

## 10. Der doppelte Umbruch: Industrie 4.0 und E-Mobilität

### 10.1 Einleitung

Gegenstand dieses Kapitels sind die sich überlagernden Entwicklungen des Aufkommens neuer Produkt- und Prozesstechniken unter der Bezeichnung Industrie 4.0 auf der einen Seite und des Umstiegs auf die Produktion von E-Fahrzeugen und auf neue Geschäftsmodelle der E-Mobilität in der Automobilindustrie auf der anderen Seite. Die Darstellung erfolgt vor dem Hintergrund der Situation, wie sie sich um das Jahr 2020 darbot und ist zugleich das Ende der Zeitreise, die in diesem Buch unternommen wurde.

Die Darstellung beginnt im Abschnitt 10.2 mit der Beschreibung der neuartigen Industrie 4.0 Techniken, denen das Potential zugesprochen wird, eine neue industrielle Revolution auszulösen. Auf ihrer Basis lassen sich nun, so die Erwartung, viele Zielvorstellung der Vergangenheit, wie CIM zum Beispiel, realisieren.

Im Abschnitt 10.3 geht es um die Umbrüche auf der Ebene der Unternehmen und Betriebe. Als kontrastierende Beispielfälle dienen die beiden Unternehmen Tesla Motors und VW. Beschrieben werden die Entwicklungen dem Zeitraum von Mitte der 2010er bis zum Anfang der 2020er Jahre. Die Darstellung beginnt mit dem Unternehmen Tesla Motors, dem es gelungen ist, innerhalb weniger Jahre zu einem ernsthaften Konkurrenten der traditionellen Automobilhersteller zu werden und ein Geschäftsmodell für die Ära der E-Mobilität zu entwickeln, das mittlerweile zu einem Leitmodell auch für die traditionellen Automobilhersteller geworden ist. Dieses Geschäftsmodell hat weitreichende Konsequenzen für die Produktion. Im Anschluss wird die Umbruchssituation bei VW und die hier getroffenen Maßnahmen im Hinblick auf die Umstellung auf E-Fahrzeuge und die Einführung neuer Technologien beschrieben.

Die Auswirkungen auf Arbeit sind zum derzeitigen Zeitpunkt noch nicht abzusehen, werden daher in diesem Kapitel nicht mehr näher untersucht.

Die Darstellung befasst sich mit sehr aktuellen Entwicklungen, an der Schnittstelle zur „Echtzeit“, um einen Jargon-Begriff schon einmal zu verwenden. Sie unterliegt damit einem hohen Risiko, dass die Entwicklungen auch ganz anders verlaufen als derzeit geplant.

## 10.2 Industrie 4.0 – ein Technologiesprung in eine neue Dimension

Die Periode um die letzte Jahrhundertwende war in der Automobilindustrie eine Zeit der Abwendung von Hightech-Visionen und großen Automatisierungsprojekten. Es war die Periode der Implementierung von Lean Production und der Betonung von Effizienz und Rationalisierung.

Während dieser Zeit schritt die Verbreitung von Computern in allen Bereichen der Arbeits- und Lebenswelt voran, und mit ihr die Digitalisierung – die Erfassung der Welt durch Scanner wie Google Cars und Drohnen und der zunehmenden Nutzung von computerassistierten Systemen, die dafür sorgten, dass Daten aus immer mehr Tätigkeitsbereichen zur Verfügung standen. Hinzu kam die zunehmende Verbreitung des Internets und die steigende Leistungsfähigkeit der Telekommunikationstechniken.

Die Miniaturisierung und zugleich Verbilligung von Computern in der Form von Mikroprozessoren machten es möglich, dass mehr und mehr „Dinge“ mit Rechnerleistung ausgestattet wurden und so imstande waren, Signale zu empfangen und zu verarbeiten, die Ergebnisse zurückzusenden bzw. anderen Nutzern zukommen zu lassen und auf diese Weise auch untereinander zu kommunizieren. Dies inspirierte die Entwicklung neuer Produkte und eröffnete neue Möglichkeiten der Steuerung von Systemen und Prozessen.

Das große Potenzial der neuen Techniken für militärische und zivile Zwecke (vgl. Lee 2015: 4838) machte sie zu einer politischen Angelegenheit. 2008 wurde das Internet of Things (IoT) in einem Bericht des National Intelligence Council (NIC) als eine von sechs disruptiven Technologien der Zukunft bezeichnet. Das NIC, das die US-amerikanische Regierung in militärischen Fragen berät, sah den damaligen Stand erst als Anfang.

“By some estimates, the current Internet of Things, a precursor to a hyperconnected future, will reach 64 billion objects by 2025, up from 10 billion in 2018—all monitored in real time. Looking forward, a hyperconnected world could support up to 1 million devices per square kilometer with next generation cell phone systems (5G), compared with the 60,000 devices currently possible with current cell networks, with even faster networks on the horizon.” (National Intelligence Council 2021: 63)

Diese neue Infrastruktur schaffte viele Nutzungsmöglichkeiten, sowohl produktbezogen, wie im Falle des autonomen Fahrens, als auch bezogen auf neue Techniken in der Fertigung.

Damit kam auch das Thema der Automatisierung wieder zurück auf die Agenda der Unternehmen. In Deutschland kam der Anstoß, die Chancen des Technologiesprungs zu nutzen, von Wissenschaftlern sowie Vertretern von Unternehmen und Verbänden, die sich 2011 in der Initiative „Industrie 4.0“ zusammengeschlossen hatten. Zur Unterstützung dieser Initiative schuf die Bundesregierung die Plattform Industrie 4.0 und brachte umfassende finanzielle Förderprogramme von Forschung und von Pilotanwendungen auf den Weg. Nach der Zeit der Vorherrschaft der in der Gewerkschaft und der Ingenieurs-Community eher ungeliebten Lean Production bot der neue Technologiesprung die Chance einer Revitalisierung/Moderisierung des Industriestandorts Deutschland.

Die Hauptidee von Industrie 4.0 bestand in der Nutzung sogenannter cyberphysischer Systeme (vgl. Kagermann/Wahlster 2021). Im Kern geht es dabei um die Zielsetzung einer computerintegrierten Fertigung, wie schon in den 1980er Jahren.

Als eine Schlüsseltechnik wurde der digitale Zwilling angesehen. Betrachten wir näher, was sich hinter dieser Bezeichnung verbirgt:

Ein digitaler Zwilling ist das digitale Abbild real existierender Dinge, Strukturen oder Prozesse. Die Daten befinden sich in Computersystemen und auf Servern oft externer Dienstleister (z.B. in einer Cloud). Der digitale Zwilling kann erstellt worden sein, bevor der reale Gegenpart geschaffen wurde oder im Nachhinein durch Digitalisierung der realen Objekte, Strukturen oder Prozesse. Der springende Punkt ist, dass ein wechselseitiger Austausch von Daten zwischen dem virtuellen und dem realen Zwillingsteil möglich ist. Zusammen bilden das Zwillingpaar ein cyberphysisches System. Dem digitalen Zwilling kommt dabei die Führungsrolle zu, denn er ist als Datenmodell vernetzt mit allen anderen Systemen des Unternehmens.

Um die Produktion eines Industrieunternehmens im virtuellen Raum ganz abbilden zu können, bedarf es im Prinzip dreier digitaler Zwillinge: eines Anlagenzwillings, der die Daten beginnend mit der Planung und der Konstruktion von Maschinen und Anlagen bis zu ihrem Betrieb in der Fabrik enthält; eines Produktzwillings, der die produktbezogenen Daten von der Konstruktion bis hin zu ihrer Fertigung und Auslieferung umfasst und eines Fertigungszwillings, der es dem Produktionsmanagement nicht nur ermöglicht, die Fertigung zu steuern, sondern sie auch, gestützt auf Daten aus dem laufenden Betrieb, an veränderte Bedingungen anzupassen. (Vgl. Sendler 2022)

Der digitale Zwilling war eine Vision der Kybernetiker in den 1950er gewesen, inzwischen ist er ein Produkt, das von spezialisierten Unternehmen

auf dem Markt angeboten wird. Mithilfe der eigenen „Digital Twin Product Suite“, so wirbt beispielsweise eines dieser Unternehmen auf seiner Website, „werden alle Signale, Sensor-Daten, Informationen und Zustände Ihrer Produktion im Zusammenhang mit dem spezifischen Geschäftsprozess in Echtzeit erfasst und in digitalen Akten persistent gespeichert. Damit steht jederzeit die gesamte Historie der Prozesse im vollständigen Wertschöpfungskontext für Monitoring, Analyse und Auswertung mithilfe künstlicher Intelligenz zur Verfügung.“ (Ascon Systems 2022)

Mit Hilfe der cyberphysischen Systeme ist es nun möglich, so die Erwartung, die Vision der vollautomatischen Fabrik zu realisieren. Das Bild einer entsprechenden Produktion 4.0 in der Automobilproduktion wird in einer Studie einer Autorengruppe von automobilindustrienahen Experten wie folgt beschrieben:

„Produktion 4.0 erfordert die vollständige Repräsentanz der realen Fabrik innerhalb der Produktions-Prozess-Plattform, in der jedes Ding in Echtzeit über seine IP-Adresse oder sein RFID-Tag ansprechbar und steuerbar ist. Auf der Plattform fließen alle Dinge zusammen. Jedes Betriebsmittel ist mit einer IP-Adresse versehen und lädt seine Konfigurationen automatisch. Auch jedes Ding – Regal, Teil, Behälter und so weiter – hat eine IP-Adresse. Die Zuweisung zu Teilen wird ebenfalls in der Planung hinterlegt. So weiß beispielsweise das programmierbare intelligente Schraubwerkzeug (der EC-Schrauber) automatisch, wie viele Umdrehungen für eine spezifische Schraube an deinem Teil zu machen sind. ... Fertigung und Logistik sind im selben Planungs- und Steuerungswerkzeug – der Produktions-Prozess-Plattform – abgebildet.“ (Ziemke et al. 2016: 58f.)

