeven te maken, omdat het aanbod van elektrische voertuigen al zo duurzaam mogelijk is. Dat laatste kan alleen als alle fabrikanten duurzamere beslissingen gaan nemen met betrekking tot het ontwerp en de productie van elektrische voertuigen. En dat zullen ze alleen doen als er meer consumenten kritisch gaan kijken naar het aanbod en daarin duurzamere keuzes gaan maken. Om dat voor elkaar te krijgen geven we hieronder een aantal aanbevelingen voor consumenten, overheden en autofabrikanten.

Stop met het kopen van te grote auto's met teveel vermogen

Al met al zijn er dus veel manieren waarop we auto's duurzamer kunnen maken. Er zitten af en toe lastige dilemma's tussen, waarbij bijvoorbeeld de emissies in de productiefase lager worden, maar als gevolg daarvan de auto meer verbruikt tijdens de gebruiksfase, zoals bij de keuze tussen LFP- en NMC-batterijen, of bij het materiaal van de carrosserie. Hiervoor is een uitgebreidere life-cycle assessment nodig om de duurzaamheidsimpacts van dit soort keuzes te bepalen.

Gelukkig is er voor veel ontwerpkeuzes ook sprake van het "trickle-down effect". Een kleine goede keuze zorgt voor een steeds groter wordend effect. We hebben het al weleens eerder benoemd in deze notitie, maar laten we nog een voorbeeld geven. Stel een auto wordt aerodynamischer ontworpen, dan is er minder vermogen nodig om dezelfde snelheid te kunnen rijden, waardoor er een kleinere motor kan worden gemonteerd. Deze kleinere motor weegt minder en heeft een hoger rendement bij lagere snelheden, en door het lagere energiegebruik op hoge snelheden is er ook een kleinere batterij nodig om even ver te kunnen rijden. Hiermee wordt weer gewicht bespaard, waardoor alle onderdelen nóg kleiner gemaakt kunnen worden, en ga zo maar door.

Natuurlijk zijn de autofabrikanten degenen die deze auto's uiteindelijk moeten ontwerpen, maar dit kan gestuurd worden vanuit ons, de consument. Dus, stop met het kopen van grote SUV's met veel te veel vermogen, als je er 9 van de 10 keer in je eentje in rijdt. Kies een auto niet alleen omdat 'ie er mooi uitziet, maar koop de auto die het meest efficiënt is. Dat bespaart geld en is ook nog eens beter voor mens en milieu. Koop een auto op 95% van het gebruik, in plaats van de 5% aan uitzonderingen. Dit wordt geholpen door de opkomst van deelmobiliteit, waardoor we in de toekomst ook makkelijker flexibel gebruik kunnen maken van verschillende typen voertuigen, indien dat nodig is.

Maak werk van een integraal duurzaamheidslabel

Los van het feit dat auto's milieubewuster ontworpen kunnen en moeten worden, is het ook belangrijk dat dit inzichtelijk gemaakt wordt voor de consument. Zoals genoemd is het volstrekt onverklaarbaar dat een gigantische elektrische SUV en een kleine elektrische hatchback hetzelfde energielabel hebben terwijl de SUV anderhalf tot twee keer zoveel energie gebruikt en veel meer materiaal gebruikt tijdens de productie. Bovendien ziet de gebruiker vaak niets van de keuzes die gemaakt zijn over de interne onderdelen van de auto, en dat moet volgens ons veranderen.

Als we écht duurzaam willen zijn, moeten we zo efficiënt mogelijk omgaan met de energie die we hebben. Zelfs als deze energie allemaal uit hernieuwbare bronnen komt, is het nog steeds zonde als we daar een groot deel van weggooien. Daarnaast zorgt een grotere en zwaardere auto niet alleen voor meer energiegebruik, maar ook voor meer materiaalgebruik - en de daarmee geassocieerde emissies gedurende de productie - en voor een hogere fijnstofuitstoot van banden en remmen. Om dit inzichtelijk te maken voor de consument, is er een integraal duurzaamheidslabel nodig. Dit label neemt alle aspecten mee, van materiaalgebruik, tot CO₂ en fijnstofuitstoot, tot werkomstandigheden in de hele keten, van ruwe materialen tot levering aan de consument.

