

Hoeveel elektrische auto's kan de wereld aan?

De grondstoffenuitdaging

Theo Henckens

Copyright © Theo Henckens, 2023

Omslagontwerp: Theo Henckens

Omslagbeeld: ontleend aan Pixabay, rechtenvrij. De fotograaf is
Albrecht Dietz, Landsberg, Duitsland

Auteursfoto: Marco Hofsté

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden
verveelvoudigd, opgeslagen in een automatisch
gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op
enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën,
opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande
schriftelijke toestemming van de auteur.

ISBN:9789464808599

Uitgegeven via Brave New Books

2^{de} editie - 2024

VOORWOORD

Na mijn promotie in 2016 wilde ik een boek schrijven waarin ik mijn kennis over de uitputting van grondstoffen wilde delen met een groter publiek. Uitgeverij Elsevier was geïnteresseerd in het onderwerp, maar vond dat ik me moest richten op een wetenschappelijk publiek. Het contact met Elsevier mondde in 2021 uit in een dik boek met de titel "*The world's mineral resources. Beyond the foreseeable future*". Hoewel ik tevreden was over het resultaat, was dit boek niet erg toegankelijk en bovendien behoorlijk prijzig. Ik herinner me de discussies met Elsevier over dit laatste. Een boek van rond de honderd euro zal maar weinig worden gelezen, dacht ik, en dat was ook zo. Maar het verlangen om mijn kennis over schaarser wordende grondstoffen breder toegankelijk te maken liet me niet los. Dat is uitgemond in dit boek dat beschrijft wat de impact is van de uitrol van de elektrische auto op de beschikbaarheid van grondstoffen. Cruciaal in dit verband is het perspectief van een eerlijke verdeling. Heeft niet iedere wereldbewoner evenveel recht op een elektrische auto? In het boek dat voor u ligt onderzoek ik of dit perspectief haalbaar is uit een oogpunt van beschikbaarheid van grondstoffen en energie of dat we de wereld misschien anders moeten inrichten om onze mobiliteit duurzaam te maken.

Ik beperk me in dit boek tot een verkenning van het effect van de elektrische auto op de beschikbaarheid van grondstoffen, hoewel er ook veel milieutechnische, politieke en sociale problemen gepaard gaan met de delving van grondstoffen. Voor informatie over de impact van grondstoffendelving op de omgeving verwijs ik de lezer graag naar de relevante literatuur.

Voor hun bijdrage en steun bij het schrijven van dit boek wil ik graag de volgende mensen bedanken:

Paul Luttikhuis, die me het idee gaf om de problematiek van de beschikbaarheid van grondstoffen te beschrijven vanuit de

invalshoek van de auto. Niet alleen heeft hij me geïnspireerd om mijn taalgebruik toegankelijker te maken, maar hij heeft ook een aantal zeer lezenswaardige teksten toegeleverd, waarvoor ik hem dankbaar ben.

Paul Dietz en Martijn Boelhouwer van Autorecycling Nederland die me te woord stonden en die bezoeken voor me hebben gearrangeerd naar een autodemontage bedrijf en naar het post-shredder-bedrijf in Tiel.

Peter Driessen van de Universiteit Utrecht, zonder wiens steun het een stuk moeilijker zou zijn geweest om toegang te krijgen tot alle wetenschappelijke literatuur, die ik wenste te raadplegen.

Mijn vriendin Anni Joosten voor haar niet nalatende liefderijke ondersteuning.

Ik draag dit boek op aan mijn overleden vrouw Nelleke Rögels, aan mijn kinderen Josée en Guy en vooral aan mijn kleinkinderen Floris, Friso, Jiska, Sigrid, Elof, Reinout en Quintijn. Zij zullen kunnen constateren of ik me nodeloos zorgen heb gemaakt, hetgeen ik van harte hoop.

Theo Henckens

Inhoud

Voorwoord

1	Naar elektrisch rijden in een eerlijke wereld	1
2	Klimaat én grondstoffen beschermen: een ongemakkelijke combinatie	19
3	De elektrische auto en de energietransitie: synergie of conflict?	49
4	Vijf kritieke metalen in elektrische auto's: een nadere verkenning.....	65
4.1	Koper: aorta van de energietransitie.....	67
4.2	Meren vol lithium.....	81
4.3	Kobalt uit Congo: een verhaal van winnaars en verliezers.....	93
4.4	Oorlog op de nikkelbeurs	103
4.5	Groenland en zijn zeldzame aardmetalen zijn niet te koop.....	115
5	Autorecycling: circulaire economie in de praktijk.....	123
6	De markt in dienst van een eerlijk grondstoffenbeheer	153
	Epiloog	179
	Referenties.....	181

