

#77 SPECTRUM



„Dutch WindWheel“ –
nachhaltiges Gebäude
für emissionsfreie
Zukunft s. 07

Thermomanagement
bei batterieelektrischen
Fahrzeugen s. 23

KI und Cloud:
Moderne Batterie-
management-
systeme s. 31

300+ kW Brennstoff-
zellensysteme für
den Fernverkehr s. 39

Liebe Leserinnen und Leser,

ich freue mich, Ihnen die neue Ausgabe unseres Kundenmagazins SPECTRUM zu präsentieren. FEV steht seit mehr als vier Jahrzehnten für Innovationsführerschaft und Technologieoffenheit – das spiegelt auch die vorliegende Ausgabe mit seinen vielseitigen Themen wider.

So stellen wir Ihnen auf den folgenden Seiten mit dem „Dutch Wind-Wheel“ ein beeindruckendes Gebäudeprojekt vor, das nur minimale Emissionen ausstoßen wird. FEV Energy übernimmt hierbei die Verantwortung für die Planung, Entwicklung und Realisierung der gesamten technischen Gebäudeausrüstung und nutzt dabei die umfassenden Kompetenzen der FEV Group bei nachhaltigen Technologielösungen.

Apropos Nachhaltigkeit. SPECTRUM spricht mit den beiden Geschäftsführern von Beyond Materials, einem Joint Venture zwischen der FEV Consulting und der Mitsubishi Corporation. Das Unternehmen bietet spezialisierte Strategie- und Produktentwicklungsberatung für Materialhersteller an – ein Feld, das beispielsweise vor dem Hintergrund von Kreislaufwirtschaft immer bedeutender wird.

Im Bereich der E-Mobilität sind Reichweite und Ladezeiten wesentliche Faktoren, um die Akzeptanz im Markt weiter zu steigern. Das Thermomanagement kann hierbei einen wichtigen Einfluss haben. In diesem Zusammenhang präsentieren wir Ihnen in dieser Ausgabe die ersten Ergebnisse einer modellprädiktiven Steuerung, die den Ladevorgang verkürzen und die Reichweite erhöhen kann.

Effiziente und zuverlässige Hochspannungsbatterien erfordern bei E-Fahrzeugen auch kontinuierlich verbesserte Batteriemanagementsysteme. Erfahren Sie in diesem SPECTRUM, wie unsere Ingenieure im Rahmen des EU Horizon 2020-Projekts „ALBATROSS“ ein solches System mit Cloud-Anbindung und auf künstlicher Intelligenz basierenden Algorithmen entwickelt haben.

Auch Wasserstofftechnologien dürfen im Tätigkeitskontext von FEV nicht fehlen. In dieser Ausgabe stellen wir Ihnen vor, wie der Leistungsbedarf für LKW-Brennstoffzellenantriebe analysiert und die Hauptkomponenten des Antriebssystems hinsichtlich Effizienz und Kosten dimensioniert werden können.

Ich wünsche Ihnen eine spannende Lektüre – Feel EVolution!



Dr. Patrick Hupperich
Vorsitzender der Geschäftsführung
FEV Group



NO

CO

CO

ST

NO

WE

ST





FEV plant Energie und Gebäudetechnik für das **Low-Emission Building** „The Dutch WindWheel“ **s. 07**

FEV eröffnet **hochmodernes Labor** für maßgeschneiderte Batteriesysteme und -zellen **s. 11**

Batteriegehäuse-Demonstrator für E-Fahrzeuge **s. 13**

FEV Software and Testing Solutions North America feiert **20-jähriges Bestehen** **s. 17**

Beyond Materials – die erste Wahl für die **Materialindustrie** **s. 19**

Modellprädiktives Thermomanagement – Kontrollstrategien für **batterieelektrische Fahrzeuge** **s. 23**

Ein modernes **Batteriemangement-system**: KI-basierte Algorithmen und Cloud-Konnektivität **s. 31**

300+ kW Brennstoffzellensysteme für den Fernverkehr **s. 39**





#1

FEV plant Energie- und Gebäudetechnik für das **Low-Emission Building** „The Dutch WindWheel“

Wohn- und Nutzgebäude haben mit 40 Prozent einen maßgeblichen Anteil am Ausstoß klimaschädlicher Emissionen und bergen damit - neben dem Transportsektor - das größte Einsparpotenzial auf dem Weg in eine emissionsfreie Zukunft. „The Dutch WindWheel“ ist der Prototyp einer neuen Generation nachhaltiger Gebäude. FEV ist koordinierender Projektpartner dieses Vorzeigeprojekts, bei dem nur noch minimale Emissionen ausgestoßen und die benötigte Energie aus nachhaltigen Quellen weitestgehend selbst erzeugen werden soll.

Der Entwicklungsdienstleister, der seine über Jahrzehnte aufgebauten Kompetenzen bei nachhaltigen Mobilitätslösungen auf den Energiebereich übertragen hat, ist vollständig für die Planung, Entwicklung und Realisierung der gesamten technischen Gebäudeausrüstung (TGA) des Objekts verantwortlich.

Hierzu zählen die Gewerke für die Stromerzeugung aus Wind und Sonne, ebenso wie das Energie- und Batteriemangement und die Klimatisierung. Darüber hinaus entwickelt FEV ein Konzept für die Nutzung von Abwässern und Abwärme zur Erzeugung von Energie und für die Herstellung von synthetischem Methanol. Langfristig wird so auch die nachhaltige Trinkwasserversorgung mittels Wiederaufbereitung sichergestellt.

1. Das „Dutch WindWheel“ als Konzeptstudie für Dubai.

»FEV dient als Koordinator des Gebäudeprojekts seine langjährige Expertise bei nachhaltigen Energielösungen.«

Touristenmagnet mit nachhaltigem Anspruch

Die markante Silhouette des Gebäudes vereint modernes Design und verschiedene nachhaltige Eigenschaften miteinander. Das ursprüngliche Ziel des verantwortlichen Architekten Duzan Doepel war es zunächst, eine außergewöhnliche Touristenattraktion im Hafen von Rotterdam (Niederlande) zu schaffen. Es sollte dabei gezeigt werden, dass Gebäude zukünftig in der Lage sind, einen positiven Beitrag fürs Klima beizusteuern. Als dritten Aspekt sollten die Menschen dazu angeregt werden, den eigenen Energieverbrauch zu hinterfragen und über Einsparpotenziale im Gebäudesektor nachzudenken.

Das „Dutch WindWheel“ soll mehrere Zwecke erfüllen können und je nach Wunsch und Bedarf sowohl als Geschäfts- als auch Wohnhaus, als Gastronomie und Hotel oder als Technologie-Hub sowie in jeglichen Mischformen betrieben werden. Ein zusätzliches Highlight, z. B. für Touristen, sind die sich autonom bewegenden Gondeln an der Außenseite des Gebäudes, die es Besuchern ermöglichen, die Aussicht über die Umgebung zu genießen.

