Rembrandt Koppelaar

Willem Middelkoop



De TESLA revolutie

WAAROM DE OLIE-INDUSTRIE HAAR MACHT VERLIEST

AUP

De Tesla-revolutie

Waarom de olie-industrie haar macht verliest

Rembrandt Koppelaar & Willem Middelkoop

AUP

Oorspronkelijke uitgave: *The Tesla Revolution. Why Big Oil is Losing the Energy War*, Amsterdam University Press, 2017 [ISBN 978 94 6298 206 2]

Vertaling: Asaf Lahat

Ontwerp omslag: Studio Ron van Roon
Ontwerp binnenwerk: Crius Group, Hulshout

ISBN 978 94 6298 207 9
e-ISBN 978 90 4853 197 4 (pdf)
e-ISBN 978 90 4853 198 1 (ePub)
NUR 781 | 961

Uitgeverij AUP is een imprint van Amsterdam University Press.

© R. Koppelaar, W. Middelkoop / Amsterdam University Press B.V., Amsterdam 2017

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd 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 uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 jº het Besluit van 20 juni 1974, Stb. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, Stb. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

Inhoud

Voorwoord 7

Inleiding 13

Hoofdstuk 1 – De Tesla-revolutie 27

Hoofdstuk 2 – De dominantie van fossiele brandstoffen 93

Hoofdstuk 3 – Petrodollars en de geopolitiek van olie 131

Hoofdstuk 4 – Peak oil en het einde van goedkope olie 159

Hoofdstuk 5 – Klimaatverandering en de energiewereld 195

Hoofdstuk 6 – De energiemix van de toekomst 225

Epiloog 275

Appendix 279

Voorwoord

Bijna tien jaar geleden begon ik mij te verdiepen in de geschiedenis van olie en het effect dat de uitputting van de oliereserves zou kunnen hebben op onze postindustriële samenleving. Ik raakte bezorgd over deze ontwikkeling nadat de ervaren geoloog dr. Colin Campbell (voorheen werkzaam bij BP), die de problematiek al tientallen jaren bestudeert, mij hierop attent maakte. Was er wereldwijd nog voldoende olie voor de samenleving in de komende eeuwen of zelfs decennia?

Het boek dat Willem Middelkoop en ik in 2008 schreven, *De permanente oliecrisis*, kwam voort uit deze bezorgdheid. Ons doel was mensen bewust te maken van het probleem van 'peak oil' en de noodzaak om over te schakelen op alternatieve vormen van energie. Ons uitgangspunt was dat een structureel tekort aan goedkope olie de wereldeconomie zou verstoren, omdat de conventionele olieproductie zijn maximum naderde. De olieproductie nam al enkele jaren niet meer toe, terwijl de olieprijs een stijgende lijn vertoonde en er weinig nieuwe aanvoerbronnen in zicht waren. Het gebrek aan alternatieven op dat moment maakte de situatie nijpend: het was hoog tijd om over te stappen naar schone energiebronnen.

In dit nieuwe boek, *De Tesla-revolutie,* bekijken wij – met bijna tien jaar extra kennis – wat er sindsdien is veranderd in de oliemarkt. Dankzij de grootschalige verschuiving naar alternatieve energiebronnen in de afgelopen tien jaar kijken wij hier nu positiever tegenaan. De wereld van schone energie maakt nu een snelle ontwikkeling door dankzij de inzet van talloze mensen die zich net als wij zorgen maken over het einde van goedkope olie, over de effecten van de uitstoot

van CO_2 (koolstofdioxide) op de klimaatverandering – of beide. Net zoals Nikola Tesla – samen met Thomas Edison – 120 jaar geleden een wereldwijde revolutie ontketende door de aanzet te geven aan het elektrische tijdperk, ontstaat er nu een revolutie op het gebied van schone elektriciteit.

Deze nieuwe 'Tesla-revolutie' komt vooral voort uit de urgentie voor transportalternatieven als gevolg van de hoge olieprijs. Vast staat dat olie duurder is en zal blijven dan in de periode rond 2000 en daarvoor. We zijn nu immers gedwongen ofwel olie van mindere kwaliteit te winnen óf op meer afgelegen locaties óf op veel grotere diepte. De recente opkomst van schalieolie in de Verenigde Staten verandert deze situatie niet, aangezien die over het algemeen eveneens duur is om te winnen, zoals we in hoofdstuk 4 belichten. Schalieolie heeft de wereld onverwacht snel veroverd, en net als de meeste experts hebben wij dit niet vroeg genoeg zien aankomen.

Maar de productie van schalieolie staat alweer onder druk door de hoge winningskosten. Schalieolie is niet de goedkope olie zoals we die gewend zijn. Ook honderden andere investeringen in diepzee-olievelden en teerzanden zijn uitgesteld sinds de halvering van de olieprijs rond 2015.

