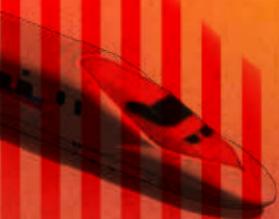


#79

SPECTRUM



Effiziente
Innenraumklima-
tisierung s. 06

FEVs globale
Fahrzeugattribut-
entwicklung s. 22

Der Übergang
vom ICE zum
PHEV s. 28

Systems
Engineering
by FEV s. 46



Liebe Leserinnen und Leser,

in dieser Ausgabe des SPECTRUM legen wir einen Fokus auf die vielfältigen Leistungen von FEV vehicle, unserer starken Marke im Bereich der Gesamtfahrzeug- und Komponentenentwicklung.

Sie erhalten auf den folgenden Seiten interessante Arbeitseinblicke in zukünftige Innenraumklimatisierungen und in ein Interieurkonzept, das autonome Fahrfunktionen berücksichtigt. Außerdem betrachten wir die Entwicklung von Fahrzeugattributen – einem entscheidenden Faktor für den Markterfolg und die Kundenakzeptanz im globalen Wettbewerb. Dazu gehören Bereiche wie Fahrzeugdynamik, Aerodynamik oder NVH, die alle in dieser SPECTRUM-Ausgabe behandelt werden.

Im Bereich der Off-Highway-Fahrzeuge, wie beispielsweise Bau- und Landmaschinen, wird erwartet, dass CO₂-Emissionsgrenzen ab etwa 2030 eingeführt werden. Dies erhöht den Druck zur weiteren Schadstoffreduzierung. Was es hierbei zu beachten gibt und wie FEV Unternehmen bei diesen Herausforderungen unterstützen kann, erfahren Sie in dem Kapitel „Elektrifizierung abseits der Straße“ ab Seite 36. In einem weiteren Artikel erläutern wir Methoden zur Kapazitäts- und Effizienzsteigerung bei gleichzeitiger Kostensenkung in der Eisenbahnindustrie, die auf FEVs Erfahrung von mehr als 30 Jahren in diesem Bereich basieren.

Zudem stellen wir Ihnen unseren Ansatz vor, Ingenieuraktivitäten innerhalb der Organisation mit Hilfe von künstlicher Intelligenz effizient auszurichten und eine einheitlich Struktur sicherzustellen. Dies ermöglicht die Bewältigung komplexer Engineering-Aufgaben, schafft Zeit- und Kostenvorteile und lässt uns für unsere Kunden beispiellose Effizienz-, Genauigkeits- und Innovationsniveaus erreichen.

Darüber hinaus zeigen wir, wie mit FEV erfolgreich die Herausforderungen einer Markteinführung bei sich global ständig verändernden Vorschriften auf kosteneffiziente Weise gemeistert werden können.

Außerdem haben wir den Umfang unserer Benchmarking-Dienstleistungen weltweit ausgeweitet und präsentieren unsere Aktivitäten, bei denen wir detaillierte Design-, Kosten- und Materialanalysen mit Fahrzeugleistungs- und Materialtests in einer Weise kombinieren, wie es nur FEV kann.

Mit diesen und vielen weiteren Themen wünsche ich Ihnen eine spannende Lektüre.

Dr. Patrick Hupperich
Vorsitzender der Geschäftsführung
FEV Group

Z

O



F

Z

U

F



- #1 Mehr Komfort bei höherer Reichweite – effiziente **Innenraumklimatisierung** in batterieelektrischen Fahrzeugen **s. 06**
- #2 Zukunftsfähige Innenraumlösungen **s. 12**
- #3 Kosteneffiziente **Fahrzeug-Homologation** **s. 18**
- #4 Kundenerwartung übertreffen – FEVs globale **Fahrzeugattributentwicklung** **s. 22**
- #5 Vom ICE zum PHEV: wie der Übergang gemeistert wird **s. 28**
- #6 **Elektrifizierung** abseits der Straße **s. 36**
- #7 FEVs Entwicklungskompetenz für die **Eisenbahnindustrie** **s. 42**
- #8 Frischer Wind bei der Fahrzeugentwicklung – **Systems Engineering** by FEV **s. 46**
- #9 FEV weitet **Benchmarking Angebot** aus **s. 54**
- #10 Signature Solutions **s. 56**

Die Kabinenklimatisierung modernerer batterieelektrisch angetriebener Fahrzeuge (BEV) nimmt eine besonders wichtige Rolle bei der Entwicklung des Thermomanagements ein. Dies liegt neben den Kundenerwartungen an den Innenraumkomfort in erster Linie an dem erheblichen Einfluss auf die Fahrzeugreichweite. Die Herausforderung bei der Gestaltung der Kabinenkonditionierung liegt demnach bei der Auflösung des Zielkonfliktes zwischen elektrischem Energiebedarf und thermischem Komfort.

Für die Weiterentwicklung von Methoden für die Kabinenkonditionierung hat FEV im Rahmen eines internen Forschungsprojektes ein Demonstratorfahrzeug und eine Klimamesspuppe zur objektiven Beurteilung des thermischen Komforts im Innenraum entwickelt. Ziel des Vorhabens ist es, die Leistungsfähigkeit einzelner Klimatisierungsmaßnahmen isoliert bewerten zu können und Betriebsstrategien zu erarbeiten, welche eine gleichzeitige Nutzung der Maßnahmen effizient ermöglichen. Nachfolgend werden der Aufbau des Demonstratorfahrzeugs und die Konzeptionierung der Klimamesspuppe vorgestellt.

#1 Mehr Komfort bei höherer Reichweite – effiziente **Innenraumklimatisierung** in batterieelektrischen Fahrzeugen

Aufbau des Demonstratorfahrzeugs

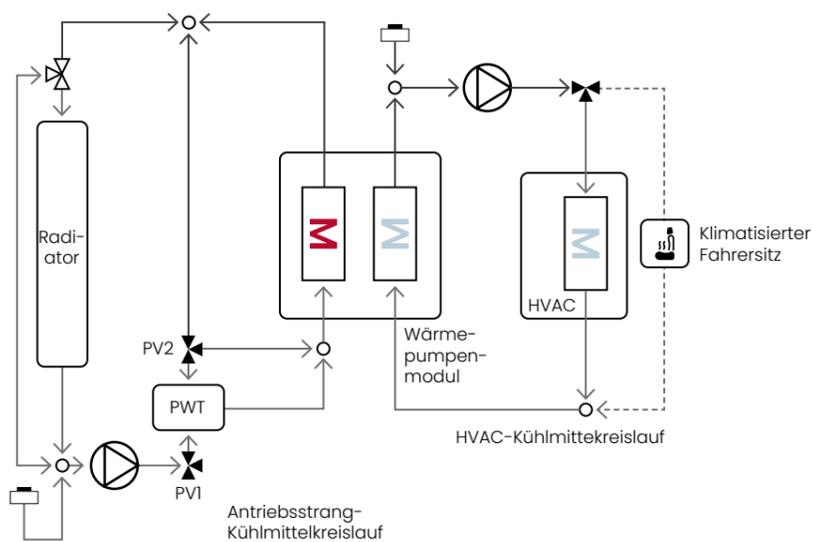
Als Basis für das Demonstratorfahrzeug wurde ein Kleinwagen des A-Segments ausgewählt. Das Hauptziel des Demonstrators war es, die Wirkung verschiedener Klimatisierungskonzepte auf den thermischen Komfort und die Energieeffizienz unter realen Bedingungen zu untersuchen. Das Fahrzeug wurde mit einer Wärmepumpe zur Luftkonditionierung, Strahlungsflächen im Bereich der vorderen Sitzreihe, einer Lenkradheizung, einem belüfteten Beifahrersitz sowie einem mit Kühlmittel durchströmten Fahrersitz ausgestattet.



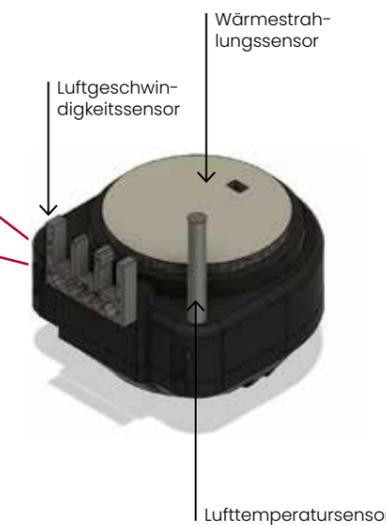
»Körpernahe Klimatisierungsmaßnahmen sind eine Möglichkeit, den Komfort im Innenraum energieeffizient zu verbessern.«

In einem ersten Schritt wurde ein Wärmepumpenmodul in den Motorraum des Fahrzeugs integriert, welches mit dem Kältemittel R1234yf und einer 400-Volt-Hochspannungsversorgung betrieben wird. Die verschiedenen Verschaltungsmöglichkeiten des Moduls ermöglichen das aktive Kühlen und Heizen des Innenraums. Über das HVAC-System (Heating, Ventilation and Air Conditioning – Heizung, Lüftung und Klimatechnik) können hierfür entweder die Umgebungsluft (Frischluftbetrieb) oder die aus der Kabine angesaugte Luft (Umluftbetrieb) verwendet werden. Abbildung 1 zeigt schematisch die Integration des Kühlkreislaufes in das Fahrzeug. Der linke Teil beinhaltet den Antriebsstrangkreislauf mit Radiator, Komponenten des Antriebsstranges (PWT) und dem Wärmeübertrager des Wärmepumpenmoduls. Über die beiden Proportionalventile (PV1 und PV2) kann der Kühlmittelstrom bedarfsgerecht auf die jeweiligen Kreisläufe verteilt werden. Somit kann für den Wärmepumpenbetrieb sowohl die Abwärme der Antriebsstrangkomponenten als auch die Umgebungsluft verwendet werden. Hierdurch kann potenziell die Effizienz des Systems zusätzlich gesteigert werden. Die rechte Seite der Abbildung zeigt den Teil des Kühlmittelkreislaufes, welcher mit dem Wärmeübertrager im HVAC verbunden ist. Das enthaltene Proportionalventil (PV3) kann optional dazu verwendet werden, die fluidische Sitzkonditionierung im Fahrersitz zu aktivieren.

Über die Verwendung einer Wärmepumpe hinaus sind körpernahe Klimatisierungsmaßnahmen eine Möglichkeit, den Komfort im Innenraum energieeffizient zu verbessern. Hierzu wurden der Fahrer- und Beifahrersitz mit jeweils unterschiedlichem System ausgerüstet. Wie zuvor angedeutet, wurde der Fahrersitz mit einer fluidischen Sitzkonditionierungseinheit ausgestattet. Hierfür wurden Kapillarrohmatten in die Rückenlehne und die Sitzfläche des Fahrersitzes integriert und anschließend mit dem Thermalsystem des Fahrzeuges verbunden. Dies ermöglicht eine Klimatisierung des Fahrers unabhängig von der Lufttemperatur im Innenraum. Für den Beifah-



1 Thermalsystem des Demonstratorfahrzeugs (schematische Darstellung).



2 FEV Messpuppe zur Bestimmung der lokalen Äquivalenttemperatur (links) und Detailansicht der Messpunkte (rechts).

ressitz wurde eine aktive Sitzbelüftung verwendet. Der dafür benötigte Luftstrom wird von einem kompakten Modul, welches unter der Sitzfläche integriert werden kann, bereitgestellt. Integrierte Peltier-Elemente gewährleisten, dass die Luft für die Sitzkonditionierung bedarfsgerecht geheizt oder gekühlt werden kann. Der Aufbau und die Konfiguration der Sitzkonditioniereinheit wurden in Voruntersuchungen festgelegt. Es können Heizleistungen von ca. 100 W und Kühlleistungen von ca. 30 W erreicht werden. Die Effizienz des Systems konnte mit einem maximalen COP (Coefficient of Performance, Leistungskoeffizient) über 3 bestimmt werden. Er gibt Aufschluss über die Kühl-/Heizleistung durch Peltier-Konditionierung im Verhältnis zur eingesetzten elektrischen Energie. Der COP herkömmlicher elektrischer Sitzkonditionierungseinheiten zum Heizen ist dabei ineffizienter und liegt lediglich unter 1. Die

ausgewählten Systeme sollen zukünftig mit dem Demonstrator weiter optimiert und verglichen werden. Beide Varianten sind im Vergleich zu einer konventionellen Sitzheizung in der Lage den Sitz zu kühlen, was einen wesentlichen Vorteil darstellt.

Als weitere Maßnahme für die Kabinenklimatisierung wurden Strahlungsheizflächen im Bereich des Fahrers und Beifahrers integriert. Diese haben durch die emittierte Infrarotstrahlung einen direkten und von der Lufttemperatur unabhängigen Einfluss auf die Wahrnehmung der thermischen Umgebung durch die Insassen. Bei der Verwendung von Strahlungsheizflächen kann die Lufttemperatur abgesenkt werden, ohne den thermischen Komfort zu verringern. Hierdurch kann im Betrieb zusätzlich Energie eingespart werden. Ein weiterer Vorteil der Maßnahme ist,

dass diese deutlich schneller einen Effekt aufweisen als eine alleinige Konditionierung der Luft. Im Demonstratorfahrzeug wurden Strahlungsheizflächen mit einer Gesamtleistung über 500 W installiert. Diese werden direkt über das 12-V-Bordnetz mit Strom versorgt. Die von FEV entwickelte Regeleinheit erlaubt es, die Ansteuerung der Elemente in 16 verschiedene Zonen zu unterteilen, um die optimale Kalibrierung für den thermischen Komfort zu ermitteln.

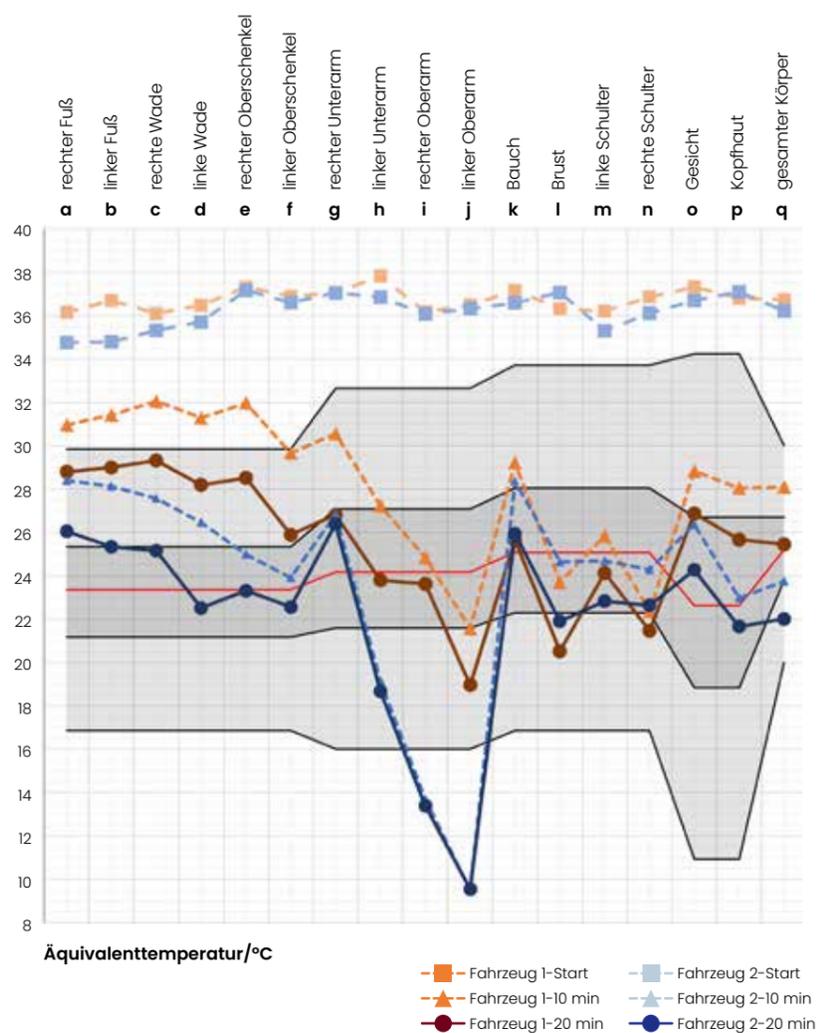
Eine weitere Maßnahme ist die Verwendung einer regelbaren Lenkradheizung. Diese wird ebenfalls über das 12-V-Bordnetz betrieben und verfügt über eine Maximalleistung von 25 W. Durch die Regelbarkeit der Oberflächentemperatur kann die Ansteuerung effizient in der Betriebsstrategie berücksichtigt werden.

Thermische Messpuppe zur Bewertung von Kabinenmaßnahmen

Die Vielzahl von Kabinenklimateilmaßnahmen wirken sich unterschiedlich auf die Wahrnehmung der thermischen Umgebung durch die Insassen aus. Es reicht nicht mehr aus, lediglich die Lufttemperatur im Innenraum zu messen. Um derart komplexe objektive Bewertungen des thermischen Komforts in Innenräumen vorzunehmen, existieren verschiedene Varianten von Messpuppen auf dem Markt. Die verfügbaren Messpuppen sind allerdings teilweise nicht für den Einsatz

in Fahrzeugkabinen geeignet oder die Komplexität und die damit einhergehenden Kosten verhindern den Einsatz jener Messeinrichtungen. Aus diesem Grund hat FEV das Ziel verfolgt, eine thermische Messpuppe zu konzipieren und aufzubauen, die speziell für den Einsatz in Fahrzeugkabinen ausgelegt ist.

Hierfür war es zwingend notwendig eine Methode zu identifizieren, welche eine objektive Bewertung des Innenraumkomforts ermöglicht. Unter einer Vielzahl von Berechnungsmodellen wurde für diesen Zweck die lokale Äquivalenttemperatur nach DIN EN ISO 14505-2 ausgewählt. Diese Methode fasst die Wirkung der Konvektion und der Wärmestrahlung auf den menschlichen Körper in einer theoretischen Ersatztemperatur zusammen. Um die Äquivalenttemperatur messtechnisch erfassen zu können, wurde eine Messpuppe mit insgesamt 25 Messpunkten für verschiedene Körperregionen ausgestattet (Seite 9, Abbildung 2). Die 3D-gedrucketen Gehäuse der einzelnen Module beinhalten jeweils einen Sensor für die Bestimmung der Lufttemperatur, der Wärmestrahlung und der



3

Vergleich der Fahrzeugabkühlung für zwei C-Segment-Fahrzeuge bei einer Umgebungstemperatur von 35 °C für verschiedene Zeitpunkte.

Luftgeschwindigkeit. Der grundsätzliche Aufbau der Messpunkte ist ebenfalls in Abbildung 2 dargestellt. Zusätzlich zu den 25 lokal verteilten Messpunkten werden die Luftfeuchte und die CO₂-Konzentration in der Kabine zentral ermittelt. Vervollständigt wurde die Messeinrichtung durch eine von FEV ausgelegte Auswerteelektronik, die direkt mit einem Rechner verbunden werden kann.

In einer eigens für diesen Zweck erstellten Auswertesoftware können sowohl die einzelnen Sensoren kalibriert und die Messwerte ausgewertet werden. Die direkte Umrechnung der aufgezeichneten Größen in die Äquivalenttemperatur erlaubt eine erste Einschätzung des thermischen Komforts schon während der Messung. Eine automatische Aufbereitung der Messdaten gestattet darüber hinaus die Erstellung der in der DIN EN ISO14505-2 vorgestellten Diagramme zur Bewertung der Äquivalenttemperatur für verschiedene Szenarien. Beispielhaft ist in Abbildung 3 eine Auswertung zweier Fahrzeuge für die Abkühlung der Innenraumtemperatur zum Start der Messung, nach 10 min und nach 20 min für eine Umgebungstemperatur von 35 °C dargestellt.

Durch diese Messungen wird bereits deutlich, dass Unterschiede im lokalen Komfort im Innenraum identifiziert und analysiert werden können. Der hier aufgeführte Vergleich offenbart beispielsweise, dass Fahrzeug 2 den Bereich der Oberarme zu stark abkühlt. Hierdurch kommt es zu einem lokalen Unbehagen, welcher sich negativ

auf die Wahrnehmung des gesamten thermischen Komforts niederschlägt. Die Ergebnisse der Messpuppe konnten durch den subjektiven Eindruck des Projektteams bestätigt werden und sind auf einen lokalen Zugeffekt zurückzuführen. Dieser kann durch eine Anpassung der Lüfterstrategie oder die Anpassung der Ausströmer vermieden werden. Insgesamt ermöglicht die aufgebaute Messpuppe eine objektive Bewertung der Innenraumklimatisierung moderner batterieelektrischer Fahrzeuge.

Fazit

Dieser Artikel hat Einblicke in einige der Aktivitäten von FEV zur Verbesserung des Entwicklungsprozesses für zukünftige Kabinenklimateilmaßnahmen und deren Betriebsstrategien gewährt. Im Mittelpunkt der Ausführungen steht ein internes Forschungsprojekt, in dem ein Demonstratorfahrzeug für die Untersuchung einzelner Klimateilmaßnahmen aufgebaut wurde. Darüber hinaus wurde eine Messpuppe vorgestellt, welche die objektive Bewertung des Innenraumkomforts durch die lokale Äquivalenttemperatur ermöglicht. Diese soll innerhalb des Forschungsprojektes zunächst dazu verwendet werden die ausgewählten Maßnahmen im Demonstrator hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und Energieeffizienz zu bewerten. In einer zukünftigen Iteration sollen zusätzlich dazu Betriebsstrategien entwickelt werden, welche flexibel auf unterschiedliche Klimateilmaßnahmen angepasst werden können. Hierzu sollen vorwiegend prädiktive Regelungsansätze und datengetriebene Methoden verwendet werden. Darüber hinaus ist ein Einsatz der Messpuppe zur Gewinnung von Messdaten und zum Aufbau einer Kabinenklimateilmaßnahmen-Datenbank vorgesehen.