Das Innere des Gebäudes wird von großzügig angelegten Grünflächen bestimmt, die zur Verbesserung der Luft- und Lebensqualität beitragen. Bei der Baustoffauswahl sollen bei der Umsetzung möglichst lokalen Lieferanten der Vorzug erhalten und nachhaltige oder recycelte Materialien zum Einsatz kommen, die im Einklang mit den örtlichen Gegebenheiten stehen. Duzan Doepel betont: „Die Natur bietet uns eine Vielzahl von Möglichkeiten, wie auch ohne Hightech ein gesundes und nachhaltiges Wohlfühlklima geschaffen werden kann. Unser Ziel ist es, zunächst diese Effekte zu nutzen, bevor wir mit moderner Anlagentechnik arbeiten.“

Geräuscharme Stromerzeugung

Obwohl die Windenergie namensgebend für das Gebäude ist, sucht man konventionelle Windräder beim „WindWheel“ vergebens. Der elektrische Strom wird stattdessen durch Elektrospraying erzeugt. Diese innovative Technologie nutzt den Venturi-Effekt, der am Gebäude entsteht: Durch die Bauform der Fassade entsteht ein Luftstrom, der positiv geladene Wassertröpfchen durch ein magnetisches Feld der sieben horizontalen Zwischenebenen in der Fassade, den sog. Power Beams, transportiert. Hierdurch wird elektrische Spannung erzeugt. Anders als bei konventionellen Anlagen kommt diese Technik ohne bewegliche Teile aus, was Geräuschbelästigung, Vibrationen sowie den Schattenwurf maßgeblich reduziert.

Die zweite Energiequelle für das Gebäude ist die Sonne. Rund 70 Prozent der Gebäudefassade werden zu diesem Zweck mit Solarpaneelen ausgestattet. Sie dienen gleichzeitig als Verschattungselemente. Weitere Photovoltaik-Kapazitäten, darunter die Überdachung der Parkflächen, sind bei der Planung der Energieversorgung einbezogen. FEV hat hierfür anhand bestehender Modelle unterschiedliche Last- und Anwendungsfälle durchgeführt und einbezogen. Ein intelligentes Netz- und Lademanagement, das FEVs Ingenieure entwickelt haben, nutzt die Fahrzeugbatterien der abgestellten Elektrofahrzeuge als zusätzlichen Energiespeicher und nutzt sie umgekehrt im Bedarfsfall als zusätzliche Energiequelle.

Auch bei der Klimatisierung setzen die Planer auf Nachhaltigkeit: Die warme Abluft wird über großzügig dimensionierte Rohrleitungen in Wärmetauscher tief unter dem Meeresspiegel geführt. Die kalte Luft gelangt dann wieder ins Gebäude und sorgt so für Abkühlung.

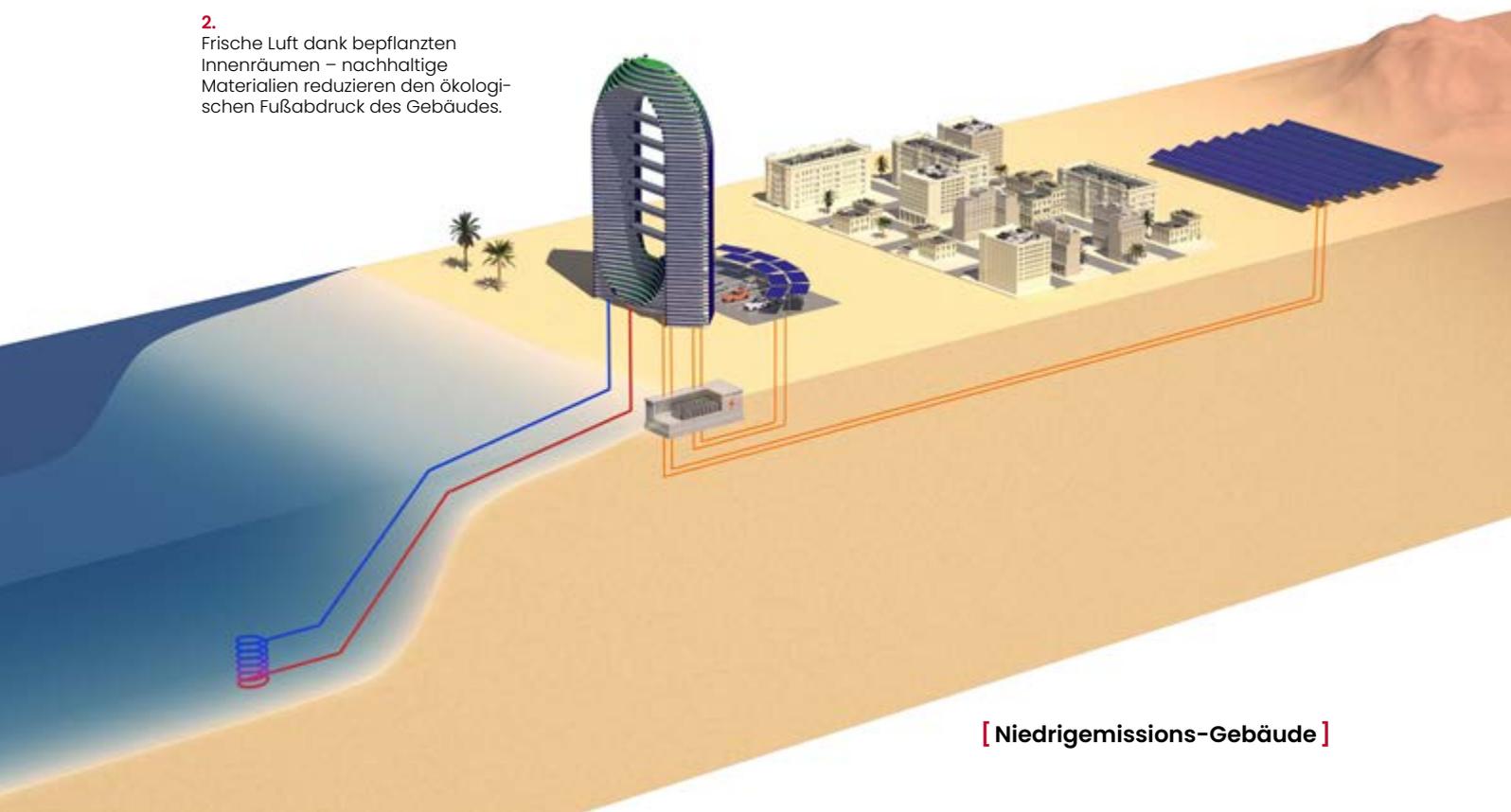
Patentiertes Konzept zur Energieversorgung