Om dit wettelijk bindend te maken, is er heel veel werk nodig vanuit overkoepelende organisaties, zoals de Europese Commissie, wat nog zomaar 10 jaar kan duren. Echter kan er ook al veel gedaan worden, zonder dat het wettelijk bindend is. Kijk maar naar hoe het gegaan is rondom veiligheidseisen van auto's. In de jaren negentig van de vorige eeuw werd het Euro NCAP programma opgezet in opdracht van het Britse ministerie van transport. Dit, inmiddels door veel Europese landen ondersteunde, programma beoordeelt de veiligheid van auto's, onafhankelijk van de wetgeving en de autofabrikanten. Hiermee was er voor het eerst een reden voor autofabrikanten om meer te doen dan wat er wettelijk verplicht was, omdat de consument er direct de gevolgen van kon zien. Inmiddels is de Euro NCAP een internationaal breed gedragen beoordeling, en gebruiken bijna alle autofabrikanten de resultaten in hun eigen productinformatie.

Op deze manier kan er dus sneller gewerkt worden aan een integraal duurzaamheidslabel, waardoor de consument een bewustere keuze kan maken, zonder dat alles wettelijk vastgelegd hoeft te zijn. Dezelfde organisatie heeft daarvoor nu ook de Green NCAP (www.greenncap.com) opgezet. In dat programma is ook een LCA-tool ontwikkeld die aspecten van de levenscyclus inzichtelijk maakt. Deze tool neemt echter nog niet alle aspecten in beschouwing die volgens ons wel belangrijk zijn, waardoor elektrische auto's alsnog allemaal (bijna) de maximum score krijgen.

Maak auto's weer repareerbaar en herbruikbaar

Aangezien de productie nog altijd een van de - al dan niet dé - grootste bron van emissies is in de levensloop van een auto, is het belangrijk om de auto zo lang mogelijk op de weg te houden. In de afgelopen decennia zijn auto's steeds ontoegankelijker geworden voor onderhoud en hergebruik, door verlijming en veelvuldig gebruik van plastic. Het is belangrijk dat er vanuit Europa duidelijkere en verrijkendere regels komen over de repareerbaarheid en herbruikbaarheid van voertuigen. Zo kunnen

onderdelen makkelijk en goedkoper vervangen worden, zodat de auto minder snel total loss wordt verklaard en op de schroot eindigt. En mocht dat dan toch gebeuren, dan is het belangrijk dat de auto ook goed gedemonteerd kan worden, zodat alle individuele materialen hergebruikt kunnen worden. Een goede eerste stap is de «Triple R» Directive 2005/64/EC met betrekking tot typegoedkeuring van motorvoertuigen inzake herbruikbaarheid (reusability), recycleerbaarheid (recyclability) en mogelijke nuttige toepassing (recoverability).

Zorg voor meer integratie in de auto-industrie

Helaas is het momenteel nog erg lastig om een goed beeld te krijgen van de duurzaamheid van de totale aanvoerketen. Om dit makkelijker in kaart te kunnen brengen en meer ketenverantwoordelijkheid te krijgen bij de autofabrikanten, moet er meer verticale integratie plaatsvinden. Hierdoor wordt niet alleen de hele keten kleiner en inzichtelijker, maar wordt ook de totale oplossing efficiënter. Als de aanvoerketens korter worden, vermindert ook de kwetsbaarheid voor internationale ontwikkelingen en vermindert bovenal de ecologische voetafdruk van het hele proces, die dan ook beter in kaart kan worden gebracht. Dit alles moet deels door de auto-industrie intern georganiseerd worden, maar kan ook op gang gebracht worden door onder andere vanuit Europa - en vanuit de consument - te eisen dat de emissies, werkomstandigheden en het materiaalgebruik door de hele keten inzichtelijk worden en voldoen aan Europese standaarden en normen.