Onze voornaamste boodschap is nog steeds van kracht: we kunnen er niet op vertrouwen dat de (goedkope) olieproductie gelijkmatig blijft groeien. Een prijs van $50 voor een vat olie zijn we goedkoop gaan vinden. Er bestaat een serieus risico dat de olievoorziening binnen tien jaar zelfs zal gaan dalen. En dat zal aanzienlijke economische gevolgen met zich meebrengen, aangezien vrijwel al het vervoer nog steeds afhankelijk is van olie. Om nog te zwijgen van het risico van ernstige geopolitieke instabiliteit. De geschiedenis leert ons dat westerse landen hun olievoorziening bij voorkeur veiligstellen via geheime operaties of militaire middelen – we gaan hier in hoofdstuk 3 nader op in.

Nu het tijdperk van goedkope olie voorbij is, zijn wij ervan overtuigd dat we onze olie-afhankelijkheid moeten verminderen, evenals de daarbij behorende risico's. Zoveel mogelijk schone energiebronnen gebruiken voor vervoer is figuurlijk gezien een economische oudedagsvoorziening, waar iedereen met een hart voor de toekomst achter zou moeten staan. Hoe sneller we alternatieve energiebronnen voor transport weten op te schalen, des te waarschijnlijker dat er voldoende energie beschikbaar is.

De tweede drijvende kracht achter de Tesla-revolutie is de urgentie om voor alle fossiele brandstoffen – en met name steenkool – grootschalig alternatieven te ontwikkelen om de koolstofuitstoot drastisch te verminderen. Reductie van de CO_2-uitstoot is nodig om veranderingen in de chemische samenstelling van de atmosfeer een halt toe te roepen en daarmee de verstorende risico's van klimaatverandering te minimaliseren.

Vermindering van de CO_2-vervuiling is op dit moment een belangrijke drijfveer achter veel energiemaatregelen van overheden en speelt ook een rol in de beleggingsstrategie van veel bedrijven en financiële instellingen. Naar onze mening vormt klimaatverandering de komende decennia net zo'n groot risico als uitputting van de goedkope oliereserves – en een nog groter risico in de tweede helft van deze eeuw. Verdere verstoring van het klimaat beïnvloedt namelijk alle economieën wereldwijd. We weten alleen niet wat de effecten tijdens ons leven zullen zijn, laat staan tegen het jaar 2100 of daarna.

Veel mensen die werken aan de transformatie van onze op fossiele brandstoffen gebaseerde economie, waaronder de CEO's van Tesla en Toyota, delen onze bezorgdheid. Naar onze mening behoort ieder hedendaags boek over energie te belichten in hoeverre de wereld verder verwijderd raakt

van fossiele brandstoffen door vermindering van koolstofemissies, zoals we in hoofdstuk 5 bespreken. Daarnaast besteden we ook aandacht aan de vorig jaar in Parijs gesloten overeenkomst inzake klimaatverandering, aan maatregelen voor CO_2-reductie, en aan de ondergrondse koolstofvoorraad van de grote oliemaatschappijen – Big Oil – en de consequenties daarvan voor hun investeringen.

De belangrijkste vragen waar we ons over buigen zijn gericht op steenkool en aardgas: betekent het terugdringen van de koolstofuitstoot op den duur het einde van steenkool? Gaat aardgas in de toekomst een dominante rol spelen als brug naar een wereld met schone energie?

Dat brengt ons bij de gevolgen van de twee bovengenoemde drijfveren – dure olie en klimaatverandering – voor het mondiale energievraagstuk. In 2008, toen ons vorige boek uitkwam, was Tesla nog een kleine speler met enkel de elektrische sportwagen Roadster, en verkocht het Chinese Build Your Dreams (BYD) alleen nog elektrische stadsauto's in miniformaat. Tegenwoordig verandert de wereldwijde autobranche razendsnel dankzij vele innovaties, vooral op het gebied van lithium-ion-accu's.

In het kielzog van de opkomst van Tesla werpen grote autofabrikanten over de hele wereld, van Amerika tot Duitsland en Japan, zich nu geestdriftig op elektrische voertuigen, hybride auto's of automodellen met brandstofcel. Mogelijk treden zij binnenkort nog verder in het voetspoor van Tesla en BYD – op dit moment de twee enige volledig geïntegreerde auto-, accu- en zonnepanelen producerende bedrijven, die het duurzame rijden tot aan de garage of de voordeur brengen.

