

A woman with long brown hair and glasses, wearing a black sleeveless top and black pants, is leaning over a silver car at a public charging station. She is holding a red charging cable. The background shows a city street with trees and buildings.

**SIEMENS**

*Ingenuity for life*

Siemens Digital Industries Software

# Fertigungsprozesse für Elektrofahrzeuge auf die Überholspur bringen

## Kurzdarstellung

Die Elektromobilität besitzt das Potenzial, die Automobilindustrie kurzfristig gehörig durcheinanderzuwirbeln. Die Verkaufszahlen für Elektrofahrzeuge steigen schnell und stetig an – und Verbesserungen bei der Akkutechnologie, der Druck seitens der Gesetzgeber, intensive Investitionen und eine immer umfassendere Ladeinfrastruktur tragen ihren Teil dazu bei. Angesichts der steigenden Nachfrage müssen etablierte und neu in den Markt drängende Automobilhersteller die Fertigung von Elektrofahrzeugen schnell hochfahren und die Herstellungskosten senken, um davon zu profitieren. Diese Fertigung stellt die Automobilindustrie jedoch vor einzigartige Herausforderungen. Mithilfe umfassender digitaler Zwillinge sowohl des Produkts als auch der Fertigungsstraßen können Hersteller nicht nur Montageprozesse, sondern auch ganze Anlagen virtuell entwerfen und validieren und damit die Qualität verbessern und das Anfahren der Produktion beschleunigen.

Shashi Rajagopalan  
Siemens Digital Industries Software

# Der Markt für Elektrofahrzeuge wächst

Ob globaler Automobilkonzern oder Startup-Unternehmen – alle möchten sich in Sachen autonomes Fahren, vernetzte Fahrzeuge sowie Elektromobilität und Fahrzeugsharing ein Stück vom Kuchen abschneiden. Dutzende von Unternehmen haben Programme zum Konstruieren und Testen von autonomen und vernetzten Fahrzeugen für einzelne Benutzer oder im Rahmen von Sharingmodellen entwickelt. Es sind zwar Fortschritte zu verzeichnen, aber bis Anwendungen dieser Technologien auf den Markt kommen, die in der realen Welt bestehen und sich auf hohe Stückzahlen skalieren lassen, werden noch Jahre ins Land gehen. Auf der anderen Seite besitzt die Elektromobilität das Potenzial, die Automobilindustrie kurzfristig gehörig durcheinanderzuwirbeln, und ist bereits auf dem besten Weg zu flächendeckender Nutzung.

Dieser neue, rapide Zuwachs bei elektrischen Fahrzeugen wird durch verschiedene Faktoren begünstigt (Abbildung 1):

- Bei relevanten Technologien für Elektrofahrzeuge, wie z. B. Akkus, wurden schneller Fortschritte erzielt als erwartet.
- Höherer Druck seitens der Gesetzgeber auf nationaler, regionaler und kommunaler Ebene fördert die frühzeitige Akzeptanz einer Technologie, die als neue Norm betrachtet wird.
- Hohe Investitionen in Programme für Elektromobilität und Startup-Unternehmen unterschiedlichster Provenienz: sowohl herkömmliche Automobilhersteller als auch Neueinsteiger auf dem Markt.
- Durch den Ausbau der Ladeinfrastruktur wird die tägliche Nutzung eines Elektrofahrzeugs immer einfacher und praktischer.

Elektrifizierte Antriebsstränge bieten ebenfalls wesentliche Vorteile für automatisierte und vernetzte Mobilitätssysteme sowie für die gemeinsame Fahrzeugnutzung. Fahrdienstvermittler und auf Mobilität spezialisierte Unternehmen investieren beispielsweise in automatisierte Fahrtechnologien, sodass die Fahrzeuge in ihren Systemen auch von anderen Personen als dem jeweiligen Besitzer genutzt werden können. Dadurch werden solche persönlichen Fahrzeuge deutlich mehr genutzt, was wiederum dazu führt, dass eine lange Lebensdauer der Fahrzeuge an Bedeutung gewinnt. Antriebsstränge für Elektrofahrzeuge unterstützen diese Anforderung aufgrund ihrer relativen Einfachheit auf natürliche Weise. Elektrofahrzeuge enthalten weniger bewegliche Teile und sind daher meist langlebiger und verursachen weniger mechanische Probleme.

Der Effekt dieser treibenden Kräfte manifestiert sich in der steigenden Akzeptanz von Elektrofahrzeugen durch die Verbraucher. Die Verkaufszahlen steigen seit fünf Jahren kontinuierlich an. Marktbeobachter erwarten, dass die Verkaufszahlen für Elektrofahrzeuge bis 2030 mit denen von herkömmlichen Verbrennern gleichziehen und sie bis 2040 überholen werden. Um diese steigende Nachfrage zu erfüllen und in einem sich verändernden Markt wettbewerbsfähig zu bleiben, müssen Automobilhersteller ihre Kapazitäten zur Fertigung von Elektrofahrzeugen im großen Stil hochfahren.

Der wachsende chinesische Markt ist die Hauptursache für den rapide steigenden Bedarf an Elektrofahrzeugen. Die Mehrzahl der Startup-Unternehmen in Sachen Elektrofahrzeuge ist in China ansässig. Branchenanalysten schätzen, dass in China 200 oder mehr solcher Startups tätig sind, von denen einige Fördermittel in Höhe von mehreren Milliarden US-Dollar erhalten haben. Neben diesen Startups forcieren auch bereits etablierte chinesische Automobilhersteller ihre Anstrengungen auf dem Markt für Elektro- und Plug-In-Hybridfahrzeuge.