1 Naar elektrisch rijden in een eerlijke wereld

Dit boek gaat over grondstoffen, of eigenlijk over metalen. Vanuit het idee dat ieder land hetzelfde recht heeft op welvaart stel ik me de vraag of er voldoende metalen beschikbaar zijn om in de behoefte te blijven voorzien. De vraag is urgent, omdat metalen hard nodig zijn voor de energietransitie, die op zijn beurt nodig is om een einde te maken aan het gebruik van fossiele brandstoffen, de belangrijkste oorzaak van de klimaatverandering. Duurzame energiebronnen – of het nu gaat om door windturbines en zonnepanelen opgewekte energie, of bijvoorbeeld om accu's die elektriciteit kunnen opslaan – vergen allemaal een grote hoeveelheid metalen.

Ik vertel het verhaal aan de hand van de auto – in het bijzonder de personenauto. Daarin komen veel facetten van de energietransitie bijeen. Zoals de energievoorziening in de tweede helft van deze eeuw onvergelijkbaar zal zijn met die van nu, zou ook het gebruik van de personenauto een ongekende transformatie kunnen doormaken. Wie weet, zal het privéautobezit zelfs weer gedeeltelijk tot het verleden gaan behoren.

Benzine of elektriciteit? Die vraag staat al in de begintijd van de automobiel ter discussie. Thomas Edison, de man van de elektriciteit, aarzelt aanvankelijk en stimuleert autobouwer Henry Ford om zijn experimenten met de benzineauto voort te zetten¹. Loodzuur batterijen, de enige oplaadbare soort die Edison tot zijn beschikking heeft, zijn immers veel te zwaar voor een auto, als je een beetje afstand wil afleggen.

Maar in 1903 realiseert Edison zich, dat een elektrische auto misschien toch tot de mogelijkheden behoort². Dat is te danken aan zijn eigen uitvinding: de nikkel-ijzer batterij. Ook die kan worden opgeladen en hij is een stuk lichter dan de batterijen met lood. Edison weet het zeker: „Electricity is the thing. [...] Er is niet dat bijna angstaanjagende onzekere gebonk en gezoem van de krachtige verbrandingsmotor. Er is geen watercirculatiesysteem dat buiten werking kan raken – geen gevaarlijke en stinkende benzine en geen lawaai.” Omstreeks 1919 was ruim een derde van de auto's in de Verenigde Staten elektrisch.

In 1900 werden in de Verenigde Staten in totaal 4192 personenauto's geproduceerd. Daarvan hadden er 1681 een motor die werd aangedreven met stoom; 1575 auto's hadden een elektrische motor en slechts 396 een verbrandingsmotor. De elektrische auto was toen duidelijk populairder dan de vieze en lawaaiige brandstofauto. De stoomauto gebruikte meer energie dan de elektrische auto en moest ook veel water meedragen.

Maar Henry Ford laat zich niet zomaar door Edison op andere gedachten brengen. Hij gaat door met de ontwikkeling van zijn beroemde Model T, een voor de Amerikaanse middenklasse betaalbare auto met een verbrandingsmotor die in massaproductie kan worden gemaakt. Alleen al in 1909 worden er ruim 10.000 van verkocht. Pas in 1927 komt een einde aan de productie van model T, meteen nadat het 15 miljoenste exemplaar van de lopende band is gerold.

De elektrische auto verloor het pleit tegen de brandstofauto vanwege zijn beperkte actieradius en het ontbreken van elektriciteit in grote delen van het platteland. De brandstofauto was simpelweg beter geschikt voor de omstandigheden van die tijd.

