



DE DUURZAME BATTLE

Een vergelijking van de levenscyclus
van elektrische, waterstof- en benzineauto's

Inhoud

De schoonste keuze	03
1. Studie naar de milieu-impact van personenauto's	04
2. Onderdelen van de analyse	06
3. Resultaten	08
3.1 Klimaatimpact	
3.2 Grondstofuitputting	
3.3 Total Cost of Ownership (TCO)	
4. Conclusies	17

De schoonste keuze

De transitie naar duurzaam personenvervoer roept veel vragen op, zoals “Is elektrisch rijden wel duurzaam?” en “Wordt waterstof de brandstof van de toekomst?”. CE Delft heeft in opdracht van Enpuls drie typen auto’s vergeleken: batterij-elektrisch, benzine en waterstof. Het onderzoek laat zien dat de elektrische auto de schoonste keuze is van de drie.

KLIMAATIMPACT EN KOSTEN

De resultaten leren ons dat elektrisch rijden een goed idee is. De klimaatimpact van de elektrische auto is 30 procent lager dan de benzineauto. Dit percentage loopt zelfs op tot 50 procent in 2030. De impact op het klimaat en het gebruik van grondstoffen om de batterij te produceren, compenseert de elektrische auto ruimschoots in het gebruik. De elektrische auto is op dit moment al duurzamer na 70.000 kilometer. Dit voordeel neemt alleen maar toe naarmate er meer gereden wordt. Daarnaast zijn de totale kosten van de benzineauto en elektrische auto nagenoeg gelijk aan elkaar. De elektrische auto is duurder in aanschaf, maar kent veel lagere kosten tijdens het gebruik.

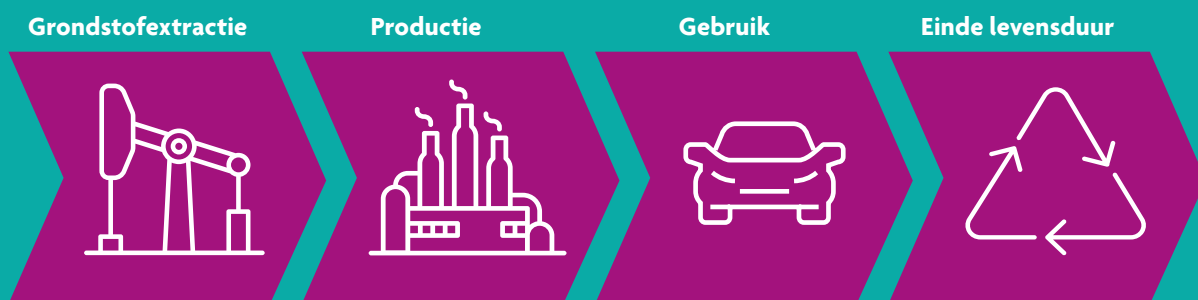
Het is van groot belang dat we in blijven zetten op de zakelijke markt waarin veel kilometers gereden worden. Voor deze markt is de elektrische auto nu al de meest duurzame optie. Daarnaast zorgt het aantrekken van voldoende elektrische auto’s nu, voor een gezonde en betaalbare tweedehandsmarkt over een aantal jaar.





1. Studie naar de milieu-impact van personenauto's

Dit is de eerste Nederlandse studie die naast een benzineauto en een batterij-elektrische auto ook een waterstofauto heeft meegenomen in de analyse. De gekozen onderzoeksmethode is een levenscyclusanalyse (LCA). In deze analyse is specifiek gekeken naar de milieu-impact van de auto's over de gehele levensduur. De methode maakt onderscheid tussen vier levensfasen: (1) grondstofextractie, (2) productie, (3) gebruik en (4) einde levensduur (zie figuur 1).



Figuur 1: De levensfasen die onderdeel zijn van een LCA

Deze LCA is uitgebreid met een kostenanalyse. In deze zogenoemde Total Cost of Ownership (TCO) zijn alle kosten meegenomen van het moment van aankoop tot aan het einde van de levensduur,

zoals brandstof, onderhoud, reparatie, afschrijving en verzekeringen. Dit zorgt voor een eerlijke vergelijking tussen de drie typen auto's.



Figuur 2: Overzicht vergeleken personenauto's in LCA

Omdat in de studie is gewerkt met conservatieve cijfers (ten nadele van de elektrische auto), is een gevoeligheidsanalyse toegevoegd. Hierin worden verschillende effecten op de resultaten bekeken, zoals het gebruik van grijze of groene stroom. De infrastructuur van de personenauto's en de einde levensduur zijn buiten beschouwing gelaten. Dit zou leiden tot een scheve vergelijking omdat de infrastructuur en recyclingmogelijkheden voor de elektrische en waterstofauto nog in ontwikkeling zijn. Uit literatuur blijkt dat beide aspecten nauwelijks van invloed zijn op de resultaten van deze LCA.