Dieser gewaltige Umbruch betrifft jedoch die gesamte Branche. Globale Automobilkonzerne stehen unter massivem Druck, ihre Kosten zu senken, um die größte Transformation der Autobranche seit vielen Jahrzehnten finanzieren zu können. Volkswagen beispielsweise investiert bis 2023 49 Milliarden US-Dollar in die Entwicklung von elektrischen und vernetzten Fahrzeugen (Rauwald, 2019). Diese Investitionen fließen u. a. in die vollständige Umstellung mehrerer Fertigungsanlagen auf die Produktion neuer Elektrofahrzeuge (Rauwald, 2019). Andere Unternehmen investieren ebenfalls, wenn auch in vergleichsweise kleinerem Umfang.

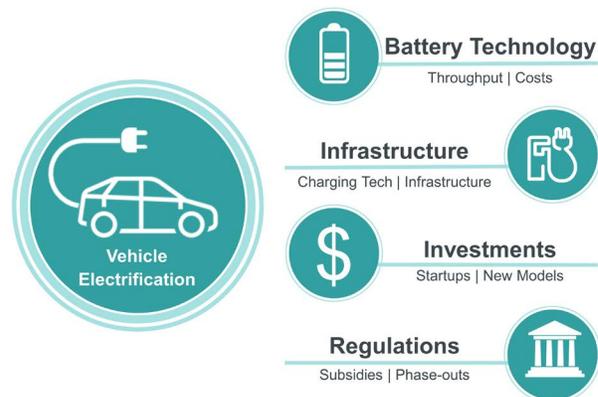


Abbildung 1: Vier treibende Faktoren für den wachsenden Marktanteil von Elektrofahrzeugen.

# Herausforderungen bei der Fertigung von Elektrofahrzeugen

Elektrofahrzeuge bringen neue Herausforderungen mit sich, die für große Automarken und Startups gleichermaßen gelten. Reichweite und Anschaffungskosten sind nach wie vor die wichtigsten Aspekte für Verbraucher. Autobauer müssen die Reichweite der Fahrzeuge maximieren und gleichzeitig durch effizientere Produktion die Verkaufspreise reduzieren.

Das Gewicht spielt bei der Reichweite eine große Rolle: eine Verringerung des Gewichts um 10 Prozent kann die Wirtschaftlichkeit in Sachen Verbrauch um bis zu 8 Prozent verbessern (Shea, 2012). Leider sind elektrische Antriebsstränge und Akkumulatoren erheblich schwerer als Antriebsstränge bei Verbrennungsmotoren. Um diesem höheren Gewicht entgegenzuwirken, setzen Hersteller verstärkt auf moderne, leichtere Materialien beim Fahrzeugaufbau. Durch Ersetzen herkömmlicher Materialien durch leichte Magnesium- und Aluminiumlegierungen oder Kohlenstofffaserteile lässt sich das Gewicht von Karosserie und Chassis um bis zu 50 Prozent reduzieren. Fahrzeughersteller müssen diese Materialien auf intelligente Weise einsetzen und gewährleisten können, dass das geringere Gewicht die Fahrzeugsicherheit nicht beeinträchtigt.

Die Reichweite hängt auch von der Größe und chemischen Zusammensetzung der Fahrzeugakkus ab. Viele der heute auf dem Markt erhältlichen Elektrofahrzeuge sind einfach Adaptionen bereits vorhandener Verbrennermodelle. Aufgrund des unterschiedlichen Aufbaus der Antriebsstränge von Elektrofahrzeugen und Verbrennern muss die Größe der Akkus an die vorhandene Architektur angepasst werden (Abbildung 2).



Abbildung 2: Native Plattformen für Elektrofahrzeuge bieten dank größerer Akkupacks mehr Flexibilität bei der Konfiguration und eine größere Reichweite.

Hersteller setzen vermehrt auf modulare native Plattformen für Elektrofahrzeuge, um den elektrischen Antriebsstrang besser verbauen zu können und die Produktion hoher Stückzahlen zu unterstützen. In solche nativen Plattformen können Akkupacks eingebaut werden, die bis zu 25 Prozent größer sind, eine höhere Reichweite bieten und flexible Antriebskonfigurationen unterstützen (Chatelain, Erriquez, Moulière & Schäfer, 2018). Auch Fortschritte bei den in Akkus verwendeten Chemikalien verbessern die Energiedichte dieser Akkus und erhöhen somit die Reichweite.

Die Fertigungs- und Anschaffungskosten werden sinken, wenn die Stückzahlen steigen. Um jedoch beim Verkaufspreis mit Verbrennungsmotoren gleichziehen zu können, müssen auch die Herstellungsmethoden für die Akkus weiter verbessert werden. Akkus sind der Hauptkostenfaktor bei Elektrofahrzeugen. Die Produktion der Akkuzellen ist dabei die primäre Herausforderung – diese macht 70 Prozent der Gesamtkosten eines Akkupacks aus. Die Verbesserung der chemischen Zusammensetzung von Akkus zur Erhöhung der Energiedichte ist zwar hilfreich, aber Akkuhersteller müssen weitere Möglichkeiten finden, um die Produktionskosten zu senken und wirklich kosteneffektive Fahrzeugakkus liefern zu können.

Nicht zuletzt werden die Beziehungen zwischen Herstellern und Zulieferern wichtiger und komplexer. Für die Automobilhersteller bedeutet dieser Übergang neue Herausforderungen bei der Verwaltung ihrer Lieferketten, z. B. im Hinblick auf Vorlaufzeiten, Qualitätssicherung und Verfolgbarkeit des Produktlebenszyklus über mehrere Organisationen hinweg. Für Zulieferer ergibt sich die Chance, zu wachsen und umfassendere Teilsysteme für den Fahrzeugbau liefern zu können. Wachstum birgt jedoch zusätzliche Risiken. Die Hersteller werden bei den Markteinführungszeiten aggressive Ziele für immer komplexere Systeme setzen. Darüber hinaus müssen die Zulieferer stabile Verfahren für Zusammenarbeit und Verfolgbarkeit sicherstellen, wenn sie mit Herstellern und anderen Zulieferern kooperieren.