Slotwoord

Het zal nog wel even duren voordat er voldoende auto's op de markt zijn die voldoen aan al onze wensen - klein, licht, aerodynamisch, efficiënt, met een bescheiden vermogen en duurzaam en menswaardig geproduceerd -, maar het is belangrijk dat deze er wel komen. Wij zijn in ieder geval bereid hiervoor te betalen, in de vorm van geld of inleveren op gebruiksgemak, omdat duurzaamheid voor ons meer waard is dan luxe. Uiteindelijk zijn wij als consument een belangrijke schakel in de hele keten. Laten we van het rijden van een onnodig grote en luxe auto het nieuwe roken maken, opdat we in de toekomst allemaal een meer verantwoorde keuze maken.

Bronvermelding:

ANWB. (n.d.). *Tesla Model 3 l 1e facelift*. <https://www.anwb.nl/auto/informatie/tesla/model-3/l%201e%20facelift/ba58dde3-2e43-489b-aadf-92d1c47adf42#testen-en-advies>

ArenaEV. (2022). *Analyzing the Mercedes-Benz EQXX revolutionary concept*. https://www.arenaev.com/analysis_of_mercedesbenz_eqxx-news-249.php

AUTOUA. (2022). *Lightyear 0 solar-powered car sets new record for aerodynamics*. <https://autonews.autoua.net/en/novosti/29489-lightyear-0-solar-powered-car-sets-new-record-aerodynamics.html>

Bieker, G. (2021). A GLOBAL COMPARISON OF THE LIFE-CYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS OF COMBUSTION ENGINE AND ELECTRIC PASSENGER CARS. *ICCT*. Retrieved from

<https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/07/Global-Vehicle-LCA-White-Paper-A4-revised-v2.pdf>

Carsized. (n.d.). *Volkswagen Golf 1974-1983 vs. GMC Yukon 2020-present*. Carsized.com. <https://www.carsized.com/en/cars/compare/volkswagen-golf-1974-3-door-hatchback-vs-gmc-yukon-2020-suv-lwb/>

Charles. (2024). *GMC Hummer EV Edition 1 SUV (2024)*. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GMC_Hummer_EV_Edition_1_SUV_\(2024\)_53625710670.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:GMC_Hummer_EV_Edition_1_SUV_(2024)_53625710670.jpg)

Cuma, M. U., Yirik, E., Dericioğlu, Ç., Ünal, E., Onur, B., & Tümay, M. T. (2017). DESIGN CONSIDERATIONS OF HIGH VOLTAGE BATTERY PACKS FOR ELECTRIC BUSES. *International Journal of Advances on Automotive and Technology*. <https://doi.org/10.15659/ijaat.17.04.517>

Dnkpowers. (2023, February 15). *Basics on Lithium Battery Electrolyte - Lithium ion Battery Manufacturer and Supplier in China-DNK Power*. Lithium Ion Battery Manufacturer and Supplier in China-DNK Power. [https://www.dnkpowers.com/basics-on-lithium-battery-electrolyte/#:~:text=Lithium%20hexafluorophosphate%20\(LiPF6\)%20is%20a,to%20create%20the%20intended%20reaction.](https://www.dnkpowers.com/basics-on-lithium-battery-electrolyte/#:~:text=Lithium%20hexafluorophosphate%20(LiPF6)%20is%20a,to%20create%20the%20intended%20reaction.)