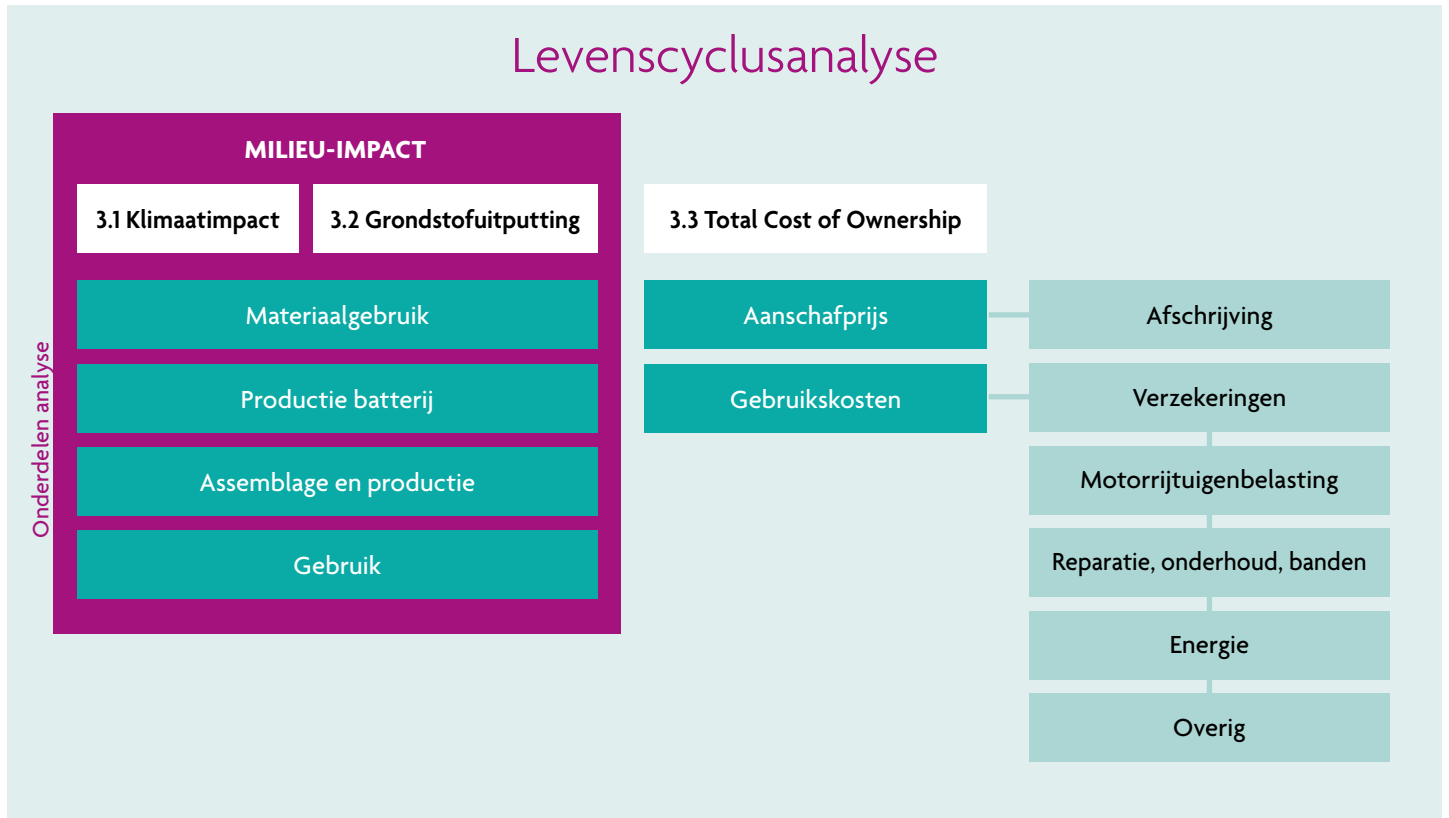
GEKOZEN VOERTUIGEN

Om de vergelijking zo zuiver mogelijk te houden, is gekeken naar kleine middenklasse auto's in het C-segment, zoals de Volkswagen Golf. De waterstofauto vormt hier een uitzondering op. Hierbij is gekozen voor de Toyota Mirai, omdat deze qua functionaliteiten het dichtste in de buurt komt van de andere twee auto's.

De LCA is een onderzoeksmethode die specifiek kijkt naar de milieu-impact van een product of dienst over de gehele levensduur.

2. Onderdelen van de analyse

De LCA bestaat uit drie hoofdonderdelen: (1) klimaatimpact, (2) grondstofuitputting en (3) Total Cost of Ownership. Figuur 3 geeft een overzicht van deze onderdelen.



De impact op het milieu is onder te verdelen in **klimaatimpact** en grondstofuitputting. De klimaatimpact geeft aan wat de invloed van een personenauto is op de opwarming van de aarde voor de komende 100 jaar en wordt uitgedrukt in zogeheten CO₂-equivalenten. Eén CO₂-equivalent staat gelijk aan het effect dat de uitstoot van 1 kilogram CO₂ heeft. **Grondstofuitputting** zegt hoeveel grondstoffen er nodig zijn voor de productie (bijvoorbeeld staal) tot en met het gebruik van de auto (bijvoorbeeld benzine). De impact voor beide onderdelen wordt bepaald door naar de gehele levenscyclus van de personenauto te kijken.

We onderscheiden vier fasen die elk een deel van de impact veroorzaken:

- **Materiaalgebruik:** alle processen van grondstofextractie tot en met de productie van materialen uit deze grondstoffen. Voorbeeld: door mijnbouw wordt ijzererts gewonnen waar staal van wordt gemaakt.

- **Productie batterij:** het materiaal- en energiegebruik dat nodig is voor de productie van de batterijen voor de elektrische auto.
- **Assemblage en productie:** de productie van auto-onderdelen en de assemblage van deze onderdelen tot een auto.
- **Gebruik:** het rijden met de auto, waarbij energie wordt gebruikt (brandstof of elektriciteit) en de auto wordt onderhouden (bv. bijvullen autovloeistoffen). De resultaten zijn berekend op basis van 185.000 gereden kilometers. Deze levensduur is een combinatie van een gemiddeld particulier jaarkilometrage (10.300 km) en de gemiddelde sloopleeftijd van de huidige brandstofauto (17,9 jaar).

Ook is de **Total Cost of Ownership** (TCO) in kaart gebracht. Hierbij worden alle directe en indirecte kosten meegenomen. Deze vallen uiteen in de aanschafprijs en gebruikskosten, bestaande uit verzekeringen, motorrijtuigenbelasting (MRB), reparatie, onderhoud en banden (ROB), energie en overige kosten zoals een wasbeurt en eigen laadinfrastructuur in het geval van een elektrische auto.