# Der digitale Zwilling bringt Fertigungsprozesse für Elektrofahrzeuge auf die Überholspur

Mit digitalen Zwillingen des Produkts und der Produktion lassen sich die Herausforderungen bei der Herstellung von Elektrofahrzeugen lösen, da die Grenzen zwischen Entwurf und Fertigung verschwimmen und die physische und die digitale Welt miteinander verschmelzen. Diese digitalen Zwillinge erfassen Leistungsdaten der physischen Ressourcen aus Produkten und Fabriken im Betrieb. Daten aus intelligenten vernetzten Produkten, die sich bereits im praktischen Einsatz befinden, und Daten aus den Produktionsanlagen werden aggregiert, analysiert und in Form von umsetzbaren Informationen in die Produktentwicklung integriert.

Mit solchen digitalen Zwillingen, die umfangreiche Informationen bieten, können Hersteller Fertigungsprozesse für neue, leichtere Entwürfe und modulare Fahrzeugplattformen planen und implementieren. Gleichzeitig können sie die Kosten der Akkuproduktion reduzieren und die verzweigten Ökosysteme ihrer Zulieferer besser koordinieren. Dieser Ansatz ist für Automobilbauer keine Option, sondern ein Muss, wenn sie auch in Zukunft in ihrer dynamischen und schnelllebigen Branche bestehen wollen. Sehen wir uns einmal an, wie sich die verschiedenen Herausforderungen mit einem digitalen Zwilling bewältigen lassen.

## Leichte Entwürfe

Die Integration neuer Materialien in Fahrzeugarchitekturen ist ein Schlüsselaspekt bei den Strategien vieler Hersteller, um das Gewicht der Fahrzeuge zu reduzieren und gleichzeitig die Fahrzeugsicherheit zu gewährleisten. Diese neuen Materialien bringen jedoch neue Einschränkungen bei der Fertigung mit sich. Der vermehrte Einsatz von Aluminium- und Kohlenstofffasermaterialien bei Fahrzeugaufbauten führte beispielsweise zur Einführung neuer Füge-technologien. In den meisten Fahrzeugen wird eine Mischung aus herkömmlichen und neuen Materialien verbaut. Das bedeutet, dass neue Materialien mit konventionellen Produktkomponenten verbunden werden müssen.

Ein digitaler Zwilling des Produktionsprozesses ermöglicht es Ingenieuren, mehrere Methoden für das Fügen der Fahrzeugkomponenten auszuwerten – einschließlich verschiedener Technologien und Werkzeugausrichtungen –, um das präziseste und effizienteste Verfahren zu ermitteln. Laserschweißen beispielsweise erfordert ein hohes Maß an Genauigkeit, insbesondere bei komplexen Komponentengeometrien. Die größte Herausforderung hierbei besteht darin, eine glatte und durchgehende Schweißnaht zu erhalten, ohne die Naht in mehrere Segmente unterteilen zu müssen. Mithilfe eines

Tools für die digitale Fertigung wie z. B. dem Tecnomatix®-Portfolio zum Erstellen einer Simulation der Produktkomponenten und eines Tools für das Roboterschweißen kann ein Programmierer schnell eine Schweißnaht in der Produktgeometrie definieren. Hierbei werden Kollisionsrandbedingungen und Konfiguration des Roboters berücksichtigt, um eine einzelne Schweißnaht zu erzeugen.

Neue Materialien sind nicht der einzige Aspekt, der zu Veränderungen in Bezug auf die Konstruktion und Fertigung leichterer Fahrzeuge führt. Moderne Technologien wie Additive Manufacturing (AM) können auch zur Reduzierung des Fahrzeuggewichts beitragen, da sich mit ihnen ausgereifere Komponentengeometrien fertigen lassen. Dank AM können Ingenieure ihre Produktkonstruktionen ganz neu denken, um die Funktionalität zu erweitern, die Leistung zu verbessern und Materialnutzung und Gewicht zu reduzieren. Durch AM müssen weniger Werkzeuge, Gussteile und Formen hergestellt werden, und die Anzahl von Fertigungskomponenten sinkt. Damit werden Prozesse vereinfacht, und Unternehmen können ihre Fertigung praktisch neu erfinden.

Die Integration von Additive Manufacturing in die Fahrzeugproduktion bringt allerdings einige Herausforderungen mit sich. AM erfordert bestimmte Geräte und Methoden, die mit konventionellen Fertigungsprozessen und -werkzeugen interagieren müssen. Die Hersteller stehen also vor der Herausforderung, diese Integration zu erreichen und AM-Prozesse gleichzeitig so zu skalieren, dass die hohen Stückzahlen produziert werden können, die für die Automobilbranche typisch sind.

Ein umfassender digitaler Zwilling ermöglicht den Einsatz von Additive Manufacturing in der industriellen Produktion, indem Produktentwicklung, Fertigungskonstruktion und die tatsächliche Produktion vereinheitlicht werden. Dank der modernen Produktentwicklungs- und Simulationswerkzeuge können Ingenieure Teile für AM von Anfang an vorbereiten. Generative Konstruktion und Topologieoptimierung sorgen für eine optimale Komponentengeometrie in Bezug auf Gewicht, Materialverwendung und Stärke. Die Komponente kann dann mithilfe moderner Materialsimulationen geprüft und auf den Druckvorgang vorbereitet werden. Zur Vorbereitung gehören Druckausrichtung und Stützstrukturen sowie Schnitt-, Schraffur- und Drucksimulationen. Mit diesen Lösungen lassen sich sogar Nachbearbeitungen und Prüfungen mit der virtuellen Komponente durchführen, um Komponentenentwurf und Fertigungsprozess zu verifizieren.