Dankzij hun inspanningen is de kans groot dat autofabrikanten binnen afzienbare tijd in de transportsector marktaandeel zullen afsnoepen van Big Oil – wanneer

elektrische auto's in alle marktsegmenten zowel gewild als kostenconcurrerend zijn. Dit betekent niet dat de oliemaatschappijen uit de markt worden gedrukt (in elk geval niet in de afzienbare toekomst); wel dwingt het hen om zich steeds meer te beperken tot olieleveranciers aan het vrachtvervoer, de scheepvaart, luchtvaart en de chemische industrie, waar vermindering van het olieverbruik nog steeds een grote uitdaging vormt. Dit en nog veel meer komt aan bod in hoofdstuk 1 en hoofdstuk 6, zowel voor accu's en elektrische auto's als voor brandstofcellen, fotovoltaïsche zonnepanelen, windenergie, elektriciteitsnetwerken en andere technologieën.

Er is elke dag zoveel gaande over de hele wereld dat het moeilijk is om al het nieuws bij te houden. Wist u bijvoorbeeld dat ruim 40.000 Duitse gezinnen een accusysteem hebben dat gekoppeld is aan hun zonnepanelen? Of dat er in China al meer dan 200 miljoen elektrische fietsen, scooters en motorfietsen rondrijden? Of dat zonnepanelen al aan ten minste 40 miljoen gezinnen stroom leveren in regio's zonder toegang tot een elektriciteitsnet?

Er is veel verwarring als het gaat om het tempo waarin hernieuwbare energiebronnen hun intrede doen in het mondiale energiesysteem, wat wordt veroorzaakt door een gebrek aan goede informatie. Onze ervaring leert dat veel op internet en in de krant geuite meningen en 'feiten' gebaseerd zijn op verouderde informatie en gegevens, en zich bovendien doorgaans beperken tot de praktijk in eigen land, of sterk bevooroordeeld zijn. Een deel van die verwarring komt voort uit een gebrek aan de meest recente informatie over het aandeel van hernieuwbare bronnen in het mondiale energiesysteem.

Om helderheid aan te brengen in die verwarring schetsen we in hoofdstuk 1 een globaal beeld van het tempo waarin de transitie naar schone energie zich voltrekt. Op basis van

de meest actuele gegevens (tot eind 2016) beschrijven we hoeveel fossiele brandstoffen en hoeveel schone energie er in verschillende toepassingen wordt gebruikt.

Daarmee wordt de huidige situatie globaal in kaart gebracht. We beschrijven welke kant we op zouden moeten gaan en welke schaalvergroting er nodig is om het tempo van de Tesla-revolutie op te voeren. Zo kunnen we concluderen of de mondiale ontwikkelingen wel snel genoeg gaan en wat we kunnen doen om de opkomst van schone energie te versnellen.

We hopen dat dit boek lezers zal inspireren om mee te doen om de Tesla-revolutie in een hogere versnelling te brengen. We moeten allemaal een bijdrage leveren aan een wereld met schonere energie. Zonder mensen die elektrische auto's of zonnepanelen kopen, die grote technologische innovaties ontwikkelen, het energiebeleid vormgeven of grootschalige duurzame energie-infrastructuur financieren, zal er niet veel veranderen. Daarnaast hopen we dat de inhoud nuttig is om betere energiebeslissingen te nemen. We hebben meer invloed op besluitvorming dan we denken.

Rembrandt Koppelaar (rembrandtkoppelaar@gmail.com)
Londen, januari 2017

Inleiding[1]

Dit boek gaat over de energierevolutie waar Tesla een belangrijke rol in speelt. De naam van dit bedrijf is een eerbetoon aan Nikola Tesla, een van de grootste ingenieurs en uitvinders ooit.

Wie was Nikola Tesla?

Nikola Tesla, geboren in 1856 in Oostenrijk-Hongarije, was een Servisch-Amerikaanse uitvinder, elektrotechnisch ingenieur, werktuigbouwkundig ingenieur, natuurkundige én futurist die vooral bekendstaat om zijn bijdragen aan de ontwikkeling van het moderne systeem van elektriciteitsvoorziening op wisselstroom (AC).[1]

In 1875 kon Tesla dankzij een beurs aan de technische hogeschool van Graz studeren. Naar eigen zeggen werkte hij van 3.00 uur 's nachts tot 11.00 uur 's avonds, inclusief zon- en feestdagen. Na de dood van zijn vader in 1879 vond Tesla een bundel brieven waarin zijn docenten zijn vader waarschuwden dat als deze hem niet van de school haalde hij (letterlijk) ten onder zou gaan aan overwerk. In zijn tweede jaar kreeg Tesla een conflict met Professor Poeschl over de Gramme-dynamo toen hij opperde dat een stroomwisselaar (een elektrische schakelaar) niet noodzakelijk was. Aan het eind van dat jaar raakte Tesla zijn beurs kwijt en raakte hij verslaafd aan gokken.[2] Hij maakte de universiteit niet af en ontving geen cijfers voor het laatste semester. In december 1878 verliet hij Graz en verbrak alle

1 Op basis van openbare bronnen (Wikipedia).

banden met zijn familie om te verbergen dat hij zijn studie had gestaakt.[3]