Verwachte ontwikkeling tussen 2020 en 2030

De verwachtingen zijn dat de komende jaren de batterijcapaciteit van elektrische auto's snel oploopt en dat het aandeel duurzaam opgewekte energie jaarlijks toeneemt. Om te zien wat het effect is van deze veranderingen, hebben we ook een inschatting gemaakt van de milieu-impact die de personenauto's in 2030 hebben. Er is gekeken naar drie ontwikkelingen:

- **Elektriciteitsmix:** de komende jaren groeit het aandeel van groene stroom. Dit is gunstig voor de milieu-impact van de auto's. Op basis van de gemaakte afspraken in het Klimaatakkoord, is berekend wat voor impact de elektriciteitsproductie in 2030 heeft. In de analyse kijken we alleen naar het aandeel groene stroom in onze elektriciteit op twee vaste momenten: 2020 en 2030. De stroom zal in de tussenliggende jaren al steeds groener worden.
- **Productie waterstof:** op dit moment vindt de productie van waterstof voornamelijk plaats op basis van stoomreforming van aardgas. De verwachting is dat waterstof in 2030 op een duurzamere manier geproduceerd wordt via elektrolyse op basis van de gemiddelde elektriciteitsmix.
- **Batterijcapaciteit personenauto:** verschillende onderzoeken voorspellen dat de batterijcapaciteit van een gemiddelde middenklasse elektrische auto tussen nu en 2030 zal verdubbelen. Dit betekent dat de batterijcapaciteit in 2030 tussen de 70 en 80 kWh ligt.

Verschillende onderzoeken voorspellen dat de batterijcapaciteit van een gemiddelde middenklasse elektrische auto tussen nu en 2030 zal verdubbelen.

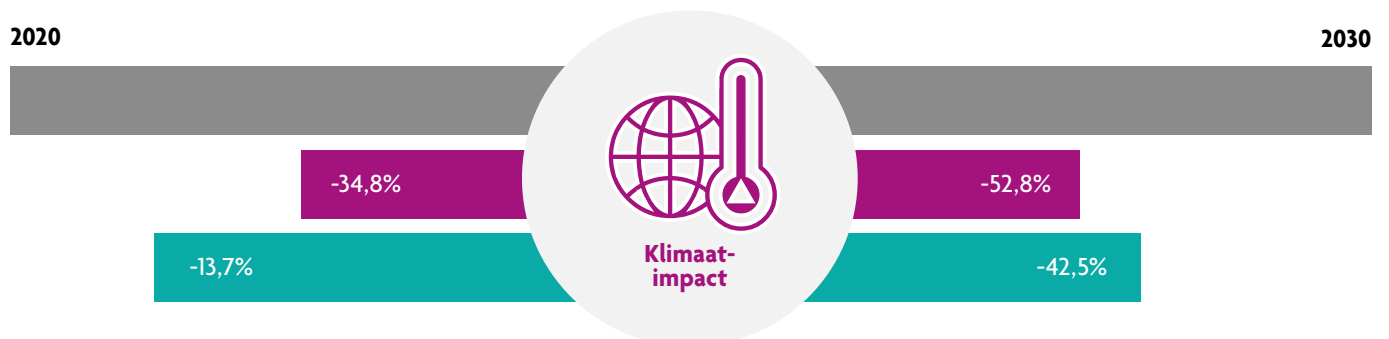




3. Resultaten

De resultaten zijn onder te verdelen in drie categorieën: de klimaatimpact, de grondstofuitputting en de total cost of ownership.

3.1 Klimaatimpact



Figuur 4: De klimaatimpact in 2020 en 2030, waarbij de benzineauto geïndexeerd is op 100

- Benzineauto
- Elektrische auto
- Waterstofauto

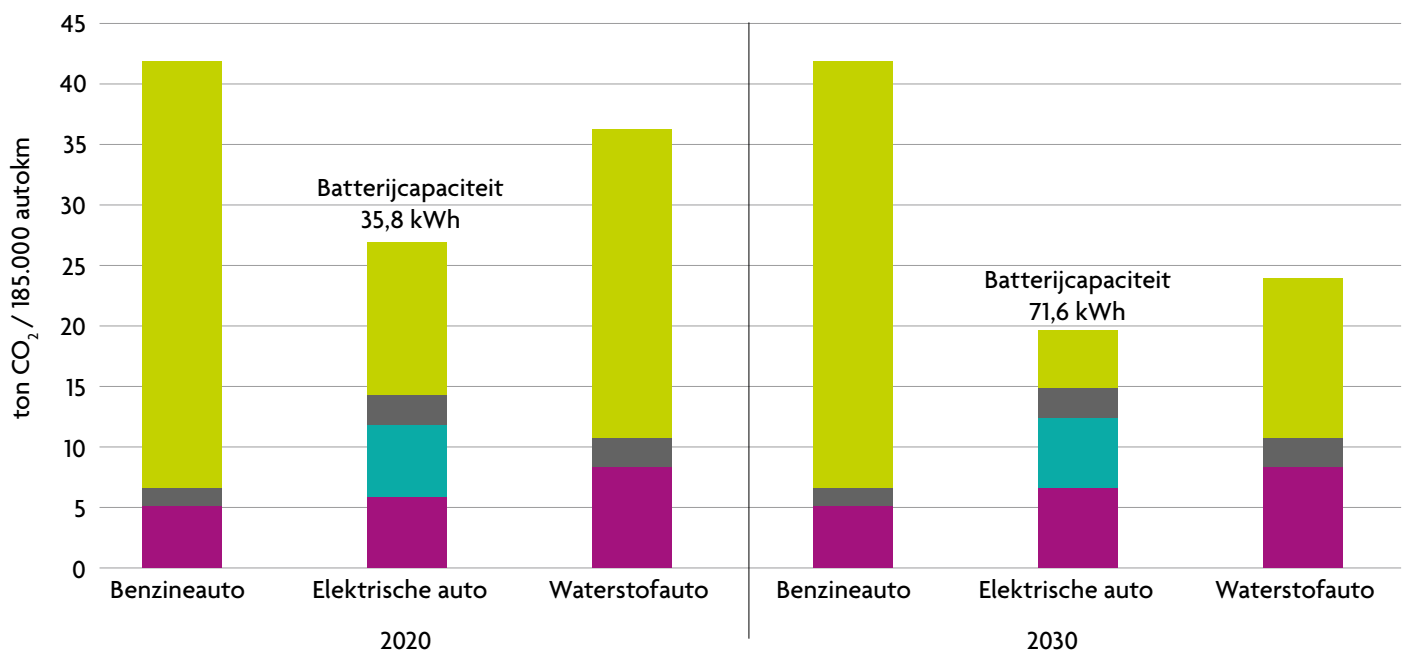
De klimaatimpact geeft aan wat de invloed van een auto is op de opwarming van de aarde. De benzineauto heeft in **2020** de grootste impact op het klimaat. Dit komt vooral door het benzinegebruik. Deze bevinding komt overeen met andere studies, waaronder de recent uitgevoerde analyse van Transport & Environment.