Ein solches End-to-End-System kann verblüffende Ergebnisse hervorbringen. AM ist zu einem der wichtigsten Bestandteile des Fertigungsökosystems von Ford geworden. Laut Aussage von Ford hat eine der AM-Anwendungen das Potenzial, dem Unternehmen mehr als 2 Millionen US-Dollar einzusparen (Goehrke, 2018). Auch andere Automobilkonzerne investieren in AM. BMW startete vor Kurzem ein Projekt, mit dem AM-Prozesse enger in die Fahrzeugproduktion integriert werden sollen. Das Unternehmen rechnet damit, dass die neuen AM-Fertigungsstraßen manuelle Prozesse von 35 auf 5 Prozent reduzieren und die Kosten für Metallkomponenten halbieren werden (Jackson, 2019).

Ein anderes Beispiel: Die EDAG Group nutzt einen vollständig integrierten AM-Prozess, um Gewicht, Entwicklungszeit und Kosten für ihr skalierbares Akkugehäuse SCALEbat zu minimieren (Abbildung 3). AM wurde verwendet, um einen geometrisch komplexen Kühlmittelverteiler mit aktiver Ventilsteuerung zu fertigen. Diese Komponente regelt den Kühlmitteldurchfluss individuell in jedem der drei Kühlkreisläufe des Gehäuses. Dank der geometrischen Freiheit, die das AM-Verfahren bietet, konnte EDAG den Druckverlust um 22 Prozent reduzieren.

### Plattformen für Elektrofahrzeuge

Wenn Hersteller zu nativen Plattformen für Elektrofahrzeuge wechseln, müssen auch ihre Montageprozesse in eine eher modular angelegte Umgebung verlagert werden. Diese Strategie gilt für Elektroinitiativen bei etablierten Automobilherstellern ebenso wie bei Startup-Unternehmen im Elektrofahrzeugbau mit mittel- bis langfristiger Vision. Darüber hinaus stellen strategische Allianzen zwischen globalen Autobauern wichtige Möglichkeiten dar, um Zugang zu Auslandsmärkten zu erhalten, die Kosten der Plattformentwicklung zu verteilen und die Optimierung der Lieferkette durch Skaleneffekte zu beschleunigen. Ford und VW haben eine solche Allianz angekündigt, in deren Rahmen Ford 600.000 Einheiten der modularen Plattform für Elektrofahrzeuge von VW erwerben wird (Volkswagen, 2019).

Methoden, Prozesse und Werkzeuge für die Montage werden weiterentwickelt, um diese modularen Fertigungsszenarien zu unterstützen, die sich schnell an neue Marktbedingungen anpassen. Dies führt dazu, dass die Fertigungsplanung digitalisiert werden muss, um agiler und besser integriert zu funktionieren. Mithilfe eines digitalen Zwillings des Produkts können Ingenieure Fertigungsmethoden virtuell prüfen, mehrere Werkzeuge, Baugruppensequenzen und

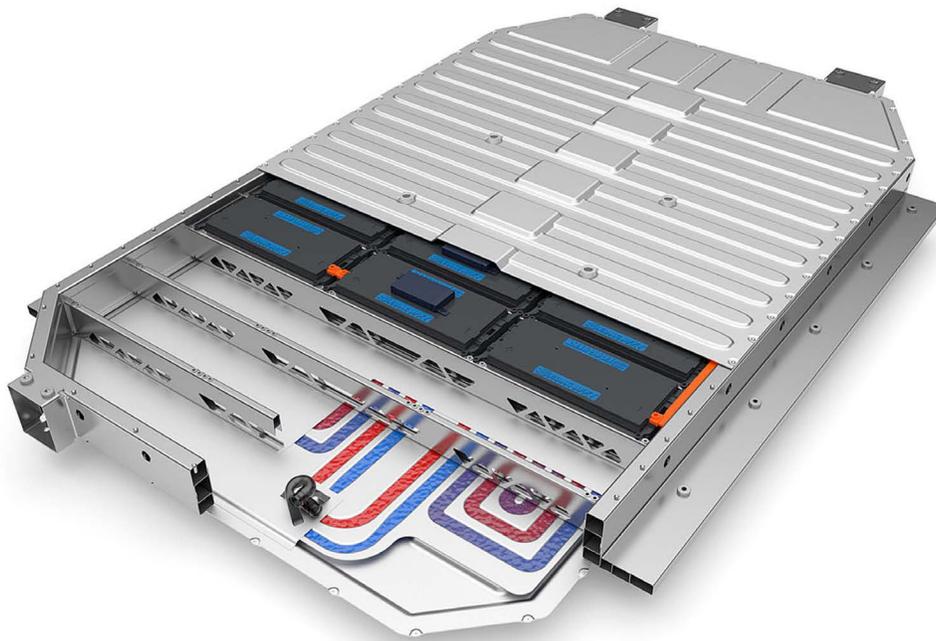


Abbildung 3: SCALEbat, das modulare Akkugehäuse der EDAG Group, bietet einen per Additive Manufacturing gefertigten Kühlmittelverteiler.

Produktionsstraßenkonfigurationen analysieren und gleichzeitig Probleme identifizieren und lösen (Abbildung 4).