VON

Patrick Schutzeich
schutzeich@fev.com
David Hemkemeyer
hemkemeyer_d@fev.com
Simon Schilling
schilling@fev.com
Daniel Linse
ext_linse@fev.com

»Mit dem Aufkommen des autonomen Fahrens der Stufen 3, 4 und 5 geht eine umfassende Neubewertung und Neugestaltung des Fahrzeuginterieurs einher.«

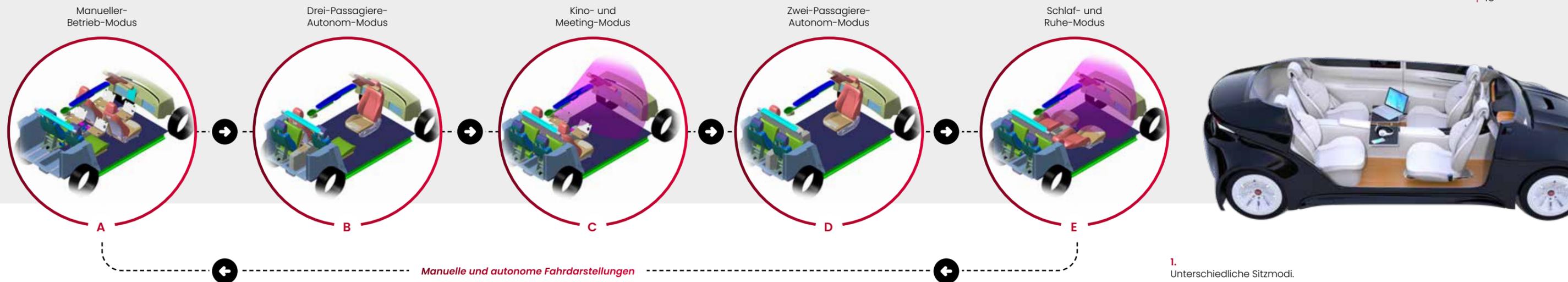


In einer sich ständig weiterentwickelnden Automobilindustrie hat sich in den letzten zehn Jahren ein rascher Paradigmenwechsel hin zu elektrischen und autonomen Fahrzeugen vollzogen. Dieser Übergang erfordert nicht nur eine Änderung des Antriebsstrangs, sondern auch eine nachhaltige Neugestaltung des Fahrzeuginnenraums. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, ist es unerlässlich, zukünftige Erwartungen der technikaffinen neuen Nutzergeneration zu erörtern, um ein neues Fahrzeugdesignkonzept zu entwickeln, das autonome Fahrfunktionen nahtlos integriert. In diesem Artikel wird der Zusammenhang besagter Faktoren untersucht. Dafür wird die Beziehung zwischen automobiler Innovation und den sich entwickelnden Bestrebungen der neuen Nutzergeneration betrachtet.

Die Zielgruppe sind Kunden, die eine technologieaffine Generation verkörpern. Diese beeinflusst die sich ständig weiterentwickelnde digitale Umgebung und wird gleichzeitig maßgeblich von ihr beeinflusst. Das gegenwärtige Fahrzeuginterieur ist in erster Linie für Fahrzeugmodelle der autonomen Stufen 1 und 2 konzipiert. Das Aufkommen des autonomen Fahrens der Stufen 3, 4 und 5 erfordert jedoch eine umfassende Neubewertung und Neugestaltung dieser Innenräume. Durch die Konzentration auf die komplexen Designfragen, welche die Fahrzeuge von morgen prägen werden, zielt dieser Artikel darauf ab, das Zusammenspiel zwischen den Präferenzen der Nutzer und den transformativen Anforderungen zu untersuchen, die durch den Übergang zu einem höheren Maß an Fahrzeugautonomie entstehen. Auf der Grundlage der Ergebnisse soll so letztlich ein kostengünstiges Fahrzeuginnenraumdesign im C-Segment bereitgestellt werden können.

Im Folgenden wird die dynamische Schnittmenge von Innenräumen autonomer Fahrzeuge und die unterschiedlichen Präferenzen der Nutzer untersucht. Diese basiert auf den umfangreichen Umfrageergebnissen der Studie „Interieur der Zukunft – Insassenanforderungen beim automatisierten Fahren“.

#2 Zukunftsfähige Innenraum- lösungen



Definition der Anforderungen der Insassen

In der zitierten Studie wurden die Anforderungen der Insassen an Package und Design anhand einer Befragung von 7.510 Personen aus 25 Ländern im Jahre 2022 identifiziert. Die Idee sicherer und innovativer Lösungen wurde dabei unter Berücksichtigung der Bedenken und Ängste der Umfrageteilnehmer untersucht.

Die hieraus resultierenden Anforderungen wurden anschließend in Übereinstimmung mit den Spezifikationen der regulatorischen Richtlinien der Society of Automotive Engineers (SAE) in Rahmenbedingungen für das Design umgesetzt. Der Prozess soll sicherstellen, dass die Bedürfnisse der Fahrgäste und die für sie geltenden Vorschriften vollständig in den Gestaltungsrahmen integriert werden.

Design-Studie

Die Studie ist für ein autonomes Fahrzeug des C-Segments ausgelegt. Es wurde zunächst in 2D und anschließend in 3D in der CATIA V5 Software unter Berücksichtigung der folgenden SAE-Regulationsregeln konstruiert. Die Maße im Design wurden nach der 95-Prozent-Mann-Puppe festgelegt. Das Buch „H-Point: The Fundamentals of Car Design & Packaging“ wurde verwendet, um den H-Punkt in der Fahrzeugauslegung zu bestimmen. Der H-Punkt definiert dabei die theoretische, relative Position der Hüfte eines Insassen. Die in der Regelung enthaltenen Abmessungen, die nicht in diesem Buch enthalten sind, wurden unter Bezugnahme auf vergleichbare Fahrzeuge ermittelt.

Parameter der SAE-Regulierung	I-Projekt	Musterfahrzeug
Breite (mm)	1.811	1.799
Höhe (mm)	1.550	1.552
Radstand (mm)	2.750	2.765
Bodenfreiheit (mm)	140,5	150

Tabelle
Vergleich der SAE-Regelungsparameter:
I-Projekt-Musterfahrzeug.

Schritte der 2D-Konstruktion

a: Der zweidimensionale Designprozess begann mit der Identifizierung des H-Punktes. Die Abmessungen des Radstands und der Höhe des Fahrzeugs wurden als Maßstab für ähnliche Fahrzeuge genommen.

b: Um den korrekten Winkel für die Positionierung des Fußes der Puppe zu ermitteln, wurde der Winkel der Fußebene gemäß der in SAE J4004 dargelegten Methodik berechnet.

c: Die Position der 95 Prozent-SAE-Puppe wurde gemäß den in Normen und Artikeln festgelegten Referenzwinkelwerten definiert.

d: Der Kontaktpunkt zwischen dem Fuß der Puppe und dem Gaspedal des Fahrzeugs wurde als AHP (Acceleration Heel Point) bestimmt, nachdem die Puppe positioniert wurde.

e: Der L6-Wert wurde nach der Formel in SAE J4004 berechnet. Der H17-Wert wurde unter Verwendung der Benchmark-Fahrzeuge in ähnlichen Positionen so ermittelt, dass er innerhalb des SAE-Grenzbereichs liegt.

f: Die Position der Augenellipse wurde aus SAE J941-Formeln entnommen. Aus diesen Formeln wurden der Augenmittelpunkt und die Augenlippe bestimmt.

g: Der H-Punkt des Fondpassagiers wurde unter Bezugnahme auf ähnliche Fahrzeuge unter Berücksichtigung ergonomischer Bedingungen bestimmt. Die Standard-Paarabmessungen für den Fußabstand wurden bevorzugt.

h: Es wurde berechnet, wie die Säulen das Sichtfeld des Fahrers blockieren.

i: Es wurden die Oberflächengrenzen der Handreichweite berechnet, um das Design der Frontkonsole und die Position des Tablet-Computers zu bestimmen.

j: Die Kopfkonturposition wurde bestimmt und das Konturvolumen errechnet.

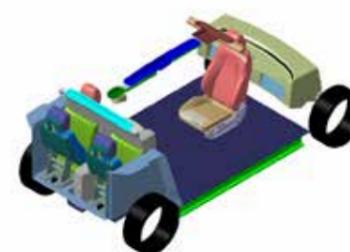
Ergebnisse

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Designstudie, den Kundenerwartungen und Vorschriften, wurden 2D-Konzepte erfolgreich in 3D-Modelle umgesetzt. Dank der Entwürfe wurde die Volumeneffizienz des Fahrzeugs erreicht und die Elektrifizierungsmöglichkeiten wurden effektiver genutzt. Die wichtigsten Ergebnisse der einzelnen Konstruktionskomponenten sind wie folgt.

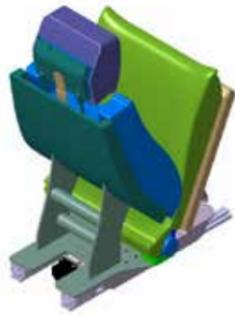
Drehbarer funktionaler Vordersitz

Basierend auf den Umfrageergebnissen wurde der drehbare Vordersitz so konzipiert, dass er den freien Raum für die Passagiere aufwertet. So können die Fahrgäste während der Fahrt in verschiedenen Sitzkombinationen essen, miteinander sprechen, Videos ansehen und Besprechungen organisieren.

2.
Drehbare funktionale Vordersitze.



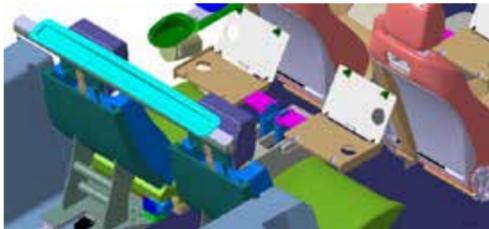
3.
Klappbarer
Rücksitz.



Umklappbare, elektrisch unterstützte Rücksitze

Zudem wurde ein Mechanismus entwickelt, durch den die Rücksitze in den Kofferraum umgeklappt und die Vordersitze durch den somit gewonnenen Platz in die Schlafposition gebracht werden können. Diese effiziente Ausnutzung des Innenraums des Fahrzeugs ermöglicht es den vorderen zwei Passagieren gleichzeitig unter autonomen Fahrbedingungen schlafen oder ruhen zu können.

4.
Position der Tablet-Halterung
der Mittelkonsole.

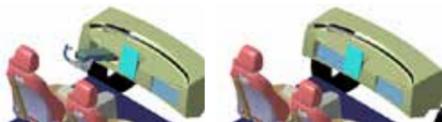


Bewegliche funktionale Mittelkonsole

Die neu gestaltete Mittelkonsole bietet zwei getrennt Teile, welche durch Verschieben sowohl auf den Vorder- als auch auf den Rücksitzen verwendet werden können. Darüber hinaus ermöglicht die bewegliche Struktur ein optimales Raummanagement für Sitz- und Schlafgelegenheiten. So können die vorderen Sitzpositionen etwa getauscht werden.

Neben der traditionellen Funktion als Armlehne sind zusätzlich klappbare Tische für jeden Sitzplatz vorgehalten. Diese haben integrierte Getränkehalter und jeweils einen Halter für 10-Zoll Tablets. Somit können auf jedem Sitzplatz individuelle Unterhaltungsmedien bereitgestellt werden ohne teure Monitore in das Fahrzeug zu integrieren.

5.
Teleskoplenkung Modus ein/Modus aus.



Teleskoplenkung

In Hinblick auf das autonome Fahren kann das Lenksystem durch einen Teleskopmechanismus vollständig in der Instrumententafel verstaut werden. Das schafft Platz für die flexiblen Sitzkonfigurationen.

6.
Mehrzweckvorhang, der die
persönlichen Bereiche abtrennt.



Mehrzweck-Rollos

In das Design wurden unterschiedliche Rollosysteme integriert. Eines vor der Windschutzscheibe, welches eine Projektionsfläche bildet für Filme, Präsentationen oder Online-Meetings. Die Inhalte werden mittels Projektors im Heck auf die Fläche projiziert. Zwei weitere Rollos bilden eine Abtrennung zwischen den Sitzen für individuellen Freiraum im Fahrzeug. Ein viertes Rollo im Heck dient als Verdeck für die im Kofferraum verstauten Rücksitze.

Fazit

Die dargestellten Konzepte zeigen Möglichkeiten zukünftiger flexibler Interieur-Gestaltung im C-Segment auf, welche für den Massenmarkt erschwinglich ausgelegt werden können. Die Kundenwünsche nach individuellen Unterhaltungsmöglichkeiten und flexiblen Sitzkonfigurationen wurden reflektiert. Alle Konfigurationen können je nach Sitzbelegung während der Fahrt eingestellt werden, was heute in den meisten Konzeptträgern nicht möglich ist, viele Einstellungen können hier nur im Stand vorgenommen werden. Mit der Integration der Konzepte im C-Segment ist der Volumenmarkt abgebildet.

Es wurde bewusst die Flexibilität in einem Sedan/Hatchback dargestellt, da dies den geringsten Bauraum repräsentiert und somit auch andere Fahrzeuge wie SUVs oder Vans unkompliziert adaptierbar sind. Die Umfrageergebnisse aus der genannten Studie zeigen deutlich, dass auch zukünftig die klassischen Sedan/Hatchback Fahrzeuge den europäischen Fahrzeugmarkt dominieren werden. Jedoch lassen sich Adaptionen bequem auf andere Märkte übertragen.

Im autonomen Fahrzeug wird der Fahrer zunehmend zum Passagier, welcher vergleichbare Ansprüche wie heutige Mitfahrer haben wird. Auch dem zunehmenden Trend zum Carsharing wird in dem Konzeptfahrzeug Rechnung getragen: Trennwände und die Verwendung von Tablets anstelle von eingebauten Monitoren bieten die Möglichkeit, die Privatsphäre zu gewährleisten, ohne dass die Gefahr besteht, Komponenten zu beschädigen oder dass die Insassen sich umstellen müssen. Für den Carsharing-Betreiber verringert sich gleichzeitig das Risiko von Schäden und Ausfällen der Multimedialkomponenten.

VON

Tolga Pekruh
pekruh@fev.com
Mehmet Koç
koc_m@fev.com
Burak Bucak
bucak@fev.com
Steffen Wilker
wilker@fev.com
Eren Malik Sürmeli
surmeli@fev.com
Mert Engin
engin_m@fev.com

#3 Kosteneffiziente *Fahrzeug-* *Homologation*

Globale Vorschriften zur Verringerung der Treibhausgasemissionen in Verbindung mit geopolitischer Instabilität, die sich auf die Ölpreise auswirkt, führen dazu, dass der Absatz von Elektrofahrzeugen von Jahr zu Jahr steigt. Im vergangenen Jahr stiegen die weltweiten PHEV- und EV-Verkäufe um 13 %, vor allem aufgrund des Wachstums auf dem chinesischen Binnenmarkt, wo 33 % aller verkauften Neuwagen PHEV und EV waren. Europa folgt mit 21 % und die USA mit knapp 10 %.

Die PHEV- und EV-Verkäufe in Europa haben sich im letzten Jahr abgekühlt, vor allem weil potenzielle Käufer auf erschwingliche Modelle warten. Hier haben die chinesischen Marken einen großen Vorteil, da sie über günstige Lohnkosten verfügen, PHEVs und EVs bereits seit Jahren in großem Maßstab produziert werden und über große Reserven an seltenen Erden verfügen, die für Batterien und Elektromotoren benötigt werden. Dieser Kostenvorteil wird nun durch europäische Einfuhrzölle erheblich beeinträchtigt. Die USA sind für chinesische OEM aufgrund der vor Jahren eingeführten Einfuhrzölle nahezu unerreichbar geworden. Daher müssen chinesische Hersteller von Elektrofahrzeugen Wege finden, die Kosten zu senken, um ihr Momentum bei der Durchdringung des EU-Marktes beizubehalten und auf dem US-Markt Fuß zu fassen.



Im Folgenden werden Möglichkeiten zur Senkung der Entwicklungskosten im Zusammenhang mit der Einhaltung der technischen Vorschriften der USA und der EU aufgezeigt.

Homologation

Bei der Zulassung in der EU oder den USA sehen sich die Hersteller mit einer Vielzahl von Vorschriften konfrontiert. In der EU sind die fahrzeugspezifischen Typgenehmigungsvorschriften im Rahmen der EU-Gesamtfahrzeug-Typgenehmigung zusammengefasst. Er besteht aus mehr als 100 Fahrzeug-Typgenehmigungsvorschriften, die leicht mehr als 1.000 technische und verfahrenstechnische Anforderungen umfassen, die laufend geändert werden.

Mit einem Marktanteil von knapp 8 % bei BEVs in der EU im Jahr 2024 haben chinesische OEMs bewiesen, dass sie die komplexe und anspruchsvolle Landschaft der EU-Vorschriften erfolgreich meistern können.

Die Herausforderung einer erfolgreichen Homologation besteht darin, diese komplexe, anspruchsvolle und sich ständig verändernde Landschaft von Vorschriften auf kosteneffiziente Weise zu meistern und auf Antrieb die zeitgerechte Zertifizierung zu erreichen.

Umsetzung

Der erste Weg hat mit der Auslegung der Vorschriften zu tun. Die Entwicklung von Hardware, Software und E/E auf der Grundlage einer konservativen Auslegung der Vorschriften führt zu einem Over-Engineering und damit zu überhöhten Kosten. Aus offensichtlichen Gründen ist es keine Option, an der falschen Stelle zu sparen. Das Ziel eines jeden Herstellers ist es daher, das Optimum zu treffen. In der EU erfordert dies ein tiefes Verständnis der Vorschriften, aber auch eine vertrauensvolle Beziehung zu den Technischen Diensten, in der die Auslegungen offen und mit gegenseitigem Respekt diskutiert werden können. Für die USA erfordert dies ein umfassendes Verständnis der Selbstzertifizierung und der damit verbundenen rechtlichen Verpflichtungen.

Eine zweite Option zur Kostensenkung im Zusammenhang mit der Erfüllung der rechtlichen Anforderungen der USA und der EU besteht darin, diese Märkte in einem Projekt zusammenzufassen. Wenn dies in einzelnen Projekten geschieht, steigen die Entwicklungskosten und die Markteinführungszeit. Dies erfordert eine sehr gute Kenntnis über die Vorschriften und das Aufspüren von Lücken und Überschneidungen zwischen ihnen und deren Zusammenführung in konsolidierten Anforderungsspezifikationen.

FEV verfügt über eine mehr als 45-jährige globale Erfolgsbilanz in Automobilentwicklungsprojekten mit OEMs. In Kombination mit einem Team von erfahrenen Homologationsspezialisten, die über gute und vertrauensvolle Kontakte zu technischen Diensten und Typgenehmigungsbehörden verfügen, ist der Engineering-Dienstleister der ideale Partner für homologationsbezogene Entwicklungsprojekte.

Die Unterstützung vom Engineering bis zur erfolgreichen Homologation unterscheidet FEV von akkreditierten Technischen Diensten wie beispielsweise DEKRA und TÜV. Diese dürfen nicht in den Entwicklungsprozess bei den OEMs involviert sein, um ihre Unabhängigkeit

1. FEV unterstützt umfassend bei der Zertifizierung.



während der Zertifizierungsphase zu gewährleisten. Sie dürfen erklären, was die Vorschriften verlangen, aber sie dürfen dies nicht in technische Lösungen umsetzen.

FEVs Ansatz

Die Integration der gesetzlichen Anforderungen der USA und der EU in den Fahrzeugentwicklungsprozess, und zwar auf kosteneffiziente und auf zeitgerechte Weise, wird in vier Hauptschritten erreicht.

Definition der Anforderungen

FEV unterhält eine Datenbank mit allen aktuellen und zu erwartenden EU-Typgenehmigungsvorschriften sowie den für den EU- und US-Markt relevanten US FMVSS- und CARB/EPA-Normen. Je nach Zeitpunkt des Produktionsstart des Fahrzeuges wählt FEV alle Vorschriften aus, die berücksichtigt werden müssen. Erschwerend kommt hinzu, dass häufig Entwürfe bezüglich geänderter Vorschriften die HW-, E/E- oder SW-Entwicklung bestimmen, da sich viele Vorschriften schneller ändern als die Entwicklungszeit eines neuen Fahrzeuges.

Sind Zielmärkte eines Projektes beispielsweise die EU oder die USA, fasst FEV die geltenden EU- und US-Anforderungen in einem konsolidierten Lastenheft zusammen.

Der nächste und entscheidende Schritt ist die erfolgreiche Übergabe dieser Anforderungen an die Entwicklungsingenieure und das Verständnis der Anforderungen durch diese. Sie müssen prägnant und für die Ingenieure verständlich sein, wobei oft der juristische Text durch technische Vorgaben ersetzt werden muss. Hier kommt der technische Hintergrund von FEV ins Spiel.