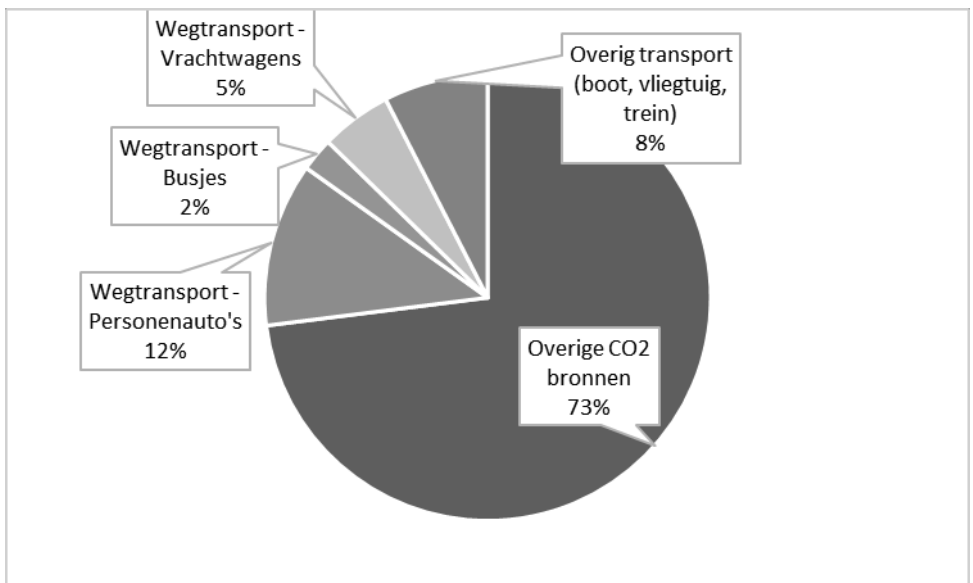
Toch weerhoudt dat succes Ford er niet van om samen met Edison te experimenteren met een auto op elektriciteit. In een interview in The New York Times licht Ford begin 1914 een tipje van de sluier op: „Het probleem tot nu toe was het bouwen van een lichtgewicht accu die lange afstanden zou kunnen volhouden zonder op te laden. De heer Edison experimenteert al een tijdje met zo'n batterij.” Uiteindelijk mislukt het experiment en duurt het bijna een eeuw voordat de elektrische auto een nieuwe kans krijgt.

In Amerika werd de eerste auto met verbrandingsmotor pas in 1893 gebouwd, acht jaar later dan in Duitsland. In 1908 kostte de T-Ford 850 US\$, maar in 1924 was de prijs gedaald tot 290 US\$, met toch nog een winstmarge van 90 US\$, dus méér dan 30%, iets waarvan de huidige producenten van auto's voor de massa alleen maar kunnen dromen. In 1934 had al één op de vijf Amerikanen een auto³. In de Verenigde Staten was het autobezit toen, dus nu negentig jaar geleden, al even groot als het huidige gemiddelde wereldwijde autobezit. Dat waren vooral de T-Ford en zijn opvolgers. De T-Ford was de volkswagen voor de Amerikanen. In Nederland was het aantal auto's in 1934 maar één op de achtenvijftig inwoners en in het verarmde Duitsland maar één op de vijfenzeventig mensen, hoewel de eerste auto met verbrandingsmotor al in 1885 door Carl Benz juist in Mannheim, Duitsland, werd gebouwd. Reden voor Hitler om autowegen aan te laten leggen en een belangrijke duw te geven aan de productie van de Duitse "volkswagen", die door Hitler's vriend Ferdinand Porsche in 1935 werd ontworpen. Pas vanaf 1939 werd de volkswagen geproduceerd onder de naam Kraft durch Freude (KdF). Na de tweede wereldoorlog werd deze naam omgedoopt tot Volkswagen (Kever). De eerste export Kever werd opgehaald door de Nederlandse auto-importeur Ben Pon in 1947³. In 1972 verdrong de Kever de T-Ford als best verkochte auto aller tijden. Uiteindelijk werden er 21 miljoen Kevers geproduceerd. In 1962 had 1 op de 10 Duitsers een auto, 1 op de 7.8 Fransen en 1 op de 8.5 Britten. De Amerikanen liepen ook in 1962 nog ver voor qua autobezit: 1 op de 2.8 Amerikanen³.

In de anderhalve eeuw nadat Carl Benz in Duitsland de eerste automobiel heeft gebouwd, is er veel veranderd. De eerste auto's zien eruit als koetsen met een motor. Geleidelijk ontstaat een eigen vormgeving, die wordt gedictieerd door de efficiency-eisen van de windtunnel. Logisch, want de druk op het verlagen van het brandstofgebruik is alleen maar toegenomen. Niet alleen het brandstofgebruik, maar ook het grondstofgebruik, uitgedrukt in gram per autokilometer is fors afgenomen, op de eerste plaats omdat auto's veel langer meegaan dan vroeger, maar ook door een verhoogd gebruik van lichtere materialen zoals kunststoffen en aluminium in plaats van staal. Daar staat weer tegenover dat

auto's gemiddeld groter zijn geworden. Maar hoe zuinig en efficiënt auto's ook zijn geworden, de doorgaande toename van het aantal auto's in de wereld doet de fossiele-brandstofauto uiteindelijk de das om.

Transport is verantwoordelijk voor ongeveer een kwart van de mondiale CO₂-uitstoot, en bijna de helft daarvan komt van personenauto's – de rest van vrachtvervoer (ongeveer 30 procent) en lucht- en scheepvaart (beide ongeveer 10 procent).



