

So produzierte Volkswagen 1949 den VW Käfer - in klassischer Fließbandmontage



Im Jahr 108 nach Henry

Elektroautos revolutionieren die Art und Weise, wie Autos hergestellt werden. Ein Wettrennen hat begonnen: Wer baut die Fabrik der Zukunft?



Die Fabrik des e.GO braucht weder Press- noch Lackierwerk. Die fertigen Kunststoffteile werden auf einen Alu-Rahmen montiert

Manche Veränderungen kündigen sich nicht mit einem Knall an, sondern mit einem Surren. In den Straßen der Innenstädte kann man es bereits hören. Dieses Geräusch machen Autos, denen das typische Motorbrummen fehlt. Fast ein Jahrhundert nachdem der Verbrennungsmotor gegen den Elektromotor gewann und seinen weltweiten Siegeszug antrat, ist das Elektroauto zurück. Dies ist mehr als das Comeback einer Technik, die in Vergessenheit geraten war. »Das ist eine Revolution wie zu Henry Fords Zeiten«, sagt Günther Schuh, Professor an der RWTH Aachen und Gründer der Firma e.GO Mobile, die einen neuen Elektrokleinwagen entwickelt hat. 1913 hatte Henry Ford mit der Einführung des Fließbands die Autoproduktion revolutioniert.

Noch 2010 schien es, als sei die Rückkehr des Elektroautos vor allem eine Obsession des exzentrischen Milliardärs Elon Musk. Der hatte damals die Schweregewichte der Autoindustrie düpiert: Von Grund auf neu

entworfen und statt mit unförmigen Riesenakkus mit Tausenden serienmäßig produzierter, kleiner Akkuzellen ausgestattet, fuhr sein Modell Tesla mit einer Batterieladung dreimal so weit wie die ersten Modelle der Konkurrenz. Bis zu 600 Kilometer. Zunächst passierte nicht viel: Jeder große Autobauer nahm ein Elektromodell ins Programm. Wie eine Revolution wirkte das nicht. Eher wie eine Pflichtübung.

Dass die Zukunft des Autos nun doch elektrisch werden soll, liegt an zwei Entwicklungen: »Die Pandemie und China haben den Übergang zur Elektromobilität beschleunigt«, sagt Annamaria Simonazzi, Ökonomin an der Sapienza Universität di Roma. Die Corona-Pandemie hat die Hiobsbotschaften der Klimaforscher verstärkt: So kann es nicht weitergehen – der globale Lifestyle, vom Westen vorgelebt, ist enorm verletzlich, durch Viren und Klimaschwankungen. Die Mobilität mit fossilen Brennstoffen hat maßgeblich zum Klimawandel beigetragen. China wiederum hat die Chancen der Elektromobilität längst erkannt. Es subventioniert

Elektroautos, und es schob sowohl eine enorme Akku-Produktion als auch eine ehrgeizige Ladeinfrastruktur an, während Europa noch über die Standards für Stecker und Ladesäulen diskutierte.

»China hat jetzt den *first mover advantage*«, sagt Simonazzi. Das Land hat die globale Autoindustrie unter Zugzwang gesetzt. Kein Autohersteller kann es sich leisten, in China nicht präsent zu sein. Wer dort mitspielen will, muss jedoch elektrisch werden. Chinas Ziel ist eine Produktion von 18 Millionen E-Autos im Jahr 2028, während Europa im Jahr 2030 laut der Unternehmensberatung McKinsey etwa sechs Millionen produzieren wird. Bereits zehn Jahre später könnten gut vier Fünftel der weltweiten Jahresproduktion auf elektrische Antriebe entfallen (siehe Grafik).

Das Elektroauto zwingt alle zum Umdenken: die Autodesigner, die Unternehmensstrateginnen, die Produktionsplaner. Sie müssen zwar nicht alles neu erfinden, doch einfach unter der Haube den Benzin- durch einen Elektromotor zu ersetzen – das geht nicht.