Um die Rückverfolgbarkeit der Anforderungen während des gesamten Entwicklungsprozesses eines Fahrzeuges zu gewährleisten, arbeitet das Unternehmen mit spezifischer Software für das Anforderungsmanagement (RM), verfügt aber auch über die Erfahrung und Flexibilität, um mit der von den OEM verwendeten RM-Software zu arbeiten.

HW-, SW- und E/E-Anforderungen und Entwurf

Als Engineering Dienstleister kann FEV fertige Entwicklungslösungen für Komponenten, Systeme und ganze Fahrzeuge liefern. Die Erfahrung im Bereich Engineering ermöglicht es dem Unternehmen aber auch, Entwicklungsingenieure bei Herstellern dabei zu unterstützen, gesetzliche Anforderungen auf der Systemebene und im Systemdesign auf die kosteneffizienteste und technisch fundierteste Art und Weise zu integrieren.

Wie oben erwähnt, besteht ein wichtiger Schritt zur Kostensenkung darin, die Vorschriften so auszulegen, dass sowohl den Anforderungen der technischen Dienste entsprochen wird als auch technische Lösungen im Zielkosten-Korridor realisiert werden können.

Sobald der Kunde ein Konzept definiert hat (z. B. ein mechanisches, E/E- oder funktionales Designkonzept), wendet sich FEV an die technischen Dienste und strebt deren Bestätigung des Entwurfs auf der Grundlage der Interpretation der Vorschriften an. Dieses Vorgehen reduziert das Risiko unerwünschter Entwicklungsschleifen erheblich.

Verifizierung und Validierung

Die Überprüfung der Konformität des HW-, SW- und E/E-Entwurfs mit den Tausenden von geltenden Anforderungen muss in mehreren Phasen der Produktentwicklung erfolgen und nicht erst am Ende der Entwicklung. Dies ist wichtig, um das Risiko kostspieliger Konstruktionsänderungen zu verringern.

Der Zweck der Verifizierung besteht in der Beurteilung, ob ein Entwurf alle für ihn festgelegten Anforderungen erfüllt. Sie konzentriert sich häufig auf die Komponenten- und Systemebene, während bei der Validierung die Funktionalität, Leistung und Eigenschaften der Systeme bewertet werden sollen, wenn sie in das Fahrzeug integriert und realen

Bedingungen ausgesetzt sind. Die Konformität des Fahrzeuges und seiner Systeme mit den Rechtsvorschriften ist ebenfalls ein wesentlicher Bestandteil der Validierung. Erst nach erfolgreicher Bestätigung der Konformität kann das eigentliche Homologationsverfahren beginnen.

FEV hat jahrelange Erfahrung in der Durchführung von Tests zur Verifizierung und Validierung von HW-, SW- und E/E-Designs auf Komponenten-, System- und Fahrzeugebene. In enger Absprache mit den Systemingenieuren seiner Kunden erstellen FEVs erfahrene Testingenieure Entwicklungsvalidierungspläne, die in die ALM- und PLM-Tool-Suiten der Kunden integriert werden können, um eine vollständige Rückverfolgbarkeit der Testergebnisse zu gewährleisten, die mit spezifischen Release-Versionen von HW, SW und E/E verbunden sind.

Im Rahmen der Homologation ist das Ergebnis dieser Phase ein Produkt, dessen Konformität mit allen Anforderungen der Fahrzeugtypgenehmigung bestätigt wird. Sie verringert das (nicht akzeptable) Risiko eines Versagens während der offiziellen Phase des Zulassungsverfahrens.

Homologation (EU)/Selbstzertifizierung (USA)

Der letzte Schritt im Prozess der Sicherstellung der Konformität mit den technischen Vorschriften ist das eigentliche Zertifizierungsverfahren.

In der EU wird dies von einem akkreditierten technischen Dienst (TS) wie TÜV, DEKRA oder IDIADA und einer EU-Typgenehmigungsbehörde (TAA) wie KBA oder RDW durchgeführt. Kurz gesagt, der technische Dienst wird Zeuge von Homologationstests, die beim Hersteller oder einem externen Labor durchgeführt werden, erstellt einen offiziellen Prüfbericht und reicht diesen bei der TAA ein. Die TAA erteilt ihrerseits die Bauartgenehmigung. Dies muss für jedes Bauteil und jedes System geschehen, das den Vorschriften für die Typgenehmigung unterliegt. Auf Gesamtfahrzeugebene ist dies die sogenannte Gesamtfahrzeug-Typgenehmigung.

FEV begleitet seine Kunden durch diesen administrativ komplexen und zeitaufwändigen Prozess und nutzt dabei die jahrelange Erfahrung seiner Experten in der Zusammenarbeit mit Typgenehmigungsbehörden und technischen Diensten.

In den USA ist das Verfahren ein völlig anderes. Die Hersteller zertifizieren sich selbst. Es gibt keine TS oder TAA, die den OEM durch den Prozess führen und permanent dessen Richtigkeit überprüfen. Die Behörden erwarten von den Herstellern, dass sie ihre Produkte unter Anwendung angemessener Sorgfalt als konform zertifizieren. In der Praxis bedeutet dies, dass die neuesten in den USA verfügbaren Normen und bewährten Verfahren berücksichtigt und während des gesamten Entwicklungsprozesses angewendet werden. Und schließlich müssen das Fahrzeug und seine Systeme anhand dieser Normen validiert und der Nachweis der Konformität nachvollziehbar dokumentiert werden.

FEV unterstützt seine Kunden bei der Durchführung dieser Selbstzertifizierung. Darüber hinaus verfügt FEV über die richtige Erfahrung, um die Prozesse in der EU und den USA so zu kombinieren, dass nur ein minimaler Prüf- und Berichtsaufwand erforderlich ist, um die Behörden auf beiden Seiten des Ozeans zufrieden zu stellen.

VON

Wouter Beuman
beuman@fev.com
Michael Hog
hog@fev.com
Christopher Körtgen
koertgen@fev.com

Fazit

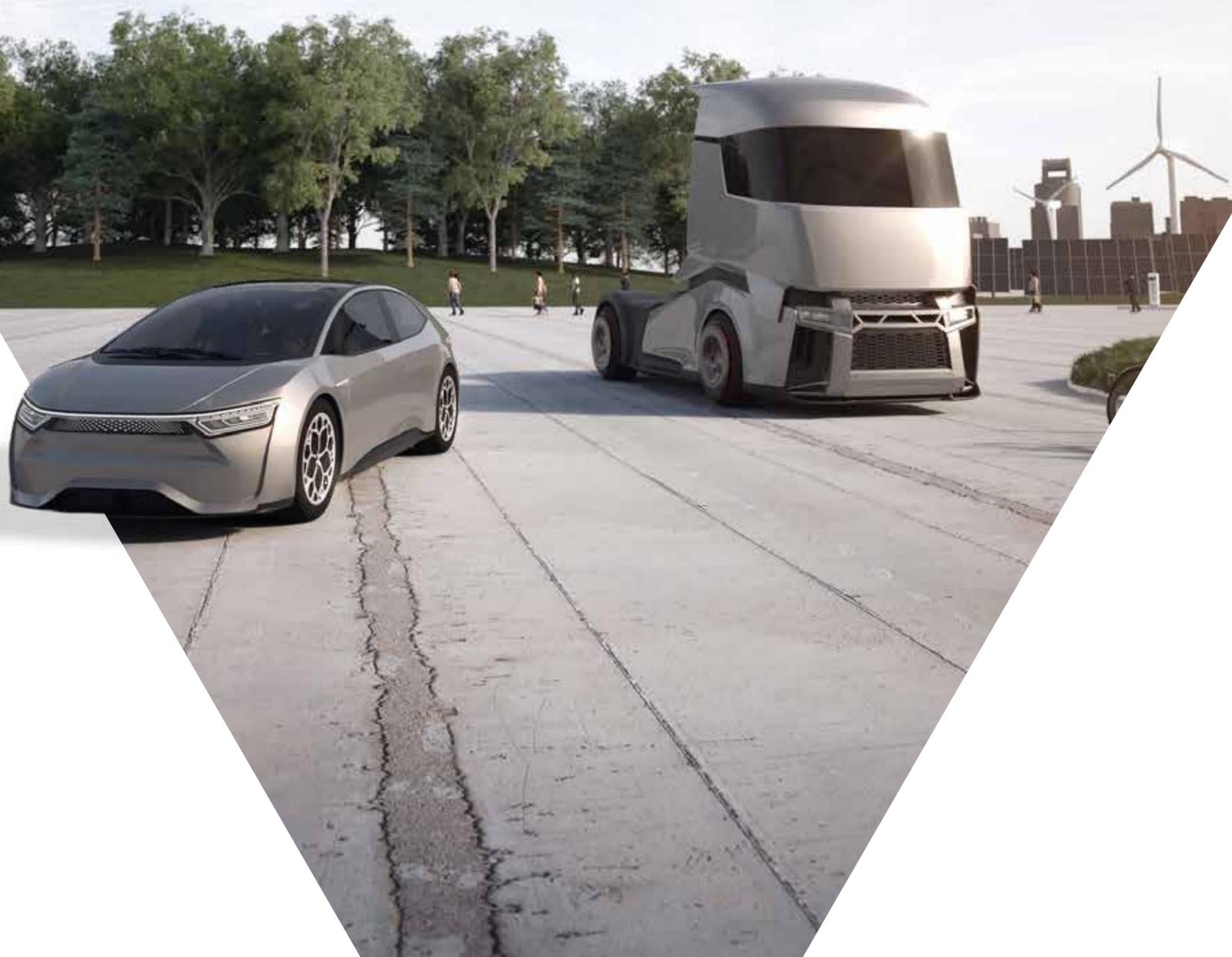
Die Markteinführung eines Fahrzeuges in der EU und/oder in den USA ist aus verschiedenen Gründen eine Herausforderung, unter anderem wegen der regulatorischen Hürden, die auf kosteneffiziente Weise genommen werden müssen. Dies erfordert einen ganzheitlichen Ansatz, bei dem die Vorschriften für mehrere Regionen gleichzeitig berücksichtigt und gut in die HE-, SW- und E/E-Design-, Verifizierungs- und Validierungsprozesse integriert werden.

FEV ist mit seiner technischen DNA, kombiniert mit einem tiefen Verständnis für und Erfahrung mit Zertifizierungsprozessen der ideale Partner für ausländische und inländische Hersteller, um auf dem EU- und US-Markt Fuß zu fassen.



2. FEV begleitet seine Kunden zuverlässig beim komplexen Homologationsprozess.

#4 Kundenerwartung übertreffen – *FEVs globale Fahrzeugattributentwicklung*



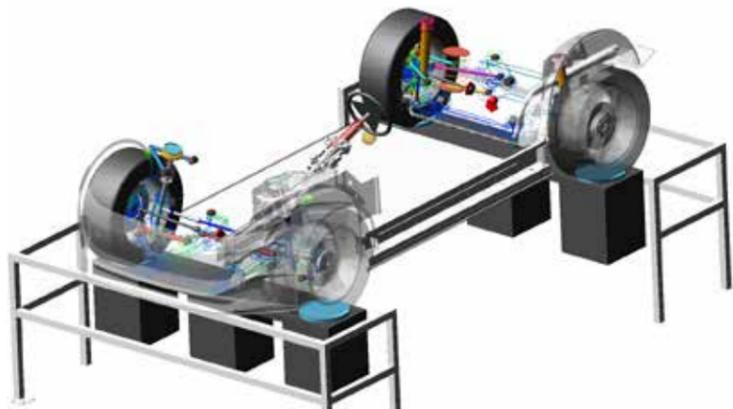
Die Entwicklung von Fahrzeugattributen ist ein entscheidender Faktor für den Markterfolg und die Kundenakzeptanz im globalen Wettbewerb. FEV bietet hierfür umfassende Unterstützung, um die Performance und Effizienz moderner Fahrzeuge zu optimieren und diese auf die Bedürfnisse der globalen Kernmärkte anzupassen. Insbesondere für die Themenschwerpunkte Fahrdynamik, NVH, Aerodynamik und Thermomanagement sind dabei regionale Unterschiede in den Kundenerwartungen zu beachten.

Für diese spezifischen Anforderungen der Kernmärkte (unter anderem Europa, USA und Asien) ist umfangreiches Know-how unverzichtbar. FEV berücksichtigt klimatische und regulatorische Bedingungen dieser Märkte, um die Fahrzeugreichweite und den Fahrkomfort zu steigern und so die Wettbewerbsfähigkeit seiner Kunden zu sichern. Nachfolgend wird auf Methoden und Vorgehensweisen für einzelne Themenschwerpunkte eingegangen.

Fahrdynamik

Die Fahrdynamik ist eines der zentralen Schlüsselattribute, das die DNA eines Fahrzeugs prägt. Wichtige Kernaspekte sind die Fahrzeugsicherheit, der Fahrspaß und der Fahrkomfort. Hier gilt es für die verschiedenen Fahrzeugtypen und -ausprägungen den richtigen Kompromiss zu finden. Dazu werden in Abhängigkeit der Fahrzeugklasse, der Marken-DNA und der Platzierung im jeweiligen Markt Anforderungen auf Fahrzeugebene definiert, um letztendlich ein beispielweise sportlich orientiertes Fahrverhalten zu erzeugen oder ein besonders komfortables Fahrerlebnis zu verwirklichen. Hierzu wird eine Vielzahl an objektiven und subjektiven Zielen für die Fahrdynamik definiert.

Aus den zuvor definierten Fahrdynamikzielen werden nun Anforderungen an die Fahrwerksysteme wie z. B. Achskonzepte und Kinematik abgeleitet. In der frühen Entwicklungsphase kommen hier FEVs fortschrittlichen Simulationstechniken zum Einsatz, um beispielsweise die Elasto-Kinematik der Aufhängung auszulegen oder auch Komponentenanforderungen wie z. B. Feder-, Stabilisator- oder Bushing-StEIFigkeiten abzuleiten. Im virtuellen Entwicklungsprozess wird durch Iteration



1. Gesamtfahrzeug auf virtuellem K&C-Prüfstand.

einzelner Parameter sichergestellt, dass am Ende mehrerer Simulationsschleifen sämtliche Zielvorgaben aus der Konzeptfindungsphase erreichbar sind.

Nach der erfolgten Grundauslegung werden später ausgewählte Parameter wie beispielsweise die Dämpfungscharakteristik im Fahrversuch von den Fahrdynamikexperten weiter verfeinert, um das gewünschte Fahrerergebnis zu erzielen. Im Zuge der Abstimmungsarbeiten im Fahrversuch werden auch moderne Systeme, wie z. B. elektr. Lenkkräftunterstützung, Steer-by-Wire, Brake-by-Wire oder die elektronische Stabilitätskontrolle so kalibriert, dass die gewünschte Fahrdynamik und Fahrzeugsicherheit erzeugt wird.

Am Ende gilt es, alle Fahrwerksysteme so aufeinander abzustimmen, dass die gewünschte Fahrdynamik erzielt wird. Dies gelingt durch eine detaillierte und sorgfältige Definition von Anforderungen, einer verlässlichen virtuellen Grundauslegung über einen präzisen „Digital Twin“ (Abbildung 1) und der Feinabstimmung im Fahrversuch durch FEVs erfahrene Fahrdynamikexperten.

Die Anforderungen globaler Märkte an die Fahrdynamik, wie z. B. Asien und Europa, unterscheiden sich aufgrund der Kundenerwartungen an Fahrkomfort und Fahrerlebnis, aber auch durch externe Rahmenbedingungen, wie z. B. Straßenführung, deren Oberflächenqualität oder der Gesetzgebung hinsichtlich Geschwindigkeitsbeschränkungen und möglichen Anhängerbetriebs. Daher ist es empfehlenswert, die Anforderungen marktspezifisch zu definieren und gegebenenfalls einer individuellen Feinabstimmung zu unterziehen. Dank FEVs Expertise auf den globalen Märkten ist der Engineering-Dienstleister in der Lage, die Anforderungen aller Hauptmärkte zielgerichtet und effizient umzusetzen.

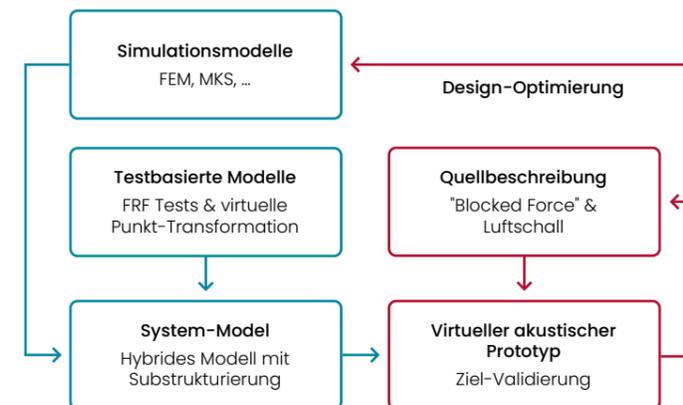
Noise Vibration Harshness (NVH)

Das Fehlen der vertrauten Geräusche des Verbrennungsmotor sorgt in modernen BEVs dafür, dass sich vorher kaum wahrnehmbare Geräuschquellen nun als unangenehm für die Insassen erweisen. Die hohen Anforderungen der Kunden an die Geräuschkulisse im Innenraum von BEVs sind daher eine Herausforderung für die Entwicklung zukünftiger Fahrzeuge. Um dies zu adressieren, hat FEV neue Methoden für das NVH-Target-Cascading und die Konzeptentwicklung implementiert. Ziel ist es, den „Sound of Silence“ zu schaffen, der die Kundenerwartungen erfüllt und einen hohen Fahrkomfort bietet. Abgerundet wird das markenprägende akustische Fahrerlebnis durch Verwendung von aktivem Sound-Design (ASD).

Ein wichtiges Werkzeug für frühe Designentscheidungen sind hybride NVH-Simulationen. Herausforderungen in frühen Konzeptphasen umfassen komplexe Übertragungswege, für die ausreichend genaue Simulationsmodelle meist noch nicht verfügbar sind. FEVs hybrider Ansatz kombiniert Simulations- und Testmodelle und hilft dabei, dies zu überwinden. Der Prozess für diese Modelle ist in Abbildung 2 abgebildet und wird im Folgenden erläutert.

Für die NVH-Isolationsauslegung wird beispielsweise der komplexe Übertragungsweg von den Befestigungspunkten ausgewählter Komponenten an der Karosserie bis zum Ohr des Fahrers durch Tests an einem Benchmark-Fahrzeug ermittelt. Durch Substrukturierung kann ein Simulationsmodell des Isolationskonzepts der Komponenten virtuell mit dem Benchmark-Fahrzeug gekoppelt werden.

2. Hybride NVH Simulationsmodelle unter Verwendung von Substrukturierung and Blocked Forces.



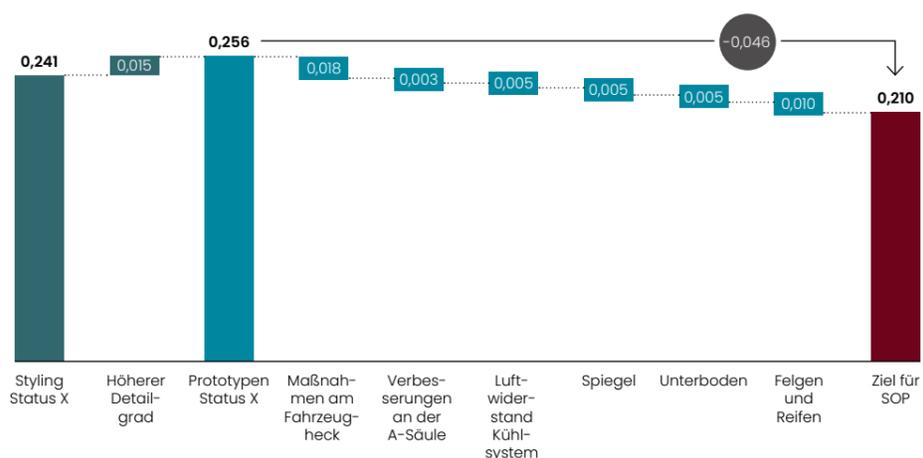
Eine weitere Herausforderung ist die Gewinnung genauer Anregungsdaten von Geräuschquellen, da Messungen stets von den akustischen und strukturdynamischen Eigenschaften des Prüfstands beeinflusst werden. Die komponentenbasierte Transferpfadanalyse bietet eine Methodik, um den Geräuschpegel auf virtuellen Fahrzeugmodellen unter Verwendung von sogenannten „Blocked Forces“ vorherzusagen. Die „Blocked Forces“ sind physikalisch korrekte Anregungsdaten, die unabhängig vom Komponentenprüfstand sind. Diese Kräfte können auf virtuelle Modelle übertragen werden, um den Innenraumgeräuschpegel zu simulieren. Die resultierenden hybriden Fahrzeugmodelle ermöglichen die Erstellung virtueller akustischer Prototypen zur Vorhersage des NVH-Verhaltens verschiedener Isolationskonzepte.

FEV kombiniert die gezeigte Simulationmethodik mit einer strikten Zielkaskadierung im NVH-Entwicklungsprozess. Hierbei werden die übergeordneten Markt- und Kundenanforderungen bis zu einzelnen Komponenten heruntergebrochen, um die Erreichung der Ziele zu gewährleisten. Die Simulationsmodelle werden dabei stets dem aktuellen Entwicklungsstand entsprechend angepasst und erweitert.