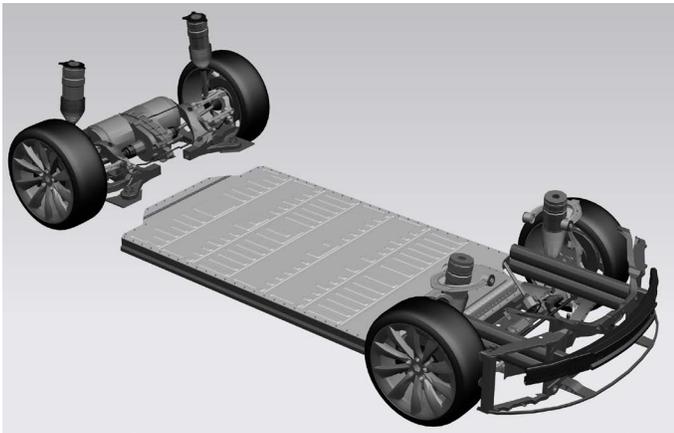


Abbildung 4: Ingenieure können die digitalen Zwillinge dieser Unterbaugruppen verwenden, um Fertigungsprozesse zu planen und zu prüfen.

Fahrzeuge bestehen aus mehreren Hundert Teilen, die montiert werden müssen. Ein Planungsteam definiert Montageprozesse, die die für die Montage jedes Produkts erforderlichen Werkzeuge und Ausrüstungsgegenstände sowie die Montagereihenfolge identifizieren. Fortschrittliche Prozessplanungslösungen helfen Planern dabei, Fahrzeugteile neuen Montageprozessen zuzuordnen, und können Teile identifizieren, die noch verarbeitet werden müssen. Darüber hinaus können diese Lösungen auf Bibliotheken mit Prozessen zugreifen, um bewährtes Prozesswissen wiederzuverwenden – z. B. Montagestandards, Zeitschätzungen, Qualitätsprüfungen und vieles mehr. So lassen sich in kürzerer Zeit hochwertige Montageprozesspläne entwerfen, und Teams können schnell auf Produkt- oder Produktionsänderungen reagieren.

Jeder geplante Montageprozess kann im Kontext der Randbedingungen der Fertigungsanlage verteilt werden, sodass die Planer die Baugruppensequenz definieren und prüfen können. Planer können Werkzeuge anhand der Produktanforderungen aus Werkzeugbibliotheken auswählen, was wiederum die Standardisierung unterstützt. Sie können auch Prüfungen der Werkzeugreichweite oder des Werkzeugzugangs oder die ergonomische Durchführbarkeit zuweisen, um den Prozess an Fertigungsstandards auszurichten.

Eine integrierte Umgebung für die Prozesssimulation ermöglicht es Fertigungsingenieuren, den digitalen Zwilling einer Baugruppensequenz zu laden, um statische und dynamische Prüfungen auf Werkzeugkollisionen oder andere Einschränkungen der Fertigungstauglichkeit durchzuführen. Die Ergebnisse der Simulation können erfasst und an eine Herstellbarkeitsprüfung angefügt werden, mit der dann eine PLM-Lösung (Product Lifecycle Management) aktualisiert werden kann. Die PLM-Lösung kann dann die Herstellbarkeitsprüfungen

verwenden, um ein Dashboard zu veröffentlichen, auf dem angezeigt wird, inwieweit die Prozesse die Fertigungsstandards auf Ebene der Station, der Straße oder der Fabrik erfüllen. So lässt sich der Reifegrad eines Prozesses bewerten. Bei der Entwicklung dieser Prozesse ist es von entscheidender Bedeutung für Hersteller, aus jeder Implementierung so viele Daten und so viel Wissen wie möglich zu erfassen, um das Anfahren der Produktion in anderen Werken zu unterstützen.

Die Vorteile der Digitalisierung gelten auch auf Ebene der Fabrik. Mit digitalen Werkzeugen für die Produktionsplanung und -simulation können Planer Konfigurationen von Produktionsstraßen und sogar ganze Fabriklayouts bewerten, um den Fertigungsbetrieb zu optimieren. Ingenieure erstellen ein virtuelles Modell der Fertigungseinrichtung, um fabrikspezifische Vorgänge zu definieren und zu optimieren. Zu Beginn können die Ingenieure direkt in der PLM-Lösung – z. B. in der Teamcenter® Manufacturing-Software – auf definierte Montageprozesse zugreifen und diese in den Fabrikgrundriss einfügen. Diese Montageprozesse bilden die Bausteine, auf deren Basis die Ingenieure eine Produktionsstraße oder ein Fabriklayout definieren.

Als Nächstes planen und bewerten die Ingenieure jede Produktionsstraße. In jeder dieser Straßen können verschiedene Fahrzeugmodelle und -varianten gefertigt werden. Die Ingenieure können Abweichungen im Arbeitsinhalt an jeder Arbeitsstation für jedes Modell und jede Variante untersuchen und bewerten. Darüber hinaus können die Ingenieure die Ausgewogenheit der Produktionsstraße analysieren, um sicherzustellen, dass Arbeitsstationen und Bediener weder über- noch unterfordert sind. Um Probleme zu beheben oder die Leistung zu verbessern, können Ingenieure die Zuweisung von Vorgängen zu Arbeitsstationen im Handumdrehen neu konfigurieren.

Nicht zuletzt können Ingenieure die virtuellen Modelle der Fabrik und der Produktionsstraße nutzen, um Fabriklogistik und Materiallieferungen zu planen und zu optimieren. Unter Berücksichtigung der Produktionsrate können Planer Standorte für Materiallieferungen identifizieren und Lieferrouten und -korridore prüfen. Fahrerlose Transportfahrzeuge können im Kontext des Fabriklayouts simuliert werden, um die ordnungsgemäße Funktionalität sicherzustellen. Ingenieure können sogar basierend auf den Simulationen virtuell eine Steuerungslogik für automatisierte Systeme in Betrieb nehmen. So können sie sicherstellen, dass die Lieferung von Materialien erfolgt, wann und wo diese benötigt werden, um Produktionsverzögerungen zu verhindern.