In 1881 vertrok Tesla naar Boedapest waar hij onder Ferenc Puskás bij de telegraafmaatschappij annex telefooncentrale ging werken. Binnen enkele maanden werd hij bevorderd tot hoofdelektricien. Tijdens zijn dienstverband bracht Tesla allerlei verbeteringen aan in de apparatuur van de centrale; zo beweerde hij de telefoonversterker te hebben geperfectioneerd, maar dit is nimmer gepatenteerd of openbaar gemaakt.[4]

In 1882 verhuisde Tesla naar Frankrijk, waar hij ging werken voor Continental Edison Company, met als taak het ontwerpen en verbeteren van elektrische apparatuur. In juni 1884 emigreerde hij naar de Verenigde Staten.[5] In New York kwam hij in dienst bij Thomas Edison in diens bedrijf Edison Machine Works aan de Lower East Side in Manhattan. Tesla's functie behelsde aanvankelijk eenvoudige elektrotechnische werkzaamheden, maar al snel wierp hij zich op moeilijkere problemen.[5] Hij kreeg de taak aangeboden de gelijkstroomgeneratoren van Edison Company compleet opnieuw te ontwerpen. In 1885 beweerde hij de inefficiënte motoren en generatoren van Edison zo te kunnen ontwerpen dat ze zowel gebruiksvriendelijker als zuiniger zouden zijn. Hierop merkte Edison volgens Tesla op: 'Je kunt er $50.000 mee verdienen – als je het voor elkaar krijgt.'[6],[7]

Na maanden werken lukte het Tesla inderdaad, maar toen hij naar de beloning vroeg antwoordde Edison dat het slechts een grapje was geweest: 'Je begrijpt onze Amerikaanse humor niet, Tesla.' In plaats daarvan bood Edison hem een loonsverhoging van $10 per week bovenop zijn salaris van $18 per week. Tesla sloeg het aanbod af en nam per direct ontslag.[7]

Na zijn vertrek bij Edison Company ging Tesla in 1886 een samenwerking aan met twee zakenlieden, Robert Lane en Benjamin Vail, die het elektrische verlichtingsbedrijf op zijn naam – Tesla Electric Light & Manufacturing – financierden. Het bedrijf installeerde door Tesla ontworpen elektrische verlichtingssystemen op basis van booglicht. Daarnaast maakte het stroomwisselaars voor dynamo-aangedreven elektrische machines, de eerste aan Tesla verleende patenten in de VS.[3],[8]

De investeerders toonden weinig interesse in Tesla's ideeën voor nieuwe soorten motoren en elektrische transmissieapparatuur. Ze waren meer geïnteresseerd in het opzetten van een elektriciteitsbedrijf dan in het uitvinden van nieuwe systemen. Uiteindelijk werd hij uit het bedrijf gezet en bleef zonder een cent achter. Hij verloor zelfs de zeggenschap over de patenten waarvoor hij verantwoordelijk was geweest, omdat hij ze in ruil voor aandelen aan het bedrijf had overgedragen. Hij moest verschillende baantjes aannemen als elektricien en zelfs als greppelgraver voor $2 per dag.[9],[10]

In het najaar van 1886 ontmoette Tesla Alfred S. Brown, de hoofdinspecteur bij Western Union en de New Yorkse advocaat Charles F. Peck. De twee mannen hadden ervaring met het opzetten van bedrijven en het aanjagen van uitvindingen en patenten met winstoogmerk. Op basis van Tesla's bestaande patenten en ideeën kwamen zij overeen om hem financieel te steunen en zijn patenten te beheren, wat in april 1887 resulteerde in de Tesla Electric Company. Naast deze onderneming zetten zij ook een laboratorium op, aan Liberty Street 89 in Manhattan, waar Tesla zich bezighield met het verbeteren van bestaande ontwerpen en het ontwikkelen van nieuwe types elektromotoren, generatoren en andere apparaten.[9]

In 1887 ontwikkelde Tesla een inductiemotor die op wisselspanning liep. Dit type stroomvoorziening was toen net in opkomst in Europa en Amerika vanwege de voordelen voor transport over grote afstanden via hoogspanningsleidingen.[11] In 1888 regelde zijn vriend Thomas Commerford Martin, publicist en redacteur van het blad *Electrical World*, dat Tesla zijn wisselstroomsysteem, waaronder de inductiemotor, kon demonstreren bij het Amerikaanse Institute of Electrical Engineers (nu IEEE). De ingenieurs van Westinghouse Electric & Manufacturing Company rapporteerden aan George Westinghouse dat de wisselstroommotor en bijbehorende energie-installatie van Tesla levensvatbaar waren – een systeem waarvoor Westinghouse zelf geprobeerd had het octrooi te bemachtigen.[8],[9],[12]