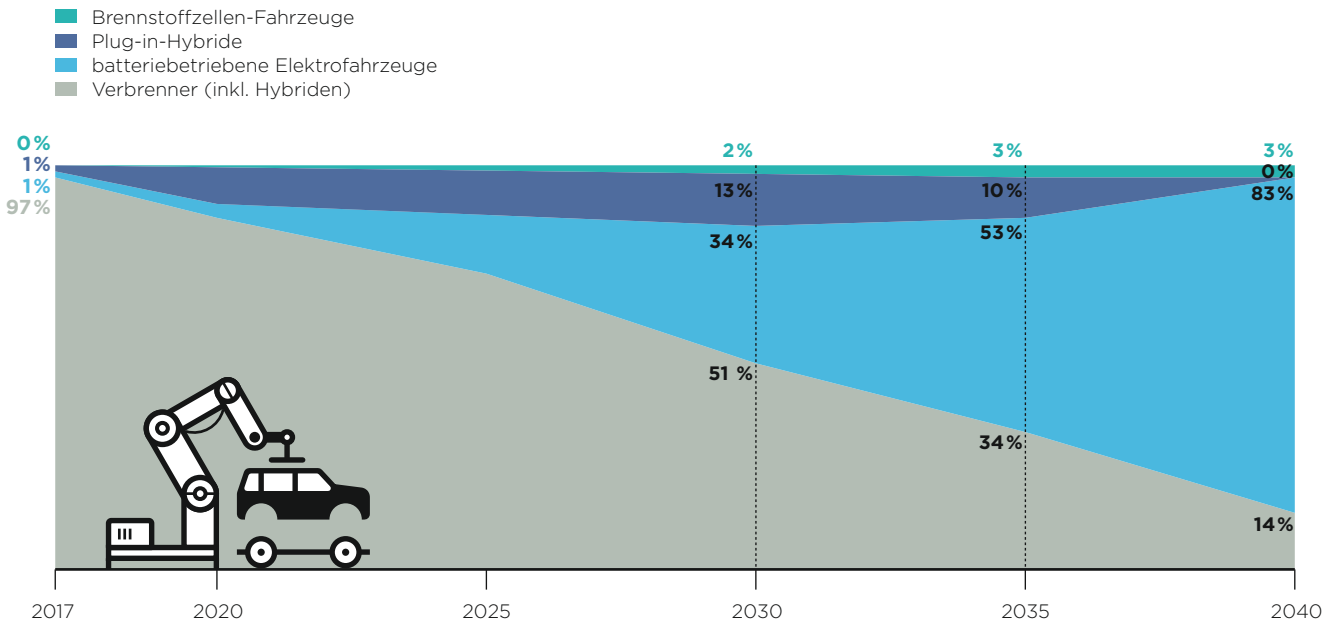
KEIN AUTO WIE JEDES ANDERE

Der Antriebsstrang des Elektroautos besteht aus drei Teilen: dem eigentlichen Elektromotor, in dem elektrische Energie in eine Drehbewegung der Radachse umgesetzt wird, der Batterie und der Steuerelektronik. Ein

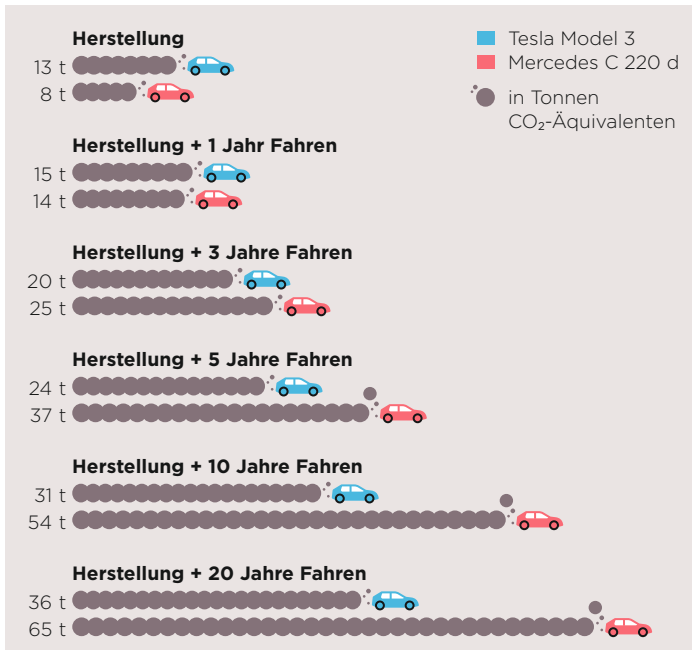
Elektromotor ist im Vergleich zu den Benzin- und Dieselmotoren klein und kompakt. »Die ganze komplizierte Kraftübertragung mit Getriebe hat sich in Luft aufgelöst«, sagt Klaus Zyciora, Designleiter des Volkswagen-Konzerns. »Der Kardantunnel ist Geschichte.«