Eurostat. (2023, February). *Freight transport statistics - modal split*. Retrieved April 9, 2024, from https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Freight_transport_statistics_-_modal_split

EV database. (n.d.). *Fiat 500e Hatchback 24 kWh*. <https://ev-database.org/nl/auto/1327/Fiat-500e-Hatchback-24-kWh>

EV database. (n.d.). *Mercedes-Benz EQS SUV 500 4MATIC*. <https://ev-database.org/nl/auto/2089/Mercedes-Benz-EQS-SUV-500-4MATIC>

EV database. (n.d.). *Tesla Model 3*. <https://ev-database.org/nl/auto/1991/Tesla-Model-3>

EV database. (n.d.). *Volvo EX90 Single Motor*. <https://ev-database.org/nl/auto/1950/Volvo-EX90-Single-Motor>

EVspecifications. (n.d.) *2024 Volvo EX90 Twin Performance (EE) - Specifications and Price*. <https://www.evspecifications.com/en/model/457b2b6>

Fastercapital. (2024). *Automobile industry and planned obsolescence: The race for innovation - FasterCapital*. FasterCapital. Retrieved April 8, 2024, from <https://fastercapital.com/content/Automobile-Industry-and-Planned-Obsolescence--The-Race-for-Innovation.html#:~:text=%2D%20In%20the%201950s%2C%20General%20Motors,customer%20to%20buy%20new%20models>.

Field, K. (2019, January 29). *Tesla Model 3 battery Pack & battery cell teardown highlights performance improvements*. *CleanTechnica*. <https://cleantechnica.com/2019/01/28/tesla-model-3-battery-pack-cell-teardown-highlights-performance-improvements/>

Gorman, S. (2023, August 25). *6 Ways Solid-state Batteries Are Better than Lithium-ion Ones. . . | CPI*. CPI. <https://www.uk-cpi.com/blog/6-ways-solid-state-batteries-are-better-than-lithium-ion-alternatives-in-electric-vehicles>

Green Team Twente. (2018, March 20). *H2Infinity tijdens de Shell Eco Marathon van 2017*. Wikimedia Commons. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3a/H2Infinity_tijdens_de_Shell_Eco_Marathon_van_2017.jpg/375px-H2Infinity_tijdens_de_Shell_Eco_Marathon_van_2017.jpg

Harley, M. (2023, June 13). *Why do today's cars last longer than they used to?* *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/michaelharley/2023/06/11/why-do-todays-cars-last-longer-than-they-used-to/>

Hinton-Beales, D. (2022, May 9). *World's biggest dump truck runs on steel*

steelStories - worldsteel.org. worldsteel.org. Retrieved March 22, 2024, from <https://worldsteel.org/steel-stories/automotive/worlds-biggest-dump-truck-belaz-7570-ahss/>

Karimov, V. (2022, April 2). *New Tests Prove: LFP Lithium Batteries Live Longer than NMC*. OneCharge. <https://www.onecharge.biz/blog/lfp-lithium-batteries-live-longer-than-nmc/>

Kawajiri, K., Sakamoto, K. (2022). *Environmental impact of carbon fibers fabricated by an innovative manufacturing process on life cycle greenhouse gas emissions*. *Sustainable Materials and Technologies*, Volume 31, <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00365>

Kommenda, N. (2021, August 25). How your flight emits as much CO2 as many people do in a year. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/environment/ng-interactive/2019/jul/19/carbon-calculator-how-taking-one-flight-emits-as-much-as-many-people-do-in-a-year>

Lambert, F. (2021, January 19). *First look at Tesla's new structural battery pack that will power its future electric cars*. *Electrek*. <https://electrek.co/2021/01/19/tesla-structural-battery-pack-first-picture/>

Letmathe, P., & Soares, M. (2017). A consumer-oriented total cost of ownership model for different vehicle types in Germany. *Transportation Research. Part D, Transport and Environment*, 57, 314–335. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.09.007>

McLain, S. (2017, July 25). Toyota Nears Technological Breakthrough in Electric-Car Batteries. *Wall Street Journal*. Retrieved April 8, 2024, from <https://www.wsj.com/articles/toyota-nears-major-technological-breakthrough-in-electric-car-batteries-1500985883>