Der Aufwand, der dafür erforderlich ist, um solche System- Plattformen zu betreiben, lässt sich nur erahnen. Es geht aber nicht nur um die Produktion, sondern gerade auch um die Vernetzung der Daten der operativen Prozessebene mit denen anderer Geschäftsbereiche und mit den Management-Entscheidungs-Systemen. Wie später noch deutlich wird, stellt die Entwicklung der dafür erforderlichen integrierten Datenarchitektur gegenwärtig eine große Hürde für Automobilunternehmen dar. Einige der damit verbundenen Schwierigkeiten sollen im Folgenden kurz betrachtet werden.

Der digitale Zwilling ist ein Beispiel für die Annäherung zwischen der Welt der Fertigungstechnologie, der Hardware an Maschinen und Anlagen

(Operation Technology, OT), und der Informationstechnologie (IT). OT und IT<sup>153</sup> waren zuvor getrennte Welten.

Die bislang segmentierte Struktur mit ihren jeweils eigenen Formaten für die Erfassung und Speicherung von Daten und jeweils eigenen Zugangsbedingungen für die Nutzer gilt es nun aufzubrechen, um Verknüpfungen zu ermöglichen. So konnten die Daten der betriebswirtschaftlichen Systeme, beispielsweise des ERP-Systems, das hier eine Schlüsselstellung einnimmt, bisher nicht mit der unmittelbaren Steuerungsebene der Anlagen verknüpft werden. Auf Basis einer gemeinsamen Dateninfrastruktur sollen die verschiedenen Ebenen der Unternehmenssteuerung nun miteinander kommunizieren können.

Die Anforderungen an die Steuerung und die Kommunikation in den Bereichen der OT und der IT unterscheiden sich allerdings sehr.<sup>154</sup> Im OT-Bereich ist eine Echtzeitsteuerung erforderlich, d.h. Datenübermittlung findet innerhalb von Millisekunden statt, und es ist ein hoher Standard bei der Datensicherung erforderlich. Die Kommunikation erfolgte bisher in geschlossenen Systemen mit proprietären Protokollen. Die IT-Netzwerke sind demgegenüber eine offene Welt. Man programmiert über Open Systems, die Qualitätsanforderungen sind lockerer. Hier geht es um die Erstellung der Software und um IT-Services, und die entsprechenden Leistungen werden oft von Akteuren des sogenannten Ökosystems erbracht.

Die Annäherung von OT und IT bedeutet nicht nur große technische Herausforderungen, sondern auch soziale und organisatorische. Das betrifft Fragen der Zusammenarbeit und der Überbrückung der Denk- und

---

153 Diese Kurzformel wird in der Diskussion oft benutzt. Bezogen auf IT wäre ein C für Communication noch hinzuzufügen.

154 Dieser Struktur voneinander getrennter Softwaresysteme und der zugehörigen Daten wird abgebildet in dem sog. Schichtenmodell, das in der Grundstruktur unter der Bezeichnung „Automatisierungspyramide“ bereits 1988 entwickelt wurde (ISA88 und ISA95). Danach ist die IT auf den obersten beiden Ebenen 4 und 5 zuständig: Auf der Ebene 5 befinden sich die Systeme der strategischen und betriebswirtschaftlichen Steuerung (beispielsweise das ERP-System); auf der Ebene 4 sind die Systeme für die operative Steuerung der Produktion einschließlich der Produktionsplanung, der Qualitätssicherung, Logistik usw. angesiedelt. Die OT ist für die darunterliegenden Ebenen 3 bis 1 verantwortlich: auf Ebene 3, der sog. Automatisierungsebene, liegen die Systeme für die operative Steuerung, Überwachung und Datenerfassung der technischen Prozesse, auf der Ebene 2 die Systeme für die Maschinen- und Anlagensteuerung und auf Ebene 1 – auch als Feldebene bezeichnet – die Systeme für die Steuerung der Ein- und Ausgabefunktionen der Vielzahl der einzelnen Geräte, die in der Produktion eingesetzt werden.

Arbeitsweisen unterschiedlicher Disziplinen: Ingenieure, Informatiker, Betriebswirte, usw. Die Zusammenarbeit war in der Vergangenheit häufig von Missverständnissen und einem „Aneinander-Vorbeireden“ geprägt (Frahler 2022). Ein weiteres Problem ist, dass immer noch Datenformate teilweise nicht eingehalten und Daten nicht „gepflegt“ werden und dadurch die „Durchgängigkeit“ der Daten d.h. ihre Verwendbarkeit in anderen Funktionszusammenhängen nicht gegeben ist. Dies war schon eine der Hauptursachen für das Scheitern von CIM in den 1980ern gewesen und ist noch immer ein zentrales Problem.<sup>155</sup>

Neben dieser neuartigen Steuerungsinfrastruktur für (groß-)technische Systeme werden auch eine Reihe anderer Technologien als Teil von Industrie 4.0 genannt; in der Literatur finden sich unterschiedliche Auflistungen. Der Vorsitzende des Weltwirtschaftsforums, Schwab, der Industrie 4.0 zum zentralen Thema der Weltwirtschaftskonferenz in Davos 2016 machte und dadurch zur weltweiten Verbreitung dieses Begriffs beitrug, zählte dazu: selbstfahrende Kraftfahrzeuge, den 3D-Druck, fortgeschrittene Robotik und neue Materialien; er bezeichnet sie als die „vier materielle[n] Manifestationen der Vierten Industriellen Revolution“ (Schwab 2016: 29). Ziemke et al. (2016: 47) nennen: Big Data in der Produktion, Process Mining; Predictive Maintenance; 3D-Druck, Drohnen und Cobots. In jüngster Zeit richten sich die Erwartungen immer häufiger an die Künstliche Intelligenz (KI).

Industrie 4.0 ist in den Betrieben ein Thema für Experten, vorangetrieben von den Zentralstäben. Der Beitrag des Shopfloor und sein Problemlösungspotenzial erscheinen wenig relevant.

So prognostizierten Ziemke et al., um nur ein – für die Diskussion über die Montageautomatisierung einschlägiges – Beispiel zu nennen, (in Fortsetzung der Tradition überzogener Prognosen) im Jahre 2016:

„Spätestens in sechs Jahren ist mit der zweiten Generation von hochflexibler Industrie-robotik zu rechnen, die dann zu wirtschaftlichen Kosten einen Großteil der komplexen Produktionstätigkeiten von Menschen übernehmen kann.“ (Ziemke et al. 2016: 38) Diese Roboter seien dann nicht mehr stationär, sondern begeben sich flexibel selbst an den jeweiligen Einsatzort – ganz ähnlich wie der Mensch.“ (Ebd.: 35)

---

155 Die Unternehmen nutzen dabei oft die Systeme und Dienstleistungen von Softwareunternehmen wie SAP. Aber die Anpassung an die unternehmensspezifischen Prozesse erweist sich als schwierig, es gibt eine lange Liste gescheiterter Großprojekte (vgl. dazu Kroker 2018).

Mit dieser Generation von Robotern, so erklären sie schließlich, werden „rund 80 bis 90 Prozent der heute noch manuell durchgeführten Tätigkeiten in der Produktion wirtschaftlich automatisierbar sein.“ (Ebd.: 40)

Die 4.0-Technologien haben sich in den ersten Jahren langsamer verbreitet als erwartet (vgl. den Monitoring-Bericht des BMWi 2019). In vielen Fällen handelt es sich bisher immer noch um Pilotanwendungen, um Erfahrungen zu sammeln. Dementsprechend ergaben Untersuchungen von arbeitssoziologischer Seite, wie Hirsch-Kreinsen, feststellt, keinen eindeutigen Trend der Entwicklung der Arbeit. Ursache sei die Multifunktionalität der Technologie in mit ihren spezifischen Gestaltungskorridoren für Arbeit, die wiederum in sehr unterschiedlicher Weise von den Unternehmen genutzt werden können. (Hirsch-Kreinsen 2020: 50). Butollo et al. (2021) diagnostizieren eine „disparate Empirie“.

Auf die Produktivitätsentwicklung haben sich die Industrie 4.0 Technologien bisher noch nicht ausgewirkt. (2016: 589) Das niedrige Produktivitätswachstum, auf das Gordon (2016: 589) verweist, der es daher auch ablehnte von einer vierten industriellen Revolution zu sprechen, wird auch von neueren Untersuchungen bestätigt. (Vgl. Goldin et al. 2023) Erklärungen wie die von Brynjolfsson/McAfee (2014), die von möglichen Messfehlern und von einem Time Lag ausgehen können, so diese neueren Untersuchungen, die enttäuschende Performanz nicht erklären.