Met zijn demonstratie van de inductiemotor en de daaropvolgende licentieverlening van het octrooi door Westinghouse, beide in 1888, kwam Tesla in de 'oorlog van de stromen' duidelijk in het wisselstroomkamp ('alternative current' of AC) terecht. Deze strijd tussen twee verschillende elektriciteitssystemen, gelijkstroom ('direct current' of DC) en wisselstroom – en hun respectieve fabrikanten Thomas Edison en George Westinghouse – woedde al enige tijd en stond op een laag pitje sinds Westinghouse in 1886 het eerste wisselstroomsysteem installeerde.[3] Het was begonnen als concurrentiestrijd tussen rivaliserende verlichtingssystemen, waarbij Edison alle patenten voor gelijkstroom en de gloeilamp in handen had verkregen, terwijl Westinghouse dit omzeilde door booglichten te fabriceren op basis van zijn eigen wisselstroomsysteem, alsmede gloeilampen met een iets ander ontwerp.[13]

Met de overname van een levensvatbare wisselstroommotor verwierf Westinghouse een cruciaal octrooi om een volledig geïntegreerd wisselstroomsysteem te bouwen.

Desondanks werd de productie van Tesla's motor om financiële redenen – het opkopen van patenten en het inhuren van ingenieurs om hem te bouwen – voorlopig nog opgeschort. De rivaliteit leidde ertoe dat Edison Machine Works in 1890 eveneens een wisselstroomtoepassing najoeg. In 1892 had Thomas Edison de controle over zijn eigen bedrijf verloren, dat geconsolideerd werd tot het conglomeraat General Electric en op dat moment de overstap maakte naar een wisselstroomsysteem.[14]

Op 30 juli 1891 werd Tesla op zijn 35ste genaturaliseerd tot Amerikaans staatsburger.[15] Hij richtte een laboratorium op aan South Fifth Avenue en later aan 46 E. Houston Street in New York. Op beide locaties wist hij elektrische lampen draadloos te verlichten en daarmee de mogelijkheden aan te tonen van draadloze stroomtransmissie.[2],[3]

Van 1892 tot 1894 was Tesla vicepresident van het American Institute of Electrical Engineers (samen met het Institute of Radio Engineers voorloper van het huidige IEEE).[2] Vanaf 1894 richtte zijn onderzoek zich op wat hij 'onzichtbare' soorten stralingsenergie noemde (röntgenstralen), nadat Tesla bij eerdere experimenten in zijn laboratorium beschadigde filmpjes had opgemerkt.[16]

Een groot deel van Tesla's vroege onderzoek is in rook opgegaan. Honderden uitvindingsmodellen, plannen, aantekeningen, laboratoriumgegevens, hulpmiddelenen en foto's raakten verloren toen het laboratorium aan de Fifth Avenue in maart 1895 afbrandde.[17] Zijn theorieën over de mogelijkheid van transmissie via radiogolven gaan in elk geval terug tot 1893, toen hij hierover lezingen en demonstraties hield in St. Louis (Missouri), het Franklin Institute in Philadelphia (Pennsylvania) en de National Electric Light Association.[18]

In 1898 gaf Tesla een openbare demonstratie van een radiografisch bestuurde boot – door hem 'teleautomaton'

gedoopt – tijdens een elektrische tentoonstelling in Madison Square Garden. Hij probeerde het idee als een soort radiografisch bestuurde torpedo te slijten aan het Amerikaanse leger, maar men toonde weinig interesse.[8],[19] Wel werd hem in 1900 octrooi verleend voor een 'systeem voor het overbrengen van elektrische energie' en voor een 'elektrische zender'.

Op 6 november 1915 meldde een persbureau van Reuters vanuit Londen abusievelijk dat de Nobelprijs voor Natuurkunde in 1915 was toegekend aan Thomas Edison en Nikola Tesla. Diverse Tesla-biografen hebben naderhand beweerd dat de onderscheiding inderdaad naar Edison én Tesla had moeten gaan, maar dat zij er vanwege hun onderlinge vijandigheid alle twee naast grepen: beiden deden geringschattend over de prestaties van de ander en diens recht op de prijs; beiden weigerden de prijs ooit te accepteren als deze eerst aan de ander werd toegekend, en beiden wezen de optie af om de prijs delen; mogelijk zelfs weigerde de welgestelde Edison de prijs, om te voorkomen dat Tesla het prijzengeld van $20.000 zou opstrijken.[7]

In 1928 verkreeg Tesla zijn laatste octrooi (US Patent 1.655.114) voor een tweedekker die verticaal kon opstijgen (het VTOL-vliegtuig) en daarna tijdens de vlucht geleidelijk gekanteld werd door een hoogteroer totdat het als een conventioneel vliegtuig vloog. Tot aan zijn dood bleef hij werken aan energiegerelateerde uitvindingen, waaronder een geheim wapen dat energiestralen ('dodelijke stralen') kon uitzenden. Vast staat dat er ten minste 278 patenten in 26 landen aan hem zijn toegekend, en dat veel door hem ontwikkelde uitvindingen geen octrooibescherming genoten.[7],[24],[25]