Figuur 1.1 Bijdrage van de transportsector aan de emissie van broeikasgassen in 2017^{4,5,6}

In 2015 blijkt Volkswagen, het grootste autoconcern van de wereld, software te hebben ontwikkeld om zijn diesels schoner te laten lijken dan ze zijn. En Volkswagen is niet het enige bedrijf dat met deze sjoemelsoftware milieu- en klimaattesten om de tuin weet te leiden – onder andere Mitsubishi, Daimler, Jeep, Audi en Suzuki worden ook genoemd. Het schandaal luidt, zonder dat de auto-industrie het beseft, het failliet in van de

traditionele verbrandingsmotor. 'Schoon' en 'zuinig' zijn voor de auto al een tijd net zo belangrijk als comfort en degelijkheid. De benzinemotor krijgt toenemende concurrentie van elektrisch aangedreven auto's.

Ondanks de katalysator in de uitlaat van auto's had het wegverkeer in 2021 met 33% verreweg het grootste aandeel in de stikstofoxide (NO_x) emissies in Nederland. Stikstof in de vorm van NO_x moet niet verward worden met stikstof in de vorm van ammoniak, waarvan de landbouw 86% voor zijn rekening nam in 2021. Bij NO_x ging het om 122 kiloton en bij ammoniak om 155 kiloton in 2021⁷. Het verkeer (weg en water) is ook verantwoordelijk voor ongeveer 40% van de uitstoot van fijnstof in Nederland⁸. Vroeger was er ook nog de emissie van koolwaterstoffen, die tot ernstige smogproblemen leidde en die van het giftige lood. De emissie van koolwaterstoffen, stikstofoxiden en koolmonoxide is sterk verminderd door de verplichte installatie van een katalysator in de uitlaat. Sinds het midden van de jaren negentig van de twintigste eeuw wordt er ook nauwelijks meer loodhoudende benzine verkocht. Katalysatoren worden immers beschadigd door het gebruik van lood-houdende benzine en er zijn goedwerkende vervangers van tetra-ethyllood ontwikkeld als anti-klop middel.

Lange tijd heeft de auto-industrie, zeker die in Duitsland, de transitie naar elektrisch rijden voor zich uitgeschoven. Bedrijven als BMW en Volkswagen deden wat lacherig over Tesla, *the new kid on the block*. Maar het lachen is ze vergaan, nu het aantal elektrische auto's niet meer aan te slepen is en het Amerikaanse bedrijf autoreuzen als Volkswagen naar de kroon steekt. Het Chinese automerk BYD (Build Your Dreams) is goede tweede⁹. Daarna volgen SAIC (eveneens Chinees), Volkswagen en Geely (opnieuw Chinees, eigenaar van Volvo en Polestar). Inmiddels hebben de Duitse automerken de overstap naar elektrisch rijden volledig omarmd als het nieuwe verdienmodel.

Misschien komt er een toekomst waarin waterstof de belangrijkste energiedrager is, of waarin er totaal andere revolutionaire technologieën worden ontwikkeld, maar voorlopig concentreert de auto-industrie zich op elektrisch rijden.

Tegelijkertijd groeit de druk van overheden, bijvoorbeeld in de Europese Unie en Californië, die af willen van fossiele brandstoffen om te kunnen voldoen aan de in 2015 in Parijs gemaakte internationale klimaatafspraken. Na een steeds verdere aanscherping van de regels voor de uitstoot per kilometer, lijkt het doek nu toch te vallen voor de benzine- en dieselauto. Vanaf 2035 zal in veel westerse landen de verkoop van nieuwe auto's met een brandstofmotor in de ban gaan.

Bij het besluit van de EU om vanaf 2035 geen auto's op fossiele brandstoffen meer toe te laten heeft Duitsland bedongen dat wèl nog auto's zullen zijn toegestaan die gebruik maken van synthetische CO₂ neutrale brandstof. Voor nogal wat Duitsers is het specifieke motorgeluid van hun Porsche of BMW kennelijk nog heilig. Hoewel de synthetische brandstof wellicht klimaatneutraal is zullen er evenzogoed fijnstof en stikstofoxiden worden geproduceerd in even grote hoeveelheden als uit fossiele brandstoffen. Zal er in de toekomst gekeken worden naar de dan nog rijdende fossiele brandstofauto's met dezelfde gevoelens als ex-rokers naar de resterende sigarettenrokers kijken: met een mengsel van fysieke afkeer en het idee dat dit gedrag asociaal is, maar ook met enige nostalgie?