Der Kardantunnel war der Wulst, der vom Boden des Fahrzeugs zwischen Fahrer- und Beifahrersitz aufragte und mitunter bis in den Fußraum der Rückbank reichte. Durch ihn zog sich die Kardanwelle (benannt nach dem Renaissance-Genie Gerolamo Cardano). Sie übertrug die Kraft des Motors auf die hintere Achse, um die Räder anzutreiben. Bei alten Autos konnte der Kardantunnel, durch den auch die Abgase strömten, noch unangenehm heiß werden. Beim Elektroantrieb ist der Boden des Innenraums flach, unter ihm befindet sich nun die Batterie. Diese Anordnung, die Tesla zur Serienreife brachte, hat sich durchgesetzt. Bordelektronik und Stromladesystem sind da untergebracht, wo beim Verbrenner der Tank saß.

Kleinerer Motor hinten, flacher Innenraum: Das bedeutet mehr Platz für die Insassen. »Die Innenraumlänge eines VW Passat passt jetzt in eine Karosserie von der Länge des eigentlich kleineren Golf«, sagt Zyciora. Ein gutes E-Auto wäre mit der Karosserie eines Golf jedoch nicht zu machen. Denn die ist nicht wind-schlüpfrig genug. Beim E-Auto zählt Reichweite über



Marktanteil der Antriebsarten – Zumindest in diesem optimistischen Szenario im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums gehört dem Elektroauto die Zukunft (bit.ly/autostudie-2019)



Klimabilanz im Vergleich: Nach 20 Jahren und 250.000 Kilometern liegt der Diesel in Sachen Klimaschädlichkeit weit vorn

alles, denn die Energiedichte der Batterie kann es mit einem vollen Benzintank nicht aufnehmen. Der Luftwiderstand wird mithilfe von Windkanal-Simulationen auf ein Minimum reduziert. »E-Autos sehen von der Seite eher tropfenförmig aus«, sagt Zyciora. Die Front ist bulliger, dafür fällt das Heck etwas schneller ab und wird schmaler als bei einem Verbrenner.

»Aerodynamik ist eines der Top-Themen bei der Gestaltung von Elektrofahrzeugen«, sagt auch Frank van Meel, Chef der Produktlinie der Luxusklasse bei BMW. Das entscheidende Maß ist der sogenannte cw-Wert für den Strömungswiderstand eines Körpers in Luft oder in Wasser. Je kleiner, desto besser. Der Körper eines Pinguins in Wasser hat einen cw-Wert von 0,03 – die Evolution hat den Pinguin aerodynamisch optimiert. Herkömmliche Autos hatten cw-Werte von 0,3 und mehr, ältere Limousinen mehr als 0,4. Den BMW-Designern ist es beim neuen elektrischen Modell iX gelungen, den cw-Wert auf 0,25 zu senken. Die Reichweite soll damit bis zu 630 Kilometer betragen, obwohl der iX ein zweieinhalb Tonnen schweres SUV ist.

Im Dienste der Aerodynamik schrumpfen auch die Rückspiegel. Sie werden durch windschlüpfrige Kameras ersetzt, deren Aufnahme vom Geschehen hinter dem Auto der FahrerIn auf einen virtuellen Rückspiegel, ein Display, übertragen wird. Möglich wird dies dank der

fortschreitenden Computerisierung des Autos. In der neuen Elektromobilität wird sie so wichtig, dass sich die Struktur der Autoindustrie drastisch ändert.