Tesla werkte elke dag van 9.00 tot 18.00 uur of later en dineerde exact om 20.10 uur in het restaurant van een hotel. In de regel at hij alleen, behalve in de zeldzame gevallen

dat hij een etentje organiseerde voor een groep mensen om aan sociale verplichtingen te voldoen. Daarna ging Tesla weer het werk, vaak tot drie uur 's nachts.[6] Hij was ervan overtuigd, zei hij, dat alle fundamentele natuurwetten tot één wet teruggebracht konden worden. In het artikel 'A Machine to End War' uit 1937 stelde hij: 'Voor mij is het universum gewoon een grote machine die nooit is ontstaan en ook nooit zal eindigen'.[26]

Tesla las veel en schreef tal van werken, hij kende hele boeken uit zijn hoofd en bezat vermoedelijk een fotografisch geheugen. Daarnaast was hij een polyglot die acht talen sprak: Servo-Kroatisch, Tsjechisch, Engels, Frans, Duits, Hongaars, Italiaans en Latijn.[6],[7] Tegelijk was Tesla antisociaal aangelegd en geneigd zich af te sluiten met zijn werk. Maar voor zover hij zich wel in het maatschappelijk verkeer begaf, lieten veel mensen zich zeer positief en bewonderend over hem uit. Op middelbare leeftijd had Tesla vriendschap gesloten met Mark Twain, met wie hij veel tijd doorbracht in zijn laboratorium en elders. Twain roemde Tesla's uitvinding van de inductiemotor als 'het meest waardevolle octrooi sinds de telefoon'.[27],[28]

Tesla stierf op 7 januari 1943 op 86-jarige leeftijd, alleen in kamer 3327 van het New Yorker Hotel waar hij al jaren woonde. Twee dagen later gelastte de FBI de Alien Property Custodian beslag te leggen op zijn bezittingen, ook al was Tesla Amerikaans staatsburger.[17] Op 10 januari 1943 droeg de burgemeester van New York, Fiorello La Guardia, een door de Sloveens-Amerikaanse auteur Louis Adamic geschreven grafrede voor op de radio terwijl de vioolmuziek van 'Ave Maria' en 'Tamo daleko' werd gespeeld terwijl 2000 mensen de staatsbegrafenis bijwoonden. Hoewel Tesla zijn wisselstroompatenten had verkocht, stierf hij verarmd en in de schulden.[2],[17]

Elon Musk, CEO van Tesla en SpaceX, en net als Nikola Tesla honderd jaar eerder een opmerkelijke ingenieur en uitvinder, zal later ook herinnerd worden als iemand wiens ideeën de wereld hebben veranderd.

Wie is Elon Musk?

Elon Musk Reeve (1971) is een in Zuid-Afrika geboren Canadees-Amerikaanse ingenieur en uitvinder. Hij is oprichter en CEO van SpaceX, medeoprichter en CEO van zowel Tesla als SolarCity én medeoprichter van PayPal. Op dit moment (2016) behoort hij tot de honderd rijkste mensen ter wereld.

De doelstellingen van SolarCity, Tesla en SpaceX, aldus Musk, draaien om een roeping om de wereld en de mensheid te veranderen. Tot die doelstellingen behoren het tegengaan van opwarming van de aarde door de productie en consumptie van duurzame energie, en het 'risico op uitsterven van de mensheid', te verminderen door het leven 'multiplanetair' te maken, en wel door een menselijke kolonie op te zetten op Mars.[29]-[31] Daarnaast heeft Musk een hogesnelheidstransportsysteem bedacht, Hyperloop geheten, en een voorstel gedaan voor een supersonisch straalvliegtuig met 'vertical take-off and landing' (VTOL) en elektrische aandrijving, ook bekend als de Musk elektrische jet.[32]

Op tienjarige leeftijd raakte Musk geboeid door computeren met de Commodore VIC-20. Hij leerde zichzelf programmeren aan en ontwikkelde met BASIC het computerspel Blastar waarvan hij op zijn twaalfde voor zo'n $500 de broncode verkocht aan IT-tijdschrift *PC and Office Technology*.[33],[34]