In het najaar van 2022 bij de jaarlijkse autobeurs in Detroit¹⁰, waar Ford, Chrysler en General Motors hun nieuwste modellen tonen, is de ene auto nog sneller dan de andere, nog mooier en nog groter. Maar het opvallendste is dat ze bijna allemaal elektrisch worden aangedreven. De “*great American Road Trip is going to be fully electrified*”, zegt president Joe Biden tijdens een bezoek aan de autobeurs.

De overgang van fossiel naar elektrisch aangedreven auto's is niet onlogisch of onverwacht. Het is misschien juist bijzonder dat het zo lang heeft geduurd. In zijn boek "*Clean disruption of energy and transportation*"¹¹ voert Tony Seba onder meer de volgende acht argumenten hiervoor aan:

1. De elektrische motor is vijf keer efficiënter dan de brandstofmotor.
2. De elektrische auto is tien keer goedkoper qua energiegebruik dan de brandstofauto
3. De elektrische auto is tien keer goedkoper dan de brandstofauto qua onderhoud
4. De elektrische auto zal autoreparatie en -onderhoudsbedrijven voor een groot deel overbodig maken. Jammer voor de branche, maar goed voor de consument
5. Het is mogelijk om elektrische auto's contactloos op te laden
6. Elektrische auto's kunnen gemakkelijk modulair worden opgebouwd met, naar keuze, één elektromotor die de voorwielen of achterwielen aandrijft, twee elektromotoren die de voorwielen én achterwielen aandrijven of vier elektromotoren, die ieder van de wielen apart aandrijven.
7. De ontwikkeling van software in elektrische auto's ligt ver voor op die in brandstofauto's
8. Elektrische auto's kunnen bijdragen aan tijdelijk opslag van elektrische energie bij overproductie van zonne- en windenergie

Misschien zijn de getallen van Seba niet precies correct, maar ze geven wèl de richting aan. Maar tegenover deze voordelen van de elektrische auto ten opzichte van de fossiele-brandstofauto staat het nadeel van het grotere grondstoffengebruik. Het beslag

dat elektrische auto's zullen gaan leggen op de grondstoffenvoorraad van de wereld zal vooral afhangen van het toekomstig aantal auto's. Daarbij vind ik dat de wereldburger een autobezit op het niveau van dat in de Europese Unie niet mag worden ontzegd. Ieder land en elke persoon heeft tenslotte hetzelfde recht op welvaart en dus ook op hetzelfde autobezit als andere landen/personen. Welvaartsgelijkheid van landen is voor mij het uitgangspunt bij verkenningen van de draagkracht van de aarde, omdat ik vind dat alle wereldbewoners gelijke rechten hebben. Ik zal er niet op voorhand vanuit gaan dat de bestaande ongelijkheid, armoede en achterstelling in de wereld een gegeven feit zijn, waarvan ik zou moeten uitgaan bij toekomstscenario's. In mijn verkenning van het beslag op 's werelds grondstoffenvoorraad door de elektrische auto neem ik aan dat de wereldbevolking verder groeit tot een aantal van 10 miljard mensen en op dat aantal zal stabiliseren. Dit aantal is ontleend aan een prognose van de Verenigde Naties¹⁶. Dit scenario – met tien miljard mensen die een welvaartsniveau hebben van dat in de EU in 2050, noem ik het eerlijke scenario.

Een scenario is geen voorspelling. Een scenario is bedoeld om te laten zien wat de gevolgen zijn, als het scenario werkelijkheid wordt. Dennis Meadows, één van de leidende auteurs van het beroemde boek "Grenzen aan de Groei", dat in 1972 verscheen, benadrukte onlangs nog dat het model dat de wetenschappers vijftig jaar geleden gebruikte, bedoeld was om verschillende scenario's door te rekenen en de effecten van elk scenario te laten zien¹². Scenario's zijn geen voorspellingen, maar ze zijn het antwoord op "wat, als?" vragen. Zonder toekomstscenario's is geen beleid mogelijk.

Anno 2022 rijden er ruim 1,4 miljard personenauto's in de wereld rond. Dat aantal is ongeveer 18% van de huidige wereldbevolking. Dat betekent 18 auto's op iedere honderd mensen. In de Europese Unie zijn er nu ongeveer zestig

personenauto's op iedere honderd mensen. Personenauto's nemen qua aantal bijna negentig procent van het aantal voertuigen op de weg voor hun rekening.

Het aantal vrachtauto's, bestelbusjes en bussen is relatief gering in vergelijking met het aantal personenauto's, respectievelijk ongeveer twee procent, tien procent en drie tiende procent van het totaal aantal voertuigen¹³, maar ze gebruiken per stuk natuurlijk wel meer energie en grondstoffen.