Zum Konzept des autarken und transienten Betriebs zählt ebenfalls die Behandlung der Abwässer des Gebäudes. FEV bringt ein patentiertes Konzept ein, bei dem Abwässer, Schlämme und organische Abfälle aufbereitet und für die Gewinnung von organischem Methanol genutzt werden können. FEV hat die Machbarkeit dieser Technologie bereits in mehreren Projekten unter Beweis gestellt und bringt dieses Konzept nun auch in das Ökosystem „Dutch WindWheel“ ein. Die bei diesem Prozess entstehenden Trinkwassermengen werden in den Kreislauf des Gebäudes zurückgegeben und ergänzen so die Mengen, die durch die Aufbereitung von Regenwasser erzeugt werden. Durch den Einsatz dieser modernen Technologien soll perspektivisch eine Umgebung geschaffen werden, die mit einem minimalen ökologischen Fußabdruck auskommt und gegebenenfalls auch die Abfälle und Abwässer der Wohnungen und Gebäude der Nachbarschaft verwerten kann.

Mit „The Dutch WindWheel“ legen die Architekten aus Rotterdam das Fundament für eine neue Generation von Niedrigemissionsgebäuden. FEV ist stolz darauf, in diesem Projekt seine Rolle als global führender Entwicklungsdienstleister zu unterstreichen und seinen Purpose „We drive innovation to help the world evolve“ in der Praxis mit Leben zu füllen.

2.

Frische Luft dank bepflanzten Innenräumen – nachhaltige Materialien reduzieren den ökologischen Fußabdruck des Gebäudes.





#2 FEV eröffnet **hochmodernes Labor** für maßgeschneiderte Batteriesysteme und -zellen

FEV erweitert derzeit sein Leistungsangebot um ein neues Batteriezelllabor am Standort Aachen. Die hochmoderne Einrichtung wird sich sowohl auf Analyse und Benchmarking von Batteriezellen in Bezug auf Leistungsfähigkeit, Lebensdauer und Sicherheitsverhalten konzentrieren als auch Zellentwicklungen ermöglichen. Der Betrieb des Labors wird im dritten Quartal 2023 aufgenommen.

Die Zelle ist als Schlüsselkomponente für die Leistungsfähigkeit von Batteriesystemen ausschlaggebend für den Erfolg elektrischer Fahrzeuge und Anwendungen. Daher ist es für den Entwicklungsdienstleister von großer Bedeutung, die Zusammensetzung und das Verhalten der Vielzahl an Batteriezellen im Detail zu verstehen.

Durch die angebotenen Zellzerlegungen und -analysen, Erstellung von Prototypzellen, Sicherheitstests sowie tiefgehenden Materialanalysen des Labors ist es möglich, eine detaillierte Bewertung der Batteriezellen durchzuführen. Erfasst werden beispielsweise Leistungsfähigkeit, Lebensdauer, Sicherheitsverhalten, innerer Aufbau und Materialzusammensetzung für die Batteriesystemauslegung, die Zellauslegung sowie die Zellsimulation.

FEV beschleunigt Entwicklung von Batteriesystemen

Durch dieses Kompetenzspektrum und die damit einhergehende Weiterentwicklung der Zelldatenbank kann der Entwicklungsprozess von Batteriesystemen erheblich beschleunigt und abgesichert werden. Das neue Labor erweitert zudem ideal die existierenden Kompetenzen der Batteriezellprüfstände von FEV in Deutschland und Frankreich, die auf die elektrische Zellcharakterisierung fokussiert sind.



Die Leistungen des neuen Labors im Überblick

- Tiefgehende Analyse und Bewertung von Batteriezellen und deren Materialien für verschiedene Anwendungsfälle
- Untersuchung des Sicherheitsverhaltens der Batteriezelle bei Missbrauch mittels selbst entwickelten Hochleistungskalorimeters (u. a. nutzbar für besonders große Batteriezellen, Sicherheitsstandardtests und komplexe Analysen des thermischen Durchgehens von Batteriezellen)
- Batteriezellöffnungen und Analyse des Aufbaus sowie der Verarbeitung aller Batteriezellkomponenten
- Charakterisierung von Batteriematerialien in Bezug auf chemische Zusammensetzung, Verarbeitung und elektrochemisches Verhalten (z. B. Leistungsfähigkeit und Lebensdauer)
- Aufbau von Laborzellen zur Untersuchung von Batteriezellen und deren Komponenten für die Zell- und Systementwicklung
- Charakterisierung und Validierung des elektrischen Verhaltens (Leistungsfähigkeit und Lebensdauer) der Batteriezelle
- Unterstützung von Batteriesystem-Entwicklungsprojekten durch die interne Generierung der relevanten Daten

Gleichzeitig ermöglicht die FEV Batteriezelldatenbank bei der Entscheidungsfindung einen stets aktuellen und umfassenden Überblick über z. B. relevante Speichertechnologien und Normvorgaben.

FEV nimmt bei der Innovationskraft und im Bereich der Elektromobilität inklusive der Zellentwicklung weltweit eine führende Rolle ein. Durch den Bau des neuen Batteriezelllabors in Aachen unterstreicht das Unternehmen dies einmal mehr.

Die Kunden von FEV profitieren Dank dieses Leistungsangebots von maßgeschneiderten Lösungen für nachhaltige Mobilität sowie kürzeren Entwicklungszeiten bei niedrigeren Kosten.