Musk werd in zijn jeugd zwaar gepest, en belandde zelfs een keer in het ziekenhuis nadat een groep jongens hem van de trap had gegooid en vervolgens net zolang sloegen tot hij het bewustzijn verloor. Hij volgde aanvankelijk onderwijs op privéscholen en verhuisde in juni 1989, vlak voor zijn 18de verjaardag, naar Canada nadat hij Canadees staatsburger was geworden dankzij zijn aldaar geboren moeder.[34] Na twee jaar aan Queen's University stapte Musk in 1992 over naar de universiteit van Pennsylvania waar hij in 1995, op 24-jarige leeftijd, een bachelorgraad in natuurkunde behaalde aan de College of Arts and Sciences en ook een bachelor in economie aan de Wharton School of Business.[35] Datzelfde jaar verhuisde Musk naar Californië om te promoveren in toegepaste natuurkunde en materiaalwetenschappen aan de Universiteit van Stanford – een opleiding die hij al na twee dagen staakte om zijn bedrijfsaspiraties op het terrein van internet, hernieuwbare energie en het heelal ruim baan te geven. In 2002 werd hij Amerikaans staatsburger.[34]

In 1995 richtte Musk samen met zijn broer Kimbal voor $28.000 het online softwarebedrijf Zip2 op, met geld van hun vader (Errol Musk).[34] Het bedrijf ontwikkelde een 'internet-stadsgids' voor uitgevers. Het lukte Musk om contracten binnen te slepen bij de *New York Times* en de *Chicago Tribune*. Uiteindelijk nam Compaq Zip2 in februari 1999 over voor $307 miljoen in cash en $34 miljoen in aandelenopties. Musk, toen 28 jaar, hield aan de verkoop $22 miljoen over.[36]-[38]

In maart 1999 richtte Musk met $10 miljoen uit de verkoop van Zip2 X.com op, een onderneming voor online financiële dienstverlening en betalingen per e-mail. Een jaar later fuseerde het bedrijf met Confinity, dat eigenaar was van PayPal, een destijds nieuwe service voor financiële transacties.

Dit werd het speerpunt van de nieuwe onderneming, die in 2001 dan ook werd omgedoopt tot PayPal. Het bedrijf groeide aanvankelijk vooral dankzij een virale marketingcampagne waarbij nieuwe klanten werden geworven doordat ze via PayPal betalingen cash retour ontvingen.[39] In oktober 2002 werd PayPal voor $1,5 miljard in aandelen overgenomen door eBay, waarbij Musk $165 miljoen ontving. Als grootste aandeelhouder bezat hij voorafgaand aan de verkoop bijna 12% van de aandelen.[40]-[42]

In 2001 bedacht Musk het concept 'Mars Oasis', een project met als doel om een experimentele minikas neer te zetten op Mars, om daarin voedsel te laten groeien. Hij wilde daarmee de publieke belangstelling voor ruimteexploratie nieuw leven in blazen.[43],[44]

In oktober 2001 reisde Musk af naar Moskou om opgeknapte ICBM's (intercontinentale ballistische raketten) te kopen waarmee de beoogde lading de ruimte in kon worden gestuurd. Hij keerde zonder success terug naar de VS. Op de vlucht terug vanuit Moskou besefte Musk dat hij zelf een bedrijf kon beginnen om de benodigde raketten tegen een betaalbare prijs te bouwen.[45] Volgens hem bedroegen de grondstoffen voor een raket op dat moment in feite slechts 3% van de verkoopprijs, aldus Steve Jurvetson, een Tesla- en SpaceX-investeerder van het eerste uur. Door de toepassing van verticale integratie en de modulaire benadering uit software engineering kon SpaceX de introductieprijs met een factor tien verlagen en toch een brutomarge van 70% behalen. Uiteindelijk besloot Musk tot de oprichting van SpaceX met als langetermijndoel het stichten van een 'beschaving van echte ruimtereizigers'.[46],[47]

Musk bracht voor Space Exploration Technologies, oftewel SpaceX, in juni 2002 uit eigen zak een startkapitaal van $100 miljoen in. Inmiddels ontwikkelt en fabriceert het

bedrijf raketten, en richt zich met name op modernisering van de rakettechnologie.[48] In zeven jaar tijd ontwierp SpaceX verschillende draagraketten in de Falcon-raketfamilie en multifunctionele ruimteschepen in de Dragon-serie. In september 2008 bracht de Falcon 1-raket, de eerste met particuliere middelen gefinancierde raket, een satelliet in een baan om de aarde. In mei 2012 werd een Dragon ruimteschip gekoppeld aan het internationale ruimtestation ISS, waarmee SpaceX de geschiedenis in ging als het eerste commerciële bedrijf dat een voertuig wist te lanceren en te koppelen aan het ISS.[49]

In 2006 verwierf SpaceX een opdracht van NASA om verder te gaan met het ontwikkelen en testen van de draagraket SpaceX Falcon 9 en het ruimteschip Dragon om ladingen te vervoeren naar het ISS. In december 2008 volgde een order ter waarde van $1,6 miljard in het kader van het NASA-programma 'Commercial Resupply Services', waarbij de Falcon 9 en de Dragon nog twaalf vluchten zouden maken naar het ruimtestation om de Amerikaanse spaceshuttle te vervangen nadat deze in 2011 buiten dienst gesteld zou worden.[50]-[52] Momenteel verzorgt de Russische Soyuz al het vervoer van astronauten naar ruimtestation ISS, maar SpaceX is één van de twee bedrijven waaraan NASA een contract heeft toegewezen in het kader van het 'Commercial Crew Development'-programma, bedoeld om vanaf 2018 het vervoer van Amerikaanse astronauten te regelen.