Omdat ik een idee wil krijgen over het toekomstig grondstoffenverbruik van het wegtransport en omdat mijn berekeningen oriënterend van aard zijn, doe ik net alsof al die andere voertuigen ook personenauto's zijn. Dan kom ik op een aantal voertuigen op de mondiale wegen in 2022 van bijna 1.6 miljard en een wagenpark in de Europese Unie van 68 voertuigen op elke honderd inwoners. Ik neem dus aan dat het aantal vrachtwagens, bestelbusjes en bussen meebeweegt met het aantal personenauto's, dat wil zeggen dat er op elke 88 nieuwe personen auto's, 10 nieuwe bestelbusjes, 2 vrachtwagens en 0.3 bussen bijkomen. Voor het gemak van het rekenen zal ik veronderstellen dat al die voertuigen hetzelfde wegen als een gemiddelde personenauto en op dezelfde manier uit grondstoffen zijn samengesteld. Natuurlijk klopt dit niet helemaal, maar gelet op het globale karakter van de berekeningen vind ik dat ik deze benadering mag toepassen. De uitkomst zal niet erg veel verschillen van een uitkomst na veel preciezer rekenwerk. Ik zal dit mengsel van voertuigen dus allemaal "elektrische auto's" noemen. Als iedere honderd mensen 68 auto's hebben dan hebben tien miljard mensen dus bijna zeven miljard auto's.

Om een (ruwe) schatting te kunnen maken van het toekomstige grondstoffengebruik door al die elektrische auto's doe ik vier veronderstellingen:

Veronderstelling 1: de autoproductie in de wereld neemt voorlopig toe met een constant aantal van 2,3 miljoen voertuigen per jaar, tot het moment dat het autobezit per 100 inwoners overal in de wereld gelijk is aan dat van de Europese Unie in 2020, namelijk 68 auto's per honderd inwoners.

Ik doe deze veronderstelling omdat de groei van de voertuigproductie in de wereld de afgelopen twintig jaar ongeveer lineair^a is verlopen, namelijk van 58 miljoen voertuigen per jaar in 2000 naar 98 miljoen per jaar in 2018¹⁴. De financiële crisisjaren 2008 en 2009 vertoonden een productiedip. Voornamelijk vanwege corona was er opnieuw een productiedaling tussen 2018 en 2021. Als ik deze tijdelijke productiedalingen buiten beschouwing laat, was de productie van nieuwe auto's ieder jaar ongeveer 2,3 miljoen hoger dan het jaar ervoor.

De welvaart, uitgedrukt in bruto nationaal product per hoofd van de bevolking, is sinds 1980 exponentieel^b gestegen met gemiddeld ongeveer 3.5% per jaar. Dat het aantal voertuigen in de wereld minder snel stijgt dan de gemiddelde welvaart kan worden verklaard door de toenemende verstedelijking, resulterend in een uitgebreid aanbod van openbaar vervoer in combinatie met een zekere verzadiging van het autobezit in de meest welvarende landen. Er komen nieuwe auto's bij en oude auto's gaan naar de sloop. De balans is dat het aantal voertuigen op de weg in de wereld tussen 2005 en 2020 ieder jaar gemiddeld met ongeveer 45 miljoen voertuigen op de weg is gestegen¹⁵. Dat komt overeen met een gemiddelde levensduur

^a Een lineaire stijging van de groei van bijvoorbeeld je banktegoed van € 100 met een vast bedrag per jaar, bijvoorbeeld met € 3 betekent dat je banktegoed na een jaar is gestegen tot € 103, na twee jaar tot € 106, na drie jaar tot € 109. Enzovoorts.

^b Een exponentiële stijging van de groei van je banktegoed van € 100 met bijvoorbeeld 3 procent betekent dat de groei van je banktegoed van jaar op jaar toeneemt met 3 procent. Na een jaar is je banktegoed gestegen tot € 103, na twee jaar tot € 106,09 en na drie jaar tot € 109,27. Enzovoorts.

van een voertuig van ongeveer 20 jaar. Deze groei van het wagenpark zal niet eeuwig doorgaan. De wereldbevolking zal naar verwachting rond de volgende eeuwwisseling (2100) een piek van tien miljard mensen bereiken en dan stabiliseren¹⁶. Het is te verwachten dat dan ook het aantal voertuigen per honderd inwoners geleidelijk een verzadigingspunt zal bereiken, en dat de voertuigproductie en dus ook het aantal voertuigen op de weg zal stabiliseren.