Nuon Solar Team. (2009, October). *Nuna 5*. Wikimedia Commons. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3a/H2Infinity_tijdens_de_Shell_Eco_Marathon_van_2017.jpg/375px-H2Infinity_tijdens_de_Shell_Eco_Marathon_van_2017.jpg

Roth, E. (2021, December 26). Tesla owner blows up Model S instead of footing \$22,600 repair bill. *The Verge*. <https://www.theverge.com/2021/12/26/22853573/tesla-model-s-explosion-repair-bill>

Rudolph, F., Riach, N., Kees, J., European Mobility4All campaign, & Greenpeace in Central and Eastern Europe. (2023). Development of Transport Infrastructure in Europe: Exploring the shrinking and expansion of railways, motorways and airports. In *Transportation Think Tank & Wuppertal Institute, Transportation Think Tank & Wuppertal Institute*. T3 Transportation Think Tank gGmbH and Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH.

https://greenpeace.at/uploads/2023/09/analysis_development-of-transport-infrastructure-in-europe_2023.pdf

SMM. (2024). *Iron phosphate prices hit new highs, while iron lithium manufacturers increase production without increase in revenue. [SMM Weekly Review] | Shanghai Non ferrous Metals.* Retrieved April 14, 2024, from <https://news.metal.com/newscontent/102708163/iron-phosphate-prices-hit-new-highs-while-iron-lithium-manufacturers-increase-production-without-increase-in-revenue-smm-weekly-review>

St John, A. (2023, September 4). Auto expert says Tesla's Model Y battery pack has "zero repairability," so a minor collision can junk the car. *Business Insider.* <https://www.businessinsider.com/tesla-model-y-battery-zero-repairability-insurance-premiums-sandy-munro-2023-3?international=true&r=US&IR=T>

Suer, J., Traverso, M., Jäger, N. (2022). *Carbon Footprint Assessment of Hydrogen and Steel.* *Energies* 2022, 15, 9468. <https://doi.org/10.3390/en15249468>

Tesla Model S Lithium Ion Battery 18650 - 22.8 volt, 5.3 kWh. (n.d.). EV Source. <https://evsource.com/products/tesla-model-s-lithium-ion-battery-18650-22-8-volt-5-3-kwh#:~:text=The%20packs%20contain%2044%20cells,safety%20fused%20on%20both%20terminals.>

Tesla Motors Club. (2017). *Model 3 Frontal Area.* <https://teslamotorsclub.com/tmc/threads/model-3-frontal-area.94907/>

Topgear. (n.d.). *These are the 10 most aerodynamically efficient EVs on sale today.* <https://www.topgear.com/car-news/electric/these-are-10-most-aerodynamically-efficient-evs-sale-today>

Vauxford. (2018). *2018 Renault ZOE.* Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2018_Renault_ZOE.jpg

Volkswagen. (n.d.). *Technische gegevens Golf | Volkswagen.* Retrieved April 14, 2024, from <https://www.volkswagen.nl/modellen/golf/technische-gegevens>

Volkswagen. (n.d.). *Technische gegevens Tiguan Allspace.* <https://www.volkswagen.nl/modellen/tiguan-allspace/technische-gegevens>

Volvo. (2022). *The Volvo EX90: designed to be elegant, safe and efficient.*

<https://www.media.volvocars.com/us/en-us/media/pressreleases/305322/the-volvo-ex90-designed-to-be-elegant-safe-and-efficient>

Wikipedia. (n.d.). *Volkswagen Golf Mk1.* https://en.wikipedia.org/wiki/Volkswagen_Golf_Mk1

Wikipedia. (n.d.). *Volkswagen Golf Mk8.* https://en.wikipedia.org/wiki/Volkswagen_Golf_Mk8

X-engineer. (n.d.). *EV design - electric motor.* <https://x-engineer.org/ev-design-electric-motor/>