In december 2015 slaagde SpaceX erin de stuwraketten van de Falcon-raket zonder schade te laten landen op een lanceerplatform. Het was de eerste keer in de geschiedenis dat een orbitale raket dit voor elkaar kreeg – een grote stap op weg naar het herbruikbaar maken van raketten, wat de kosten van ruimtevaart fors zal terugbrengen. In 2016 lukte het meerdere malen om de stuwraketten rechtop te laten

landen op een droneschip als autonome lanceerbasis: een landingsplatform op zee.[53]-[55]

SpaceX is de grootste particuliere fabrikant van raketmotoren ter wereld én recordhouder als het gaat om de verhouding tussen de stuwkracht en het gewicht van een raketmotor. De raketmotor met de beste stuwkracht-gewichtsverhouding is op dit moment de Merlin 1D, waarvan SpaceX er al ruim honderd van heeft geproduceerd.[56],[57]

Musk wil de kosten van bemande ruimtevaart met een factor tien verminderen. In een interview in 2011 zei hij te hopen binnen tien tot twintig jaar mensen naar Mars te kunnen sturen. Volgens Musk biograaf Ashlee Vance is het naar verluidt zijn ambitie om vóór 2040 een kolonie op te zetten op Mars.[34] SpaceX is van plan in 2018 een Dragon-ruimteschip op een Falcon-raket te lanceren die een zachte landing moet maken op Mars – de eerste van een reeks beoogde missies met lading, bedoeld om voorraden op Mars aan te leveren ter voorbereiding van latere bemande vluchten. In juni 2016 verklaarde Musk dat de eerste onbemande vlucht naar de rode planeet van het grotere ruimteschip Mars Colonial Transporter (MCT) gepland staat voor 2022, gevolgd door de eerste bemande vlucht van MCT naar Mars in 2024.[58],[59]

Tesla werd in juli 2003 opgericht door Martin Eberhard en Marc Tarpenning. Zij financierden de onderneming tot aan de Serie A-financieringsronde en speelden een actieve rol in haar vroege ontwikkeling. Elon Musk raakte vanaf februari 2004 betrokken bij het bedrijf toen hij die eerste investeringsronde leidde en toetrad als voorzitter van de raad van bestuur van Tesla. Musk speelde een actieve rol binnen het bedrijf en hield nauw toezicht op het

productontwerp, maar was niet betrokken bij de dagelijkse bedrijfsvoering.[60]

Toen de financiële crisis in 2008 toesloeg nam Musk de leiding van het bedrijf op zich als CEO en als productontwerper, twee functies die hij vandaag nog vervult; daarnaast is hij voor 22% eigenaar van het bedrijf.[61] In 2014 kondigde Musk aan dat Tesla zijn technologiepatenten vrij zou geven zodat iedereen ze in goed vertrouwen zou kunnen gebruiken. Hij wilde daarmee autofabrikanten aansporen meer vaart te zetten achter de ontwikkeling van elektrische auto's.[62]

Ten slotte was Musk verantwoordelijk voor het eerste concept en het startkapitaal van SolarCity, dat vervolgens in 2006 werd opgericht door zijn neven Lyndon en Peter Rive.[63],[64] Musk is ook nu nog de grootste aandeelhouder. SolarCity was in 2016 de op twee na grootste leverancier van zonne-energiesystemen in de Verenigde Staten.[65]

De onderliggende motivering van Musk voor de financiering van zowel SolarCity als Tesla is een bijdrage leveren aan de bestrijding van opwarming van de aarde. In 2012 kondigde Musk aan dat SolarCity en Tesla gingen samenwerken. Op het moment van schrijven hebben de twee bedrijven een overeenkomst bereikt dat Tesla SolarCity over zal nemen,[66],[67] zodat zij gezamenlijk de toekomst ingaan als fabrikant van elektrische auto's, producent van de Powerwall-accu's én fabrikant van zonnedaken – allemaal naadloos geïntegreerd in een nieuwe onderneming onder de paraplu van Tesla.

In 2013 kwam Musk met een nieuw concept: de Hyperloop, een hogesnelheidstransportsysteem op basis van lagedrukbuizen waarin capsules onder druk rijden op een luchtkussen, aangedreven door inductiemotoren en luchtcompressoren. Het concept werd bekendgemaakt via een

zogeheten alpha-design-document waarin de technologie werd onderzocht en een denkbeeldig traject beschreven waar zo'n transportsysteem zou kunnen worden gebouwd – pakweg het gebied tussen Los Angeles en San Francisco.[68]