Aerodynamik

Die Aerodynamik stellt ein Schlüsselattribut zur Realisierung von Verbrauchszielen dar, sei es zur Erreichung der erforderlichen Reichweite eines BEVs oder zur Effizienzsteigerung eines Langstrecken-Nutzfahrzeugs. Die besondere Attraktivität von Aerodynamikmaßnahmen liegt darin, dass sich diese häufig durch reine Formänderungen und somit ohne nachteiligen Effekt auf Kosten oder Gewicht realisieren lassen. Deren Entwicklung erstreckt sich über dem gesamten Fahrzeugentwicklungsprozess von der frühen Stylingphase bis hin zur Homologation. Als Querschnittsthema besteht die Herausforderung der Aerodynamik zum einen in der Integration von Maßnahmen und somit der Auflösung von Zielkonflikten mit anderen Produkthanforderungen, und zum anderen in der Verfügbarkeit von herausragenden Entwicklungsmethoden wie der Numerische Strömungsmechanik (Computational Fluid Dynamics,

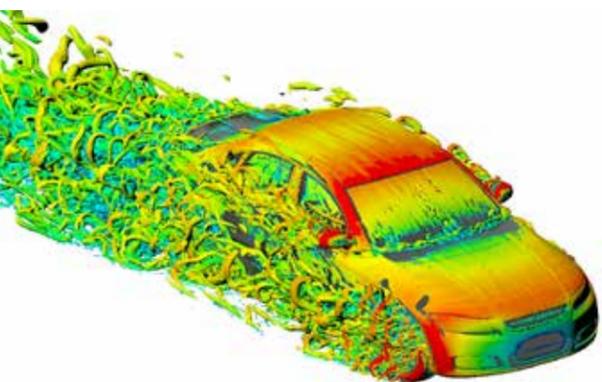
3. Aero Walk - Übersicht einzelner Maßnahmen zur Verbesserung der aerodynamischen Eigenschaften des Fahrzeugs.



CFD) und im Windkanal. In all diesen Aspekten hat FEV im Rahmen von Serien- und Forschungsprojekten über die letzten 10 Jahre bedeutendes Know-how aufgebaut und stellt den idealen Partner in der Fahrzeugentwicklung dar.

Die Schwerpunkte der Aerodynamikentwicklung richten sich nach der betreffenden Phase des Entwicklungsprozesses. Mit Verfügbarkeit der ersten Styling-Flächen liegt der Fokus zunächst auf der Optimierung signifikanter Formparameter, zum Beispiel im Bereich der Heckpartie. Mit zunehmender Reife und höherem Detailgrad kommen weitere Schwerpunkte hinzu. Dazu seien zum Beispiel die Optimierung der Durchströmung vom Thermalsystem oder die Unterboden-/Radhausströmung genannt. Zur Bewertung von Maßnahmen liegt besonders in der frühen Phase der Schwerpunkt auf CFD-Simulationen, welche später durch Windkanaluntersuchungen am Clay-Modell beziehungsweise Prototypenfahrzeug ergänzt werden. Eine kontinuierliche Übersicht zur Bewertung der Maßnahmen liefert dazu der Aero-Walk (Abbildung 3).

Bei der Entwicklung setzt FEV auf einen hohen Anteil an CFD-Simulationen. Dadurch wird der Prototypenaufwand und die Nutzung von externen Windkanälen geringgehalten und nur zu Detailoptimierung und Validierung genutzt. Um dies zu ermöglichen, wird intensiv an der stetigen Verbesserung der CFD-Methoden gearbeitet. FEV verfügt über verschiedene methodische Ansätze zur Bewertung der Aerodynamik, je nach gewünschtem beziehungsweise nötigem Aufwand. Dies erstreckt sich über stationäre Berechnungen zur effizienten Be-



4. Isoflächen Q-Criterion = 10.000 s⁻² am DrivAer Notchback.

wertung einer Maßnahme, bis hin zu transienten hybriden RANS/LES-Methoden zur adäquaten c_w-Wert-Vorhersage sowie zur Visualisierung von instationären Wirbelstrukturen (Abbildung 4). Im dynamischen Umfeld neuer CFD-Methoden ist FEV kontinuierlich in aktuelle Forschungsschwerpunkte involviert.

Thermomanagement

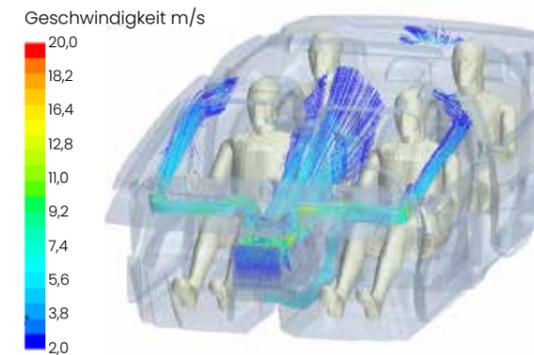
In der Automobilindustrie spielen Effizienz und Leistungsfähigkeit der Thermomanagement-Systeme eine entscheidende Rolle für den Markterfolg moderner Fahrzeuge (siehe hierzu auch S. 28.). Ein optimal gestaltetes Thermomanagement trägt nicht nur zur Verbesserung der Fahrzeugleistung und Verlässlichkeit bei, sondern auch zur Erhöhung der Sicherheit und des Komforts. Gerade in Regionen mit extremen klimatischen Bedingungen, wo sowohl hohe Temperaturen im Sommer als auch strenge Kälte im Winter herrschen können, ist ein zuverlässiges Thermomanagement unerlässlich.

Im asiatischen Markt sind beispielsweise die klimatischen Bedingungen oft durch hohe Luftfeuchtigkeit und extreme Temperaturen gekennzeichnet. Dies erfordert spezielle Anpassungen der Klimaanlage und Kühlungssysteme, um eine optimale Leistungsfähigkeit und Komfort im Fahrzeuginnenraum zu gewährleisten. FEVs fortschrittliche Simulationstechniken, wie etwa die Kabinendurchströmungssimulation (Abbildung 5), ermöglichen es, die Luftverteilung im Fahrzeuginnenraum präzise zu optimieren.

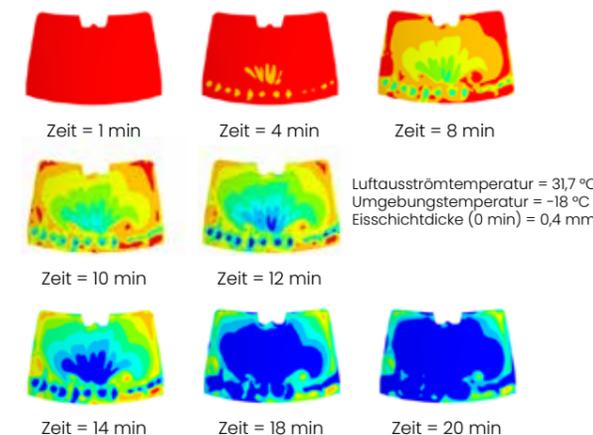
In europäischen Regionen können die Anforderungen noch komplexer sein, da der Schwerpunkt auf dem Komfort liegt und die Sicherheit mit strengeren Anforderungen an die Energieeffizienz konkurriert. Hierbei spielen aerodynamische Optimierungen und die Integration von Wärmepumpen zur Reduzierung des Energieverbrauchs eine zentrale Rolle. Die in Abbildung 6 dargestellte Simulation einer Scheibenenteisung zur Erreichung von Homologationsvorgaben ist ein Beispiel für FEVs maßgeschneiderte Lösungen, die beispielsweise an die europäischen Normen angepasst werden können.

Die kontinuierliche Weiterentwicklung von Thermomanagement-Technologien wird durch die zunehmende Elektrifizierung und Digitalisierung der Fahrzeuge in den größeren Märkten vorangetrieben. Zukünftige Trends umfassen die Integration intelligenter Systeme, die eine prädiktive Steuerung der Temperaturverhältnisse ermöglichen, sowie die Nutzung von Materialien mit verbesserten Wärmeleiteigenschaften. Diese Entwicklungen werden dazu beitragen, die Effizienz, Sicherheit und Umweltverträglichkeit von Fahrzeugen weiter zu verbessern und die Anforderungen der globalen Märkte an OEMs zu erfüllen.

Das Thermomanagement bleibt ein zentraler Bereich der Automobilentwicklung, der entscheidend zur Wettbewerbsfähigkeit beiträgt. Durch FEVs Expertise und maßgeschneiderten Lösungen können die spezifischen Anforderungen praktisch aller Märkte erfüllt werden.



5. CFD-Simulation der Luftdurchströmung des Fahrgastraums.



6. Simulation der Scheibenenteisung zur Überprüfung der Zielsetzung der Homologationsvorgaben.

Fazit

FEV ist ein verlässlicher Partner für die Attributentwicklung von Fahrzeugen, die für den Markterfolg entscheidend ist. Insbesondere die langjährige Erfahrung in den weltweiten Märkten, wie zum Beispiel Europa, USA und Asien, sorgt dafür, dass der Engineering-Dienstleister essenzielle regionale Unterschiede berücksichtigen und so einen Beitrag zur Erfüllung der globalen Kunden- und Homologationsvorgaben leisten kann.

VON

Martin Dorn
dorn@fev.com
Christian Kuhnke
kuhnke@fev.com

Dr. Christoph Steffens
steffens@fev.com
Jan Pischinger
pischinger_ja@fev.com
Patrick Schutzeich
schutzeich@fev.com



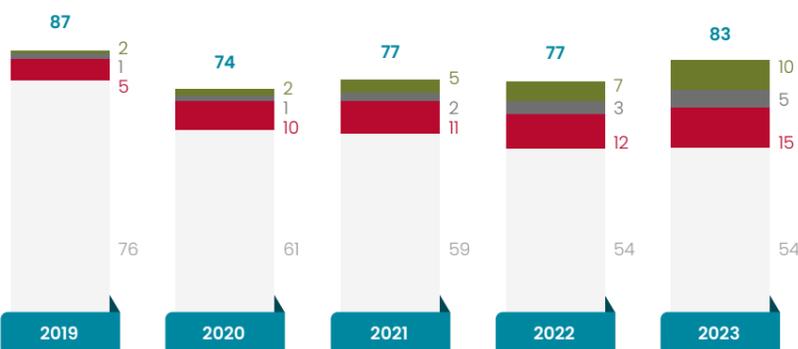
#5 Vom ICE zum PHEV: wie der Übergang gemeistert wird

Der Übergang von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (Internal Combustion Engine, ICE) zu Plug-in-Hybrid-Elektrofahrzeugen (PHEV) stellt einen entscheidenden Wandel in der Automobilindustrie dar. Wesentliche Treiber sind hier strenge Emissionsvorschriften, der technologische Fortschritt sowie die sich verändernden Verbraucherpräferenzen, so dass im Augenblick ein weltweiter Trend zu PHEVs festzustellen ist. PHEVs bieten einen ausgewogenen Ansatz, der die Vorteile von Elektrofahrzeugen (Electric Vehicles, EVs) mit der Flexibilität herkömmlicher ICEs kombiniert und damit eine ideale Brücke in eine nachhaltige automobiler Zukunft darstellt. FEV hat in diesem Zusammenhang mit dem Hybrid-BEV bereits eine Lösung vorgestellt, die auf einer EV-Plattform mit Batteriekapazität von 30–40 kWh basiert und zusätzlich einen ICE – in diesem Falle als Range-Extender – aufweist (s. Abbildung 4, Seite 31 sowie auch SPECTRUM 74). Sie bietet dadurch großes Kosteneinsparungspotenzial sowie Gewichts- und Bauraumvorteile bei gleichzeitig hoher Reichweite und minimalen CO₂-Emissionen. Inzwischen

dominieren bei den PHEV derartige Range-Extender-Lösungen (REEV), so dass FEV mit jener Entwicklung erneut seine Innovationskraft unter Beweis gestellt hat. Dieser Artikel befasst sich mit den globalen Markttrends, den technischen Herausforderungen bei der Konversion eines ICE zu einem PHEV-Fahrzeug, dem hohen Kundennutzen, und den Anforderungen an das Recycling. Darüber hinaus mit den benötigten Anpassungen bei der Herstellung und den Verkaufsstrategien, die mit diesem Übergang verbunden sind.

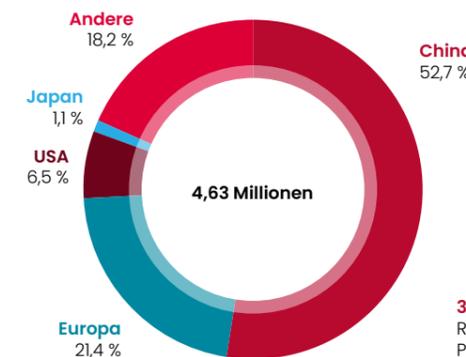
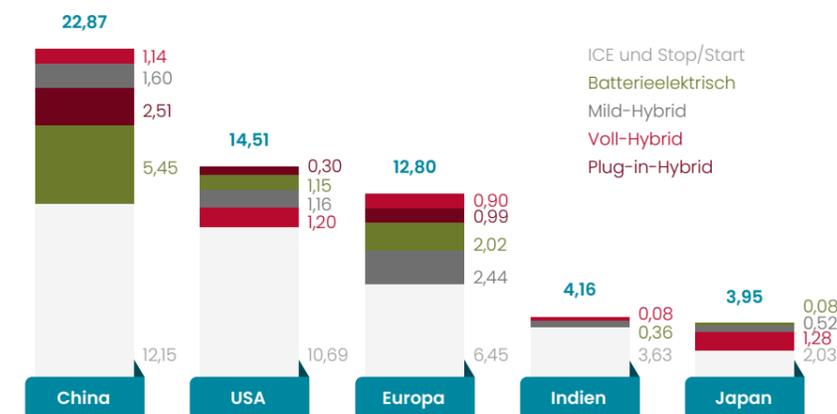
Marktforschung

Der Übergang von ICE zu PHEV ist nicht nur eine Änderung der Technologie sondern ein marktgetriebener Wandel. Die Verkaufszahlen zeigen, dass der globale PHEV-Markt ein erhebliches Wachstum erfährt. Im Jahr 2023 wurden weltweit fast 15 Millionen neue Elektroautos zugelassen, was einem Anstieg von 44,5 % gegenüber 2022 entspricht. Ein erheblicher Teil dieser Zulassungen entfiel auf PHEVs, die mehrheitlich aus China kamen (52,7 %), dahinter folgte Europa (21,4 %). Das weist auf eine starke Marktverschiebung zu Hybridlösungen hin, die die Vorteile von Elektro- und konventionellen Fahrzeugen kombinieren. Staatliche Maßnahmen, Verbraucheranreize und die zunehmende Verfügbarkeit von Ladeinfrastrukturen sind die Hauptfaktoren für diese regionalen Wachstumsmuster.



1. Globales Umsatzwachstum bei Pkw (2019–2023, in Millionen Einheiten).

2. Aufteilung des Antriebsstrangs nach Regionen (in 2023, in Millionen Einheiten).



3. Regionale Verteilung der PHEV-Verkäufe im Jahr 2023.

Technische Herausforderungen beim Übergang von ICE zu PHEV

Der Übergang von ICE- auf PHEV-Fahrzeuge stellt eine Reihe von einzigartigen technischen Herausforderungen dar. Diese Herausforderungen erfordern ein tiefes Verständnis sowohl der konventionellen Automobiltechnik als auch der modernen elektrischen Antriebsstränge.

Integration des Antriebsstrangs

Eine der größten Herausforderungen bei der Umwandlung eines ICE-Fahrzeugs in ein PHEV ist die Integration von zwei unterschiedlichen Antriebsarten – dem ICE und dem Elektromotor. Diese Dualsystem-Architektur erfordert ausgeklügelte Strategien zur Steuerung des Antriebsstrangs, um übergangslos zwischen Elektro- und Verbrennungsmodus zu wechseln. Die Abstimmung dieser Systeme zur Optimierung der Kraftstoffeffizienz, der Emissionsreduzierung und der Fahrzeugleistung erfordert präzise Technik und fortschrittliche Steuerungsalgorithmen.

Batterietechnologie und Packaging

Wie in allen elektrisch betriebenen Fahrzeugen ist das Herzstück eines jeden PHEV sein Batteriepaket. Dieses muss in ein Fahrzeug integriert werden, welches ursprünglich für einen ICE konzipiert wurde. Diese Integration bringt mehrere Herausforderungen mit sich:

- I. Geometrische Integration:** PHEV-Batterien sind in der Regel größer als die in herkömmlichen ICEs, was eine sorgfältige Planung des Fahrzeug-Packagings erfordert, um den Innenraum und die Fahrzeugdynamik zu erhalten.
- II. Wärmemanagement:** Batterien erzeugen erhebliche Wärme, insbesondere während der Lade- und Entladezyklen. Wirksame Wärmemanagementsysteme sind entscheidend für die Langlebigkeit und Sicherheit der Batterie. Dazu gehört die Integration von Kühlsystemen, die die Wärmebelastung bewältigen können, ohne die Fahrzeugleistung signifikant zu beeinträchtigen.
- III. Gewichtsverteilung:** Das zusätzliche Gewicht der Batterie hat Einfluss auf Betriebsfestigkeit, Gewichtsverteilung des Fahrzeugs und damit auch das Fahrverhalten und die Stabilität. Die Aufhängung und das Fahrwerk müssen dementsprechend angepasst und neu abgestimmt werden.
- IV. Passive Sicherheit und crashsichere HV-Kabelverlegung:** Zusätzlich zu den Integrationsaufgaben liegt der Schwerpunkt auf der Berücksichtigung der passiven Sicherheit, hier ist insbesondere der Side Pole Crash als auch die höhere Masse bei einem Frontalaufprall zu nennen. Die Entwicklung eines crashsicheren HV-Routings ist essentiell, um potenzielle Beschädigungen bei Kollisionen zu vermeiden und die Sicherheit der Fahrzeuginsassen zu gewährleisten.

Änderungen an der elektrischen Architektur

Die Umrüstung eines ICE-Fahrzeugs auf ein PHEV erfordert auch erhebliche Änderungen an der elektrischen Architektur des Fahrzeugs. Das elektrische System muss erweitert werden, um die höheren Spannungs- und Stromanforderungen des Elektromotors und des Batteriepakets zu erfüllen. Dies beinhaltet:

- I. Kabelsatz und Steckverbindungen:** Hochspannungskomponenten erfordern den Einsatz spezieller Kabel und Steckverbinder, die erhöhte elektrische Lasten sicher bewältigen können.
- II. Onboard-Ladesystem:** Die Integration eines Onboard-Ladegeräts, das die Plug-in-Funktionalität ermöglicht, ist eine weitere wichtige Herausforderung. Dieses System muss so konzipiert sein, dass es nahtlos mit der vorhandenen elektrischen Infrastruktur des Fahrzeugs zusammenarbeitet und gleichzeitig eine effiziente Energieübertragung und Sicherheit gewährleistet.
- III. Systemsteuerung:** Die Integration eines Elektromotors und eines Batteriepakets erfordert die Entwicklung neuer Steuerungseinheiten beispielsweise für den Energiefluss, das regenerativen Bremsens und der

Regelung zwischen den elektrischen und verbrennungsmotorischen Energiequellen.