EIN TABLET AUF RÄDERN

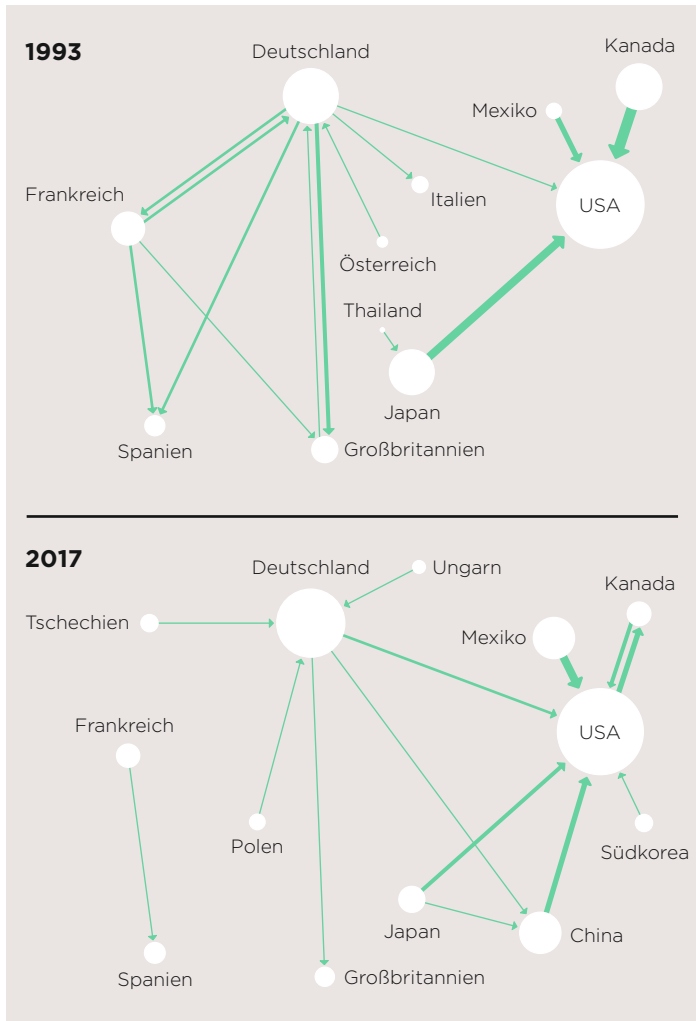
»Das Auto der Zukunft ist im Prinzip ein Tablet auf Rädern mit einer sehr großen Batterie«, scherzt Şahin Albayrak, der an der Technischen Universität Berlin das Labor für verteilte künstliche Intelligenz leitet. Autonomes Fahren, vernetzte Fahrzeugflotten und die Algorithmen zur optimalen Nutzung der Batterien machen die Software mehr denn je zum Herzen des Autos.

Autosoftware bringt es bereits heute auf 100 Millionen Zeilen im Softwarecode. Zum Vergleich: Die Steuerungssoftware im Super-Jumbo von Boeing, der 787, hatte etwa acht Millionen Zeilen Code, und die Facebook zugrunde liegende Software, die die Konten von knapp drei Milliarden Menschen verarbeitet, bringt es auf etwas über 60 Millionen Zeilen. Eine anspruchsvolle und leistungsstarke Software ist teuer, vor allem aber ist sie ein Markt, der neue Akteure ins Spiel bringt. Vorbei die Zeiten, in denen Fusionen zwischen den großen Autoherstellern – wie Daimler und Chrysler 1998, VW und Porsche 2012 oder General Motors und Honda 2013 – die globale Autoindustrie prägten.

In den neuen Allianzen verbünden sich Autohersteller mit IT-Giganten: Hyundai mit Cisco, Ford mit Google, die deutschen Autobauer BMW, VW, Daimler mit Nvidia. 52 solcher Allianzen zwischen Auto- und Datenwelt hat Annamaria Simonazzi zwischen 2008 und 2017 gezählt. Einige IT-Konzerne wie Google und inzwischen auch Apple haben längst Gefallen an der Idee gefunden, die E-Autos von morgen unter ihrem Namen produzieren zu lassen.

Şahin Albayrak sieht auf die Autoindustrie eine ähnliche Entwicklung zukommen, wie sie Computer- und Smartphone-Industrie hinter sich haben. Dort fertigen Hardwarehersteller Prozessoren, Akkus und Antennen. Die sind aber in ihrer Zusammensetzung fast austauschbar. »Entscheidend ist das Betriebssystem«, so Albayrak. Wer beim Auto von morgen mitmischen will, muss über ein Betriebssystem verfügen. »Manche Autohersteller müssen hier aufpassen, dass sie nicht das Schicksal von Nokia erleiden«, warnt Albayrak. Der finnische Handyhersteller hatte nach 2007 den Übergang zum Smartphone verschlafen.