Industrie 4.0 steht für eine Ingenieursvision, in der Probleme durch Technik gelöst werden. (Vgl. kritisch: Brödner 2018) Die starke Technikorientierung der Industrie 4.0 Bewegung hat die Europäische Kommission veranlasst, Bestrebungen zu fördern, Gestaltungskonzepte für den Einsatz der neuen Techniken zu entwickeln, die den Menschen in den Mittelpunkt stellen. Um diese Zielsetzung auf der gleichen Bedeutungshöhe der Vorgängerrevolution zu positionieren, wurde dafür der Begriff Industrie 5.0 geprägt. Dem Bericht einer Initiativgruppe zufolge (Breque et al. 2021) hat Industrie 4.0 den Schwerpunkt bisher zu sehr auf die Digitalisierung der Prozesse und die Nutzung von Künstlicher Intelligenz gesetzt, um Produktivität und Effizienz zu erhöhen, und dabei die Rolle der am Produktionsprozess beteiligten Mitarbeiter vernachlässigt. Die Technik müsse dem Menschen dienen und nicht umgekehrt. (vgl. zu entsprechenden neueren Ansätzen in der Arbeitsforschung: Dhondt et al. 2023)

Ein anderer, weniger stark Top Down und von Experten vorangetriebener Ansatz ist (wieder einmal) in japanischen Unternehmen zu beobachten, prototypisch dabei ist Toyota. Hier soll kurz auf Befunde einer Untersuchung über die Einführung von Industrie 4.0 Technologien in Produktions-

betrieben verwiesen werden, die von einem Projektteam unter Beteiligung des Autors, im November 2019 in japanischen Unternehmen durchgeführt wurde (vgl. Holst et al. 2020; Modukai et al. 2021).

Gemeinsam war diesen Ansätzen die ausgeprägte Shopfloor-Orientierung, ihr Low-Cost-Ansatz, der Respekt für das praktische Wissen der Produktionsarbeiter. Die Digitalisierungsaktivitäten wurden nicht nur in erster Linie vom oberen Management oder spezifisch eingerichteten Stabstellen vorangetrieben, sondern auch auf dem Shopfloor – von den verantwortlichen Führungskräften bis zu den „einfachen“ Produktionsarbeitern. In mehreren Unternehmen lag der Fokus auf der Unterstützung von Kaizen-Aktivitäten. Die digitalen Technologien wurden eingesetzt, um die Datenbasis für den Kaizen zu verbessern und um den Aufwand der Mitarbeiter für die Datengenerierung zu reduzieren – aber nicht um damit Experten zu informieren, damit diese die Probleme lösen. Die Unternehmen waren sehr darauf bedacht, die Beteiligung der Produktionsarbeiter an Problemlösungen und Verbesserungsprozessen nicht zu untergraben (ebd.).

Soweit zu den teils in der Tat revolutionär erscheinenden neuen Technologien der Industrie 4.0, nun kommt mit der Rückkehr in die Automobilwelt ein scharfer Cut in der Darstellung, aber auch hier geht es um einen nicht weniger revolutionär erscheinende Entwicklungen.

### 10.3 Der Beginn der Ära der BEV bei Tesla und VW

#### 10.3.1 Teslas als Disruptor und als Leitmodell

Tesla Motors begann 2003 als ein Start-up-Unternehmen für die Herstellung von Automobilen mit batterie-elektrischem Antrieb (BEVs). Ende der 2010er Jahre galt das Unternehmen als neues Leitmodell in der Automobilindustrie auf diesem inzwischen rasch wachsenden Geschäftsfeld. Bei der Entwicklung des Unternehmens spielte Elon Musk eine wichtige Rolle, die in mancher Hinsicht vergleichbar ist mit der von Henry Ford.<sup>156</sup> Musk war aber kein von Maschinen faszinierte Bastler und Erfinder, sondern war als Investor in ein Gründerteam eingestiegen, nachdem er sein Geld als Mitbegründer eines Finanzdienstleisters (PayPal) gemacht hatte (vgl. zu seinem Werdegang: Vance 2015). Sein Interesse galt nicht dem Automob-

---

156 Die wichtigste Quelle für das Folgende ist das (Kindle-) Buch von Morris (2021). Ansonsten beruht die Darstellung weitgehend auf Internet-Quellen.



bilbau per se, sondern größeren Unternehmungen: der Raumfahrt und dem Geschäft mit Satelliten, grüner Energie, neuen Verkehrssystemen und in jüngster Zeit Social Media. Auf diese Weise entstand ein riesiges Konglomerat nicht zusammenhängender Unternehmen, eine völlig neuartige (und beunruhigende) Zusammenballung von wirtschaftlicher Macht. Die Abhängigkeit all dieser Unternehmungen von Elon Musk bildet ein hohes Risiko, das wird in jüngster Zeit durch seine Aktivitäten bei Twitter sehr deutlich. Aber es geht im Weiteren nicht um Musk, sondern nur um sein Automobilunternehmen.

Im Vordergrund stand bei Tesla Motors (im Weiteren Tesla) die Entwicklung eines geeigneten Produkts. Für das erste Fahrzeugmodell wurde ein Designwettbewerb für einen Sportwagen mit batterieelektrischem Antrieb ausgeschrieben, der zu einer Partnerschaft mit dem Sportwagenhersteller Lotus führte. Die Auslieferung des ersten Fahrzeugmodells, des Roadster, der von Lotus in Großbritannien hergestellt wurde, erfolgte 2008. Nach heftigen Auseinandersetzungen mit Personen des ursprünglichen Gründungsteams übernahm Musk im selben Jahr die Führung bei Tesla und wurde wie Henry Ford praktisch zum Alleinherrscher im Unternehmen.

Zu der Zeit hatte man bei Tesla bereits mit den Vorbereitungen für ein zweites Modell begonnen, das Modell S – eine Kombilimousine der Oberklasse. Der Beginn der Serienproduktion des Modells S war 2012. Das Fahrzeugmodell war ein großer Erfolg. Es wurde zum „Automobil des Jahres“ 2013 gekürt; das Branchenjournal *Road & Track* bezeichnete es als „most important car in America’s history“ (vgl. Morris 2021: 189). Nachdem der amerikanische Automobilmarkt (außer im Bereich der Light Trucks) seit den 1980er Jahren weitgehend von japanischen Herstellern dominiert war, wurde der Erfolg Teslas als Zeichen für die Rückkehr dieser Industrie in die USA gesehen – als dem Land, das die Automobilindustrie hervorgebracht und das durch sie groß gemacht wurde. Das Modell S war in den Jahren 2015 und 2016 das meistverkaufte Elektroauto der Welt und 2017 das meistverkaufte Auto der Oberklasse einschließlich der Verbrennerfahrzeuge in Europa und den USA überhaupt. Hergestellt wurde es in dem früheren Werk des Joint Venture Unternehmens von General Motors und Toyota (NUMMI) in Fremont in Kalifornien, das man aufgrund des Bankrotts GMs durch die Krise 2008 günstig erworben hatte. In der Folge siedelten sich in Kalifornien eine Vielzahl von Zulieferern an. Dies alles waren sehr symbolträchtige Vorgänge: die neue Automobilindustrie rückte in die Nähe des Silicon Valley und ließ sich von dort befruchten.

Das Modell S wies, wie schon der Roadster, beeindruckende Beschleunigungswerte auf: bei den Modellen mit der niedrigsten Energieausstattung von 0 auf 100 Stundenkilometer in 6,8 Sekunden, bei denen mit der höchsten Energieausstattung waren es 2,3 Sekunden). Der Beschleunigungswert wird in den Fahrzeugbeschreibungen bei allen Tesla- Modellen besonders vermerkt, um zu demonstrieren, dass die eigenen E-Fahrzeuge selbst die prestigeträchtigsten Fahrzeugmarken unter den Verbrennerfahrzeugen auf der Highway hinter sich lassen können. Auch in Bezug auf die Produkte, das Fahrzeugdesign und andere Charakteristika knüpfte man an die bestehenden Bewertungsmuster und Gewohnheiten an, auf den Straßen waren die Fahrzeuge kaum unterscheidbar von denen der traditionellen Hersteller.

Ähnlich wie bei Henry Ford war das Bestreben darauf gerichtet, die Kontrolle über die gesamte Wertschöpfungskette zu gewinnen, so entschied man sich frühzeitig für den Bau eines eigenen Batteriewerks und bemühte sich um den Aufbau eigener Kompetenzen auf dem Gebiet der Batteriezellen. Auch bei der Technologie für das autonome Fahren, die zunächst von einem externen Zulieferer beigesteuert wurde, setzte man bald auf eine Eigenfertigung. Nur unter großen Konflikten setzte man auch auf den Direktvertrieb der Fahrzeuge und unterband den Verkauf durch unabhängige Händler. Das Ziel war, den direkten Kundenkontakt selbst gestalten zu können.

Im Zusammenhang mit der Entwicklung des Modells S hatte Tesla Grundentscheidungen für die technische Auslegung seiner Fahrzeuge und für sein Geschäftsmodell getroffen, die sich grundlegend von dem der traditionellen Hersteller unterschieden. Diese Entscheidungen sollen im Folgenden näher betrachtet werden.