In klimaatopzicht loont het nu al om elektrisch te rijden. De productie van de batterij is weliswaar belastend voor het milieu, maar in het gebruik maakt de elektrische auto dit dubbel en dwars goed. Zelfs als de auto geladen wordt met grijze stroom is de elektrische auto 30% minder belastend dan een benzineauto. De waterstofauto zit tussen de elektrische en benzineauto in. Dit komt omdat waterstof op dit moment gemaakt wordt op basis van aardgas. Dat is gunstiger dan benzine, maar minder goed voor het klimaat dan direct gebruik van elektriciteit.

De verwachting is dat in **2030** de elektriciteitsmix, de productie van waterstof en de batterijcapaciteit zich verder hebben ontwikkeld. Dit heeft een positief effect op de klimaatimpact van de auto's, maar verandert de onderlinge volgorde niet. De benzineauto blijft gelijk, terwijl de impact van de elektrische auto 50% lager wordt dan de benzineauto. De verwachting is dat het materiaalgebruik van de batterijen de komende jaren halveert, terwijl de capaciteit van de batterijen verdubbelt. Dit houdt elkaar in evenwicht.

De klimaatimpact van elektrische en waterstofauto's vermindert verder door een toename van groene stroom in de elektriciteitsmix. Toch heeft de waterstofauto een hogere impact op het klimaat doordat er veel energie verloren gaat tijdens de productie van waterstof.

De volledige resultaten van de analyse zijn samengevat in figuur 5.



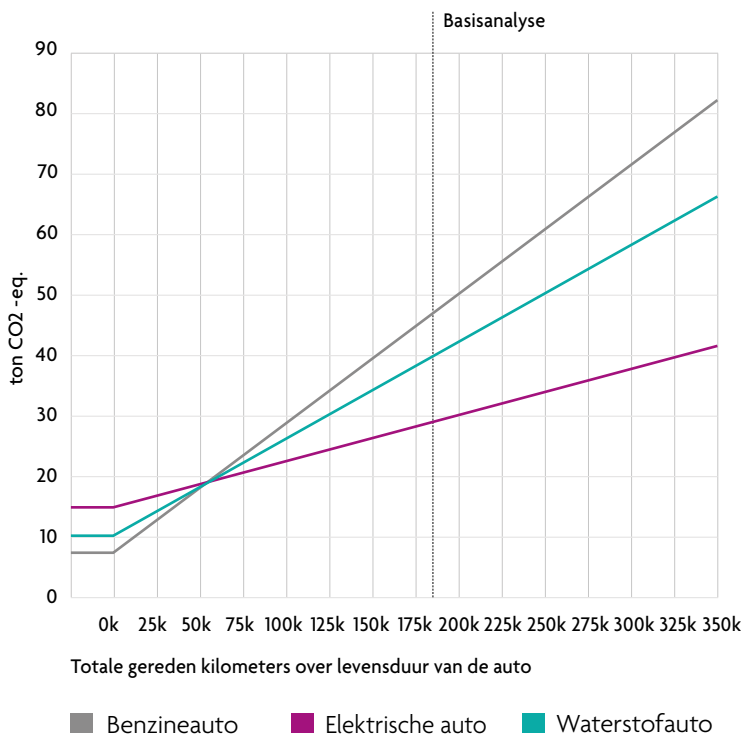
Figuur 5: Klimaatimpact van verschillende typen auto's

- Materiaalgebruik
- Productie batterij
- Assemblage en productie onderdelen
- Gebruik

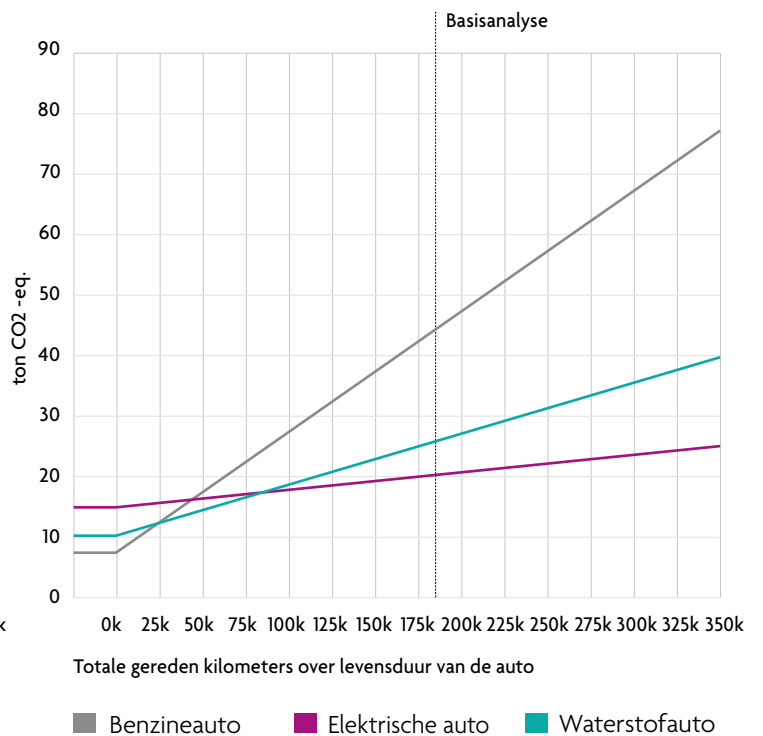
ELEKTRISCHE AUTO HEEFT LAAGSTE KLIMAATIMPACT

Het aantal gereden kilometers heeft invloed op de resultaten. De productie van een benzineauto is minder belastend voor het klimaat dan een elektrische auto, maar in het gebruik wordt dit gecompenseerd. Het omslagpunt ligt bij 70.000 kilometer. Uitgaande van een gemiddelde levensduur van 185.000 kilometer, heeft de elektrische auto de laagste klimaatimpact.