### Akkuproduktion

Die Senkung der Kosten für die Produktion der Akkus ist ein wesentlicher Schritt zum Erfolg von Elektrofahrzeugen. Mithilfe integrierter digitaler Lösungen können Akkuhersteller kosteneffektive Akkus produzieren, indem sie Entwurfsprozesse an die Fertigungsprozesse knüpfen und einen digitalen roten Faden etablieren, der sich durch den gesamten Workflow zieht.

Moderne Entwurfs- und Simulationslösungen ermöglichen es Ingenieuren, den Entwurf und die Leistung der Zellen bereits frühzeitig im Entwicklungszyklus zu optimieren. Die Zellengeometrie kann im Kontext der Akkumodule und des endgültigen Akkupacks definiert und optimiert werden. Danach können Akkuzellen, -module und -packs in einem virtuellen Produktionsprozess bewertet werden, und die Ingenieure können den Entwurf im Hinblick auf den Ein- und Ausbau optimieren. Damit entfallen mühsame und zeitaufwendige Montageaufgaben, die Engpässe in der Produktion darstellen können.

Die Fertigungsentwicklung für Akkupacks kann dem Karosseriebau sehr ähnlich sein. Strukturelle Konstruktion und Fügemethode (Befestigung, Laserschweißen, Bogenschweißen usw.) werden in der Produktentwicklung definiert. Sobald die Simulationen abgeschlossen sind, werden die Daten für Akkumodul, -zelle oder -pack sowie die relevanten Fertigungsfunktionen für die Fertigungsentwicklung freigegeben, damit dort die Produktionsstationen entworfen werden. Die Fertigungsingenieure können die echten Konstruktionsdaten für das Akkupack verwenden, um Produktionsstationen mit der geeigneten Mischung aus Automatisierung, Robotern und menschlichen Bedienern zu bauen. Entwurfsinformationen können auch als Produktionsanforderungen dienen. In den Fertigungsprozessen dürfen die Grenzwerte für Geschwindigkeit, Beschleunigung, Vibration Temperatur oder Luftfeuchtigkeit nicht überschritten werden, die für das Akkupack in einem funktionsfähigen Fahrzeug gelten.

Ein Beispiel: Sobald Akkumodule im Akkupackgehäuse befestigt sind, müssen Bediener die Module mit Kabeln miteinander verbinden. Beim Entwurf der Akkumodule und -verbindungen müssen Anthropometrie und Körperhaltung des Bedieners ebenso berücksichtigt werden wie der Abstand zu anderen Strukturen im Modul. In einer späteren Phase des Produktlebenszyklus müssen die Kabel möglicherweise getrennt werden, um die Akkus reparieren zu können. Daher müssen die Verbindungen trennbar sein.

Moderne CAD-Lösungen wie z. B. Tecnomatix Process Simulate bieten integrierte Fertigungsschnittstellen, über die Benutzer die angestrebte Anthropometrie und Körperhaltung für den Vorgang auswählen können (Abbildung 5). Die Ingenieure können dann untersuchen, ob die Verbindung für Bediener gut zu greifen ist, genügend Abstand zu anderen Strukturen im Akkumodul besteht und die relevanten Ergonomiestandards eingehalten werden.

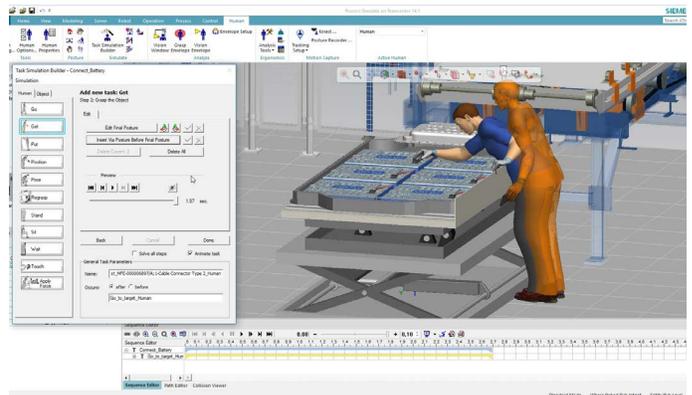


Abbildung 5: Ingenieure können die Bedienerergonomie virtuell prüfen, um gute Arbeitsbedingungen zu gewährleisten.

Diese Funktionen können auch genutzt werden, um die Ergonomie für die Bediener zu überprüfen und das Layout der Produktionsstraße zu verfeinern. Die Baugruppensequenz für den Akku kann definiert und bewertet werden, um optimale Zykluszeiten sicherzustellen. Solche Simulationen können auch Probleme aufdecken. Möglicherweise ist das Akkupack bei flachem Einbau zu groß für die definierte Baugruppe. Kleinere Bediener könnten Probleme haben, über das Pack zu greifen, während größere Bediener möglicherweise eine nicht optimale Haltung einnehmen müssen. Ingenieure können das Layout ändern, indem sie beispielsweise eine geneigte Workbench einbauen, sodass die Bediener problemlos an die Baugruppe herankommen. Zum Nachweis der Konformität kann auch ein entsprechender Ergonomiebericht generiert werden. Das Tool für die Prozesssimulation kann dann die neue Prozesszykluszeit prüfen und Arbeitsanweisungen aus Sicht des Bedieners generieren.