Tesla war das erste Unternehmen, das ein batteriebetriebenes Fahrzeug von Grund auf neu entwickelte (vgl. zum Folgenden Morris 2021; Boes/Ziegler 2021). Auf die Weise konnte man die Vorteile eines BEV voll zur Geltung bringen, während die traditionellen Hersteller Kompromisslösungen eingehen mussten, um bestehende Plattformen zu nutzen oder Gleichteile verwenden zu können.

Eine grundlegende Konstruktionsentscheidung war, das schwere Batteriepaket in den Unterboden des Fahrzeugs zu integrieren. Die Elektromotoren für den Antrieb befanden sich an den Achsen darunter. Der Platz darüber stand ganz für Passagiere und Gepäck zur Verfügung. Keine andere Limousine auf dem US-Markt hatte so viel Platz im Innenraum. Hinzu kam, dass das Fahrzeug einen hohen Insassenschutz bot, da der Vorderwa-

gen allein als Knautschzone konstruiert werden konnte, und kein Motor drohte, im Falle eines Unfalls in den Innenraum zu schießen. Neben dem geräumigen Innenraum war der riesige Touch-Screen des Infotainmentsystems die Hauptattraktion. Er integrierte zahlreiche Fahrzeugfunktionen wie Navigation, Telefon, Internetverbindung und andere. Weil diese Funktionen über das Touchscreen gesteuert wurden, konnten sie, wie bei einem Smartphone, ohne Werkstattbesuch, „over the air“ (OTA) upgedated werden (vgl. dazu Amadeo 2017).

Die wichtigste Innovation aus Sicht der Experten aber betraf die Steuerung der im Fahrzeug eingesetzten Elektronik und Software

Bei der Entwicklung des Modells S wurde erstmals das Prinzip „Software First“ angewandt. Man begann nicht mit dem Design und der Konstruktion der Hardware, sondern, wie es die Systemingenieure der Silicon-Valley-Tech-Unternehmen gewohnt waren, mit der Software (vgl. Magney 2019). Tesla integrierte im Modell S erstmals alle softwaregesteuerten Funktionen in ein übergreifendes Betriebssystem. An die Stelle der Vielzahl von dezentralen Computern mit Spezialaufgaben trat eine zentralisierte Computersteuerung, die es ermöglichte, die Anwendungen besser und einfacher zu koordinieren und miteinander zu verknüpfen. Hier werden nun die Bezüge zu der Darstellung im vorigen Abschnitt erkennbar.

Die Aufgabe, eine integrierte Systemarchitektur und das entsprechende zentralisierte Betriebssystem zu entwickeln, stellte die traditionellen Hersteller aber aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Fahrzeugmodelle und der von unterschiedlichen Zulieferern hergestellten Geräte vor ungleich größere Probleme, als sie von Tesla in der Gründungsphase zu bewältigen waren.

Die traditionellen Hersteller konnten aber nicht umhin, sich dieser Aufgabe zu stellen. Der Hintergrund war das seit den 1990er Jahren ständige Anwachsen der Zahl von Steuerungssystemen in den Fahrzeugen – von der Steuerung der Motorleistung und der Abgasanlage, den Komfortanwendungen (wie elektrische Fensterheber, verstellbare Sitze), dem Infotainmentsystem bis hin zur wachsenden Zahl von Fahrerassistenzsystemen (etwa elektronische Stabilitätskontrolle, Rückwärtsfahrhilfe und Einschlafwarner), jedes versehen mit einer eigenen Steuerungseinheit (ECU) bestehend aus einem Mikroprozessor, Speicher und eigener Software. Neuere Oberklassenfahrzeuge verfügten inzwischen über mehr als 70 solcher Computersysteme. Die Systeme wurden jedoch zumeist von externen Unternehmen zugeliefert und auf die Lebensdauer der Fahrzeuge hin konstruiert. Die ECUs waren also moderne Einzweckgeräte. Änderungen und Zusatz-

funktionen vorzunehmen, war schwierig oder unmöglich. Die Steuerungsstruktur bestand, so Morris (2021: 218), aus einem „mismatch of separate, incompatible computer systems“.

Das Prinzip „Software First“ machte das Fahrzeug zu einem rollenden Computer. Weitere Schritte zur Automatisierung des Fahrens wurden damit wesentlich erleichtert und beschleunigt. Die Vorteile einer zentralen Steuerung durch einen internetvernetzten Computer<sup>157</sup> waren offensichtlich. Wie beim Smartphone konnte das Fahrzeug auf diese Weise personalisiert werden und die Kunden von einem wachsenden Angebot an Apps profitieren, die von Drittanbietern bereitgestellt werden. Ein weiterer, oben schon genannter Vorteil: Leistungsverbesserungen und neue Funktionalitäten konnten über Software-Updates über das Internet installiert werden, wie es bei den Smartphones schon gängige Praxis war. Das Problem der unterschiedlichen Dauer der Innovationszyklen von Hardware und Software bei Automobilen war damit wesentlich geringer geworden. In der Produktion bedeutete es unter anderem weniger Aufwand mit der Verkabelung (weniger komplexe Kabelstrukturen) in der Fahrzeugmontage.

Die Grundannahme des „Software First“-Prinzips war, dass potenzielle Käufer sich nicht mehr in erster Linie aufgrund von Merkmalen der Hardware für den Kauf eines Fahrzeuges entscheiden würden, sondern aufgrund der Funktionalitäten der Software und der Gestaltung der Benutzerschnittstellen – wie Grafikgestaltung, Sprachsteuerung, Reaktionszeit. Da die bisherige Produktdifferenzierung durch das Angebot unterschiedlicher Motor- und Getriebekombinationen bei den BEVs entfiel, war die Entwicklung neuartiger Differenzierungsmöglichkeiten der Fahrzeuge von wesentlicher Bedeutung. Der Ansatz Teslas war, diese Differenzierungsmöglichkeiten bei der Software maximal zu nutzen, bei der Hardware aber die Anzahl von Varianten und Optionen zu reduzieren, um die Produktion zu vereinfachen und so Kosten einzusparen. So gab es im Falle der bis hier genannten Fahrzeugmodelle, aber auch bei den späteren Modellen, nur eine Karosserievariante, bei den zentralen Fahrzeugmodellen der traditionellen Automobilhersteller waren es oft vier und mehr. Umso wichtiger wurde nun die Suche nach möglichen neuen Kundenbedarfen für attraktive „Apps“.

---

157 Zentralisierung bedeutet nicht die Steuerung aller Software durch nur einen einzigen Computer. Magney: “There will be distributed processing that optimizes the system and reduces the workload on the domain controller. There will need to be several accelerators pushed out to the edge to deal with so much data. Sensor modules, breaking control modules, body control modules, lighting modules, etc.” (Ebd.)

Hier kommt das autonome Fahren ins Spiel. Das autonome Fahren wurde in der Zeit der Gründung Teslas im Silicon Valley als „Next Big Thing“ angesehen und Tesla war bestrebt, das neue Geschäftsfeld frühzeitig zu besetzen. Offenkundig entsprach es auch einem Trend auf Seiten der Käufer, die sich während des Fahrens stärker dem Smartphone widmen wollten. Um das autonome Fahren zu ermöglichen, müssen aber auch bezogen auf die Fahrumwelt und Verkehrsinfrastruktur eine Vielzahl von Veränderungen vorgenommen und regulatorische Maßnahmen getroffen werden. In den USA wurden auf einzelstaatlicher Ebene dafür sehr weitreichende Freiräume geschaffen. So erlaubt beispielsweise der Staat Michigan seit 2016 Unternehmen das Testen selbstfahrender Fahrzeuge auf den öffentlichen Straßen ohne Fahrer am Steuer. Erlaubt sind autonom fahrende Taxis und im Verbund fahrende autonome LKWs, wobei hier noch ein Mensch an Bord sein muss. In anderen Bundesstaaten gelten ähnliche Regelungen (vgl. Krisher 2016).

Das autonome Fahren eröffnet, so ist die Erwartung, ein weites neues Feld von Differenzierungsmöglichkeiten im Produktangebot. Es stellt einen Eckpfeiler für das Geschäftsmodell Teslas dar und entsprechend hoch waren (und sind) die Bemühungen, hier eine marktführende Rolle einzunehmen und die Bereitschaft, hierfür Risiken einzugehen. Bereits das Modell S verfügte über einen Autopiloten, der das autonome Fahren auf Level 2 der Stufenleiter autonomen Fahrens ermöglichte.<sup>158</sup> (vgl. Herrmann/Brenner 2018: 59f.). Eingesetzt wurde das System eines externen Herstellers; aber bald danach entschied man sich für eine Eigenfertigung.