In **2030** neemt de klimaatimpact van elektrische en waterstofauto's verder af door de groenere elektriciteitsmix en de duurzamere productie van waterstof via elektrolyse. Dit brengt het omslagpunt verder naar voren. Hierdoor schuift ook het omslagpunt van zowel de waterstof als de elektrische auto naar voren, zoals te zien is in figuur 6 en 7, waarin de klimaatimpact voor 2020 en 2030 is uitgezet tegen het aantal gereden kilometers.



Figuur 6: Klimaatimpact in 2020, op basis van gereden kilometers



Figuur 7: Klimaatimpact in 2030, op basis van gereden kilometers

In 2030 neemt de klimaatimpact van elektrische en waterstofauto's verder af door de schonere elektriciteitsmix en duurzamere productie van waterstof.



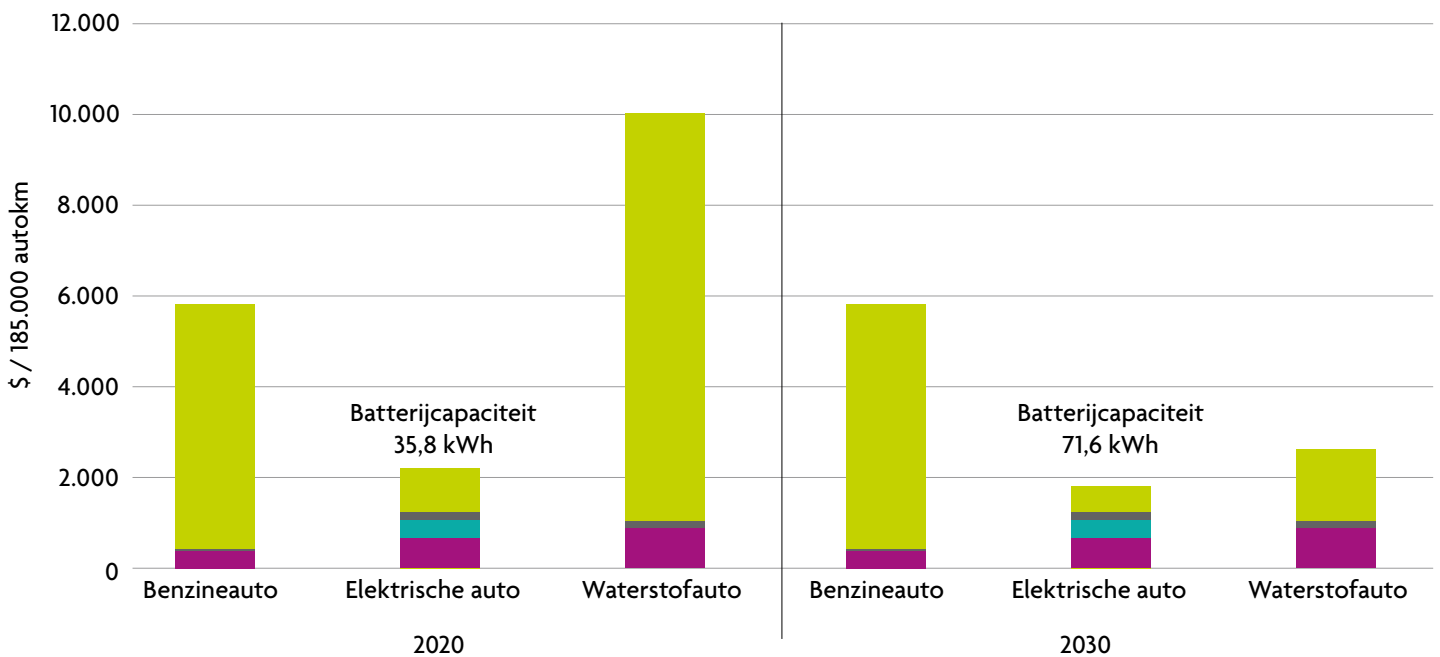
3.2 Grondstofuitputting

Hoeveel grondstoffen gebruiken de drie typen auto's vanaf de productie tot en met de gebruiksfase? Om dit te bepalen zijn de fossiele en minerale grondstofuitputting bij elkaar opgeteld.



In **2020** zorgt de waterstofauto voor de grootste grondstofuitputting. Dit komt doordat waterstof gemaakt wordt op basis van stoomreforming van aardgas. Ook de benzineauto verbruikt veel grondstoffen door het rijden op benzine. De elektrische auto veroorzaakt de minste grondstofuitputting. De auto heeft weliswaar meer grondstoffen nodig in de productiefase (inclusief batterij), maar in de gebruiksfase juist veel minder dan de andere twee auto's.

De verwachting is dat de waterstofauto in **2030** veel minder grondstoffen nodig zal hebben. Dit komt doordat de productie van waterstof via elektrolyse zal verlopen, met een veel groter aandeel groene stroom dan nu. Toch blijft ook in 2030 de elektrische auto in het voordeel omdat het directe gebruik van elektriciteit efficiënter is dan waterstof. De volledige resultaten van de analyse zijn samengevat in figuur 9.