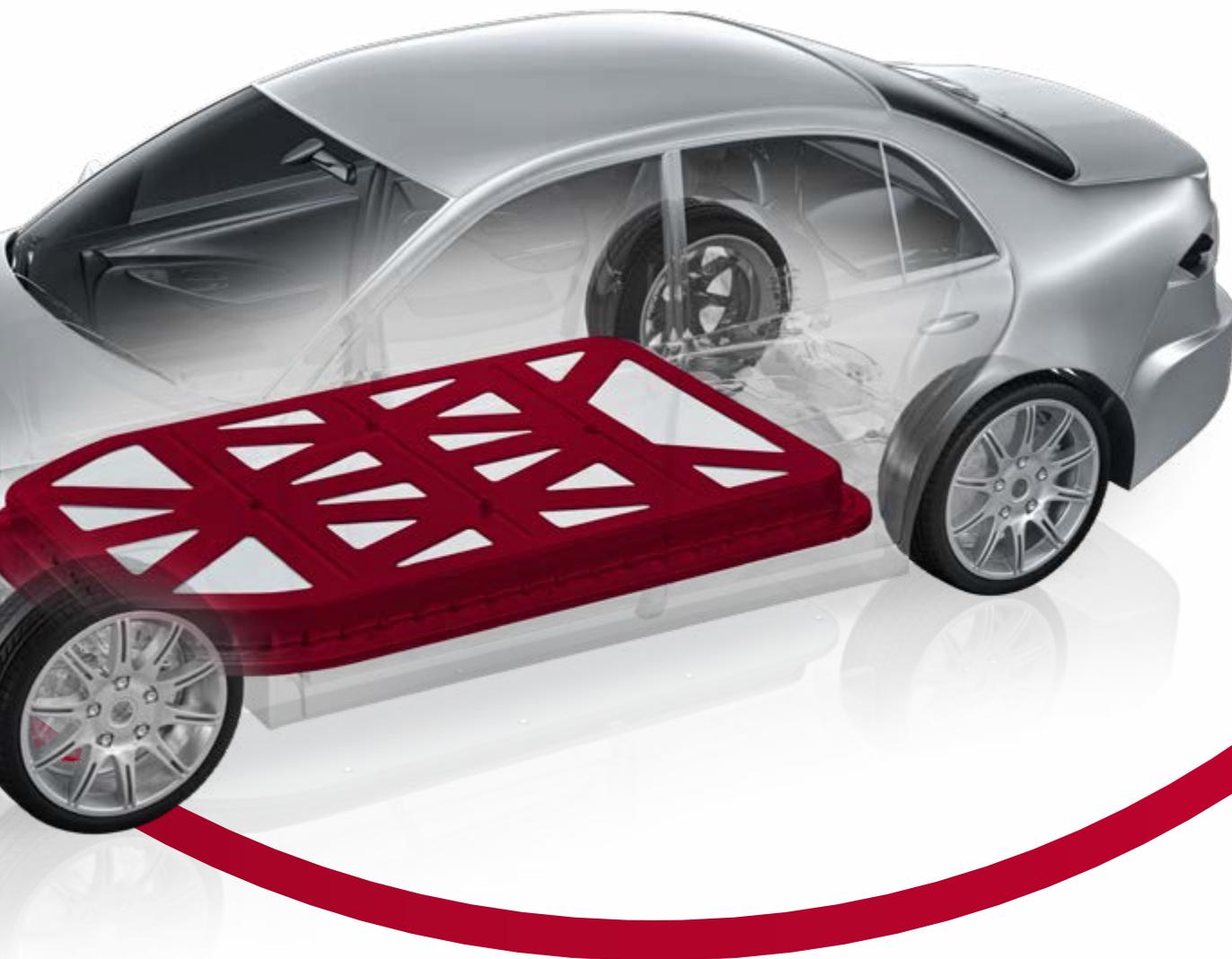
#3 **Batteriegehäuse- Demonstrator für E-Fahrzeuge**

FEV hat mit Impression Technologies (ITL), einem Fertigungsspezialisten für Aluminiumblechumformung, ein Batteriegehäuse-Konzept für E-Fahrzeuge vorgestellt. Das Gehäuse wird mit der von ITL entwickelten HFQ®-Technologie gefertigt und nutzt den in der Karosserie für Energiespeicher zur Verfügung stehenden Platz optimal aus. Hierfür werden die anspruchsvollen strukturellen Anforderungen an dieses Bauteil auf eine neuartige Weise umgesetzt. Durch die vollständige Verlegung der strukturellen Komponenten auf die Außenseite und die gleichzeitige Integration des Batteriegehäuses in das Gesamtfahrzeug wird Bauraum für zusätzliche Batteriezellen geschaffen. Dies führt zu einer höheren Reichweite oder aber einem reduzierten Bauraumbedarf bei gleichbleibender Reichweite. Das im Rahmen des gemeinsamen Projektes von FEV und ITL entwickelte Konzept soll in den kommenden Wochen als Demonstrator gefertigt und vorgestellt werden.

Mit dieser jüngsten Batteriegehäuse-Entwicklung zeigt FEV einmal mehr, dass es beim Thema nachhaltige Mobilität in viele Richtungen denkt. Das Unternehmen bietet Lösungen an, die der Markt nachfragt – beispielsweise um die Reichweite bei der E-Mobilität zu erhöhen. Mit ITL hat der Entwicklungsdienstleister bei diesem Projekt den idealen Partner für Leichtbau an Bord, um das Konzept in Form eines Demonstrators für seine Kunden und Partner zeitnah erlebbar zu machen.

Bei dem von FEV entwickelten Ansatz wird die benötigte Struktur-Performance durch ein „Exoskelett“-Konzept gewährleistet, welches einen Kraftfluss ober- und unterhalb des Batterie-Packs realisiert. Hierdurch werden zum einen die im Crash-Fall auftretenden Lasten aus dem für die Batteriezellen verwendeten Bauraum ferngehalten und gleichzeitig die Steifigkeit des Gesamtsystems (Batterie und Karosserie) optimiert.





Um die benötigte strukturelle Performance in geringem Bauraum zu erreichen, erfordert das neu entwickelte Konzept die Umsetzung komplexer Strukturen mit geringen Radien und Entformungsschrägen. Eine Realisierung dieser Strukturen ist mit ITLs Aluminium-Warmumformungstechnologie HFQ® („Hot Form Quench“) möglich. Die HFQ®-Technologie erweitert das Portfolio von FEV an möglichen Fertigungstechnologien für neue Entwicklun-

gen und ermöglicht dem Unternehmen die Umsetzung komplexerer Strukturen im Vergleich zu Kaltumformtechnologien. Hinzu kommt der Einsatz von hochfesten Aluminiumlegierungen, welche am Ende im Zusammenspiel mit dem HFQ®-Verfahren die erforderliche Performance in optimiertem Bauraum liefern.

Mit ITLs Kompetenzen bei der Charakterisierung ultrahochfester Aluminiumlegierungen, Design-for-Manufacture, Umformsimulation sowie Produktion und FEVs globalem Netzwerk in der Automobilindustrie ergänzen sich die beiden Unternehmen optimal und stellen sicher, dass alle Automobilhersteller von dem neuartigen Batteriegehäuse-Konzept profitieren können.

Innovative Lösungen für die Herausforderungen der intelligenten Mobilität



feel evolution



FEV.io adressiert die steigenden Anforderungen, Bedürfnisse und das Entwicklungstempo im Bereich der intelligenten Mobilität. Durch unser tiefes Verständnis von Software und Elektronik in Kombination mit detailliertem Know-how in allen Fahrzeugbereichen, die für die Entwicklung von intelligenten Mobilitätslösungen erforderlich sind, bieten wir unseren Kunden erstklassige Ingenieurdienstleistungen. Das Portfolio von FEV.io erstreckt sich auf sieben Domänen: Systems Engineering, Funktionale Sicherheit & Cyber Security, Vernetzte Mobilität, ADAS/AD, Infotainment, SW & EE Plattformen, SW & EE Integration.