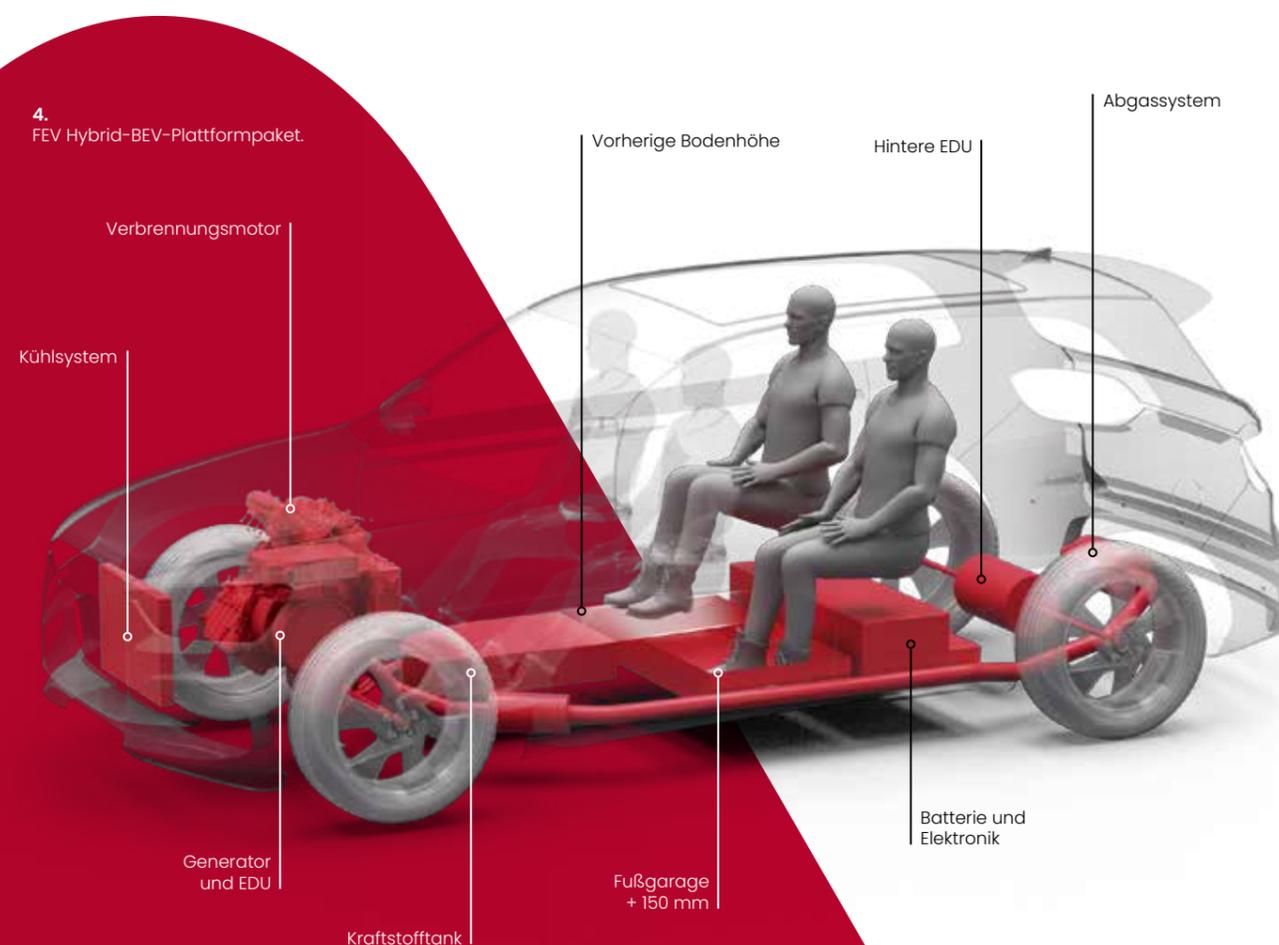
Fahrzeugdynamik und Leistung

Die Beibehaltung der Leistungsmerkmale des ursprünglichen ICE-Fahrzeugs bei gleichzeitiger Integration von Elektroantrieb ist eine bedeutende technische Aufgabe. Das zusätzliche Gewicht des Batteriesatzes, die veränderte Gewichtsverteilung und die Forderung nach nahtlosen Übergängen zwischen den Antriebsarten wirken sich auf die Fahrzeugdynamik aus. Aufhängungssysteme, Bremsen und Lenkung müssen neu abgestimmt werden, um sicherzustellen, dass das PHEV ein mit dem ICE-Fahrzeug vergleichbares Fahrerlebnis bietet.

Emissionen und Einhaltung gesetzlicher Vorschriften

PHEVs bieten das Potenzial zur Verringerung der Emissionen, das Erreichen dieser Verringerung ist jedoch mit mehreren Herausforderungen verbunden:

- I. Abgasnachbehandlungssysteme:** Das Abgasnachbehandlungssystem muss auch bei intermittierendem Motorbetrieb, der bei PHEVs häufig vorkommt, effizient funktionieren. Um eine optimale Leistung bei Kaltstarts



»PHEVs bieten einen ausgewogenen Ansatz, der die Vorteile von EVs mit der Flexibilität herkömmlicher ICEs kombiniert und damit eine ideale Brücke in eine nachhaltige automobiler Zukunft darstellt.«

und rein elektrischem Fahren zu gewährleisten, sind fortschrittliche Katalysatoren und Partikelfilter erforderlich, die unter variablen Betriebsbedingungen wirksam sind.

II. Emissionsprüfungszyklen: PHEVs müssen strenge Emissionsvorschriften in verschiedenen Prüfzyklen einhalten, beispielsweise WLTP- und EPA-Protokolle. Diese Zyklen spiegeln die reale Nutzung, bei der der Fahrer zwischen Elektro- und Verbrennungsantrieb wechselt, möglicherweise nicht vollständig wider. Eine wirksame Kalibrierung der Hybridsteuerungssysteme ist entscheidend, um die Emissionen in verschiedenen Fahrscenarien zu minimieren.

III. Onboard-Diagnose (OBD) Compliance: PHEVs müssen über OBD-Systeme verfügen, die die Leistung der Emissionskontrollsysteme überwachen und melden. Diese Systeme müssen zuverlässig und manipulationssicher sein, um die kontinuierliche Einhaltung der Emissionsnormen zu gewährleisten.

IV. Globale regulatorische Unterschiede: PHEVs müssen in verschiedenen Regionen unterschiedliche Emissionsstandards erfüllen, was anpassungsfähige Antriebsstrang- und Nachbehandlungstechnologien erforderlich macht. Diese Komplexität verlangt von den Herstellern die Entwicklung flexibler Lösungen, um die spezifischen regulatorischen Anforderungen der einzelnen Märkte zu erfüllen.

Benutzerfreundlichkeit

PHEVs bieten mehrere Vorteile gegenüber herkömmlichen ICE und sogar vollelektrischen Fahrzeugen (EVs):

Erweiterte Reichweite

PHEVs bieten die Flexibilität einer erweiterten Reichweite durch ihre Benzinmotoren, wodurch die Reichweitenangst, die mit reinen E-Fahrzeugen verbunden ist, verringert wird. Dies macht sie besonders geeignet für Langstreckenfahrten und für Nutzer, die keinen ständigen Zugang zu einer Ladeinfrastruktur haben. Diese doppelte Energiequelle stellt sicher, dass sich die Fahrer auf den Benzinmotor verlassen können, wenn eine elektrische Aufladung nicht möglich ist. Das macht PHEVs vielseitig für unterschiedliche Fahrbedingungen.

Geringere Emissionen

Durch die Möglichkeit, auf kurzen Strecken rein elektrisch zu fahren, reduzieren PHEVs die Gesamtemissionen im Vergleich zu ICE-Fahrzeugen erheblich. Diese Dual-Mode-Fähigkeit be-

deutet, dass die Fahrer ihre Umweltbelastung während des täglichen Pendelns minimieren können und gleichzeitig die Flexibilität haben, bei Bedarf längere Strecken zu fahren. Die Auswirkungen des reinen Elektroantriebs sind besonders in dicht besiedelten Gebieten von Vorteil.

Vielseitigkeit

PHEVs können eine geeignete Lösung für Regionen mit begrenzter Ladeinfrastruktur sein, da sie bei Bedarf auf die im Kraftstoff gespeicherte Energie zurückgreifen können. Diese Vielseitigkeit macht sie zu einer praktischen Wahl für Verbraucher in ländlichen oder weniger entwickelten Gebieten, in denen es nur wenige Ladestationen gibt. Ihre Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Fahrsituationen erhöht ihre Attraktivität für ein breiteres Spektrum von Verbrauchern.

Recycling und Entsorgung von Altgeräten

Die Umstellung auf PHEVs bringt auch geänderte Anforderungen für die End-of-Life-Phase mit sich:

1. Batterie-Recycling: Effektive Prozesse sind für die Entsorgung und das Recycling von Altbatterien unerlässlich. Dank der Fortschritte in der Batterie-Recyclingtechnologie ist es möglich, wertvolle Materialien wie Lithium, Kobalt und Nickel zurückzugewinnen. Diese Materialien können bei der Herstellung neuer Batterien wiederverwendet werden, wodurch der Bedarf an neuen Rohstoffen reduziert und die mit dem Abbau und der Verarbeitung dieser Materialien verbundenen Umweltauswirkungen minimiert werden. Auch die Gesetz-

gebung in verschiedenen Ländern drängt auf funktionierende Recycling-Rahmenbedingungen, um die zunehmende Menge an Altbatterien zu bewältigen.

2. Wiederverwendung von Bauteilen: Viele Komponenten von PHEVs, wie z. B. Elektromotoren und Leistungselektronik, können aufgearbeitet und wiederverwendet werden, wodurch Abfall vermieden und Ressourcen geschont werden. Die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft in der Automobilindustrie kann das Bestreben hin zu mehr Nachhaltigkeit weiter verbessern. Es werden innovative Verfahren zur Aufbereitung entwickelt, um den Lebenszyklus dieser Komponenten erheblich zu verlängern.

3. Nachhaltigkeitsprogramme: Die Hersteller führen zunehmend Verfahren zur Nachhaltigkeit ein, die den gesamten Lebenszyklus des Fahrzeugs betrachten – von der Produktion bis zur Entsorgung, um die Umweltbelastung gesamtheitlich zu minimieren. Diese Programme umfassen häufig Initiativen zur Senkung des Energieverbrauchs, zur Verringerung der Emissionen während der Produktion und zur Einführung umweltfreundlicher Materialien und Verfahren. Dazu gehören die Verwendung recycelter Werkstoffe bei der Produktion von Neufahrzeugen und die Verbesserung der Energieeffizienz in den Produktionsanlagen.

Herstellung

Die Konversion von ICE- zu PHEV-Fahrzeugen bringt auch etliche Herausforderungen an die Produktion mit sich.

1. Flexible Produktionslinien: Die Hersteller müssen ihre Produktionslinien anpassen, um die parallele Produktion von ICE und Fahrzeugen mit komplexen Hybridsystemen zu ermöglichen. Dies erfordert beträchtliche Investitionen in neue Werkzeuge und die Schulung der Fließbandarbeiter, um sicherzustellen, dass sie in der Lage sind, die Feinheiten der Montage von Hybridantrieben zu bewältigen. Roboterautomatisierung und modulare Produktionstechniken werden zunehmend eingesetzt, um Flexibilität und Effizienz zu verbessern.

2. Management der Lieferkette: Die Sicherstellung einer kontinuierlichen Versorgung mit hochwertigen Batteriezellen ist von entscheidender Bedeutung. Dazu gehört der Aufbau von Partnerschaften mit zuverlässigen Batterieherstellern und die Investition in die Belastbarkeit der Lieferkette, um Risiken wie Materialengpässe zu mindern. Darüber hinaus kann die Sicherung



	Konventionell	Hybrid	Plug-in Hybrid	Vollelektrisch
Energiequelle				
Verbrauch				
Emissionen				No emission

5. Gegenüberstellung unterschiedlicher Antriebsarten.

einer breiten Lieferantenbasis den Herstellern helfen, Produktionsstopps zu vermeiden und die konsistenten Produktionspläne einzuhalten. Um diese komplexen Lieferketten effektiv zu verwalten, sind enge Lieferantenkooperationen unerlässlich.

3. Qualitätskontrolle: Die Integration von Elektro- und Verbrennungskomponenten erfordert strenge Qualitätskontrollmaßnahmen, um die Zuverlässigkeit und Sicherheit der Hybridsysteme zu gewährleisten. Um diese Standards zu erfüllen, sind moderne Prüfeinrichtungen und -protokolle erforderlich, die sowohl automatische als auch manuelle Prüfverfahren zur Erkennung potenzieller Mängel umfassen. Zur Verbesserung der Qualitätssicherungsprozesse werden Methoden wie Six Sigma angewandt.

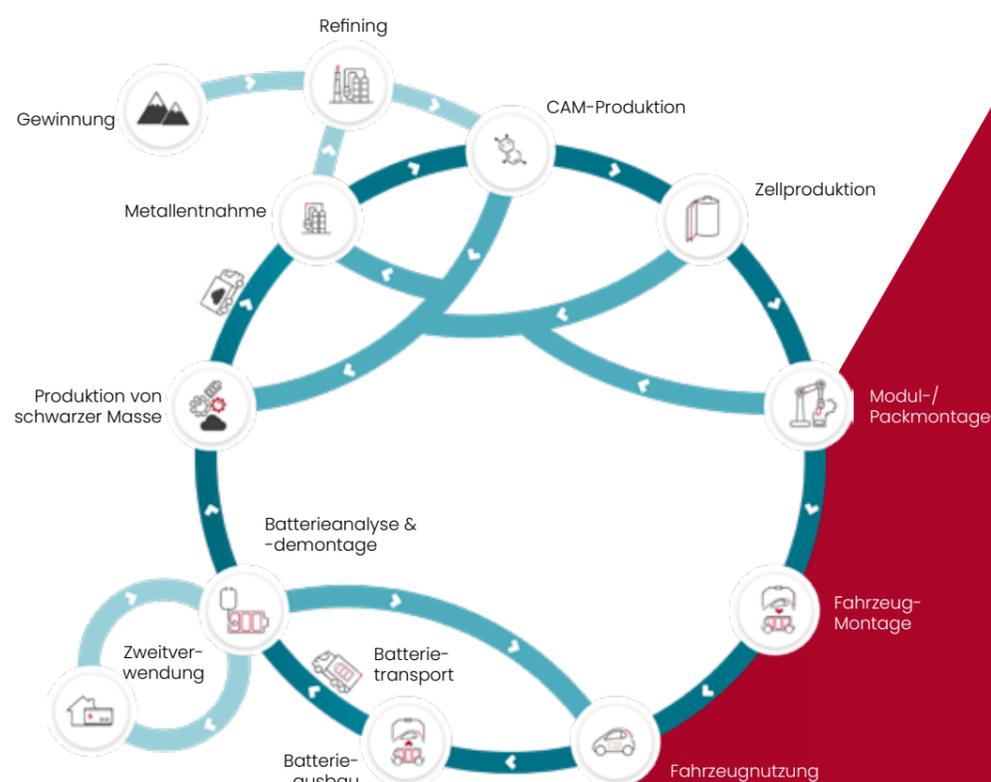
Absatz und Marktdurchdringung

Der Erfolg von PHEV auf dem Markt hängt von mehreren Faktoren ab:

- 1. Sensibilisierung der Verbraucher:** Die Aufklärung der Verbraucher über die Vorteile von PHEVs als ausgereifte und verlässliche Technologie ist entscheidend für ihr weiteres Wachstum auf dem Markt. Dazu gehören die Hervorhebung der Kraftstoffeffizienz, der geringeren Emissionen und des Komforts der Kombination von Elektro- und Benzinantrieb. Kampagnen zur Verbraucheraufklärung sollten verschiedene Medienkanäle nutzen, um ein breites Publikum zu erreichen und die praktischen Vorteile des Besitzes eines PHEV hervorzuheben. Interaktive Online-Tools und Virtual-Reality-Maßnahmen werden von den Herstellern ebenfalls eingesetzt, um potenzielle Käufer zu informieren.
- 2. Anreize und politische Maßnahmen:** Staatliche Anreize wie Steuernachlässe, Subventionen und Befreiungen von der Kfz-Steuer spielen eine wichtige Rolle bei der Verbreitung von PHEV. Länder mit starken Anreizprogrammen, wie China und bestimmte europäische Länder, haben höhere PHEV-Verkäufe zu verzeichnen. Diese Anreize senken die anfängliche Kostenbarriere für die Verbraucher und machen PHEVs zugänglicher und attraktiver. Auch die politischen Rahmenbedingungen entwickeln sich weltweit weiter, um den Aufbau der Ladeinfrastruktur zu unterstützen und Forschung und Entwicklung im PHEV-Sektor zu fördern.

3. Händlerschulung: Das Verkaufspersonal muss mit den Merkmalen und Vorteilen von PHEVs vertraut sein, um sie potenziellen Käufern wirksam vermitteln zu können. Dazu gehören umfassende Schulungsprogramme und Begleitmaterialien, die sicherstellen, dass das Verkaufspersonal auf häufige Bedenken eingehen und die Funktionsweise und Vorteile von PHEVs detailliert erklären kann. Fortlaufende Schulungs- und Zertifizierungsprogramme sind von entscheidender Bedeutung, um das Personal in den Autohäusern über die neuesten PHEV-Entwicklungen und Markttrends auf dem Laufenden zu halten.

6. Batterie-Kreislaufwirtschaft.



Fazit

Die Konversion von ICE- zu PHEV-Fahrzeugen stellt einen bedeutenden Schritt in Richtung eines nachhaltigen Verkehrs dar, insbesondere in Ländern wenig ausgebaute Ladeinfrastruktur und damit kleiner EV-Flotte. Durch die Nutzung von technologischen Fortschritten, flexiblen Fertigungsprozessen und umfassenden Marktstrategien kann die Automobilindustrie diesen Wandel erfolgreich bewältigen. Das prognostizierte Wachstum von PHEVs unterstreicht ihre entscheidende Rolle bei der Reduzierung der Gesamtemissionen von Fahrzeugen bis 2035. Innovative Konzepte bieten enorme Vorteile für Hersteller und Endkunden hinsichtlich Kosteneinsparungen, Komfort und einer hohen Reichweite bei gleichzeitig minimalen CO₂-Emissionen. Das macht PHEVs zu einer attraktiven Option für Verbraucher weltweit. Die genannten Vorzüge stellen sicher, dass PHEVs auch in Zukunft ein breites Spektrum von potenziellen Käufern ansprechen werden, vom Stadtpendler bis zum Nutzer in ländlichen Gebieten. Da die Industrie besagte Technologien weiterhin verbessern und optimieren wird, werden PHEVs eine entscheidende Rolle auf dem Weg in eine grünere und nachhaltigere Zukunft spielen. Hinzu kommen serielle Hybridkonfigurationen wie FEVs Hybrid-BEV.

VON

Sachin Wagh
 wagh_s@fev.com
 Shivam Prajapati
 prajapati_s@fev.com

#6 Elektrifizierung abseits der Straße

Der Druck zur Reduzierung von CO₂-Emissionen ist der wichtigste Treiber für die Elektrifizierung im Mobilitätssektor. Besonders im Bereich der Off-Highway-Fahrzeuge, wie beispielsweise Bau- und Landmaschinen, wird erwartet, dass CO₂-Emissionsgrenzen ab etwa 2030 eingeführt werden. Schon jetzt gibt es jedoch zahlreiche Faktoren, die den Übergang zur Elektromobilität in diesen Branchen beschleunigen. Unternehmen aus der Bauindustrie und Landwirtschaft setzen sich zunehmend ehrgeizige Ziele zur Reduktion ihrer Emissionen. Dieser Trend führt zu einem steigenden Bedarf an emissionsreduzierten beziehungsweise emissionsfreien Lösungen für mobile Maschinen im Off-Highway-Bereich.

Technologietreiber und Herausforderungen im Off-Highway-Segment

In der Bauindustrie wächst besonders die Nachfrage nach emissionsfreien Baustellen. Dieser Trend treibt die Entwicklung von batterieelektrischen Baumaschinen voran. Die Aussicht auf CO₂-Steuern und finanzielle Anreize für elektrische Maschinen verschlechtert die Gesamtnutzungskosten (Total Cost of Ownership, TCO) traditioneller, mit fossilen Brennstoffen betriebener Maschinen und fördert den Umstieg auf elektrische Alternativen. Der Technologietransfer aus den weiter entwickelten Sektoren für Personen- und Nutzfahrzeuge trägt zusätzlich zur Verfügbarkeit und Kostensenkung von elektrischen Antriebskomponenten bei.

»Die Nachfrage nach emissionsfreien Baustellen wächst, was die Entwicklung von batterieelektrischen Baumaschinen vorantreibt.«

Trotz dieser Fortschritte stehen die Hersteller von Off-Highway-Fahrzeugen vor verschiedenen Herausforderungen. Off-Highway-Maschinen werden oft unter extremen Bedingungen und Temperaturen eingesetzt, was besondere Anforderungen an die Elektrifizierung stellt. Staub, Schmutz, starke Stöße, schwere Lasten und langsame Fahrgeschwindigkeiten belasten die Antriebskomponenten. Diese Bedingungen erfordern eine sorgfältige Auswahl und Auslegung der Systeme, um Zuverlässigkeit und Langlebigkeit sicherzustellen.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Dauerhaltbarkeit und Wartungsfreundlichkeit der Systeme, da besagte Maschinen unter härtesten Randbedingungen zuverlässig funktionieren müssen. Die Entwicklung von Teilsystemen, die diesen Anforderungen gerecht werden, ist eine komplexe Aufgabe und erfordert innovative Ansätze. Gleichzeitig ist die Ladeinfrastruktur für diese Fahrzeuge oft noch unzureichend entwickelt, was zusätzliche Herausforderungen für die Elektrifizierung im Off-Highway-Sektor mit sich bringt.

Einsatzmöglichkeiten und Vorteile elektrischer Antriebe

Die vielfältigen Aufgaben, die diese Maschinen bewältigen müssen, sowie die vergleichsweise geringen Produktionsmengen und langen Lebenszyklen erhöhen die Entwicklungsherausforderungen ebenfalls. Eine Strategie, die diese Herausforderungen berücksichtigt, ist entscheidend, um den langfristigen Erfolg der Hersteller zu gewährleisten. Eine erfolgreiche Strategie für ein elektrifiziertes Fahrzeug beginnt mit der Analyse der spezifischen Nutzungsanforderungen.

Die von FEV durchgeführten Projekte und Konzeptuntersuchungen von elektrifizierten Baumaschinen zeigen, dass der Erfolg von Elektrifizierungsaktivitäten von einer Kombination aus attraktiven Anwendungsfällen, kurzen Entwicklungszeiten, verbesserter Nutzbarkeit und reduzierten TCO abhängt. Die Etablierung von elektrischen Maschinen im Portfolio der Hersteller und die Mehrwert stiftenden Eigenschaften dieser Produkte sorgen für Akzeptanz und steigende Nachfrage bei den Endkunden.