Das von Tesla selbst entwickelte System ermöglichte (im Prinzip) das Fahren auf Level 4. Es verwendet ein selbstentwickeltes Sensorsystem und der Betrieb wird gesteuert von einem Hochleistungscomputer; die kartografischen Daten und die Informationen über die aktuelle Verkehrssituation

---

158 Level 1: Das Auto verfügt über einzelne unterstützende Systeme, z.B. ein Antiblockiersysteme (ABS) oder ein Elektronisches Stabilitätsprogramm (EPS); Level 2: Automatisierte Systeme übernehmen Teilaufgaben (z.B. Spurwechselassistent, automatische Notbremsung); die FahrerInnen müssen aber weiterhin ihre Hände am Lenkrad halten, um jederzeit selbst die Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen zu können; Level 3: Das Fahrzeug kann streckenweise selbsttätig beschleunigen, bremsen und lenken. Bei Bedarf fordert das System die FahrerInnen aber auf, die Kontrolle zu übernehmen; Level 4: In Normalbetrieb kann das Fahrzeug völlig autonom fahren. Der Fahrer hat aber die Möglichkeit, einzugreifen und das System zu „überstimmen“. Level 5: Vollautomatisierter, autonomer Betrieb des Fahrzeugs ohne die Möglichkeit (und Notwendigkeit) des Eingreifens durch den Fahrer.

werden kontinuierlich von den Tesla-Fahrzeugen auf den Straßen bereitgestellt.

Das Fahren auf Level 4 ist keineswegs gefahrlos möglich, es kommt immer wieder zu gravierenden Unfällen, eine Flotte von Testern, viele davon Privatpersonen aus eigener Initiative, ist auch heute noch unterwegs und das System wird auf Basis der Rückmeldungen upgedatet. Die Entwicklungen auf diesem Gebiet sollen hier aber nicht mehr weiter verfolgt werden.

In den ersten zehn Jahre lag der Schwerpunkt bei Teslas auf produktbezogenen Fragen, dies änderte sich mit dem nächsten Fahrzeugmodell dem Modells 3, mit dem das Unternehmen den Schritt zu einer Massenproduktion unternahm. Nun geriet die *Produktion* in den Fokus.

Die Vision, die Musk 2016 bezogen auf die Produktion entwickelt hatte, war eine hochautomatisierte Fertigung, ausgestattet mit einer extraterrestrisch anmutenden Produktionsmaschinerie, einem „Alien Dreadnought“, so seine Bezeichnung (Alvarez 2020), ins Deutsche übersetzt bedeutete es so etwas wie ein „Monster aus dem Weltraum“. Seine Werke sah er als Maschinen. „The machine that builds the machine“ war eine häufig von ihm verwandte Bezeichnung für die Vision einer Fabrik, wie er sie anstrebte.

Hergestellt wurden die Fahrzeuge ab dem Modell S, wie oben schon erwähnt, im kalifornischen Werk Fremont, das man von General Motors übernommen hatte. In diesem Werk waren zuvor unter Toyota-Management die Fahrzeuge des Joint Ventures von GM-Toyota (NUMMI) hergestellt worden. Mit dem Kauf übernahm man also eine produktionserfahrene Belegschaft. Schon für das Modell S und dem wenig später auf dessen Plattform gebauten Modell X hatte man die Zahl der Roboter aufgestockt. Für die Produktion des nun folgenden Modell 3 gab es mehr als tausend Roboter im Werk (DeBord 2020; Boudette 2018). Einer Aussage von Musk zufolge war die Fertigung im Bereich des Karosseriebaus zu 90 %, die in der Montage zu 10 % automatisiert, also ähnlich wie bei vielen traditionellen Automobilherstellern.

Die Produktion des Modells 3 begann im Juli 2017. Es gab enorme Schwierigkeiten. Musk bezeichnete die Situation als „Manufacturing Hell“ und verbrachte seine Nächte über mehrere Wochen in der Fabrik. Offensichtlich hatte man überautomatisiert. Auf eine Vorserienproduktion, bei der die Fahrzeuge zunächst noch mit provisorischen Betriebsmitteln zusammengebaut werden, um die Abläufe zu optimieren und die Belegschaft zu schulen, wie bei den traditionellen Automobilherstellern üblich, hatte man verzichtet. Man verließ sich auf die Optimierung mittels avancierter Simulationsmethoden am Computer.

Schließlich wurde die Modell 3-Linie für einige Tage stillgelegt und viele Roboter entfernt; an ihre Stelle traten mehrere hundert Arbeiter. Musk erklärte: „Yes, excessive automation at Tesla was a mistake. (...) Humans are underrated.“ (Zit. nach Morris 2021: 343) Es war eine Zeit lang unklar, welche Schlussfolgerungen man bei Tesla aus dieser Erkenntnis ziehen würde, aber es wurde bald deutlich, dass die „Humans“ auch in Zukunft keine zentrale Rolle in der Produktion spielen sollten.

Es dauerte fast zwei Jahre bis Tesla die Anlaufschwierigkeiten überwunden hatte. Bei anderen Herstellern mag dies angesichts des bisherigen Erfolgslaufs Teslas mit einer gewissen Erleichterung aufgenommen worden sein. Die Produktion war ganz offensichtlich die Achillesferse von Tesla, und man musste sich in dieser Phase viel Spott gefallen lassen; diese Schwäche wurde zu einem zentralen Thema auf Investorenkonferenzen.

Dass es zu so großen Problemen kam, war keine Folge mangelnden Wissens auf Seiten des Managements. Im Rahmen der Zusammenarbeit mit Toyota<sup>159</sup> und Mercedes Benz konnte man sich mit den Methoden dieser beiden Hersteller vertraut machen. Die eigentliche Ursache lag tiefer. Es ging dem Unternehmen nicht um eine schlanke, effiziente Produktion und um die Einführung von Best Practice Methoden bei den traditionellen Herstellern.

“Our approach”, erklärte der damalige Produktionsleiter später, “was to adopt improvements as soon as they were ready. This meant we were implementing up to 50 changes per week. This approach created minor inefficiencies in our manufacturing system. Yet what was more important: Extracting a couple percentage points of manufacturing efficiency, or building a product that was rapidly improving and pulling farther ahead of the competition?” (Zit. nach Morris 2021: 303)

Es dauerte lange bis das Modell 3 in nennenswerten Stückzahlen hergestellt werden konnte. Mit der Zunahme der Stückzahl stieß das Werk Fremont, in dem bisher alle Modelle (auf unterschiedlichen Linien) hergestellt wurden,

---

159 Mercedes Benz ging mit Tesla eine Zusammenarbeit bei der Entwicklung einer E-Version des Smart und als Zulieferer von Batteriepaketen für die B-Klasse ein; 2009 übernahm Mercedes Benz 10% der Aktien von Tesla, das sich damals wirtschaftlich sehr schwierigen Situation befand; 2014 wurden die Aktienverkauft. Toyota ging ein ähnliches Arrangement ein und erwarb 2010 Tesla-Aktien und beendete 2017 die Zusammenarbeit mit Tesla. In diesen Projekten hatte Tesla Einblick in die Produktionssysteme der beiden traditionellen Hersteller. (Vgl. Taylor et al. 2022)

an seine Grenzen, es mussten neue Werke errichtet werden. Nun kam die Zeit der „Gigawerke“.<sup>160</sup>

Die Bezeichnung ist nicht nur Ausdruck des Bestrebens die bisherigen Unternehmen in allem zu übertrumpfen, sondern auch für die angestrebten Globalisierung. Die Werke waren mit einer Kapazität für eine Jahresproduktion von 500.000 und tendenziell einer Million Fahrzeugen waren deutlich größer als die inzwischen bei den traditionellen Herstellern üblichen Werke. Sie sind damit ein deutliches Déjà-vu im Hinblick auf die Ford-Werke Highland Park und River Rouge.

Die erste Generation ging Anfang der 2020er Jahre in Betrieb, hierbei handelte es sich um ein Werk in China (in Shanghai), einem in Deutschland (in Grünheide bei Berlin) und einem in den USA (in Austin, Texas). Das Ziel für 2030 war eine Jahreskapazität für die Produktion von 20 Mio. Fahrzeugen, das würde den Bau einer Vielzahl weiterer solcher Gigawerke in der Zukunft bedeuten.

Über die Produktions- und Arbeitsorganisation in den Gigawerken ist wenig bekannt. Was in die Öffentlichkeit dringen darf, wird strikt von Unternehmen kontrolliert. Ein Thema über das man gern berichtete, war der Einsatz neuer möglichst spektakulärer neuer Technologien in der Fertigung. Die Vision des „Alien Dreadnought“ war nach den Problemen mit dem Anlauf des Modell 3 keineswegs aufgegeben wurden. Das große Interesse, das die Einführung des sog. Gigacasting erregte, half die Manufacturing Hell Episode zu vergessen. Im Folgenden soll diese disruptive Innovation näher betrachtet werden.

Hierbei handelt es sich um Anlagen, die große Teile der Karosserie in einem einzigen Gießvorgang im Aluminiumdruckgussverfahren herstellen, anstatt sie durch das Zusammenschweißen einer Vielzahl von Einzelteilen durch Roboter zu fertigen, wie es bei traditionellen Herstellern der Fall ist.