#4 FEV Software and Testing Solutions North America feiert **20-jähriges Bestehen**

In den frühen 2000er Jahren plante FEV, das wachsende Software- und Testlösungs-geschäft auf Nordamerika auszudehnen und gründete im Herbst 2003 die FEV Software and Testing Solutions NA, LLC (kurz: STS). Seit 2023 agiert das Unternehmen unter der neuen Marke FEV test systems. Nun feiert das amerikanische Team den 20. Jahrestag seiner Gründung mit einem neuen Standort in der Nähe des Hauptcampus von FEV North America in Auburn Hills, Michigan.

„Unser früherer Standort in Redford (Michigan) reichte einfach nicht mehr aus, um dem rasanten Wachstum des Unternehmens in den letzten Jahren gerecht zu werden“, sagt Allen Arnoldy, Global Vice President, FEV test systems. „Obwohl wir weiterhin eine breite Palette von konventionellen, auf Verbrennungsmotoren ausgerichteten Lösungen anbieten, ist die Nachfrage nach elektrischen und wasserstoffbasierten Lösungen enorm. Die neue Lage sichert uns die erforderliche Energie, den Platz, die Hebekapazität und die personellen Voraussetzungen, um dieser Nachfrage optimal nachzukommen.“

Als Anbieter branchenführender Software- und Prüflösungen für den kommerziellen Markt ist FEV test systems seit langem als Standard für hochspezialisierte Prüfstände und Container-Prüfzellen für Erstausrüster und Tier-1-Zulieferer angesehen. Das Unternehmen hat die Grenzen der konventionellen Antriebstechnologie dabei immer weiter verschoben. Heutzutage erlebt man hingegen ein erhebliches Wachstum in den Bereichen Elektrifizierung, Stromerzeugung und sogar Luft- und Raumfahrt, was immer komplexere und hochdynamische Prüfstände mit einem ebenso intensiven Energiebedarf erfordert.

„Die Mobilitätslandschaft ist heute vielfältiger und wettbewerbsintensiver als je zuvor“, so Arnoldy. „Insbesondere die Elektrifizierung hat enorme Herausforderungen mit sich gebracht, mit unglaublich hohen Anforderungen an Spannung



1. Ein Großmotor und ein Generator, die die enorme Leistungsfähigkeit der von FEV test systems entwickelten und gebauten Lösungen zeigen (2010).

»Die neue Anlage sichert uns die Voraussetzungen, der enormen Nachfrage nach elektrischen und wasserstoffbasierten Lösungen nachzukommen.«

2.
Das konventionelle Erscheinungsbild des neuen FEV test systems Standorts kaschiert die hochmodernen Aktivitäten, die im Inneren stattfinden.



und Stromstärken, Wechselrichtergereschwindigkeiten und beschleunigten Entwicklungszeitplänen. Unser neuer Standort ermöglicht es uns, intensiv an der Entwicklung von Prüflösungen der nächsten Generation zu arbeiten, ohne uns vorab um die dafür notwendige Infrastruktur kümmern zu müssen.“

FEV test systems kombiniert maßgeschneiderte Hardwarelösungen mit leistungsstarken Steuerungs-, Kalibrierungs-, Simulations- und Automatisierungsprodukten; eine Vielzahl davon hat sich bereits innerhalb der FEV Group in der eigenen innovativen Fahrzeug- und Antriebssystementwicklung bewährt. Durch die Integration von Hard- und Softwarelösungen in unzähligen Konfigurationen ist das Team von FEV test systems in der Lage, Prüfstände und Steuerungsplattformen für praktisch jeden erdenklichen Test- oder Entwicklungsbedarf aufzubauen – was es zu einem wichtigen Bestandteil der FEV Group und zu einem unschätzbaren Partner für MobilitätsHersteller in aller Welt macht.



3.
Das Innere des FEV test systems Gebäudes bietet modernes Mobiliar, viel natürliches Licht und die neuesten technischen Annehmlichkeiten.

#5

Beyond Materials – die erste Wahl für die **Materialindustrie**

Im Oktober 2022 wurde die Beyond Materials Corp. (BM), ein Joint Venture zwischen der FEV Consulting GmbH und der Mitsubishi Corporation (MC) in Tokio, Japan gegründet. Das Unternehmen bietet spezialisierte Strategie- und Produktentwicklungsberatung für Materialhersteller an. Nach einem Jahr hat SPECTRUM mit den beiden Geschäftsführern Dr. Tetsushi Abe und Johannes Houben gesprochen.



Dr. Tetsushi Abe
Managing Director
Beyond Materials Corp.

Johannes Houben
Managing Director
Beyond Materials Corp.



Warum sind Materialien für Sie so interessant?

Abe: Die Rolle der Materialindustrie wird unserer Meinung nach oft unterschätzt. Die Anforderungen an zukünftige Produktdesigns und die zugrunde liegenden Materialien werden immer anspruchsvoller und komplexer. Getrieben durch Megatrends wie Kreislaufwirtschaft, Digitalisierung, Elektrifizierung sowie vernetzte und automatisierte Fahrzeuge, spielen innovative und funktionale Materialien eine entscheidende Rolle, die weit über das Erreichen von Designzielen oder Kosten- und Gewichtsvorteilen hinausgeht.

Können Sie konkrete Beispiele nennen?

Houben: Sicher. Lassen Sie uns drei Beispiele hervorheben:

Multifunktionale Materialien und Anforderungen

Elektrifizierte Bauteile erfordern einerseits eine hohe Wärmeleitfähigkeit und elektromagnetische Abschirmwirkung. Andererseits erfordert Leichtbau eine höhere Festigkeit, Elastizität oder Steifigkeit der Materialien. Nachhaltigkeit hingegen setzt Wiederverwertbarkeit und einen geringen CO₂-Fußabdruck des Materials über den gesam-

ten Lebenszyklus voraus. Die physikalischen Grenzen werden also oft durch die Materialien gesetzt. Wir helfen dabei, anspruchsvolle Anwendungen und vielfältige Anforderungen mit geeigneten Materialien in Einklang zu bringen.