Eine eindrucksvolle Beispielstudie der Arbeit von FEV umfasst die Entwicklung eines vollelektrischen Traktors. Diese Fahrzeuge, die zunächst vom Endkunden skeptisch betrachtet wurden, haben im Einsatz überzeugt und zu einer hohen Nachfrage am Markt geführt. FEV hat zudem Bagger von konventionellen Dieselantrieben auf serielle Hybridsysteme mit Downsizing umgerüstet. Diese Hybridlösungen zeigen in realen Nutzungsszenarien die Vorteile eines teils emissionsfreien und lautlosen Betriebs, ohne dass es Einschränkungen bei den Leistungsanforderungen gibt. Gleichzeitig ermöglicht die serielle Hybridisierung mit einem Downsizing-Diesellaggregat die weitere Nutzung der konventionellen Kraftstoffversorgung an der Baustelle, was die Flexibilität erhöht.

Hochgradig transiente und vielfältige Lastzyklen

- Optimierung von Betriebsstrategien
- Weniger Rekuperationsmöglichkeiten

Kühlsystem

- Geringere Kühlleistung durch Luftstrom aufgrund der niedrigen Geschwindigkeiten am Kühlereintritt
- Klimaanlage ist typischerweise optional



Arbeitsumgebung

- Staub: 3 mg/m³ (0,06 mg/m³ Straße)
- Stöße: 5-10 G (0,3 G Straße)
- Zuverlässigkeit, Kundenakzeptanz

Layout- und Bauraumbeschränkungen

- Beschränkter Platz für Elektrokomponenten
- Verschiedene Layouts

1. Herausforderungen bei Off-Highway-Anwendungen.

Weitere Anwendungen, bei denen vollelektrische Antriebe realisiert wurden, liefern ein hohes Potenzial zur CO₂-Reduktion, senken die Betriebskosten und profitieren von den Vorteilen, die der elektrische Antrieb bietet. Dazu gehören eine geringere Geräuschentwicklung, eine verbesserte Steuerung und Leistung der Maschinen, ein höherer Grad der Automatisierung sowie verbesserte Möglichkeiten zur vorausschauenden Wartung.

Optimierung der Antriebskonzepte

Um das richtige Antriebskonzept auszuwählen und den Wechsel von Diesel- zu Elektroantrieben erfolgreich zu gestalten, müssen das Einsatzgebiet und die Nutzungsstrategie der Maschinen detailliert berücksichtigt werden. Herkömmliche Entwicklungsansätze, die sich bei dieselbetriebenen Fahrzeugen bewährt haben, sind für batterieelektrische Fahrzeuge oft weniger geeignet. Diese Prozesse sind häufig nicht flexibel genug, um die notwendigen Kompromisse für eine kosteneffiziente Batteriekonzeption einzugehen. Zudem bestehen häufig Vorurteile, die den Lösungsraum für ein wettbewerbsfähiges Batterieportfolio einschränken.

2. FEV ist ein starker Partner beim Entwicklungsprozess.



Zu diesen Vorurteilen gehört beispielsweise die Annahme, dass ein batterieelektrisches Fahrzeug die gleichen Eigenschaften wie ein dieselbetriebenes Modell haben muss, oder dass nur bestimmte Batterietypen sinnvoll sind. Entscheidend ist ein systematischer Ansatz, der die Wechselwirkungen zwischen E-Powertrain und Fahrzeugarchitektur frühzeitig im Entwicklungsprozess berücksichtigt. So können kostspielige Anpassungen im späteren Entwicklungsprozess vermieden werden. FEV, als Full-Service Engineering-Dienstleister, unterstützt seine Kunden sowohl beim klassischen Aufbau von Demonstrator-Fahrzeugen im Conversion-Design als auch bei der Entwicklung vollständig neuer Konzepte für Gesamtfahrzeuge bis zur Serienentwicklung, dem Start of Production (SOP) und darüber hinaus. Die multidisziplinären Ansätze von FEV ermöglichen es, zielführende Kompromisse einzugehen und dabei neueste Technologien sowie Fortschritte in der Lieferkette zu nutzen.

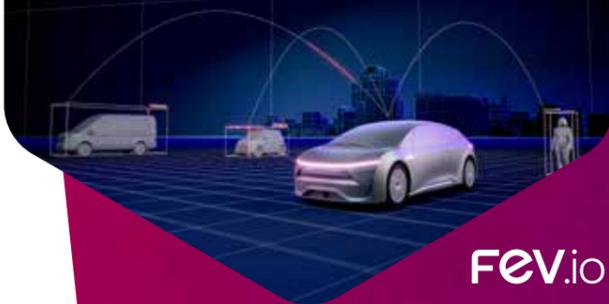
Fazit

Zusammengefasst treiben Marktkräfte bereits die Elektrifizierung voran. Es gibt jedoch noch zahlreiche Herausforderungen, die überwunden werden müssen, um eine breite Akzeptanz von batterieelektrischen Off-Highway-Maschinen zu erreichen und sinnvolle Konzepte vollständig in das Produktportfolio der Hersteller zu integrieren. Traditionelle Entwicklungsansätze führen oft zu teuren und stark angepassten Lösungen. Multidisziplinäre Ansätze, die alle Aspekte der Fahrzeugentwicklung berücksichtigen, sind der Schlüssel zur Entwicklung eines wettbewerbsfähigen und profitablen batterieelektrischen Fahrzeugportfolios. FEV ist in dieser Hinsicht ein starker Partner, der mit fundiertem Fachwissen und innovativen Technologien die Zukunft der Off-Highway-Elektrifizierung aktiv mitgestaltet.

VON

Tobias Voßhall
vosshall@fev.com

fevel



FeV.io



FeV
aerospace



FeV
propulsion

evolu



FeV
energy+resources

FeV
vehicle



FeV
CONSULTING

tion

fev.com



#7

FEVs Entwicklungskompetenz für die **Eisenbahnindustrie**

Der Schienenverkehr gewinnt bei der Beförderung von Personen und Gütern auf kurzen und mittleren Distanzen weltweit erheblich an Bedeutung. Die Hauptargumente hierfür sind:

- Energieeffizienz (Reduzierung der CO₂-Emissionen)
- Kostensenkung
- Höhere Kapazität (Anzahl der Personen/ Güter pro Kubikmeter).

Sowohl im urbanen Bereich (S-/U-Bahnen) als auch auf Überlandstrecken (bis zu 800 km) kann der Schienenverkehr das Verkehrsaufkommen auf der Straße und damit die Umweltverschmutzung erheblich verringern und trägt gleichzeitig zu einer erhöhten Verkehrssicherheit bei. Hersteller von Hochgeschwindigkeitszügen haben ihre Anwendungen kontinuierlich verbessert, und sind auf mittleren Entfernungen sogar zeitsparender als Pkw und Flugzeuge.

Um das Potenzial der drei oben genannten Vorzüge bestmöglich auszuschöpfen, ist es bei der Entwicklung und Planung notwendig, einen ganzheitlichen Ansatz zu verfolgen, wie FEV es tut. Der Entwicklungsdienstleister bezieht seine High-Level-Experten mit spezifischen Kenntnissen in diesem Bereich ein und unterstützt die führenden OEMs an verschiedenen Standorten weltweit.

Mit mehr als 30 Jahren Erfahrung und globaler Präsenz in der Eisenbahnindustrie spielt FEV eine Schlüsselrolle in diesem Bereich.

Die drei wichtigsten Handlungsfelder sind dabei:

- Die Entwicklung und Validierung des gesamten Zuges: Von der anfänglichen Konfiguration über den Entwurf und die detaillierte CAD/CAE-Entwicklung der verschiedenen Teilsysteme bis hin zu den spezifischen Werkzeugen für die Endmontage.
- Die Kompetenz, bahnspezifische Tools und Prozesse zu verwenden, die die Standards aller wichtigen globalen OEMs erfüllen.
- Die Fähigkeit, Innovationen mit einem ganzheitlichen Ansatz unter Nutzung von Lösungen, Technologien und Methoden aus anderen Industrien voranzutreiben (Technologietransfer).

Nachhaltigkeit und Innovation: Wasserstoff

Speziell in Mittel- und Westeuropa werden Züge heutzutage zu einem großen Teil elektrisch betrieben und gelten daher im Allgemeinen als umweltschonender. Weltweit betrachtet, kommt hingegen noch eine beträchtliche Anzahl von Dieselmotoren zum Einsatz, wie eine Studie des europäischen Eisenbahnverbands UNIFE belegt (Abbildung 1). Der Austausch von Dieselaggregaten durch Wasserstoffantriebe ist in vielen dieser Anwendungsfälle eine sinnvolle Option, um jene Strecken nachhaltiger betreiben zu können. FEV hat in Italien und Deutschland mehrere Innovationsprojekte für den Umstieg auf H₂-betriebene Züge realisiert. Neben den technischen Herausforderungen am Schienenfahrzeug selbst (z. B. Wasserstoff-Tanks und -leitungen) gibt es umfassenden Entwicklungsbedarf bei der Infrastruktur wie zum Beispiel Tankstellen, Reparaturstellen und Depots. Ebenso wichtig ist der Rahmen der europäischen Vorschriften zur Festlegung der entsprechenden technischen Spezifikationen und Anwendungsfälle.

Der H₂-Zug verfügt über ein mittig eingereichtes „Power-car“, in dem die innovativen Antriebskomponenten untergebracht sind. Die elektrische Energie wird durch eine Brennstoffzelle erzeugt, die H₂ (aus dem Tank) und O₂ (aus der Umwelt) umwandelt, wobei Wasser als Reaktionsprodukt die einzige Emission ist. Hochleistungs-Lithiumbatterien dienen als Energiepuffer, um die Brennstoffzelle bei Leistungsspitzen zu unterstützen und die Bremsenergie zu rekuperieren.

Gewichts- und Kostenreduzierung

Ein weiterer Schlüssel zur Energieeinsparung bei Zügen ist die konsequente Verfolgung einer Leichtbauweise, die immer mit einem klaren Fokus auf Kostenoptimierung betrachtet werden muss. FEV verfügt in diesem Bereich über umfangreiche Erfahrungen in der Anwendung moderner Fertigungs-

verfahren, wie z. B. Strangpressen, Schweißen, Thermoformen und Kleben sowie bei Leichtbaumaterialien wie Aluminium, glas-/kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen und recycelten/recyclbaren Polymeren. Aufgrund der vergleichsweise kleinen Stückzahlen, die für die Eisenbahnindustrie typisch sind, sollten die Fertigungs- und Montagetechnologien mit geringen Investitionen verbunden sein. Vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Fertigung muss außerdem der Einsatz von recycelbaren und umweltfreundlichen Materialien in die Überlegungen einbezogen werden.

Entwicklung und Herstellung

Mit einer breiten Palette von Produkt- und Werkzeugentwicklungen unterstützt FEV Hersteller und Zulieferer bei der Verbesserung von Effizienz, Kapazität und Komfort von Zügen. Der Einsatz moderner und innovativer Methoden und Werkzeuge, der ganzheitliche Ansatz sowie die Nähe zu den Kunden ermöglichen es dem Entwicklungsdienstleister, die anspruchsvollen Anforderungen der Bahn-OEMs zu erfüllen. Abhängig von den geforderten Inhalten des Projekts kann FEV dafür auf ein weltweit verteiltes Netzwerk aus unternehmenseigenen Kompetenzzentren und externen Partner zurückgreifen.

Der Einsatz moderner CAD/CAE- und PLM-Tools sowie neuer Methoden wie System Engineering und Model Based System Engineering ermöglicht eine flexible Zusammenstellung der Arbeitsteams zur Optimierung von Zeit und Kosten.

Unterstützung in allen Projektphasen

FEV begleitet die Entwicklung und Herstellung von städtischen, ländlichen und Hochgeschwindigkeitsanwendungen während des gesamten Entwicklungszyklus. Angefangen bei der anfänglichen Konfiguration und der ersten Auslegung über die Machbarkeit und dem Konzept, bis hin zur Serienentwicklung, dem Produktions-Engineering und den Werkzeugen. Dies gilt sowohl für das Gesamtfahrzeug als auch für einzelne Module und Subsysteme. Hierzu gehören beispielsweise die Frontpartie, die Karosserie, die Ober- und Unterbodenausstattung, die Innen- und Außenverkleidungen, die Beleuchtung, die oberen und unteren Abdeckungen, die Kabelbäume und die Leitungen.

Darüber hinaus kann FEV das Design der Styling-Oberflächen als Ausgangspunkt für die nachfolgende Konstruktion definieren. Daran schließen sich die weiteren Phasen der Bauteilaufteilung, der Layoutdefinition und des Konzeptentwurfs an, um nur einige Beispiele zu nennen.

Bei der Entwicklung von Innenverkleidungen werden die Styling-Oberflächen in technische Hauptbereiche aufgeteilt, wobei zunächst die Verbindungslösungen zum Rohbau definiert werden. Das Layout der inneren Subsysteme mit den zugehörigen Kabel-/Rohrverbindungen und -verläufen, wird zunächst als grobes Package entworfen. Anschließend wird es anhand der ersten 3D-Modelle der Zulieferer in Übereinstimmung

mit den Anforderungen des Endkunden, den Vorschriften und den Übertragungsverpflichtungen angepasst. Die schrittweise Definition und Detaillierung von technischen Lösungen durchläuft innerhalb der Simultaneous-Engineering-Umgebung des OEM in enger Abstimmung mit den Tier1-Lieferanten mehrere Schleifen

Spezielles Fachwissen ist auch für die richtige Auslegung des mehrschichtigen Bodens erforderlich. Dieser muss neben seiner natürlichen Aufgabe als Fußboden verschiedene weitere Funktionen erfüllen, etwa Geräuschdämmung und Wärmemanagement. Außerdem muss er einfach zu reinigen sein. Weitere wichtige Tätigkeiten sind die Montage von schweren Subsystemen wie Gleichrichtern, Batterien, HVAC-Systemen sowie leichten Komponenten wie Feuerlöschgeräten oder Antennen auf dem Fahrzeugdach. Jedes dieser Teilsysteme muss strukturell mit dem Chassis verbunden und im Anschluss die elektrischen, pneumatisch oder hydraulischen Verbindungen ausgestattet werden. Auch hier ist eine enge Zusammenarbeit mit den entsprechenden Abteilungen der OEMs und der verwendeten technischen Plattform notwendig.

Ebenfalls von hoher Relevanz, vor allem bei elektrischen Antrieben, ist das Wiring-Harness-Team, das sich um alle elektrischen Verbindungen (Hoch-, Mittel- und Niederspannung) kümmert. Zunächst werden von den Experten am Computer dreidimensionale Modelle zur Kabelverlegung entworfen und in den entsprechenden Bauplänen vorgemerkt. Aus den nachfolgenden Iterationsschleifen ergeben sich dann 2D-Zeichnungen, sowie ausführliche Montageanleitungen. Diese werden dann an die für die Produktion verantwortlichen Lieferanten übergeben.

Wie zuvor erwähnt, erfolgt die detaillierte Planung der verschiedenen Bereiche jedes einzelnen Wagens des Zuges im Rahmen eines Simultaneous Engineering Prozesses, wobei jedes spezialisierte Team eine vorher festgelegte Anzahl von Schleifen durchläuft. Jedes dieser Teilprojekte führt zur Realisierung einer Reihe von Details, die zu Beginn der folgenden Projektphase überprüft werden. Jedes dieser Projekte führt zur Umsetzung einer Reihe von Details, die zu Beginn jeder Projektphase überprüft werden. Der Einsatz moderner CAD/CAE-Tools zur Definition beziehungsweise Verifizierung technischer Lösungen und eines maßgeschneiderten PLM-Systems zur Organisation des Produktbaums und der Teilenummern sowie deren Revisionen ist entscheidend. Sie sind der Schlüssel für eine effektive und effiziente Erfüllung der anspruchsvollen Ziele eines jeden Projekts. Jede Tätigkeit der einzelnen Teammitglieder wird durch spezifische Prozessbeschreibungen des OEM geregelt.

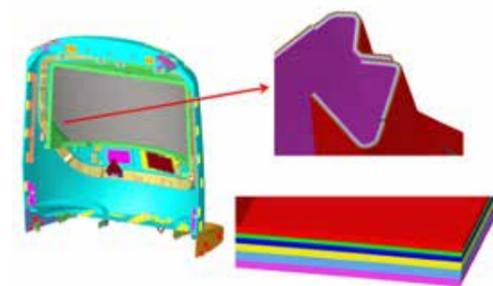
Mit der langjährigen Erfahrung und Vielzahl erfolgreicher Projekte in der Bahnindustrie, einer globalen Präsenz und dem umfassenden Know-how bei innovativen Antrieben und Fahrzeugen ist FEV heute wie auch in der Zukunft ein starker Partner für Bahn-OEMs und Tier-X-Zulieferer.

Technologietransfer

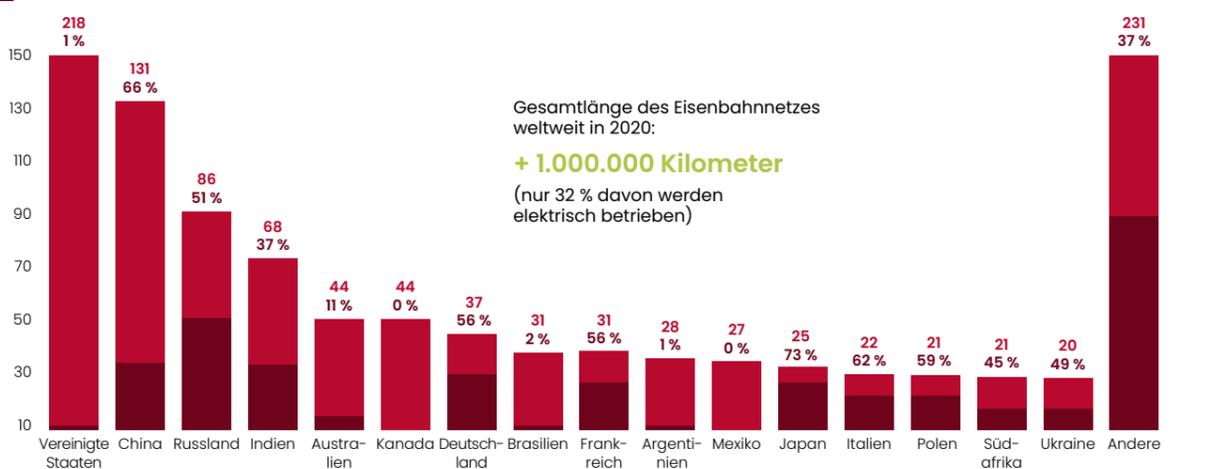
Innovative Methoden, Werkzeuge und Designlösungen, die in einem Industriezweig eingeführt werden, können oft auch in anderen Industrien erfolgreich verwendet werden.

Dank umfangreicher Aktivitäten im Bereich der Antriebsstränge und Fahrzeuge in verschiedenen Geschäftsfeldern ist FEV in der Lage, seinen Bahnkunden einen Mehrwert in Form von Innovationen (Werkzeuge, Methoden, Design, Simulation, Testing und Produkt- bzw. Fertigungslösungen) zu bieten.

FEV ist der richtige Engineering- und Innovationspartner für Bahnprojekte jeder Größenordnung, indem das Unternehmen eine geeignete Kombination von globalen Kompetenzen mit der geeigneten Projektorganisation und den richtigen Tools und Prozessen sowie überdurchschnittlichem Engagement für die vollständige Erfüllung der Kundenbedürfnisse bietet.



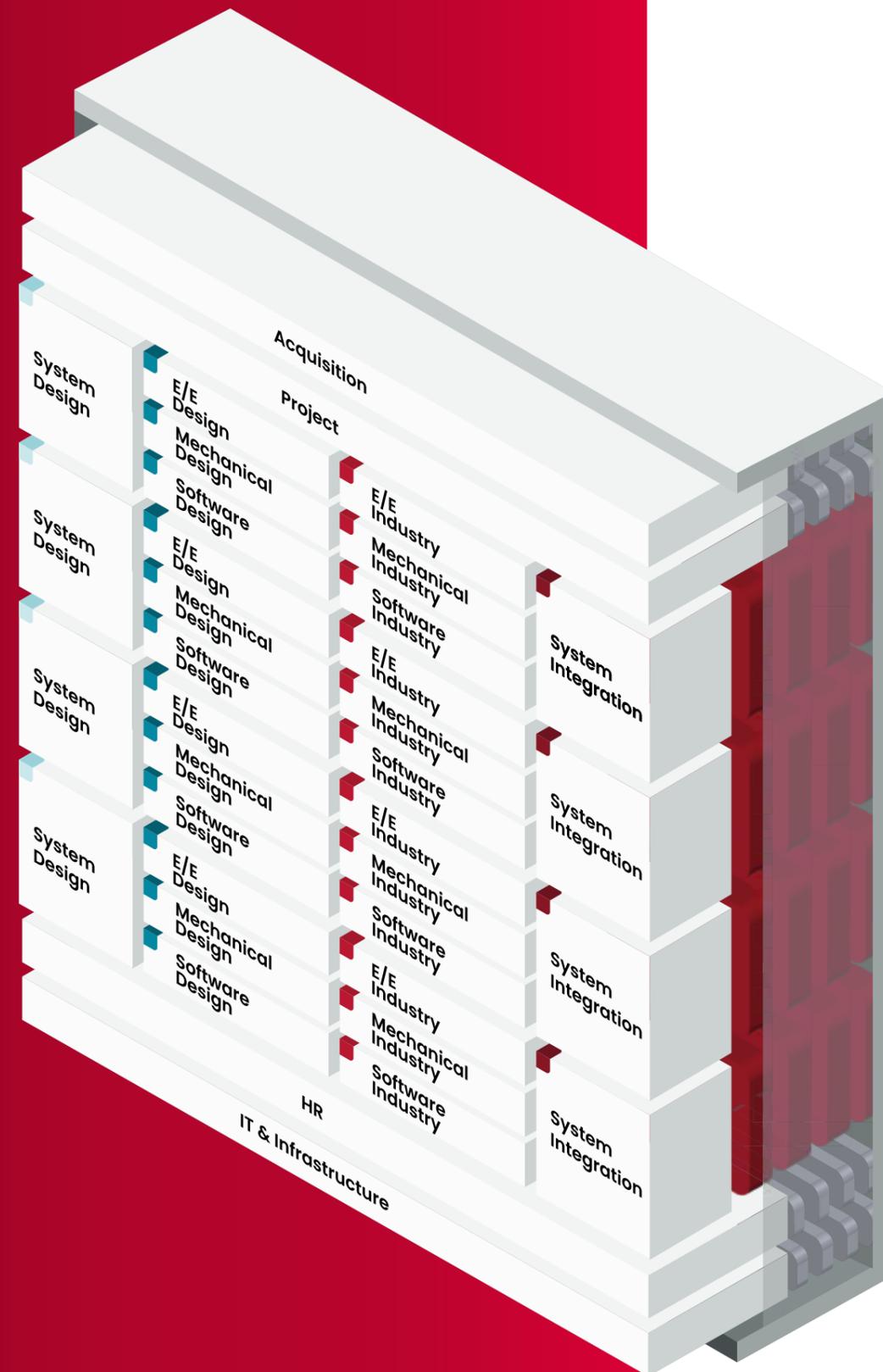
2 3D-CAD-Datenstudien.