Gigaaanlagen wurden zuerst für die Herstellung von Hinterwagenmodulen eingesetzt, wo zwei solcher Maschinen jeweils die linke bzw. rechte Hälfte herstellten. Die beiden Anlagen ersetzten 300 Roboter. In der nächsten Ausbaustufe war der Einsatz der Gigamaschinen entsprechender Anlagen auch für den Vorderwagen vorgesehen. In der weiteren Perspektive

---

160 Der Begriff wurde von Musk zuerst bezogen auf das Batteriewerk in Nevada benutzt, es wird heute als Gigawerk 1 bezeichnet. Das Gigawerk 2 ist eine Fabrik für Solardächer in Buffalo im Staat New York. Für den Fahrzeugbau waren drei Gigawerke gebaut: das Gigawerk 3 in China (Shanghai), das Gigawerk 4 in Deutschland (Grünheide bei Berlin) und das Gigawerk 5 in den USA (Austin in Texas).



sollen sie auch für den Gesamtaufbau der Karosserie eingesetzt werden. Erkennbar ist, dass der Einsatz der Maschinen genau an den neuralgischen Stellen des Karosseriebaus erfolgt, der für die man bei VW zu dem Einsatz der Framer eingeführt hat, über die im vorigen Kapitel berichtet wurde.<sup>161</sup>

Der Einsatz dieser Anlagen führt dazu, dass eine Vielzahl von Tätigkeiten und Maschinenfunktionen entfallen. Zum ersten betrifft dies die Herstellung vieler Einzelteile, die bisher in den Presswerkstrassen oder integrierten Anlagen in jeweils mehreren Schritten gefertigt wurden; es geht dabei um mehrere hundert Einzelteile. Zum zweiten entfallen die Tätigkeiten des Verschweißens der Teile im Karosseriebau. Die Betroffenen im Werk Fremont waren hier vor allem Roboter. Zum dritten entfällt die Anfertigung und Instandhaltung einer großen Zahl von Presswerkzeugen, wie sie bisher in den Pressenstraßen erforderlich waren. Betroffen sind davon besonders die Werkzeugmacher.

Die Einführung der Gigaanlagen geht also mit einem erheblichen Automatisierungseffekt einher. Dieser gilt als ein Hauptgrund dafür, dass man bei der Planung für das deutsche Tesla Werk, gerüchteweise, nur noch zehn Stunden pro Fahrzeug benötigt würden, eine Angabe, die bei VW für große Unruhe sorgte.

Dem Ziel der Vereinfachung der Produktionsabläufe dient teilweise auch die Konstruktionsweise der Fahrzeuge. Am weitesten vorangetrieben wurde dies im Falle des ursprünglich für Anfang der 2020er Jahre angekündigten Cybertruck, einem Pick-up Fahrzeug, mit Tesla nun auch das profitabelste Marktsegment in den USA für sich erschließen will. (vgl. dazu Morris 2021: 422ff.). Das Fahrzeug wurde Ende 2019 der Fachpresse vorgestellt. Viele Anwesende waren schockiert über das schroffe Aussehen.

Bezogen auf die Produktion aber bietet die Konstruktion große Vorteile. Anstelle der Umformung durch Tiefzieh-Pressen werden die Bleche aus rostfreiem Stahl durch Einsatz wesentlich einfacherer Biegemaschinen gebogen. Angesichts der Dicke der Bleche wäre es auch nicht anders gegan-

---

161 Der Aluminiumdruckguss ist eine etablierte Giesstechnik. Das Besondere sind die Größe und die Leistungsfähigkeit der Anlagen. Rund 100 kg Schmelze einer speziellen Aluminiumlegierung werden mit einem Druck von über 6.000 Tonnen (bei neueren Maschinen über 9.000) innerhalb von 40 Millisekunden in eine filigrane Gussform geschossen. Die Taktzeit der zuerst im Fremont-Werk eingesetzten Gigagießanlagen betrug 90 Sekunden. (Vgl. Nambiar 2021). Hersteller der Gigamaschinen ist Idra, ein mittelständisches italienisches Maschinenbauunternehmen, der alleinige Inhaber ist eine chinesische Investmentgesellschaft. Im Internet gibt es (um 2020) zahlreiche Videos, die das Verfahren erläutern.

gen. Allerdings kann das Biegen nur entlang gerader Linien erfolgen, was das kantige Aussehen der Karosserie erklärt. In Europa wurde der Cybertruck aus Gründen des Unfallschutzes für Fußgänger nicht zugelassen.

Auf das anschließende Lackieren wurde verzichtet, da rostfreier Stahl eingesetzt wird. Der Cybertruck ist daher laut Morris „incredibly cheap to produce (Morris 2021: 426).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass es in zentralen Punkten eine Umkehr der bisherigen Trends in der Automobilproduktion bedeutet. Entgegen dem Trend hin zu kleineren Betriebsgrößen wird bei der Kapazität, wie im River Rouge Werk wieder eine Größenordnung von einer Million Fahrzeugen pro Jahr angestrebt und wie im Rouge-Werk das Ziel eines möglichst variantenarmen Produktionsprogramms verfolgt.

Die Automatisierung der Produktion besitzt einen zentralen Stellenwert. Das Ziel ist die Einsparung von Kosten. Ein treibender Faktor ist dabei die veränderte Kostenstruktur von BEVs. Der größte Kostenblock ist hier die Batterie, die nahezu den gleichen Anteil an den Kosten hat wie zuvor der Motor und Getriebe in den Verbrennerfahrzeugen. Im Unterschied zu diesen Aggregaten haben die Hersteller auf den Kostenblock der Batterie aber nur einen geringen Einfluss. Der größte und auch technologisch anspruchsvollste Bestandteil, die Batteriezellen, muss von anderen Unternehmen zugeliefert werden. Auch die Softwareproduktion ist ein neuer und gravierender Kostenfaktor. Um in Bezug auf die Gesamtkosten in dem Rahmen zu bleiben, müssen Einsparpotentiale an anderer Stelle gefunden werden. Der „schwarze Peter“ landete bei der Produktion, insbesondere beim Karosseriebau und der Montage.

Der Shopfloor, Arbeiter und untere Vorgesetzte, die bei Toyota noch immer eine zentrale Rolle spielen, erscheinen in dem Tesla-System ohne Bedeutung, wie Jeff Liker, Autor zahlreicher Bücher über das Toyota-Produktionssystem, dem das Management westlicher Unternehmen noch vor wenigen Jahren zu Füßen lag, kritisiert:

“Manufacturing is seen as a technical engineering problem and the solution is automation, automation, and more automation. We can imagine any of the great Toyota sensei asking: But where are the people? (...) In my view Elon Musk has adopted an untenable mechanistic philosophy that will need to change if Tesla is to be successful as a mass producer of vehicles, no matter how well designed.” (Liker 2018)

### 10.3.2 VW: Transformation unter Handlungsdruck

Anders als Tesla stand VW, wie die anderen traditionellen Hersteller auch, vor der Herausforderung, die Umstellung zu einer Produktion von E-Fahrzeugen und die digitale Transformation gleichzeitig zu bewältigen. Das Unternehmen war mit einer Produktion von – im gesamten Konzern – 10 Mio. Fahrzeugen und über 600.000 Beschäftigten Mitte der 2010er Jahre um ein Vielfaches größer als Tesla und war mit seinen gewachsenen Strukturen und Wertvorstellungen der Inbegriff eines Legacy-Unternehmens. Inwieweit folgte das Unternehmen bei seiner Umstrukturierung Tesla als Leitmodell? Welche eigenen Akzente wurden gesetzt?

Der Ausgangspunkt der Darstellung im Folgenden ist das Jahr 2016. Tesla war in diesem Jahr auf dem Sprung, zu einem Massenhersteller zu werden, bei VW wurde in diesem Jahr der doppelte Umbruch eingeleitet. Die Situation der beiden Unternehmen konnte kaum unterschiedlicher sein. Während es bei dem im Segment der Luxusfahrzeuge bereits erfolgreichen Tesla ungewiss war, ob ihm der Schritt zu einem Massenhersteller gelingen würde, befand sich VW auf dem Weg, weltweit zum größten Automobilhersteller zu werden, verfügte über ein sehr erfolgreiches Fahrzeugprogramm und hatte mit den Modularen Baukästen seine Produktentwicklung und Produktion gerade neu ausgerichtet. Man war auch nicht völlig unvorbereitet auf die Produktion von E-Mobilen, hatte sie aber eher als eine Ergänzung des Modellprogramms gesehen.

Der Abschluss der Ära der Verbrennerfahrzeuge war dennoch abrupt. Der Betrugsskandal bei den Dieselmotoren hatte zur Diskreditierung aller Versuche beigetragen, die Verbrennungsmotoren als eine Antriebsoption zu erhalten. Mit der Aufdeckung des Betrugs war die Macht der Motorenlobby gebrochen. Das wurde in der gesamten Industrie so gesehen und betraf nicht nur VW. Hier ging es aber vor allem auch um Schadensbegrenzung. So schreibt Jack Ewing in seinem Buch über die Geschichte des VW-Skandals: „Volkswagen’s electric vehicle push sounded like a public relations strategy when executives first started to talk about it in 2015.“ (Ewing 2018: 353)

2016 wurde ein umfassendes Transformationsprogramm beschlossen mit dem Ziel, bis 2025 eine Million Elektroautos pro Jahr zu produzieren und damit Weltmarktführer in der Elektromobilität werden. (Volkswagen 2016)

Ebenfalls noch im Jahr 2016 wurde zwischen der Unternehmensleitung und dem Gesamtbetriebsrat eine Vereinbarung über die Bewältigung der sozialen Folgen der Umstellungen getroffen. Nach längeren Verhandlungen

und kontroversen Diskussionen, vor allem auch zwischen den Betriebsräten der verschiedenen Werke untereinander, hatte man sich auf eine Beendigung der Motoren- und Getriebeproduktion in den deutschen Werken geeinigt; die Werke sollten aber nicht geschlossen, sondern für die Fertigung des neuen Antriebssystems umgerüstet werden bzw. andere Aufgaben erhalten. (vgl. dazu Möreke 2020; Haipeter 2019).