Recycling

Angesichts der wachsenden Aufmerksamkeit für die Defossilisierung der Welt arbeiten immer mehr Unternehmen an der Verbesserung des gesamten Materialflusses und konzentrieren sich dabei auf drei wesentliche Ansätze: Reduktion, Wiederverwendung und Recycling. Jedes Material (Metalle, Polymere, Fasern, Textilien etc.) steht bei der Umsetzung dieser Ansätze vor unterschiedlichen Herausforderungen, wie z. B. der Demontage der Produkte, der Sortierung der verschiedenen Materialien und dem Recyclingprozess selbst. Wir unterstützen unsere Kunden bei der Identifizierung geeigneter „Re“-Strategien und liefern Details zu verwandten Themen wie Recyclingprozessen. Wir zeigen außerdem, wie ein solider Business Case aussehen kann.

PFAS

PFAS (Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen) haben schmutz-, öl- und wasserabweisende Eigenschaften, sind langlebig und werden daher auch als „Ewigkeitschemikalien“ bezeichnet. Wenn sie freigesetzt werden, können PFAS unsere Umwelt und unsere Gesundheit schädigen.

Beispiele aus der Automobilindustrie sind Dichtungen, Bindemittel für Kathoden in Batteriezellen und Komponenten von Brennstoffzellen. Wir unterstützen unsere Kunden bei der Identifizierung kritischer PFAS-Komponenten und der Entwicklung von Strategien im Hinblick auf eine mögliche Entscheidung zugunsten eines Verbots der gesamten PFAS-Gruppe bis 2025 – und der daraus resultierenden Umsetzungsfrist bis etwa spätestens 2038.

Wie würden Sie die Herausforderungen von Materialherstellern beschreiben?

Abe: Materialhersteller unterscheiden sich natürlich. Sie sind aber zweifellos Experten auf dem Gebiet der Materialien und haben ein tiefes Verständnis dafür, wie man stärkere, leichtere oder multifunktionale Materialien herstellt. Innerhalb der Lieferkette für technische Produkte sind sie jedoch naturgemäß weit von den Endverbrauchern entfernt.

Dies erfordert zusätzliche Anstrengungen von Seiten der Materialhersteller, wie z. B. die Verfolgung der neuesten Trends in Bezug auf die Endnutzerbedürfnisse, die Validierung unter realistischen Bedingungen in Bezug auf Bauteilkonstruktion und Materialverarbeitung sowie die Identifizierung der richtigen Marketingkanäle, um die Bekanntheit ihrer Materialien zu steigern. Anstatt nur auf ihre direkten Kunden zu reagieren, die in der Regel die Teilehersteller sind, müssen sie einen proaktiveren Ansatz entwickeln, um innovative Lösungen für unerfüllte Nutzerbedürfnisse anzubieten.

Wie sieht Ihre Vision für Beyond Materials aus?

Abe: Unsere Vision ist es, die erste Wahl als Berater und Partner für die strategische und technische Beratung von Materialherstellern zu werden. Wir wollen die Materialindustrie in die Lage versetzen, ihre einzigartigen Fähigkeiten über ihre typische Position in der Wertschöpfungskette hinaus in einer globalen und kreislauforientierten Wirtschaft zu nutzen.

Was unterscheidet Beyond Materials von anderen Beratungen?

Houben: Wir schlagen die Brücke zwischen Mobilitäts- und Materialindustrie. Durch unsere enge Zusammenarbeit mit der FEV Group haben wir sehr viel Erfahrung in technischen Anwendungen. Gleichzeitig sprechen wir die Sprache der Materialhersteller durch das breite Netzwerk und die Erfahrung von Mitsubishi Corporation. So können wir beiden Seiten helfen, indem wir innovative Materialien für Endkunden und deren Entwicklungen sichtbar machen.

Bedeutet das, dass ausschließlich Materialhersteller Ihre Zielkunden sind?

Houben: Unser Hauptfokus liegt auf den Materialherstellern. Wir unterstützen aber auch Komponenten- und Teilehersteller oder OEMs, wenn sie Fragen zu Materialien haben. Im Prinzip beschäftigen wir uns mit allen Arten von Materialien, von technischen Kunststoffen über Klebstoffe, Glas- und Faserverbundwerkstoffe, Textilien und Vliesstoffe, Keramik, Aluminium, Stahl und andere Funktionsmaterialien, zum Beispiel für Batteriezellen.

Wie unterstützen Sie ihre Kunden?

Abe: Unsere kundenorientierte Beratung lässt sich in umsatzsteigernde und kostenreduzierende Dienstleistungen unterteilen. Bei ersteren helfen wir unseren Kunden, ihr Umsatzpotenzial zu erhöhen, indem wir neue Märkte für das bestehende Produktportfolio sowie neue Produktideen auf Basis ihrer individuellen Kompetenzen identifizieren (u. a. Markt- und Technologieanalyse, Strategie- und Produktentwicklung, Marketing). Unsere Dienstleistungen zur Kostensenkung zielen darauf ab, die Profitabilität unserer Kunden langfristig zu sichern. Hier unterstützen wir mit Hilfestellungen wie zum Beispiel bei Portfolio Management, Organisatorischer Exzellenz, Strategischer Kostenoptimierung und im Einkauf.



1. Beyond Materials Beratungsangebot und relevante Kernthemen.

Können Sie Beispiele nennen?

Abe: Für Materialhersteller kann es schwierig sein, langfristige Trends in ihren Zielmärkten zu erfassen, da das Tagesgeschäft meist von kurzfristigen Kundenanfragen bestimmt wird. Hier kann unser Service Markt- & Technologieanalyse wertvolle Erkenntnisse für strategische Fragestellungen liefern. Wir nutzen das tiefe Verständnis von FEV für verschiedene Anwendungstechnologien, gepaart mit dem breiten Netzwerk von MC zu Materialunternehmen, um eine ständig aktualisierte „Applications-Materials-Database“ anzubieten. Die Datenbank ist eine umfassende Sammlung aktueller und zukünftiger anwendungsorientierter Probleme der Automobilindustrie und potenzieller materialbasierter Lösungen unter Berücksichtigung aktueller Trends. Sie dient als Grundlage für die Identifikation neuer Produktideen und wird in der Regel durch die Entwicklung einer Markteintrittsstrategie ergänzt.