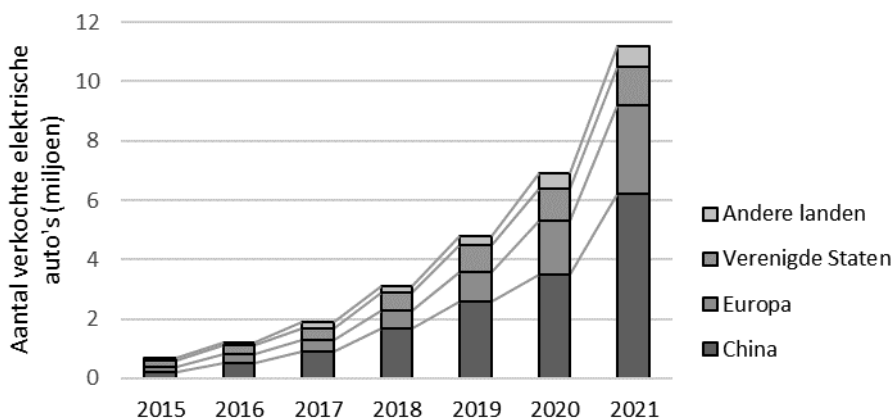
Veronderstelling 2: de productiegroei van voertuigen gaat door totdat op wereldschaal hetzelfde niveau is bereikt als in de Europese Unie op dit moment, namelijk ongeveer 68 voertuigen per 100 inwoners.

De stabilisering van de wereldbevolking op tien miljard mensen betekent dat ik veronderstel dat het aantal voertuigen uiteindelijk zal stabiliseren op ongeveer evenveel auto's per honderd inwoners als nu in de landen van de Europese Unie. Deze veronderstelling leidt tot de uitkomst dat het moment van stabilisatie van het aantal auto's op 6,8 miljard zal zijn bereikt rond 2120, dus over ongeveer een eeuw.

Veronderstelling 3: vanaf 2040 zijn alle nieuwe voertuigen in de wereld elektrisch. Ik veronderstel dus dat dit vijf jaar later is dan in de Europese Unie.

Met een lineaire groei van het aantal nieuwe voertuigen van 2,3 miljoen per jaar zal de wereld- voertuigproductie in 2040 ongeveer 141 miljoen zijn. Dat zijn dan dus in 2040 allemaal elektrische auto's. In de periode tussen 2011 en 2021 groeide de globale productie van elektrische auto's van enkele tienduizenden naar ongeveer elf miljoen per jaar. Zie Figuur 1.2. In 2021 was al één van de tien nieuwe auto's elektrisch¹⁷. Dat is een méér dan duizendvoudige groei in slechts tien jaar tijd¹⁸ ofwel een exponentiële groei van 60% per jaar. Vanaf 2017

neemt China steeds méér dan de helft van de verkopen van elektrische auto's voor zijn rekening.



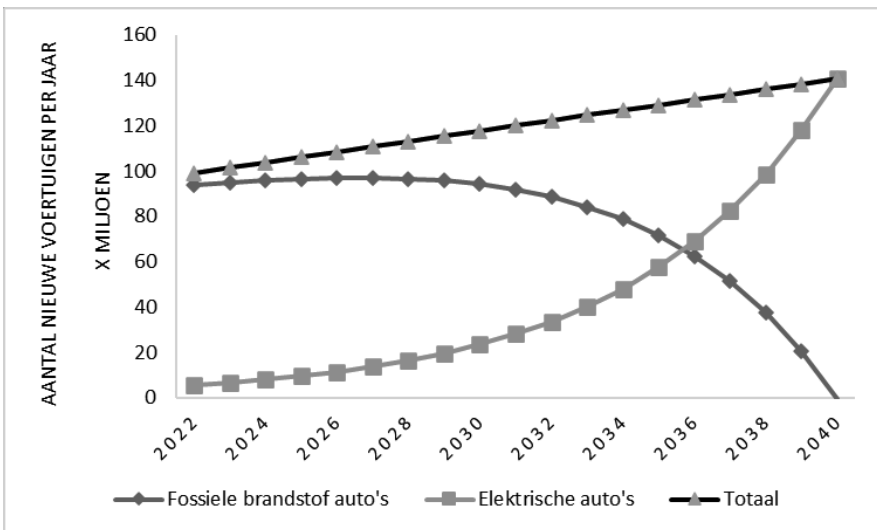
Figuur 1.2 Verkoop van elektrische auto's in de wereld. Van onder naar boven: China, Europa, VS, andere landen. Europa omvat in deze figuur de EU27, Noorwegen, IJsland, Zwitserland en het Verenigd Koninkrijk. De andere landen zijn Australië, Brazilië, Canada, Chili, India, Japan, Korea, Maleisië, Nieuw Zeeland, Thailand en Zuid-Afrika¹⁷