Figuur 9: Grondstofuitputting van verschillende typen auto's in 2020 en 2030

- Materiaalgebruik
- Productie batterij
- Assemblage en productie onderdelen
- Gebruik

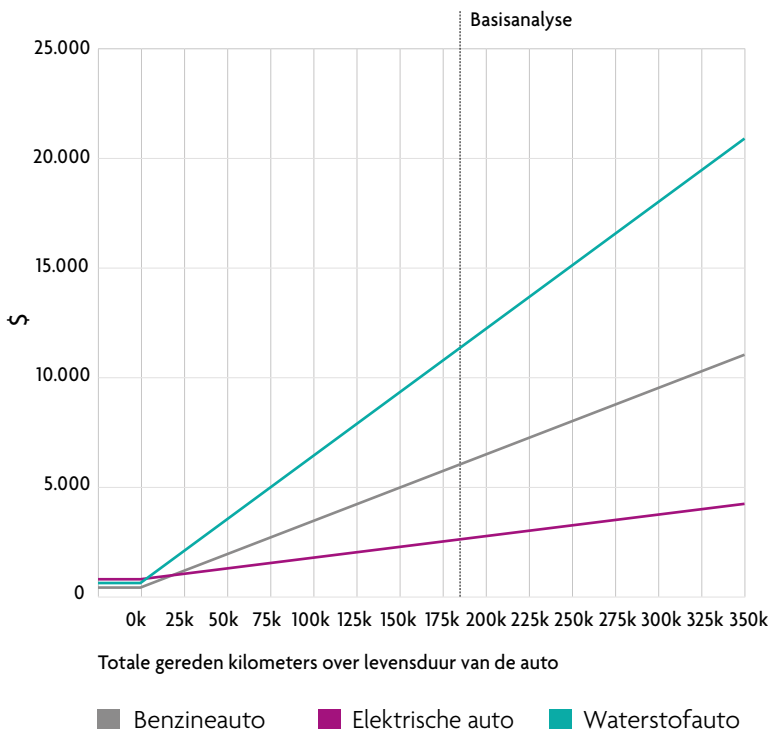
De elektrische auto heeft in de gebruiksfase aanzienlijk minder grondstofuitputting door het gebruik van elektriciteit.

GROOTSTE WINST IS TE BEHALEN IN DE GEBRUIKSFASE

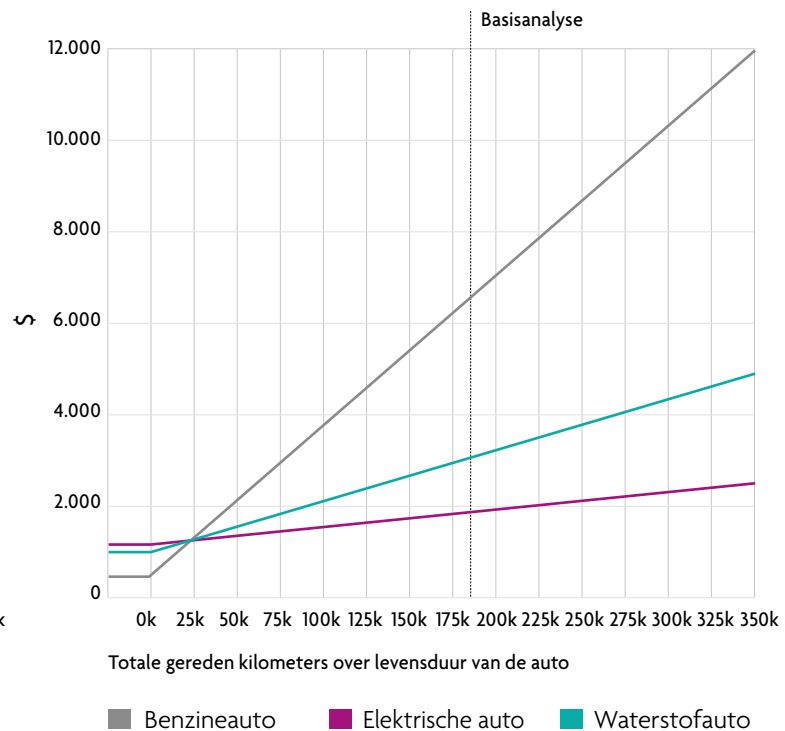
Uit figuur 9 blijkt dat het grondstoffengebruik tijdens de productie relatief klein is in vergelijking met de gebruiksfase. De grootste winst is dan ook te behalen door het gebruik van de auto te verduurzamen en in veel mindere mate de productie. Al na 20.000 kilometer heeft de elektrische auto de laagste impact op het gebruik van grondstoffen.

Ongeacht de levensduur heeft de waterstofauto een hoger grondstofgebruik dan de elektrische auto. Dit komt door de lage efficiëntie van de productie van waterstof, waardoor de waterstofauto drie keer zoveel energie verbruikt dan bij direct gebruik van elektriciteit.

Figuur 10 en 11 geven de grondstofuitputting weer voor 2020 en 2030 afgezet tegen het aantal gereden kilometers.



Figuur 10: Grondstofuitputting in 2020, op basis van gereden kilometers



Figuur 11: Grondstofuitputting in 2030, op basis van gereden kilometers

De grootste winst is niet te behalen door de productie van personenauto's te verduurzamen, maar door de gebruiksfase te verduurzamen.

3.3 Total Cost of Ownership (TCO)

Aanvullend op de milieu-impact zijn de kosten van de drie auto's met elkaar vergeleken. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de aanschafprijs en de totale kosten over de gehele levensduur.