### Weiterentwicklung der Zulieferer

Mit umfassenden digitalen Zwillingen können Automobilhersteller und Zulieferer auch und gerade bei engen Lieferzeitplänen effektiv und effizient zusammenarbeiten. Ein solcher digitaler Zwilling vereinfacht die modellbasierte Definition und Konstruktion und kann so dabei helfen, Entwürfe für Fertigungsprozesse zu verbessern. Die Variationsanalyse von Baugruppen und die automatisierte featurebasierte CMM-Programmierung stellen die richtige Fertigungsqualität gleich beim ersten Durchgang sicher und ermöglichen die Ursachenanalyse bei Produktfehlern. Der digitale Zwilling kann verwendet werden, um Qualitätsinspektionen zu planen und diese mit Change-Management-Prozessen zu verknüpfen. Dank einer Ursachenanalyse, die Rückmeldungen in die Änderungsprozesse bei der Produktentwicklung liefert, können sowohl Hersteller als auch Zulieferer schneller die gewünschte Qualität erzielen.

Angesichts kurzer Vorlaufzeiten und der immer schnelleren Entwicklung von Montagethoden müssen Zulieferer sehr flexibel agieren, um variable Anforderungen zu erfüllen. Mit digitalen Zwillingen der Produktionsanlagen können diese Unternehmen vorhandene Ressourcen optimal nutzen und gleichzeitig schnell neue Produktionsstraßen oder Montageprozesse identifizieren und entwerfen (Abbildung 6). Wenn zusätzliche Produktionsstraßen oder neue Montageprozesse erforderlich sind, können Fertigungsingenieure die Software NX™ Line Designer verwenden, um diese im Kontext der aktuellen Fabrik zu entwerfen und dabei direkt Stellfläche und Layout einbeziehen. Digitale Zwillinge der Produktion erleichtern auch das Einbeziehen des Fabrikdesigns in die Produktentwicklung. All diese Möglichkeiten zusammen reduzieren späte Änderungen und tragen mit optimierten Prozessen zu einem schnelleren Produktionsstart bei. Auch der Produktionsdurchsatz wird dank der

frühzeitigen Integration von Produkt- und Produktionsentwicklung verbessert.

Während Produktionsstraßen und Anlagen entworfen und implementiert und in die Betriebsphase übergehen, werden automatisch detaillierte Informationen erfasst und zur gemeinsamen Nutzung durch mehrere Anlagen zur Verfügung gestellt. Diese Informationen beschleunigen das Anfahren der Produktion in neuen Anlagen und stellen Konsistenz in der gesamten Produktion eines Zulieferers bzw. der gesamten Lieferkette des Herstellers sicher. Arbeitsanweisungen, eine detaillierte Prozessdokumentation und sogar Livedashboards zu den Anlagen können verfügbar gemacht werden, um einen übergreifenden Wissens- und Informationsaustausch im gesamten Unternehmen zu ermöglichen.

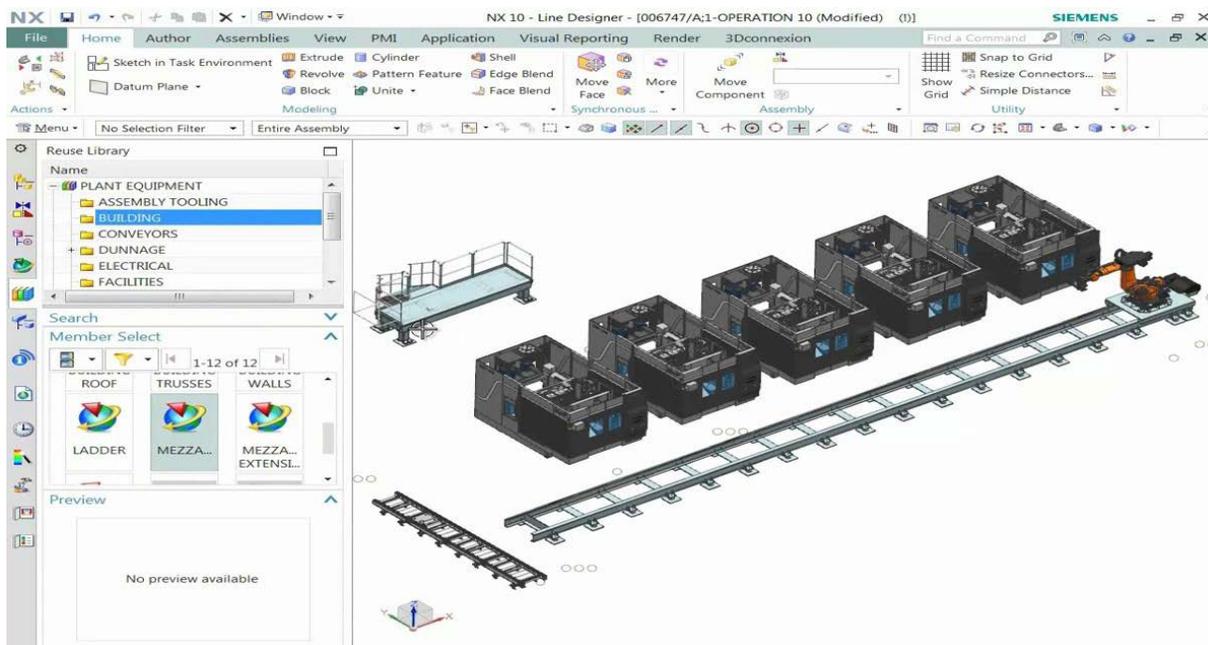


Abbildung 6: Digitale Produktionszwillinge helfen Herstellern und Zulieferern bei der schnellen Entwicklung neuer Produktionsfunktionen, um jede Anlage und jede Produktionsstraße optimal zu nutzen.