1 Elektrifizierungsgrad der weltweiten Eisenbahnnetze. Quelle: UNIFE 2020 Daten, inklusive Hochgeschwindigkeitsstrecken, Haupt- und Güterstrecken (exklusive Stadtbahnen)

■ Länge der nicht-elektrifizierten Netze
■ Länge der elektrifizierten Netze (Kilometer, in Tausend)

VON
Angelo Massone
massone@fev.com
Paolo Cavarero
cavarero@fev.com



#8 Frischer Wind bei der Fahrzeugentwicklung – *Systems Engineering* by FEV

Im sich rasch entwickelnden Umfeld des modernen Ingenieurwesens steht die Mobilitätsbranche vor zunehmend komplexen Herausforderungen. Diese betreffen zum einen eine wachsende Komplexität und einen hohen Detaillierungsgrad der Projekte an sich, sowie die Organisation und das Projektmanagement. In diesem Artikel wird FEVs einheitlicher „Engineering Backbone“ und ein Ingenieurprozessrahmenwerk (Engineering Process Framework, EPF) vorgestellt, mit denen die Entwicklung optimiert wird. Dies veranschaulichen die Autoren am Beispiel des FEV Fahrzeugentwicklungsprozesses (Vehicle Development Process, VDP), der auf Produkt- und Domänenebene integriert ist und durch die Einbindung von künstlicher Intelligenz (KI) für erhöhte Geschwindigkeit und Effizienz verbessert wird.

Heutige Entwicklungsprojekte zielen darauf ab, softwaredefinierte cyber-physische Systeme zu schaffen, die erhöhten Kundenanforderungen gerecht werden, strengen Vorschriften entsprechen und ehrgeizige Unternehmensziele unterstützen. Diese Systeme basieren stark auf dem Zusammenspiel zwischen Hardware- und Softwarekomponenten. Die Integration dieser Komponenten führt jedoch zu einer Reihe von Barrieren, die überwunden werden müssen, um Erfolg zu erzielen.

Komplexitätsbarriere

Im Kern liegt die komplexe Abhängigkeit zwischen den Komponenten, um das gewünschte emergente Systemverhalten zu erzeugen. In der softwaregetriebenen Entwicklung wird diese Abhängigkeit verstärkt, was es schwierig macht, alle Verbindungen zu überblicken und das Risiko von Integrationsfehlern erhöht. Es ist jedoch alles andere als trivial, sicherzustellen, dass alle Komponenten korrekt interagieren, um die gewünschte Funktionalität zu erreichen und Fehlfunktionen zu verhindern.

Organisatorische Barriere

Die organisatorische Barriere ist eine der größten Herausforderungen. Die Koordination von Hunderten, wenn nicht Tausenden von Ingenieuren auf der ganzen Welt ist eine enorme Aufgabe. Effektive Zusammenarbeit ist entscheidend, um sicher zu stellen, dass alle

»FEVs Engineering Process Framework ermöglicht eine praxisnähere Anwendung des Systems Engineering und überbrückt die Lücke zwischen theoretischen Rahmenwerken und der Umsetzung in der realen Welt.«

Teammitglieder auf ein gemeinsames Ziel ausgerichtet sind. Dies erfordert robuste Managementstrategien und Werkzeuge, die Kommunikation, Aufgabenverteilung und Fortschrittsverfolgung erleichtern. Ohne diese steigt das Risiko von Fehlentscheidungen und Projektverzögerungen erheblich.

Inhaltsbarriere

Schließlich bezieht sich die Inhaltsbarriere auf die überwältigende Vielzahl von Standards, Gesetzen und Vorschriften, die Ingenieurprojekte regeln. Die Einhaltung ist unverhandelbar, muss jedoch erreicht werden, ohne Benutzerfreundlichkeit, Anpassungsfähigkeit und Verständlichkeit zu beeinträchtigen. Ingenieure müssen Arbeitsprodukte erstellen und dokumentieren, die diesen strengen Anforderungen entsprechen, was dem Prozess eine weitere Ebene der Komplexität hinzufügt.

Ein gemeinsamer „Engineering Backbone“ als Grundlage zur Beschleunigung

Als Antwort auf Herausforderungen führt FEV eine Struktur ein, um diese Barrieren zu überwinden: ein einheitlicher „Engineering Backbone“. Basierend auf dem FEV CUBE (Compositional Unified System-Based Engineering) soll er alle Ingenieuraktivitäten innerhalb der Organisation ausrichten und eine einheitliche Struktur für die Bewältigung komplexer Projekte bieten. Seine Kernaufgabe ist es, alle Disziplinen zu vereinen, um sicheres und zuverlässiges Engineering für softwaregetriebene Systeme zu realisieren, eine umfassende Perspektive auf die zu entwickelnden Produkte zu schaffen und effektive Zusammenarbeit zu fördern.

Komplexität abbauen

Um die Komplexität fortschrittlicher Ingenieurprojekte effektiv zu managen, besteht der erste Schritt darin, die Produkte in handhabbare Segmente zu zerlegen. Indem das Produkt in sein umgebendes Ökosystem, das Produkt selbst (z. B. Fahrzeug, Flugzeug), seine Domänen, Sub-Domänen und schließlich seine Komponenten aufgeteilt wird, ist sichergestellt, dass jeder Teil des Produkts gründlich verstanden und adressiert wird. Diese hierarchische Zerlegung ermöglicht es den Ingenieuren, kleinere, besser handhabbare Herausforderungen zu lösen, die zusammen zum Erfolg des gesamten Projekts beitragen.

Unterstützung von Ingenieurentscheidungen

Der zweite wesentliche Schritt konzentriert sich darauf, Entscheidungen in den richtigen Entwicklungsphasen zu treffen. Durch die Organisation des Entwicklungsprozesses in verschiedene Ingenieursichten, wie funktionsorientiertes Systemdesign, disziplinspezifisches (Software-, Elektro- und Mechanik-) Design, disziplinspezifische Industrialisierung und Systemintegration, wird sichergestellt, dass kritische Entscheidungen zu den am besten geeigneten Zeiten getroffen werden. Dieser Ansatz minimiert das Risiko, wichtige Details zu übersehen und trägt dazu bei, das Momentum des Projekts aufrechtzuerhalten.

Organisation konkreter Prozesse

Durch die Kombination dieser beiden Elemente bietet FEVs „Engineering Backbone“ einen Rahmen für alle Prozesssets entlang aller Zerlegungsebenen und Entwicklungsansichten. Dieser systematische Ansatz ist entscheidend für das effiziente Management von Prozessen und stellt sicher, dass alle Teammitglieder sich ihrer Rollen und Verantwortlichkeiten innerhalb des jeweiligen Rahmens bewusst sind. Durch die Bereitstellung eines klaren Rahmens für die Zusammenarbeit können Ingenieure effektiv zusammenarbeiten und ihre Stärken nutzen, um gemeinsame Ziele zu erreichen.

Diese Struktur legt den Grundstein zur Beschleunigung des Entwicklungsprozesses. Um die Theorie in die Praxis umzusetzen, hat FEV das Rahmenwerk Engineering Process Framework (EPF) entwickelt.

Von der Theorie zur Praxis – das Engineering Process Framework

Aufbauend auf dem Fundament des „Engineering Backbones“ führte FEV das Engineering Process Framework (EPF) ein. Es ermöglicht eine praxisnähere Anwendung des Systems Engineering und überbrückt die Lücke zwischen theoretischen Rahmenwerken und der Umsetzung in der realen Welt.

Abbildung 1 (Seite 46) veranschaulicht das Grundprinzip des EPF, das als ein „Apothekerschrank“ verstanden werden kann. Die beiden Dimensionen an der Vorderseite, „Decomposition“ und „Engineering Views“, bilden die Schubladen dieses Schanks. Die Schubladen sind durch Einstellungskästen organisiert, die als Prozessbereiche bezeichnet werden. Die Einstellungskästen sind mit Artefakten gefüllt, die von adressierten Standards wie A-SPICE, ISO26262, Cybersecurity oder SOTIF gefordert werden und gemäß der entsprechenden Zerlegungsebenen und Entwicklungsansichten (Arbeitsumfang) angeordnet sind.

Die Abbildung am Beispiel des Systemdesigns auf Produktebene (Fahrzeug) zeigt demnach jenen Zustand, wenn man eine Schublade herauszieht. Man sieht, dass die Schublade gemäß den Standardprozessen organisiert ist, die für diese Kombination aus Zerlegungsebenen und Entwicklungsansichten relevant sind. Das EPF dient als Werkzeug zur Steigerung der Effizienz und Effektivität von Ingenieurprojekten, von der anfänglichen Planung bis zum Abschluss eines Projekts. Die Konfiguration des EPF in der Projektplanungsphase ermöglicht es, sicherzustellen, dass das Projekt den erforderlichen Standards und den spezifischen Bedürfnissen der Branche entspricht. Die Matrixform ermöglicht beispielsweise die Anordnung von SW- und E/E-Entwicklung auf höheren Ebenen als der Komponentenebene.

Dies hilft, domänenübergreifende System-, Software- und E/E-Architekturen und -Implementierungen zu adressieren und zu organisieren sowie Systemanforderungen auf der richtigen Ebene zu behandeln. Es erlaubt auch weiterhin die traditionelle komponentenorientierte V-Modell-Form, sofern gewünscht. Weitere Vorteile sind die einfache Zuordnung zum FEV Projektportfolio und die Zuordnung zu unterschiedlichen Organisationsstrukturen. Einmal etabliert, dient das Rahmenwerk außerdem dazu, Artefakte laufender und neuer Projekte zu speichern sowie zu strukturieren und als Bibliothek für die Wiederverwendung von Wissen zu dienen.

Bei der Untersuchung wird deutlich, dass die Stärke dieses Rahmenwerks in seiner Fähigkeit liegt, sich an verschiedene spezifische Prozesse innerhalb des Engineering-Lebenszyklus anzupassen und diese anzuwenden.

Beschleunigung mit dem FEV VDP

Basierend auf dem allgemeinen Verständnis des Systems Engineering und dem Engineering Process Framework hat FEV den Vehicle Development Process (VDP) entwickelt. Der FEV VDP bildet in Rahmenwerk für vollständige Fahrzeugentwicklungsprojekte sowie für Teilbereiche. Mit einem klaren Fokus auf Systeme und einem hohen Anteil an virtueller Validierung ist es dem Unternehmen gelungen, die Entwicklungszeiten erheblich zu verkürzen, ohne dabei Kompromisse bei der Qualität einzugehen.

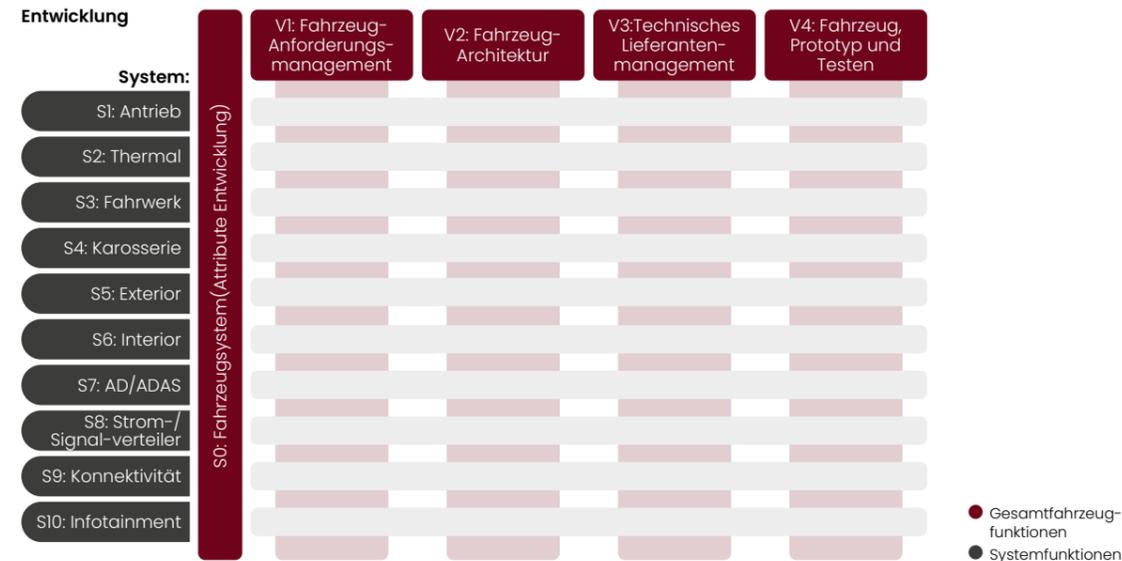
Wie in standardisierten Fahrzeugentwicklungsprozessen hat auch der FEV VDP eine klare Phasenstruktur mit übergeordneten Qualitätsmeilensteine. Diese Meilensteine sind eindeutig durch die Ergebnisse der systembasierten Entwicklungsstrukturen von FEV definiert.

Die Erfolgsfaktoren für einen beschleunigten Fahrzeugentwicklungsprozess liegen in der frühzeitigen bereichsübergreifenden Kommunikation und dem klaren Bekenntnis zu abgestimmten Anforderungen, die in FEVs „Engineering Backbone“ verkörpert sind. Dies ermöglicht die Integration von Off-the-Shelf (OTS)-Lösungen sowie eine frühe Abstimmung mit der Fertigungsplanung. Mit diesem Fundament beschleunigt die konsequente Virtualisierung der Entwicklungsprozesse den FEV VDP weiter, um die Markteinführungszeit zu minimieren. Neben diesen Faktoren ist die Integration des FEV VDP in das EPF entscheidend, um die Qualitätsmeilensteine mit der erforderlichen Qualität zum vorgegebenen Zeitpunkt zu passieren.

FEV VDP vollständig in die EPF-Umgebung integriert

Ein wichtiger Erfolgsfaktor für eine konsequente vollständige Fahrzeugentwicklung ist eine klare Struktur für die Projektorganisation. In diesem Zusammenhang nutzt der FEV VDP die Strukturen und Prozesse des EPF und kombiniert sie zu einem Ganzen für ein Fahrzeugentwicklungsprojekt. Daher bietet der FEV VDP eine klare Richtlinie, wie ein solches Entwicklungsprojekt zu strukturieren ist. Zentrales Element ist der Entwicklungsbereich, der selbst wie eine Matrixorganisation funktioniert – mit Fahrzeugsystemen auf der einen Achse und einer überlagerten vollständigen Fahrzeugstruktur auf der anderen Achse, wobei alle notwendigen Koordinierungsaktivitäten zwischen den Systemen erfolgen (Abbildung 3).

Der Entwicklungsbereich entspricht den technischen Schubladen des EPF auf Fahrzeug- und Domänenebene und kann daher die zugrunde liegenden EPF-Prozesse nutzen, um die technischen Inhalte zu entwickeln. Die Koordination zur Sicherstellung einer klaren Aufschlüsselung der Anforderungen, der Ausrichtung der Fahrzeugarchitektur, des gemeinsamen technischen Lieferantenmanagements sowie der koordinierten Fahrzeugprototypen- und Testverfahren wird durch spezielle Verantwortlichkeiten über die Systeme hinweg realisiert.



3. System Engineering als Entwicklungsgrundlage im FEV VDP Organisationsmodell.

Anwendung des Fahrzeugentwicklungsprozesses in der Praxis

In einem kürzlich durchgeführten Kundenprojekt wurde FEV von einem weltweit führenden Automobilhersteller beauftragt, die Entwicklung einer vollständig vernetzten, autonomen batterieelektrischen Fahrzeugplattform zu leiten. Eine der Hauptanforderungen des Projekts war der „Start of Production“ (SOP) spätestens 48 Monate nach Projektbeginn. Um die geplanten Meilensteine zu erreichen, entschied sich das Projektteam für OTS-Komponenten und -Architekturen. Die technische Realisierung, einschließlich Software, E/E und Mechanik, wurde teilweise durch eine Mischung aus neuen und bestehenden Lieferanten verwendet, was zusätzlich die Einhaltung der Qualitätsanforderungen und Budgetvorgaben sicherstellte.

Der VDP ermöglicht die Wiederverwendung eines bereits industrialisierten Kundenprodukts, indem sowohl die Produkt- als auch die Domänenebenen-Produktarchitektur sowie die Informationsarchitektur parallel aktualisiert werden. Durch die Zuordnung aller bestehenden, geänderten und neuen funktionalen Anforderungen in der Informationsarchitektur werden alle gewünschten neuen Funktionen integriert. Im Gegensatz zu traditionellen Top-down-Ansätzen im Systems Engineering nutzt FEVs Methode eine Bottom-up-Strategie, die die bestehende Produktstruktur mit der aktualisierten Informationsarchitektur verknüpft. Dieser Ansatz ermöglicht es, bestehende Elemente der Produktarchitektur zu identifizieren, die neue Funktionsanforderungen erfüllen können, oder Lücken zu erkennen, die iterative Änderungen erfordern. Der Mehrwert liegt in der gleichzeitigen Erstellung und Abstimmung der notwendigen Schnittstellen zwischen den Informations- und Produktarchitekturen (Abbildung 4, Seite 52).



Der FEV Fahrzeugentwicklungsprozess auf der Grundlage eines komprimierten Gate-Systems mit klar definierten Ergebnissen



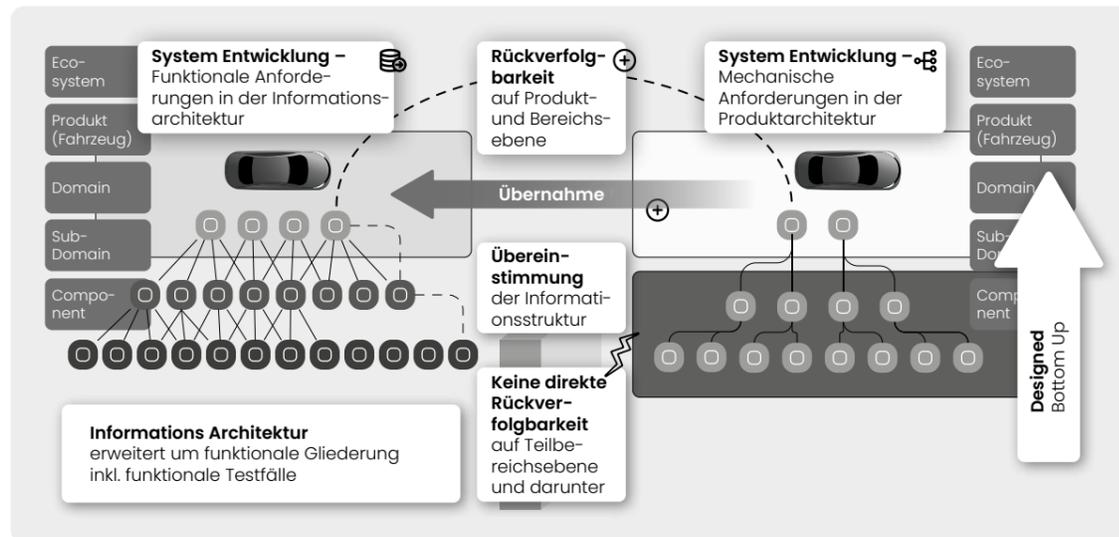
FEV unterstützt nachdrücklich die Strategie, "Off the shelf"-Teile zu nutzen

Frühzeitige virtuelle Tests erhöhen den Reifegrad und ermöglichen kürzere Entwicklungszeiten

Anpassung der EE-Architektur an die definierten Bedürfnisse durch klar definierte Prozesse



2. Erfolgsfaktoren für einen beschleunigten Fahrzeugentwicklungsprozess.



4. Verknüpfung von Informations- und Produktarchitektur.

Die resultierende Informationsarchitektur dient als grundlegendes Werkzeug für zukünftige Innovationen. Zudem können Testfälle und Anforderungen für zukünftige Projekte und Derivate wiederverwendet werden. Dieser Ansatz ist besonders vorteilhaft für Projekte mit einer hohen Anzahl von Produktvarianten, wie zum Beispiel der Entwicklung von Schwerlastfahrzeugen, da er einen effizienten Weg bietet, die Machbarkeit der Wiederverwendung bestehender Lösungen in neuen Varianten zu bewerten.