AANSCHAFPRIJS

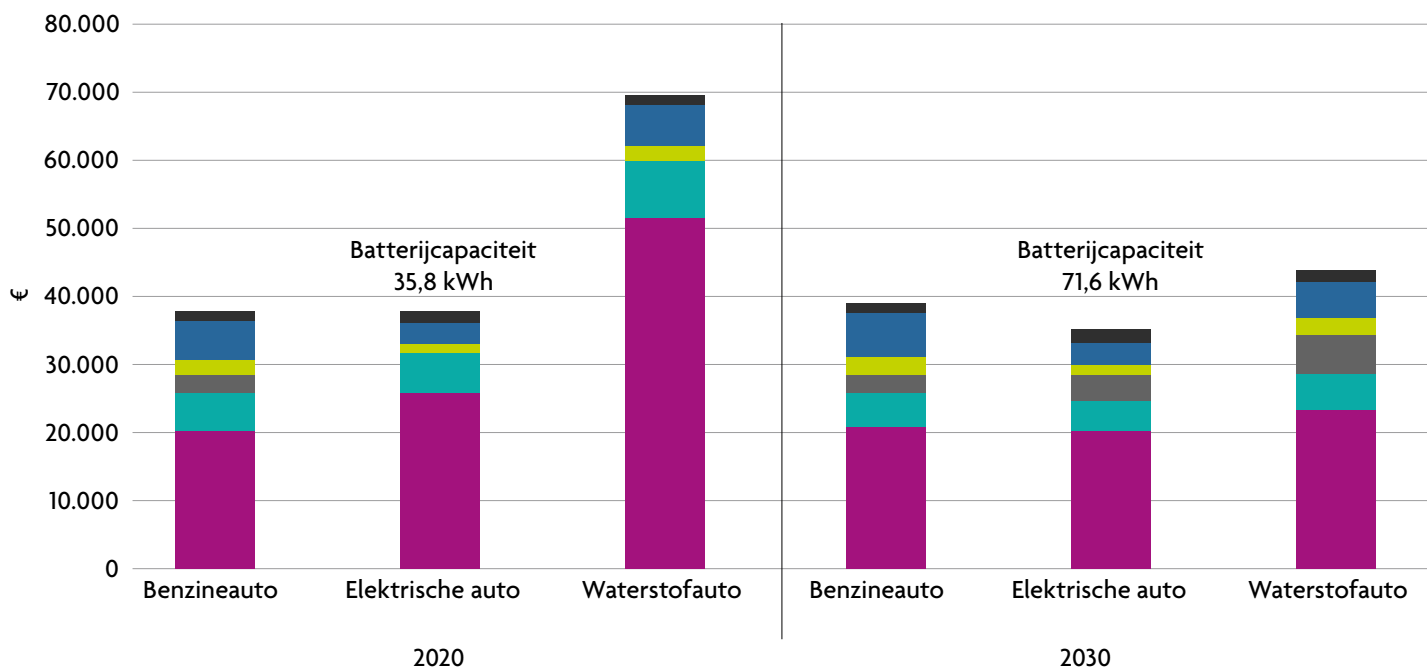
In **2020** is de aanschafprijs van een benzineauto het laagst. De waterstofauto is aanzienlijk duurder, omdat dit type auto nauwelijks verkrijgbaar is. De verwachting is dat de prijzen van elektrische en waterstofauto's de komende tien jaar fors dalen. In **2030** nadert de aanschafprijs van een elektrische auto die van een benzineauto. De kosten blijven hoger omdat de capaciteit van de batterijen verdubbeld. Wel komt er meer keuze voor de consument. Zo wordt de Volkswagen ID.3 geleverd met 45 kWh, 58 kWh en 77 kWh. De verwachting is dat de prijs van de waterstofauto daalt zodra er meer auto's geproduceerd worden. Desondanks zal de waterstofauto ook in 2030 een hoger prijskaartje hebben dan de elektrische en de benzineauto.

TOTALE KOSTEN

Het beeld verandert wanneer we naast de aanschaf- ook de gebruikskosten meenemen. Dan blijkt de elektrische auto in **2020** even duur als een benzineauto. De hogere aanschafprijs wordt gecompenseerd door een vrijstelling van motorrijtuigenbelasting (MRB) en lagere brandstof- en onderhoudskosten. De waterstofauto is tweemaal zo duur als de andere twee voertuigen. Dit komt door de hoge afschrijving. Ondanks een vrijstelling van MRB zijn ook de brandstof- en onderhoudskosten hoger.

In **2030** blijft de waterstofauto het duurste in aanschaf en gebruik. Wel is de verwachting dat de prijs van waterstof daalt. De elektrische auto is het voordeligst. Door de lagere energiekosten stijgt dit voordeel naarmate er meer gereden wordt.

Figuur 12 toont de TCO voor particulier gebruik van de personenauto's in 2020 en 2030.



Figuur 12: TCO particulier gebruik in 2020 en 2030 (5 jaar en 10.300km/jaar)

- Afschrijving
- Verzekeringen
- MRB
- ROB
- Energie
- Overig

Gevoeligheidsanalyse

Omdat in de studie is gewerkt met conservatieve cijfers (ten nadele van de elektrische auto), is een gevoeligheidsanalyse toegevoegd. Hierin worden verschillende effecten op de resultaten bekeken, zoals het gebruik van grijze of groene stroom.



Verdieping | Effect van groene en grijze stroom

De komende jaren neemt de hoeveelheid duurzaam geproduceerde elektriciteit toe. Dit zorgt voor een aanzienlijke daling van de milieu-impact van elektrische en waterstofauto's tussen 2020 en 2030. De precieze samenstelling van de elektriciteitsmix is echter nog onzeker. Om te zien wat het effect is van groene en grijze stroom, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Enerzijds is gerekend met grijze stroom uit aardgas en anderzijds met groene elektriciteit uit wind op zee.

Met volledig gebruik van **groene stroom** neemt de milieu-impact van de elektrische en waterstofauto in de gebruiksfase sterk af. Beide auto's komen dan vrijwel gelijk uit. Deze reductie komt doordat elektrische auto's

groene stroom laden en doordat duurzame stroom wordt gebruikt voor de productie van waterstof via elektrolyse. Bij gebruik van volledig **grijze stroom** blijft de elektrische auto het alternatief met de minste milieu-impact.

Het grootste verschil zien we bij de waterstofauto. Met groene stroom is de impact vrijwel gelijk aan de elektrische auto, maar met grijze stroom heeft de waterstofauto zelfs een negatievere impact dan de benzineauto. Dit maakt de waterstofauto vatbaar voor de samenstelling van de gemiddelde elektriciteitsmix, terwijl de elektrische auto een lage milieu-impact heeft ongeacht het soort stroom.



Verdieping | Efficiëntie productie waterstof

De verwachting is dat waterstof in 2030 geproduceerd wordt via elektrolyse. We nemen aan dat dit proces plaatsvindt op basis van de huidige technologie. Het is echter denkbaar dat deze productie efficiënter wordt en er minder elektriciteit nodig is om waterstof te maken.