De groei van de verkoop van nieuwe plug-in hybride auto's in die periode was ongeveer navenant. Ik ga er echter van uit dat de verkoop van plug-in hybride voertuigen weer zal afnemen, omdat het immers de bedoeling is om het gebruik van motoren op basis van fossiele brandstoffen geheel te stoppen vanaf 2040. Om in 2040 een productieniveau van 141 miljoen nieuwe elektrische auto's te halen zullen er tussen 2023 en 2040 ieder jaar ruim 19% meer elektrische auto's van de band moeten rollen. Gelet op de groeisnelheid van het elektrisch wagenpark in de afgelopen tien jaar lijkt dat op zich zelf geen probleem voor de autoproducenten. De vraag is echter of het aanbod van grondstoffen de dramatische toename van de vraag naar elektrische auto's zal kunnen bijbenen. Voor een deel zijn dezelfde grondstoffen immers ook nodig voor andere onderdelen van de energietransitie zoals voor de productie van

zonnepanelen, windturbines en voor de uitbreiding van netwerken voor het transport en distributie van elektriciteit. Het aantal nieuwe fossiele-brandstof auto's neemt af naarmate er meer elektrische auto's worden geproduceerd, zoals Figuur 1.3 laat zien.

Mijn inschatting is dat er na 2040 nog maar weinig nieuwe fossiele-brandstof auto's meer geproduceerd zullen worden in de wereld simpelweg omdat het financieel niet meer interessant is voor autoproducenten.

Vanaf 2040 zal de toename van het aantal nieuwe elektrische auto's van een exponentiële toename van 19% per jaar veranderen in een lineaire toename van 2,3 miljoen voertuigen per jaar tot het moment dat de markt verzadigd is. Dat betekent een extrapolatie van de rechte "totaal" lijn in Figuur 1.3 tot ongeveer 2120, waarna deze lijn horizontaal blijft op een productie aantal van 272 miljoen nieuwe auto's per jaar.



Figuur 1.3 Productie scenario van fossiele-brandstof auto's en elektrische auto's tussen 2022 en 2040

Veronderstelling 4: de gemiddelde levensduur van fossiele-brandstof auto's is 20 jaar en die van elektrische auto's 25 jaar.

In tegenstelling tot de voertuig productiestatistieken, die betrouwbaar zijn, omdat voertuigproductie slechts in een beperkt aantal fabrieken plaats vindt, kan het aantal voertuigen op de mondiale wegen slechts een schatting zijn. Gegevens over de gemiddelde levensduur van voertuigen in de wereld zijn gebrekkig. Dat komt omdat de registratie van het moment waarop een auto definitief niet meer wordt gebruikt niet in alle landen even goed is, of geheel afwezig. Oudere auto's worden op tamelijk grote schaal geëxporteerd van rijkere landen naar armere landen. Daardoor ontstaat er wellicht een schifting van voertuigen met een hogere en lagere levensduur. Dat zou verklaren waarom de gemiddelde levensduur van voertuigen in het oostelijk deel van Europa een stuk hoger (28 jaar) is dan in de meer westelijk gelegen landen van Europa, 18 jaar¹⁹. In nogal wat landen is er geen wegenbelasting, bijvoorbeeld in Frankrijk, Polen en de Verenigde Staten, waar het dus niet uitmaakt of je je oude ongebruikte auto jarenlang op je erf laat staan. In Nederland is de gemiddelde levensduur van een voertuig momenteel ongeveer bijna 20 jaar²⁰. De veronderstelling dat de gemiddelde levensduur van fossiele-brandstof auto's ongeveer 20 jaar is houdt in dat er vanaf 2060 bijna geen fossiele-brandstof auto's meer op de weg zullen zijn en dat vanaf dan alle voertuigen elektrisch zullen zijn.

De gemiddelde levensduur van een elektrische auto zal naar verwachting langer zijn dan die van een fossiele-brandstof auto vanwege de simpelere constructie met veel minder onderdelen. Met de uitgangspunten met betrekking tot de levensduur van fossiele-brandstof auto's en elektrische auto's zal het totaal aantal voertuigen op de weg in 2040 zijn gestegen van ongeveer 1,4 miljard in 2023 tot een aantal van ongeveer 2,4 miljard, waarvan ongeveer een derde elektrische auto's.

Het merendeel van de voertuigen op de weg bestaat in 2040 dus nog steeds uit fossiele-brandstof auto's. Maar rond 2060 zal het