In der täglichen Arbeit steigern diese Vorteile die Effizienz und Effektivität des Engineerings und reduzieren die Kosten. Zusammen mit nützlichen Rahmenwerken, um die Barrieren der heutigen Entwicklungsherausforderungen zu überwinden, setzt FEV weitere Werkzeuge ein, um seine Engineering-Prozesse weiter zu optimieren.

Verbesserung des Systems Engineering durch künstliche Intelligenz (KI)

Blickt man in die Zukunft, bietet die Integration von künstlicher Intelligenz (KI) in dem Engineering Process Framework vielversprechende Möglichkeiten, die Prozesseffizienz und die Qualität der Ergebnisse weiter zu verbessern. Die durch das EPF definierte Struktur bietet ein robustes Rahmenwerk mit klaren Eingängen und erwarteten Ausgaben in jeder Phase des Engineering-Lebenszyklus.

Dieser strukturierte Ansatz eignet sich u. a. ideal für die Anwendung von Generativer KI (GenAI). Sie kann eingesetzt werden, um verschiedene Aspekte des Prozesses zu optimieren und zu automatisieren, Aufgaben zu rationalisieren, Fehler zu reduzieren, die Entscheidungsfindung zu verbessern und somit die Qualität des Produkts zu steigern. Mehrere Anwendungsfälle veranschaulichen, wie KI effektiv integriert werden kann:

1. Automatisierte Anforderungserstellung und -validierung

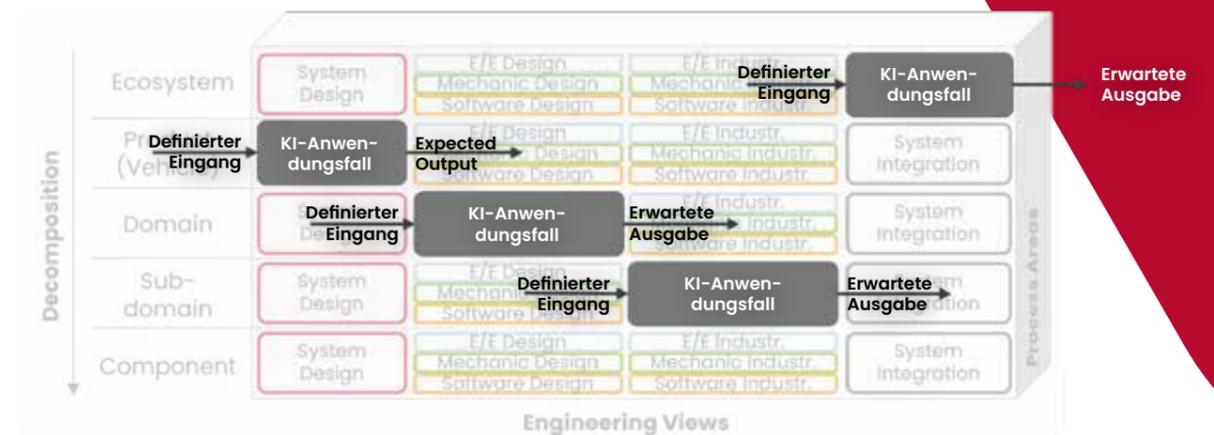
Die jüngsten Entwicklungserfolge im Bereich der GenAI und leistungsfähiger Sprachmodelle ermöglichen eine facettenreiche Unterstützung bei Systems-Engineering-Aufgaben während des gesamten Entwicklungsprozesses. Angefangen von der automatischen Erstellung von Spezifikationen aus projektspezifischen Quellen über die Überprüfung von Anforderungen auf Testbarkeit, Unabhängigkeit, Konsistenz oder Syntax bis hin zur Erstellung von Softwaredokumentationen und Testfällen. Durch die individuelle Konfiguration großer Sprachmodelle und die Bereitstellung des richtigen Kontexts reduziert generative KI die Entwicklungszeit erheblich und erhöht gleichzeitig die Qualität der Arbeitsergebnisse.

2. Verbesserte Konstruktion und Simulation

KI kann den Entwicklungsprozess unterstützen, indem sie Multi-Physics-Simulationen basierend auf Physics-Informed Neural Networks (PINN) integriert, was zu effizienten und genauen Modellen führt, die komplexe Wechselwirkungen zwischen verschiedenen physikalischen Phänomenen berücksichtigen. Ein Beispiel hierfür ist die Entwicklung dieses Ansatzes durch FEV, um schnelle Designiterationen im Bereich der Brennstoffzellenstapelentwicklung zu ermöglichen.

3. Effektivitätssteigerung mit Copilot

GenAI verbessert die Softwareprogrammierung, indem es die Codeerstellung automatisiert, was den manuellen Programmieraufwand reduziert und die Entwicklungszeiten verkürzt. Es verbessert auch die Codequalität, indem es Fehler identifiziert und korrigiert, die Leistung optimiert und die Einhaltung von Best Practices durch intelligente Code-Review-Systeme sicherstellt. FEV bewertet derzeit verschiedene Lösungen, um die Einhaltung von Datenschutzbestimmungen sicherzustellen.



5. Verknüpfung von Informations- und Produktarchitektur.

4. Dokumentation und Compliance

Generative KI kann die Dokumentation rationalisieren, indem sie die Erstellung und Pflege umfassender und konsistenter Formulierungen automatisiert und so den manuellen Aufwand der Ingenieure reduziert. Sie kann die Qualität durch Sicherstellung von Genauigkeit und Einhaltung von Standards wie A-SPICE, ISO26262 und CySec durch intelligente Validierungs- und Fehlerüberprüfungsfunktionen verbessern. FEV arbeitet außerdem derzeit an einer neuen Lösung im Bereich der OBD-Dokumentation.

Fazit

Die Kombination von EPF und KI erlaubt starke Synergien, die das Potenzial haben, die Entwicklungspraktiken bei FEV zu revolutionieren. Durch den Einsatz von KI innerhalb dieses Rahmens können beispiellose Effizienz-, Genauigkeits- und Innovationsniveaus erreicht werden. Die Reise der Integration von KI im EPF hat gerade erst begonnen und die potenziellen Vorteile sind enorm.

VON
 Dr. Frank Wienand
 wienand@fev.com
 Kevin Heinen
 heinen_k@fev.io
 Lukas Schäfers
 schaefers_luk@fev.com
 Dr. Jan-Jöran Gehrt
 gehrt@fev.io
 Dr. Carsten Wulff
 wulff_car@fev.com
 Dr. Dominik Lückmann
 lueckmann@fev.com

#9

FEV weitet **Benchmarking** Angebot aus

 BENCHMARKING



Weitere Informationen zum
Benchmarking-Angebot

FEV hat den operativen Betrieb seines neuen Benchmark-Centers (BMC) in Aachen aufgenommen. Damit baut der weltweit führende Entwicklungsdienstleister in den Bereichen Mobilität, Software und Energie seine langjährige Erfahrung im Benchmarking kontinuierlich aus. FEV bietet seinen Kunden am BMC ein erweitertes Leistungsangebot an, welches von umfassenden Analysen ganzer Fahrzeuge bis zur gezielten Unterstützung auf Komponenten- oder Technologieebene reicht.

Die Nachfrage nach Benchmarking-Analysen wächst nicht erst seit dem weltweit steigenden Anteil neuer batterieelektrisch betriebener Modelle und entsprechender Hersteller. Mit den jüngsten Erweiterungen wird FEV dieser Entwicklung gerecht und bietet Kunden mit seinen Analyseergebnissen einen entscheidenden Entwicklungsvorteil.

In Aachen befindet sich das neue Benchmark-Center (BMC) mit erweitertem Leistungsspektrum auf einer Fläche von 1.250 m² direkt am Hauptsitz, in unmittelbarer Nähe zum FEV Engineering-Bereich. Die räumliche Nähe ermöglicht fortan eine zeitlich und thematisch flexible Zusammenstellung von interdisziplinären Expertenteams, etwa für Workshops. So kann das Unternehmen für seine Kunden allein im Automobilbereich auf über 45 Jahre Engineering-Erfahrung zurückgreifen und diese für Kundenprojekte optimal zuschneiden.

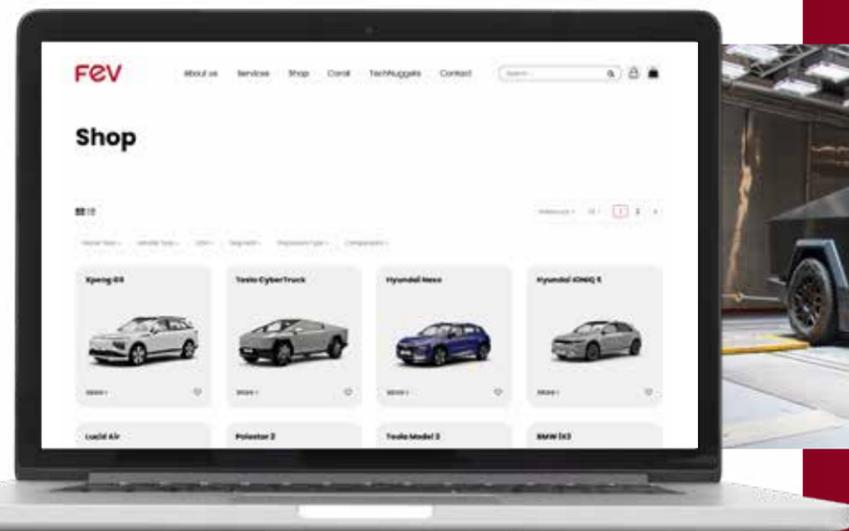
Neben wertvoller Expertise kommt am BMC neueste Technik zum Einsatz. Bei der Dokumentation und Analyse werden beispielsweise moderne Materialanalyse- und Röntgengeräte sowie 3D-Scanner genutzt. Das neue Benchmark-Center verfügt über eine Ausstellungsfläche von 400 m², auf der Besucher Fahrzeuge und ihre Hardware live erleben und die Unterschiede und Vorteile einzelner Komponenten oder Systeme unmittelbar nachvollziehen können. Weitere 650 Quadratmeter werden für Dokumentations- und Werkstatträume, ein Fotostudio sowie Büros und Meetingräume genutzt. Im

Innovation Lab werden auf 200 m² Workshops und Ideationprojekte realisiert. Direkt neben der Benchmarking-Hardware wurden damit Räumlichkeiten geschaffen, die auf Kreativität und maximalen Output der Arbeitsgruppen in angenehmer Atmosphäre ausgelegt sind.

Sämtliche bei den Analysen bisher und künftig gesammelten Daten werden in die neue cloud-basierte FEV Benchmarking-Datenbank „carat“ integriert. Für FEVs Kunden wird es dadurch noch einfacher, die Ergebnisse optimal für ihre individuellen Zwecke zu nutzen, indem sie künftig Daten auf allen Ebenen des Fahrzeugs über die individuell anpassbare Datenbank analysieren und vergleichen können.

Neben dem neuen BMC in Aachen verfügt das Benchmarking Team über Kapazitäten an insgesamt drei weiteren Standorten in Nordamerika, Indien und China. Im kürzlich ebenfalls erweiterten Vehicle Development Center (VDC) in Detroit führt FEV kontrollierte Fahrzeugtests der Stufe 2 durch, um beispielsweise Energieverbrauch, Steuerungsstrategie, Effizienz des Antriebsstrangs und Wärmemanagement zu analysieren.

Aktuell werden bei FEV Teslas Cybertruck und der Audi SQ6 e-tron von den Benchmark-Experten analysiert.



Signature Solutions #10

SPECTRUM stellt regelmäßig eine Auswahl dieser einzigartigen Lösungen von FEV vor.

FEV.io revolutioniert das Nutzererlebnis im Auto durch eine generative KI-gesteuerte Infotainment-Lösung

FEV.io, die Softwaremarke von FEV, präsentierte kürzlich einen intelligenten Sprachassistenten, der eine vollkommen neuartige User-Experience im Fahrzeug ermöglicht. Die Lösung nutzt generative KI, um die Bedürfnisse von Fahrer und Passagieren zu verstehen und in Echtzeit optimale Lösungen bereitzustellen.

Der ganzheitliche Entwicklungsansatz von FEV.io setzt auf ein innovatives KI-Framework. Die generative KI, die in den Kern des Sprachassistenten eingebunden wird, greift auf Daten aus einem persönlichen, gesicherten Cloud-Profil des Fahrers zu und sucht mit Hilfe von Live-Fahrzeugdaten sowie Umgebungsparametern in Echtzeit nach der bestmöglichen Unterstützung für den Nutzer.

In der digitalen und vernetzten Welt von heute wird immer häufiger ein neuartiges Nutzererlebnis im Fahrzeug erwartet. Aus diesem Grund analysiert das internationale Team von FEV.io verschiedene Alltagssituationen, skizziert mögliche Herausforderungen und entwickelt daraus maßgeschneiderte, ganzheitliche Lösungen, die die bestmögliche User-Experience für den Fahrer garantieren. Das Unternehmen begleitet dabei den Entwicklungsprozess von der ersten Idee bis zur fertigen und getesteten Lösung in Serienreife, wobei Datensicherheit und Privatsphäre selbstverständlich zu jeder Zeit gewahrt werden.

Nahtlose und intuitive Nutzererfahrung

Die Zeiten, in denen zur Bedienung von Sprachassistenten bestimmte Keywords auswendig gelernt werden mussten, gehören ab sofort der Vergangenheit an. Der FEV.io Ansatz bietet eigenständige Lösungen für alltägliche Fragestellungen. Am folgenden Beispiel wird die Komplexität vermeintlich einfacher Alltagssituationen deutlich, bei denen der neue Sprachassistent von FEV einen Mehrwert liefern kann:

Aus den Ausgangsfragen „Wann habe ich meinen nächsten Termin? Was muss ich dafür vorbereiten?“ lassen sich weitere

Fragen wie „Komme ich bei der aktuellen Verkehrslage pünktlich dort an? Reicht meine Batterie-ladung oder Tankfüllung für diese Strecke?“ ableiten. Das Assistenzsystem bedenkt diese nachfolgenden Schritte selbständig und bietet entsprechende Lösungen an.

Ebenso kann das System weitere Fahrzeugfunktionen wie die Klimaanlage, oder das Infotainment-System steuern. Aus einem Satz wie "Ich bin müde" leitet die generative KI beispielsweise Maßnahmen wie das Abspielen anregender Musik oder eine Temperaturabsenkung im Innenraum ab. Ebenfalls legt das System den nächsten Rastplatz als Navigationsziel fest und animiert den Fahrer, dort eine Pause einzulegen. So kann KI sogar für die Sicherheit des Fahrers und anderer Verkehrsteilnehmer sorgen.

FEV kombiniert seine Expertise in der Softwareentwicklung mit langjähriger Erfahrung in der Gesamtfahrzeugentwicklung. Dabei greift das Team auf ein weltweites Netzwerk von Spezialisten zurück, die maßgeschneiderte Antworten auf die Anforderungen der Kunden entwickeln.

FEVs Wasserstoff-Tanksteuerung HSCU

Wasserstoff spielt eine Schlüsselrolle für die nachhaltige Mobilität und Energieversorgung von morgen. Ob in Brennstoffzellen oder Motorsystemen – Wasserstoff ermöglicht eine kohlenstoffneutrale Stromerzeugung und ist zudem eine hervorragende Möglichkeit der Energiespeicherung. Dabei ist die sichere und zuverlässige Speicherung aufgrund seiner physikalischen und chemischen Eigenschaften eine besondere technische Herausforderung. Neben geeigneter Hardware, wie zum Beispiel dichten und robusten Tankbehältern, sind eine sichere Handhabung und verlässliche Sicherheitsmaßnahmen unerlässlich.

FEV hat eine ausgefeilte Software entwickelt, welche die Steuerung und Überwachung von Wasserstofftanksystemen ermöglicht. Die Software kann überall dort eingesetzt werden, wo gasförmiger Wasserstoff für den mobilen Einsatz gespeichert werden muss, sei es im Auto, im LKW oder auch im Zug. Dabei spielt es keine Rolle, auf welchem Druckniveau (350 bar oder 700 bar) das System arbeitet. Der modulare Aufbau ermöglicht eine einzigartige Anpassung an die jeweiligen Kundenanforderungen und eine hervorragende Skalierbarkeit des Systems. So werden Entwicklungszeiten verkürzt und Kosten eingespart.

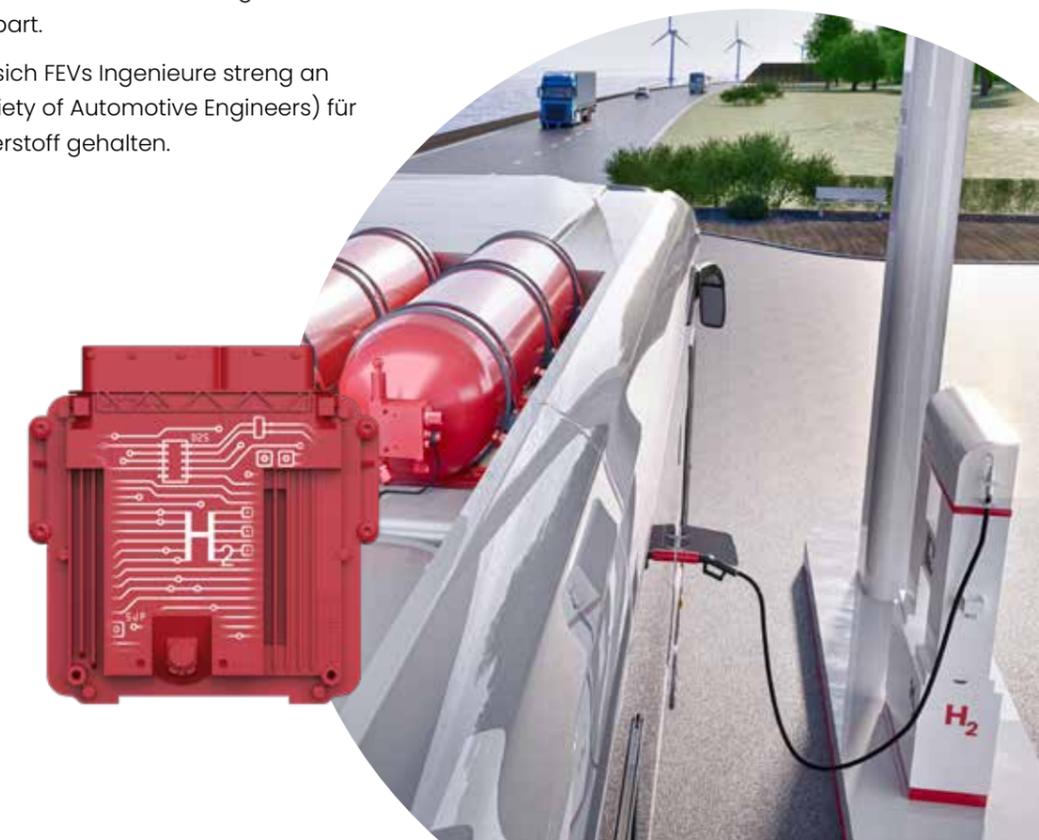
Bei der Entwicklung haben sich FEVs Ingenieure streng an die Standards der SAE (Society of Automotive Engineers) für die Speicherung von Wasserstoff gehalten.

Dank ihres einzigartigen und zum Patent angemeldeten Diagnosekonzepts ist die Software in der Lage, Wasserstofftanksysteme lückenlos zu überwachen und selbst kleine Lecks zu erkennen.

FEV bietet die Software als Blackbox zur Integration in das Kundensystem oder als Whitebox mit Unterlizenzierung durch den Lieferanten oder OEM an. Bei letzterer Variante kann der Kunde die Software nach eigenen Anforderungen weiterentwickeln und an veränderte Parameter anpassen.



Hier geht es zu weiteren Signature Solutions von FEV



7.000 FEV Experten weltweit

FEV Europe GmbH
Neuenhofstraße 181
52078 Aachen
Deutschland
T +49 241 5689-0
marketing@fev.com

FEV North America, Inc.
4554 Glenmeade Lane
Auburn Hills
MI 48326-1766 · USA
T +1 248 373-6000
marketing@fev-et.com

FEV China Co., Ltd.
168 Huada Road
Yanjiao High-Tech Zone
065201 Sanhe City,
Langfang Hebei Province
China
T +86 10 80 84 11 68
fev-china@fev.com

FEV India Pvt. Ltd.
Technical Center India
A-21, Talegaon MIDC
Tal Maval District
Pune 410 507 · Indien
T +91 2114 666-000
fev-india@fev.com



SPECTRUM #79
Ausgabe 02/2024

Redaktion
Marius Strasdat
Gestaltung
Verena Mainz

FEV Global Marketing
& Communications

Leserservice

Sie möchten regelmäßig
SPECTRUM erhalten oder Ihre
Anschrift hat sich geändert?
Senden Sie Namen, Unternehmen
und Anschrift per E-Mail an
spectrum@fev.com

 [company/fev-europe](https://www.linkedin.com/company/fev-europe)

feel evolution