Elektronikbauteile und Software werden nach Schätzungen von McKinsey Ende des Jahrzehnts mehr als die Hälfte des Wertes eines Autos ausmachen. Auch dies hatte Tesla früh erkannt. Die Firma kann aus der Ferne die Bordsoftware aktualisieren, während das Auto nachts in der Garage steht. Daimler hat das konzerneigene Betriebssystem MBOS (für »Mercedes Benz Operating System«) entwickelt, das mindestens bis 2035 in all seinen Fahrzeugen als Betriebssystem laufen soll.



Die Veränderung der Autoindustrie seit 1993. Die deutsche Industrie konnte sich behaupten. Neu auf der Landkarte: China

War die Bordsoftware bislang dafür da, die zahlreichen Sensoren des Motors und die Annehmlichkeiten im Armaturenbrett – heute auch »Cockpit« genannt, wie im Flugzeug – zu steuern, kommen nun neue Aufgaben hinzu. Das Münchner Start-up Sono Motors etwa bietet sein E-Auto Sion mit eingebauter Carsharing-Funktion an. Die läuft über eine eigene App, mit deren Hilfe Sion-Besitzerinnen ihren Wagen gleich mit Freunden und Nachbarinnen teilen können. Selbst wildfremde Menschen können einen Sion wie ein Carsharing-Auto nutzen – Sono Motors übernimmt für solche Fahrten die Autoversicherung. Die Bordsoftware greift hier weit über das Auto hinaus und verbindet Besitzerin, Fahrer, Versicherung und Hersteller miteinander zu einem reibungslosen Fahrerlebnis.

BYE-BYE HENRY FORD

Die Komplexität der Software im Auto nimmt zu. »Aber es wird deutlich einfacher, das physikalische Auto zu bauen«, sagt Thomas Hausch, Vorstand von Sono Motors. Das hat mehrere Gründe. Zum einen besteht der Antriebsstrang eines E-Autos aus deutlich weniger Teilen. Im Chevy Bolt von Chevrolet etwa sind es 35, im VW Golf dagegen 167 Teile. Zum anderen wird die Herstellung einfacher: »Wir verzichten auf Presswerke und Lackieranlagen«, sagt Hausch. Wo bislang Stahlbleche in Hydraulikpressen geformt und anschließend lackiert wurden, nutzt Sono Motors Seitenteile aus stabilen, farbigen Kunststoffen. Newcomer wie Sono Motors und e.GO verfolgen diesen Ansatz konsequent. Das Kernstück der Karosserie ist ein sogenannter Spaceframe aus Aluminium, den Schweißroboter fertigen können. In ihn wird der Batterietrog als Boden des Fahrzeugs eingelassen.

Diese Konstruktion macht die Herstellung deutlich einfacher. Sie kann nun auch in kleineren Fabriken bewältigt werden. Hier laufen die Autos nicht vom Band, sondern werden auf beweglichen Produktionsinseln montiert. »Microfactories«, wie e.GO-Erfinder Günther Schuh sie nennt, kommen mit einer Fläche von etwa zehn Hektar aus, während die klassische Autofabrik, mit Presswerk und Lackieranlage, 100 bis 200 Hektar groß ist. Das Werksgelände von Volkswagen erstreckt sich in Wolfsburg auf 800 Hektar.

Weil der Aufbau einer Microfactory relativ günstig ist, genügt eine niedrigere Jahresproduktion. »Hier erreichen Sie die Gewinnschwelle schon bei Stückzahlen im niedrigen fünfstelligen Bereich«, sagt Schuh. Klassische Fabriken müssten etwa 250.000 Autos im Jahr ausstoßen, bevor der Hersteller anfangen zu verdienen. Schuhs e.GO Mobile hatte auch aufgrund der Pandemie Startprobleme, konnte die Serienproduktion aber dank eines neuen Investors fortführen.