Deze efficiëntieslag heeft echter weinig invloed, omdat we er al vanuit gaan dat in 2030 veel meer groene stroom beschikbaar is voor elektrolyse dan in 2020. Hierdoor is er minder winst te behalen voor het milieu. De elektrische auto behoudt de laagste impact, ongeacht de voorspelde efficiëntie van waterstofproductie.



Verdieping | Productie batterij elektrische auto

In de analyse nemen we aan dat de capaciteit van de lithiumbatterij verdubbelt tussen 2020 en 2030 en richting 70-80 kWh gaat. Verder gaan we ervan uit dat het gebruik van materialen afneemt terwijl het energiegebruik om een batterij te produceren toeneemt met batterijgewicht. Deze af- en toename houden elkaar in evenwicht.

De ontwikkeling van de batterij heeft invloed op de milieu-impact van de elektrische auto. **In het slechtste geval** ontwikkelt de techniek zich niet en blijft de impact gelijk aan die van 2020. Verdubbelt de batterijcapaciteit, dan verdubbelt ook het materiaal- en energieverbruik.

In het beste geval wordt het productieproces van de batterij efficiënter, wat zorgt voor een klimaatimpact die 30% lager is ten opzichte van 2020.

In alle scenario's heeft de elektrische auto de laagste grondstofuitputting van de drie auto's. Bij de klimaatimpact ligt dat anders. Als de productietechniek van de batterij zich niet ontwikkelt, dan scoort de waterstofauto in 2030 beter. Dit is echter onwaarschijnlijk gezien de snelle ontwikkelingen op het gebied van batterijen. Daarom veronderstellen we dat de realiteit dichter bij het 'beste geval' scenario ligt. In dat geval heeft de elektrische auto ook in 2030 de minste milieu-impact.



Verdieping | Efficiëntere auto's in 2030

In de analyse hebben we het energie- en brandstofverbruik van de auto's bepaald aan de hand van praktijkdata. Het is denkbaar dat dit verbruik afneemt door innovatie in auto's en motoren en mogelijk strengere Europese normen. We hebben gekeken wat het effect is als alle auto's 5% efficiënter gaan rijden tussen 2020 en 2030.

Logischerwijs neemt de milieu-impact van de benzineauto enigszins af. De efficiëntieslag zorgt er namelijk voor dat de auto duurzamer wordt in de gebruiksfase. Desondanks blijft de benzineauto de meeste milieu-impact houden. Zelfs wanneer de elektrische auto niet efficiënter wordt en de andere twee auto's wel, dan nog heeft deze de minste impact op het milieu.

4. Conclusies

➤ **Elektrische auto is het schoonste**

De elektrische auto is de schoonste keuze. Vergeleken met de benzineauto ligt de klimaatimpact op dit moment al circa 30% lager. Dit gaat oplopen op tot 50% in 2030. Dit komt door de voorspelde toename van groene stroom in de gemiddelde elektriciteitsmix. Ook kent de elektrische auto het laagste grondstofverbruik van de drie auto's. De grondstofuitputting is nu circa 60% lager dan de benzineauto en loopt op tot 70% in 2030.

➤ **Grootste winst te behalen door verduurzaming gebruik**

De productie van elektrische auto's en de batterijen heeft veel invloed op het klimaat en het gebruik van grondstoffen, maar de auto compenseert dit ruimschoots in het gebruik. Op dit moment is de elektrische auto al duurzamer na 70.000 kilometer. In de analyse is gerekend met conservatieve cijfers. Het is daarom aannemelijk dat het omslagpunt lager ligt dan 70.000 kilometer. In tegenstelling tot de benzineauto, neemt het voordeel van de elektrische auto alleen maar toe naarmate er meer kilometers gereden worden. Dit pleit voor een overstap

op de elektrische auto, want de grootste winst is te behalen in de gebruiksfase van de personenauto's.

➤ **TCO elektrische auto is gelijk aan benzineauto**

Als alle directe en indirecte kosten worden meegenomen, zien we dat de elektrische en benzineauto nagenoeg even duur zijn. Ondanks de hogere aanschafkosten, is de elektrische auto op dit moment in gebruik ongeveer een derde goedkoper dan een benzineauto bij particulier gebruik. De totale kosten van de waterstofauto vallen anno 2020 bijna tweemaal zo hoog uit als de andere twee auto's. Dit grote verschil komt met name door de hoge afschrijving en de fors hogere aanschafprijs van waterstofauto's. Deze kosten ontwikkelen zich in positieve zin richting 2030, maar de waterstofauto blijft ook dan de duurste van de drie.



Wat leren de resultaten ons?

Het onderzoek laat zien dat elektrisch rijden een goed idee is voor zowel de zakelijke rijder als de particuliere autobezitter. De elektrische auto kent de laagste milieu-impact en de totale kosten zijn op dit moment al bijna gelijk aan de benzineauto.

Daarnaast neemt het voordeel van de elektrische auto toe met het aantal gereden kilometers. Het is daarom van belang dat we in blijven zetten op de zakelijke markt waarin veel kilometers gereden worden. Voor deze markt is de elektrische auto de meest duurzame optie. Ook vormen leaserijders het startpunt voor de

tweedehandsmarkt. Het laten doorstromen van elektrische auto's vanuit de lease naar de particuliere markt zorgt naar verwachting voor betaalbare elektrische occasions.

VISIE ENPULS

De uitkomsten bevestigen de visie van Enpuls dat de toekomst van personenvervoer batterij-elektrisch is. Het rijden op elektriciteit is goedkoop en draagt maximaal bij aan CO₂-reductie. De resultaten van deze studie gebruiken we als Enpuls om onze visie verder vorm en inhoud te geven om ervoor te zorgen dat heel Nederland elektrisch wil rijden.

Bezoekadres

Enpuls werkt in LAB.073
Orthen 63
5231 XP 's-Hertogenbosch

Postadres

Postbus 856
5201 AW 's-Hertogenbosch

www.enpuls.nl