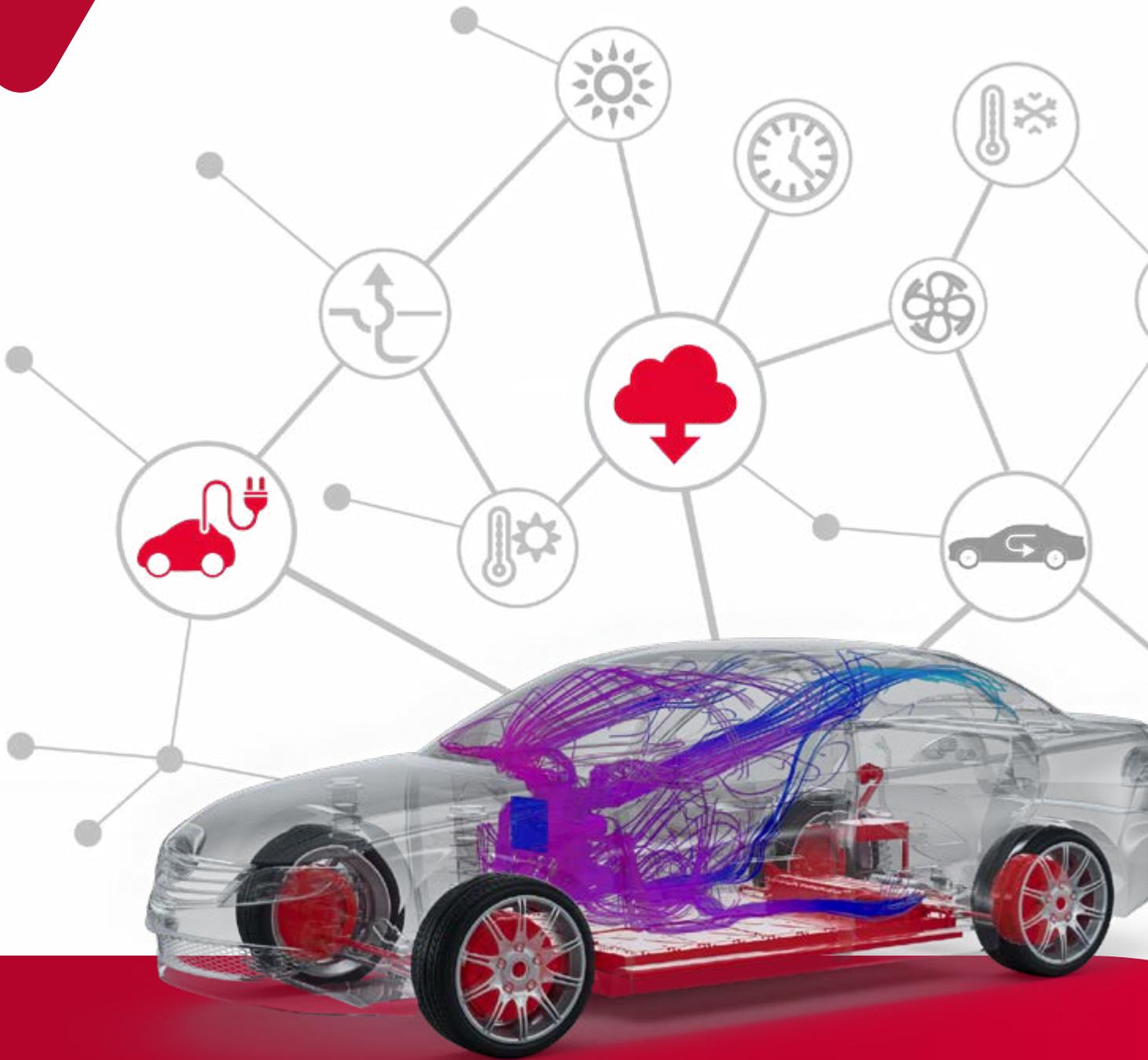
Houben: Wir gehen aber noch einen Schritt weiter und unterstützen unsere Kunden bei der erfolgreichen Umsetzung neuer Produktideen im Rahmen der Produktentwicklung. Die Unterstützung bei der Entwicklung wettbewerbsfähiger Materialien auf Basis der Applications-Materials-Database ist nur ein erster Schritt. Bei der Ansprache neuer Kunden ist es für Materialzulieferer wichtig zu zeigen, dass die angebotenen Materialien die Zieleigenschaften des Kundenprodukts verbessern. Ob Gewichtsreduzierung, höhere Energieeffizienz oder längere Lebensdauer – der Endkunde erwartet oft einen Nachweis. Gemeinsam mit unseren Material- und Entwicklungsexperten unterstützen wir bei der Entwicklung und Validierung von Hardware-Demonstratoren. Dies hilft Materialherstellern, die Überlegenheit ihres Materials zu demonstrieren und sichert gleichzeitig das Vertrauen der Kunden in ihre Marke und ihr Produkt.

Wie sieht Ihr Plan für das zweite Jahr von Beyond Materials aus?

Houben: Wir stehen noch ganz am Anfang. Als junges Unternehmen wollen wir unser Beratungsangebot weiter ausbauen und an die Bedürfnisse unserer Kunden anpassen. Gleichzeitig wollen wir auch in unkonventionelle Beratungsdienstleistungen expandieren, indem wir neue Funktionen und skalierbare digitale Lösungen identifizieren, die helfen, Materialzulieferer und Endkunden zu verbinden. Es gibt noch viel zu tun!

Vielen Dank für das Gespräch!



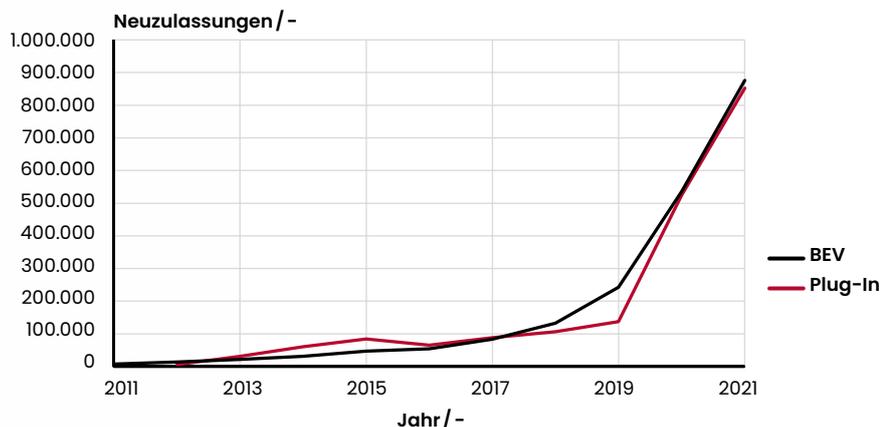


#6

Modellprädiktives Thermo-
management – Kontrollstrategien
für **batterieelektrische Fahrzeuge**

Die Elektromobilität in Europa befindet sich auf einem starken Wachstumspfad. Dies wird besonders deutlich, wenn man sich die Zulassungszahlen in Europa anschaut (Abbildung 1). Während im Jahr 2011 nur 7.179 batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) und Plug-in-Elektrofahrzeuge zugelassen wurden, sind die Zahlen seither rasant gestiegen. Im Jahr 2021 wurden insgesamt 1.728.967 solcher Fahrzeuge zugelassen.

1. Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen, EU-27 (2011 – 2021).