Damit war die Umstellung geplant und sozial abgestimmt. Es gab einen abgestimmten Zeitplan, in dem das Auslaufen der Verbrennerfahrzeuge festgelegt war.

Entscheidend war dafür die termingerechte Entwicklung der neuen Produkte, die gewährleisteten, dass das angenommene Verkaufsvolumen auch realisiert werden konnte.<sup>162</sup> Damit begann der Umbruch bei den realen Strukturen und Prozessen. Im Zuge der anschließenden Jahre beschleunigte sich dieser Prozess, der Handlungsdruck verschärfte sich. Im Folgenden soll ein kurzer Blick auf den sich nun vollziehenden Transformationsprozess geworfen werden.

2018 wurde das Ziel erklärt, VW zu einem softwarebasierten Unternehmen umzuwandeln. Software sollte zur neuen Kernkompetenz werden. Die Entwicklung von Software und die entsprechenden Programmierertätigkeiten der Anlagen hatte man bisher den Zulieferern bzw. Ingenieursfirmen überlassen, nun war sie zu einer zentralen Tätigkeit geworden.<sup>163</sup> Es wurde beschlossen, den Eigenanteil an der Softwareentwicklung innerhalb weni-

---

162 Den Berechnungen von Studien über die Folgen des Übergangs für die Beschäftigten zufolge, erschienen diese nicht so dramatisch, wie in der Diskussion oft vermutet. So kam eine Studie des Fraunhofer Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) über die Auswirkungen von Elektromobilität und Digitalisierung auf die Beschäftigung auf Basis der Planzahlen bei Volkswagen zu dem Ergebnis, dass die Verringerung des Personalbedarfs, die sich aus dem Entfallen von Arbeitsumfängen aufgrund des Wechsels im Antriebssystem ergeben würden recht gering ausfallen würde (um rund 12%). (Herrmann et al. 2020) In einer weiteren Studie über die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen, sahen die Autoren in dem Übergang zur Elektromobilität sogar auf mittlere Sicht Chancen für einen stärkeren Anstieg des Wertschöpfungsvolumens bei den E-Fahrzeugen als dies bei zukünftigen Verbrennerfahrzeugen der Fall wäre, würden sich noch weiterhin hergestellt. (Hagedorn 2019: 124)

163 Ein allerdings recht ungenauer Anhaltspunkt für den gestiegenen Arbeitsaufwand ist die Anzahl der Codezeilen, die für ein neues Fahrzeug geschrieben werden. In der neuesten Fahrzeuggeneration Ende der 2010er umfasste die Software in einem VW etwa zehn bis 100 Millionen Codezeilen. Ein hochvernetztes Fahrzeug, wie es beispielsweise mit dem VW ID.6 bis 2026 auf den Markt kommen soll, lag bei 200 bis 300 Millionen Codezeilen (Voigt 2022).

ger Jahre drastisch zu steigern (vgl. Menzel 2019). Auf Konzernebene wurde dafür 2019 eine eigenständige Tochtergesellschaft gegründet. In ihr arbeiten seither Digitalexperthen aus den Bereichen der produktbezogene IT und der Technische Entwicklung zusammen an der Erstellung einer einheitlichen Softwareplattform, auf der in Zukunft die Entwicklung von Apps für das autonome Fahren und die damit verbundenen Mobilitätsdienstleistungen für alle Pkw-Marken des Konzerns stattfinden soll.

Als technisch-organisatorische Infrastruktur und für das zukünftige Ökosystem von App-Entwicklern und sonstigen unterstützenden Unternehmen wurde die „VW Automotive Cloud“ geschaffen, die in einer strategischen Partnerschaft mit dem Anbieter von Cloud-Dienstleistungen Microsoft Azure aufgebaut und betrieben werden soll. "Die Autos in der Flotte von Volkswagen werden zukünftig zu mobilen Knotenpunkten im Internet der Dinge, die durch Microsoft Azure miteinander vernetzt sind", so wird ein VW-Sprecher zitiert (Klostermeier 2018) Anstelle der Technologieanpassungen in dem Rhythmus, die der Modellwechsel bei der Hardware mit sich brachte, sollten in Zukunft – unter Einbeziehung der am Prozess beteiligten Zulieferer und Drittanbieter aus dem Ökosystem – über den gesamten Lebenszyklus des Fahrzeuges hinweg – ein permanenter Prozess von Softwareentwicklung und -erneuerung stattfinden, ganz so wie bei den Smartphones.

In einer Rede vor leitenden Managern des Unternehmens, verwies der (damalige) Vorstandsvorsitzende Diess auf die Chancen, die das für künftige Entwicklung des Unternehmens bedeuten kann:

„Das Automobil wird in Zukunft das komplexeste, wertvollste, massentaugliche Internet-Device. Wir verbringen im Automobil der Zukunft mehr Zeit als heute, vielleicht zwei Stunden statt einer. Deshalb wird es nicht zur grauen Büchse, sondern noch viel komfortabler, wohnlicher und vor allem vernetzter, multifunktionaler als heute. Im Auto werden wir kontinuierlich online sein, weit mehr Daten abliefern als Smartphones, aber auch mehr Informationen, Dienste, Sicherheit und Komfort aus dem Internet bekommen.“ (Diess 2020)

Auch bezogen auf die Produktion wurden die organisatorischen Voraussetzungen geschaffen, um die neuen Anforderungen zu bewältigen. Hier kamen nun Technologien und Konzepte der Industrie 4.0 zum Tragen. Parallel mit der Gründung der Automotive Cloud wurde eine „Industrial Cloud“ für die Aktivitäten in den Bereichen der Produktion und der Pro-

duktionslogistik auf der Ebene des Konzerns eingerichtet, die in Kooperation mit den Amazon Web Services betrieben wird. Als ein weiterer Partner für die Erarbeitung neuer IT-Werkzeuge und Lösungsansätze wurde das Technologieunternehmen Siemens gewonnen. In einem ersten Schritt sollten hier die Daten des Wolfburger Werks sowie von rund einem Dutzend weiterer Werke zusammengeführt werden, auf der letzten Aufbaustufe die Daten der Maschinen, Anlagen und Systeme sollten alle der weltweit über hundert Werke des Konzerns versammelt sein (vgl. Volkswagen 2020).<sup>164</sup>

Als Beispiele für die Nutzungsmöglichkeiten der Industrial Cloud wurden in Verlautbarungen des Unternehmens genannt:

- die Verwendung der Daten der Werke für eine noch effizientere Steuerung des Materialflusses, die frühzeitige Erkennung und Korrektur von Lieferengpässen und Prozessstörungen und eine optimierte Fahrweise von Maschinen und Anlagen in jeder Fabrik;
- die Erhöhung der Anlageneffektivität durch Erstellung eines digitalen Abbilds in der Cloud, mit dessen Hilfe die Überwachung der Anlagen vereinfacht und die Wartungsintervalle von Maschinen simuliert werden können, ohne in den realen Produktionsablauf eingreifen zu müssen;
- die Vereinfachung des Datenaustauschs zwischen den Werken, um neue Technologien und Innovationen schnell und standortübergreifend für Funktionen der Datenanalytik bereitzustellen.

In einem späteren Stadium war vorgesehen, auch externe Maschinenhersteller und Zulieferer in ein gemeinsames Ökosystem einzubeziehen. Jeder Standort sollte Anwendungssoftware für seine Maschinen, Werkzeuge und Anlagen direkt aus der Industrial Cloud beziehen und damit noch effizienter produzieren können. In Zukunft sollte der App-Store zu einem Marktplatz für Industrie-Applikationen werden, auf dem alle Beteiligten, so die Verlautbarung, „ihre Anwendungen untereinander, unabhängig von einem Einsatz in Volkswagen-Werken, tauschen, erwerben und nutzen“ können (Volkswagen Group 2020). In der Verlautbarung des Unternehmens wurden bereits eine Reihe von Partnerunternehmen aufgelistet, die sich an der Arbeit in der Cloud beteiligten.

---

164 Wir haben in Wolfsburg einmal nachgezählt“, so berichtete der leitende Produktionsmanager, „wie viele Anschlusspunkte in unserem Cloud-Projekt integriert werden müssen. Da reden wir über 50.000 solcher Punkte und Stationen. (...) Die Daten von 50.000 Punkten böten also außergewöhnliche Möglichkeiten.“ (Zit. bei Menzel 2020a)

Mit der Bildung der Industrial Cloud hatte sich das Unternehmen damit eine Plattform geschaffen, um in einer Allianz mit führenden Technologieunternehmen und einem Ökosystem von Unternehmen avancierte Lösungen für die Produktion zu erarbeiten. Dabei suchte man gezielt die Möglichkeiten der Volkswagen Industrie 4.0 Technologien zu nutzen.