Es gibt drei Gründe, die für die Microfactory sprechen. Weil sie nicht so enorme Investitionen benötigt, lässt sie sich in allen Weltregionen errichten. »Man baut sie da auf, wo man Autos verkaufen will«, sagt Schuh. Das ist nicht nur nachhaltiger, als Zigtausende Autos über die Ozeane zu schiffen. Schuh ist auch davon überzeugt – das ist der zweite Grund –, dass die Kunden in Zukunft andere Autos bevorzugen. Die Zeit der »Blockbuster«-Modelle wie dem Golf sei abgelaufen. Eine Jahresproduktion von mehr als 100.000 Stück pro Modell hält Schuh langfristig für überholt. 80 bis 90 Prozent des Marktes würden künftig von solchen »Nischenmodellen« abgedeckt. Das sieht auch Thomas Hausch von Sono Motors so: »Im Sion spielen Ausstattungsvarianten keine Rolle mehr.« Sollten beide recht behalten, wäre dies das Ende der Autoplattformen, die in zahllosen Variationen an einem großen Standort gefertigt werden. Dafür spricht, drittens, dass Batterien,

die allgemein als Gefahrgut gelten, nicht über weite Strecken transportiert werden sollten. Microfactories sollten sich eher da ansiedeln, wo die Batterieproduktion vielleicht bis zu 800 Kilometer entfernt ist.

Die großen Hersteller verfolgen eine andere Strategie. Sie haben begonnen, die Batterieproduktion an ihre großen Produktionsstandorte anzudocken. Daimler etwa hat bereits eigene Batteriewerke in Deutschland, Polen, Thailand und China. BMW fertigt die Akkus in Dingolfing, Regensburg und Leipzig. Sowohl Daimler als auch BMW winken beim Thema Microfactory ab. Sie haben ihre Fertigungsstraßen so angepasst, dass auf ihnen gleichzeitig Elektroautos und solche mit Verbrennungsmotoren gebaut werden können. »Wir sind in der Lage, an jedem Standort elektrifizierte Fahrzeuge zu bauen«, sagt Markus Grüneisl, bei BMW für die Produktionsstrategie verantwortlich. Große Stückzahlen an einem Standort würden helfen, die Herstellung effizienter und nachhaltiger zu machen. Pro Wagen fallen weniger Emissionen und Material an, als wenn man in vielen kleinen Fabriken weltweit produziert.

Ob die schöne neue Welt der Elektroautos ein gutes Geschäft und zugleich nachhaltig wird, hängt allerdings von ein paar Unwägbarkeiten ab. Wollen in

Zukunft überhaupt noch so viele Menschen ein eigenes Auto besitzen, wenn es reichlich Carsharing und vielleicht selbstfahrende Taxis gibt? Wird die lange Lebensdauer der Elektromotoren, die bei 50 Jahren liegt, dazu führen, dass nicht mehr so viele Neuwagen gekauft werden? Wird die Autoindustrie womöglich vom Innovationstempo der IT-Welt, auf die sie sich eingelassen hat, überrollt? »Die Innovationszyklen von Software liegen bei sechs Monaten, verglichen mit bis zu fünf Jahren bei Autos«, sagt Holger Seidel vom Fraunhofer-Institut für Fabrikforschung IFF in Magdeburg. Zudem liege die Lebensdauer von Batterien derzeit bei fünf Jahren. Können die dann problemlos ausgetauscht werden, wenn es noch keine einheitlichen Batteriestandards gibt, an die sich alle Hersteller halten?

Und was ist mit der sozialen Nachhaltigkeit? Laut einer Studie für das Bundeswirtschaftsministerium vom Dezember 2019 könnte allein in Deutschland in den kommenden 20 Jahren ein Drittel aller Jobs in der Autoindustrie – derzeit rund 900.000 – wegfallen. Vielleicht ist das Reden von der bevorstehenden »Revolution« in der Autoindustrie wahrer, als vielen Beteiligten lieb sein kann – in der Geschichte ist keine Revolution ohne Opfer und heftige Erschütterungen abgelaufen. –

Woher weißt Du das?

Reportagen, Recherchehintergrund und Gespräche über Wissenschaft, Alltag und Gesellschaft – jetzt 2x im Monat im ZEIT WISSEN-Podcast.



Jetzt
reinhören

 www.zeit.de/zw-podcast



Illustration: Lea Dohle