# Fazit

Die Fertigung von Elektrofahrzeugen stellt sowohl etablierte Automobilkonzerne als auch Startups, die den Markt der Elektromobilität erobern möchten, vor neue Herausforderungen. Diese Unternehmen müssen moderne Fertigungstechnologien wie z. B. Additive Manufacturing einsetzen und modulare Produktionsanlagen entwickeln, um die leichten und flexiblen Plattformen herzustellen, die für Elektrofahrzeuge der nächsten Generation benötigt werden. Die Reduzierung von Kosten und die Koordination im gesamten Hersteller-/Zuliefererökosystem sind ebenfalls entscheidend für die Erhöhung des Marktanteils von Elektrofahrzeugen.

Integrierte und digitalisierte Planungs- und Simulationslösungen in der Fertigung können diesen Unternehmen dabei helfen, sich anzupassen und diese Herausforderungen zu meistern, indem sie sowohl Entwurfs- und Fertigungsprozesse als auch die reale Welt und ihr digitales Pendant miteinander verzahnen. Mit solchen Lösungen können Fahrzeughersteller Planung und Start der Produktion beschleunigen, indem sie Produktionsprozesse mit Fokus auf Zykluszeit, Produktqualität und

Bedienerergonomie virtuell entwerfen und prüfen. Integrationen in Produktentwicklungslösungen ermöglichen es Ingenieuren auch, die Produktentwicklung im Hinblick auf die Fertigung zu optimieren und den digitalen Produktzwilling während der Planung und Simulation der Fertigung zu nutzen. Nicht zuletzt stellen zuverlässige PLM-Lösungen auch sicher, dass Hersteller und Zulieferer während des gesamten Produktlebenszyklus nahtlos digital miteinander in Verbindung stehen.

Verbraucher interessieren sich zunehmend für Elektromobilität, und gesetzliche Vorgaben sowie eine immer bessere Zugänglichkeit aufgrund rapide sinkender Kosten tun ihr Übriges. Angesichts eines immer schärfer werdenden Wettbewerbs werden Unternehmen, die von der Produktdefinition über die Fertigung bis hin zur Produktion digitale Prozesse einsetzen, in der Lage sein, höherwertige Produkte schneller auf den Markt zu bringen und agiler und besser informiert auf Änderungen zu reagieren. In Zukunft wird diese Fähigkeit für Unternehmen unabdingbar sein, um im Zeitalter der Elektromobilität Erfolg zu haben und zu wachsen.

## Referenzen

1. Chatelain, A., Erriquez, M., Moulière, P. Y. & Schäfer, P. (März 2018). What a teardown of the latest electric vehicles reveals about the future of mass-market EVs. McKinsey & Company. Abgerufen von <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/what-a-teardown-of-the-latest-electric-vehicles-reveals-about-the-future-of-mass-market-evs>
2. Goehrke, S. (5. Dezember 2018). Additive Manufacturing Is Driving The Future Of The Automotive Industry. Forbes. Abgerufen von <https://www.forbes.com/sites/sarahgoehrke/2018/12/05/additive-manufacturing-is-driving-the-future-of-the-automotive-industry/#48a416db75cc>
3. Jackson, B. (17. April 2019). BMW Group Kicks off Project for Serial Automotive Additive Manufacturing. 3D Printing Industry. Abgerufen von <https://3dprintingindustry.com/news/bmw-group-kicks-off-project-for-serial-automotive-additive-manufacturing-153665/>
4. Rauwald, C. (11. März 2019). VW Increases Electric Vehicle Target by 50%. Bloomberg. Abgerufen von <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-03-12/vw-s-audi-porsche-margins-sag-in-costly-shift-to-electric-era>
5. Shea, S. B. (4. Dezember 2012). 54.5 MPG and Beyond: Materials Lighten the Load for Fuel Economy. Department of Energy. Abgerufen von <https://www.energy.gov/articles/545-mpg-and-beyond-materials-lighten-load-fuel-economy>
6. Volkswagen (12. Juli 2019). „We want to establish MEB as an industry standard.“ Volkswagen Newsroom. Abgerufen von <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/stories/we-want-to-establish-meb-as-an-industry-standard-5187>

## Siemens Digital Industries Software

### Hauptsitz

Granite Park One  
5800 Granite Parkway  
Suite 600  
Plano, TX 75024  
USA  
+1 972 987 3000

### Nord-, Mittel- und Südamerika

Granite Park One  
5800 Granite Parkway  
Suite 600  
Plano, TX 75024  
USA  
+1 314 264 8499

### Europa

Stephenson House  
Sir William Siemens Square  
Frimley, Camberley  
Surrey, GU16 8QD  
+44 (0) 1276 413200

### Asien-Pazifik

Unit 901-902, 9/F  
Tower B, Manulife Financial Centre  
223-231 Wai Yip Street, Kwun Tong  
Kowloon, Hongkong  
+852 2230 3333

## Über Siemens Digital Industries Software

Siemens Digital Industries Software fördert die Transformation von Unternehmen auf ihrem Weg in Richtung „Digital Enterprise“, in dem Engineering, Fertigung und Elektronikdesign bereits heute den Anforderungen der Zukunft entsprechen. Unsere Lösungen unterstützen Unternehmen jeder Größe bei der Entwicklung digitaler Zwillinge, die ihnen neue Einblicke, Möglichkeiten und Automatisierungsgrade bieten, um Innovationen voranzutreiben. Weitere Informationen über die Produkte und Leistungen von Siemens Digital Industries Software finden Sie unter [siemens.com/software](https://www.siemens.com/software) oder folgen Sie uns über [LinkedIn](#), [Twitter](#), [Facebook](#) und [Instagram](#). Siemens Digital Industries Software – Where today meets tomorrow.

## [siemens.com/software](https://www.siemens.com/software)

© 2019 Siemens. Eine Liste wichtiger Marken von Siemens findet sich [hier](#). Alle anderen Marken sind Eigentum der jeweiligen Inhaber.

78844-82110-C8-DE 6/20 LOC