2019 wurden die Pläne für das sog. Trinity-Projekt vorgelegt: Der Projektname Trinity stand, so wurde in Unternehmensverlautbarungen erläutert, für die Verbindung von drei Zielsetzungen: erstens die Entwicklung einer neuen Fahrzeugarchitektur (der Scalable Systems Platform), die zukünftig die Grundlage für die Entwicklung aller Fahrzeuge des Konzerns werden sollte; zweitens die Ermöglichung des autonomen Fahrens; drittens ein radikal neuer Produktionsansatz. Trinity war zugleich der Projektname für das erste Fahrzeugmodell (dem ID.6), das diese drei Zielsetzungen erfüllen sollte und das im Jahr 1926 auf den Markt kommen sollte.

Schauen wir näher auf die drei Zielsetzungen:

Die erste betraf die Entwicklung der neuen Plattform, die als eine flexible, vollständig modular aufgebaute Konstruktion letztlich alle anderen Plattformen im Konzern ersetzen sollte. Im Prinzip handelte es sich um eine Weiterentwicklung des Modularen Baukastens für E-Fahrzeuge, sie musste nun durch die Anforderungen des autonomen Fahrens und weiterer neu geplanter Funktionalitäten neu konzipiert werden. Das Ziel war, die Vorteile der Economies of Scale zu nutzen, die der Konzern bieten konnte. Über die gesamte Lebensdauer hinweg waren auf der neuen Plattform konzernweit mehr als 40 Mio. Fahrzeuge geplant (Stegmaier/Wittich 2022).

Das zweite Ziel war, das autonome Fahren zu ermöglichen. Zum geplanten Serienstart 2026 sollten die Fahrzeuge bereits das Level 2+ erreichen und technisch bereit für Level 4 sein. Auch hier sah man in der Größe des Unternehmens einen entscheidenden Vorteil.

Die dritte Zielsetzung war, so wurde vom führenden Management erklärt, die Produktion „revolutionär“ neu zu gestalten. Der Vorstandsvorsitzende der VW AG (Brandstätter) erklärte:

„Wir werden unsere Art Autos zu bauen komplett neu denken und revolutionäre Ansätze einführen. Digitalisierung, Automatisierung und Leichtbau spielen hier eine wichtige Rolle.“ (zit. bei Wenk 2021)

Weniger Varianten, weniger Bauteile, mehr Automatisierung, schlankere Produktionslinien sowie neue Logistikkonzepte, so fasste der leitende Produktionsmanager die dazu im Management entwickelten Vorstellungen zusammen. (Vgl. Stegmaier /Wittich 2022)

Der Plan war, in einem neuen Werk am Standort Wolfsburg ein „völlig neues, vollvernetztes und intelligentes Produktionssystem“ zu errichten (vgl. Volkswagen 2021b). In diesem Werk sollten die oben angesprochenen revolutionären Ansätze erstmals voll zum Tragen kommen. Als Produktivitätsziel für das neue Werk wurden die oben schon erwähnten 10 Stunden pro Fahrzeug genannt. Mit diesem Wert werde man, so erklärte der Vorstandsvorsitzende des Unternehmens (Diess) auf dem bei Tesla erreichten Stand gelangen.<sup>165</sup>

Als eine Maßnahme, um diesen Wert zu erreichen, wurde die Einführung des Gigacastings genannt. Der Einsatz der Aluminiumdruckgussmethode und damit des Leichtbaus bei der Karosserie werde zwar noch geprüft, aber grundsätzlich wurde die Methode aber als sehr vorteilhaft betrachtet. Auf die Weise müsste man die Karosserie nicht mehr Hunderte von kleinen Blechteilen zusammenschweißen, sondern könne sie aus wenigen Großussteilen zusammensetzen. Der Karosseriebau könne dadurch wesentlich verkleinert werden. Durch den Einsatz der Großstufenpressen hatte man hier allerdings schon die Anzahl kleinerer Zusammenbauten wesentlich reduziert.

Eine weitere Maßnahme, die im Hinblick auf die Pläne für das revolutionäre neue Werk in Wolfsburg angeführt wurde, war die Verringerung der Komplexität in der Produktion.<sup>166</sup> Dies betraf die Frage des Geschäftsmodells. Der oben schon zitierte Manager erklärte dazu:

„Künftige Fahrzeuggenerationen werden mit erheblich weniger Varianten produziert. Die individuelle Konfiguration wird nicht mehr über die Hardware beim Kauf festgelegt. Das Auto hat quasi alles bereits an Bord und der Kunde kann gewünschte Funktionen jederzeit ‚on demand‘ über das digitale Ökosystem im Auto hinzubuchen. Die Komplexität in der Fertigung nimmt dadurch deutlich ab.“ (zit. in Wenk 2021)

Auf weitere Punkte, die in unterschiedlichen Stellungnahmen der Unternehmensführung und des Produktionsmanagements genannt wurden, soll hier nicht eingegangen werden.

---

165 Aus dem Umfeld von Tesla hieß es, der Wertwürde dann „wahrscheinlich“ niedriger sein als der tatsächlich in dererst im Bau befindlichen Gigafactory in Grünheide bei Berlin, das ab Mitte 2021 die Produktion des Modell Y aufnehmen würde (Teslamag 2021)

166 Als Beispiel wird angeführt: beim Golf seien rund 10 Millionen Konfigurationen möglich. Bei Trinity sollen es nur noch rund 140 sein. Das verschlanke auch das Logistik-Konzept. (Stegmann/Wittich 2022).



Die Pläne für ein neues Werk am Standort Wolfsburg wurden allerdings vorerst nicht weiterverfolgt. Inzwischen war ein Wechsel in der Unternehmensführung erfolgt und der Zeitpunkt der Markteinführung der Trinity Fahrzeuge um einige Jahre verschoben worden. Die Strategie wurde noch einmal auf den Prüfstand gestellt. Ein Grund dafür waren heftige Debatten über die angestrebte Produktivität Produktionszeit pro Fahrzeug. Der Vorstandsvorsitzende Herbert Diess hatte Szenarien hatte rechnen lassen, die Produktionszeit pro Fahrzeug von 10 Stunden den Entfall von 35.000 Arbeitsplätzen im Unternehmen bedeutet hätte, viele davon im Werk in Wolfsburg.

Im Hinblick auf bisher getroffenen Maßnahmen lässt sich eine deutliche Orientierung auf Tesla als Leitmodell feststellen. Dies gilt für das Prinzip „Software First“ bei der Produktentwicklung, ebenso wie für das Geschäftsmodell, die Softwarefunktionalitäten zur Basis der Produktdifferenzierung zu machen und das Ziel das autonome Fahren frühestmöglich zu erreichen. Es gilt nicht zuletzt auch für die Zielsetzung, die Fertigungsprozesse weitestgehend zu automatisieren.

In Bezug den Einsatz neuer Technologien ist das Unternehmen bestrebt, die Möglichkeiten der Industrie 4.0 weitestgehend zu nutzen. Die Schwerpunkte liegen hier bei der Nutzung cyberphysischer Systeme zur Fabriksteuerung und Optimierung von Prozessen auf Basis von der Analyse von Daten aus dem weltweiten Produktionsnetzwerk und maschinellem Lernen. Größere Auswirkungen auf die Beschäftigten gingen allerdings von dem Einsatz von Fertigungstechniken und Produktionsverfahren wie dem Gigacasting aus, wobei über den Einsatz zum gegenwärtigen Zeitpunkt (August 2023) noch nicht entschieden wurde.

Die gravierendste Abweichung von dem bisherigen Entwicklungsweg, vorausgesetzt die Pläne werden realisiert, wäre die angekündigte Reduktion der Komplexität des Produktionsprogramms. Bisher war, wie die Darstellung in den vorigen Kapiteln gezeigt hat, die scheinbar unaufhaltsame Zunahme an Modellen, Varianten und Optionen das zentrale Problem für die Produktion gewesen, das allerdings aufgrund des damit verbundenen höheren Arbeitsaufwands auch viele Arbeitsplätze gesichert hat. Die Reduktion der Komplexität im Produktionsprogramm würde insbesondere auch die Beschäftigten in der Fahrzeugmontage treffen, die nach wie vor nur niedrig automatisiert ist. Durch die Verringerung der Komplexität und die damit ermöglichte Standardisierung von Abläufen, werden Spielräume für eine weitere Automatisierung eröffnet.

Im Hinblick auf die doppelte Umbruchdynamik von Digitalisierung und dem Wechsel zu E-Mobilität scheinen die größeren(quantitativen) Beschäftigungseffekte von dem letzteren auszugehen. Dies gilt auch für den zu erwartenden Anstieg beim Automatisierungsgrad. Ein großer Teil dieses Anstiegs im Auto erfolgt hier durch das Entfallen von Tätigkeiten durch Veränderungen der Produktkonstruktion und der geringeren Varianz im Produktionsprogramm. Dieser Anstieg hat auch einen Produktivitätssprung zufolge, wie er im Zusammenhang mit dem Zehnstunde-Ziel diskutiert wird. Aber dabei es handelt sich um einen Einmaleffekt.

Das Potential für Veränderungen, das in den neuen Konzepten und Strukturen angelegt ist, wird erst in Zukunft zum Tragen kommen.