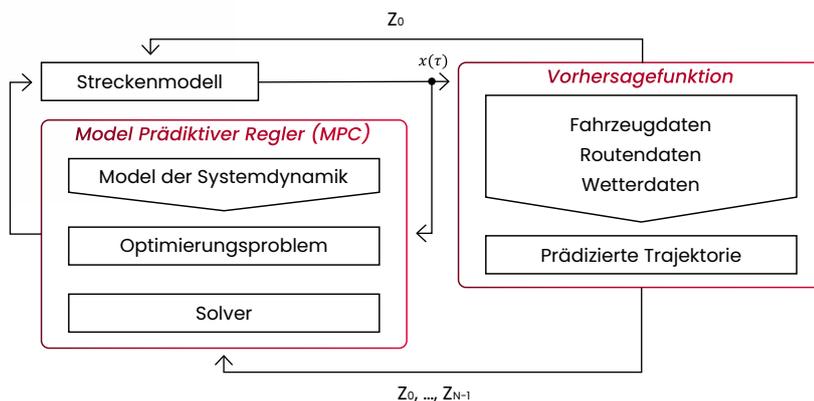


Um die Kundenakzeptanz weiter zu erhöhen, müssen die Reichweite und die Ladezeiten verbessert werden. Diese Faktoren haben einen starken Einfluss auf die Kaufentscheidung. Das Thermomanagement von Elektrofahrzeugen kann zur Verbesserung dieser Kriterien beitragen. In diesem Artikel werden die allgemeinen Prinzipien und die ersten Ergebnisse einer modellprädiktiven Steuerung (Model Predictive Controller, MPC) für BEV vorgestellt.

Aufbau des MPC

Die entwickelte Model-in-the-Loop (MIL)-Umgebung ist in Abbildung 2 dargestellt. Sie besteht aus dem Streckenmodell, der Vorhersagefunktion und dem modellprädiktiven Regler. Das Streckenmodell ist die virtuelle Repräsentation des Fahrzeugs. Es wurde anhand von Messdaten unter verschiedenen Umgebungsbedingungen validiert und gibt die integrierten Systemzustände $x(\tau)$ aus. Diese werden sowohl an die Vorhersagefunktion als auch an den MPC zur Verarbeitung weitergeleitet.

2. Schematischer Aufbau der MIL-Simulationsumgebung.



In der Vorhersagefunktion werden die äußeren Bedingungen, wie z. B. das Wetter und die Streckeninformationen, für die Fahrt ermittelt (Z_0) und deren Trajektorien im Voraus berechnet. Diese beschreiben die jeweiligen Parameter als Vorhersage vom aktuellen Zeitpunkt bis zum Ende des Prädiktionshorizonts N_p .

Die MPC erhält die berechneten Zustände aus dem Streckenmodell und die vorhergesagten Parameter aus der Vorhersagefunktion. Sie enthält das dynamische Systemmodell, das formulierte Optimierungsproblem und den Solver. Das Optimierungsproblem und der Solver werden durch das acados-Framework bereitgestellt. Um die Echtzeitfähigkeit zu gewährleisten, ist es wichtig, dass die Rechenzeit der Modelle so gering wie möglich ist. Gleichzeitig müssen aber auch das System, seine Trägheit und charakteristischen Eigenschaften genau abgebildet werden. Im Folgenden werden die Modelle für die Batteriekühlung und die Kabinenconditionierung erläutert. Die MPC prognostiziert die Regelungstrajektorie bis zum Erreichen des Prognosehorizonts N_p .

Batteriemodell

Das Batteriemodell kann in zwei Teilmodelle unterteilt werden – ein elektrisches und ein thermisches Teilmodell. Alle elektrischen Zustände und Parameter, wie Kapazitäten, Spannungen und Widerstände, werden im elektrischen Teilmodell berechnet. Das thermische Teilmodell umfasst die Temperaturen, die aufgrund der Wärmeströme zwischen verschiedenen Teilsystemen der Batterie auftreten.

Die Batterie wurde mit den Parametern einer PHEV2-Traktionsbatterie mit einer Zellenanordnung von 96S0P und einer maximalen Kapazität von 50 Ah modelliert. Die Zellen sind in acht Stacks gruppiert, die alle die gleichen elektrischen und thermischen Eigenschaften haben.

Das elektrische Modell berechnet die Systemvariablen in Abhängigkeit vom Batteriestrom I und gibt die für die Wärmeerzeugung relevanten Spannungen U für die Wärmeentwicklung \dot{Q} in der Batterie an das thermische Modell weiter. Innerhalb des thermischen Modells wird dann der Wärmeeintrag durch die ohmschen Verluste ermittelt. Die



Batterieparameter sind auch abhängig von den Stacktemperaturen T_{Stack} , weshalb diese auch in das elektrische Modell einfließen. Das thermische Modell berechnet die jeweilige Stacktemperatur in Abhängigkeit von dem an die Batterie gekoppelten Kühlkreislauf und der Umgebungstemperatur.

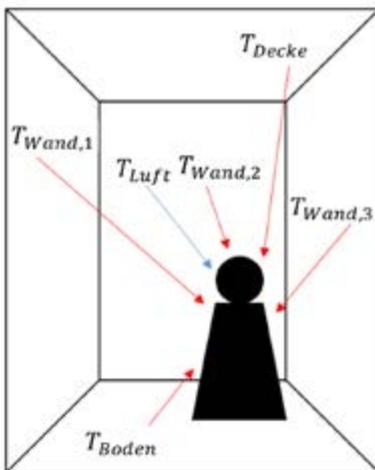
Für eine numerisch effiziente Modellierung der Batterietemperaturen wurde ein thermisches Netzwerk mit konzentrierten Parametern entwickelt. Die einzelnen physikalischen Komponenten des Batterieaufbaus werden dabei als thermische Massen aufgefasst, die über thermische Widerstände mit den benachbarten thermischen Massen verbunden sind. Insgesamt werden 22 thermische Massen für die Batterie modelliert. Das thermische Systemmodell beschränkt sich auf die für die Temperaturregelung der Batterie relevanten Systemkomponenten.

Kabinenmodell

Das Kabinenmodell wurde entwickelt, um die Optimierung des Energiebedarfs für die Kabinenconditionierung zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurde ein Ein-Zonen-Modell einer Fahrzeugkabine erstellt und die darin enthaltenen thermischen Massen und das HVAC (Heating Ventilation Air Condition) modelliert. Der Luftstrom kann sowohl direkt aus der Umgebung (Frischluftmodus) als auch aus der Kabine (Umluftmodus) entnommen werden. Die Umluftrate kann stufenlos zwischen „0“ und „1“ variiert werden. Es wurde berücksichtigt, dass die Insassen einen Einfluss auf die Conditionierung des Fahrzeugs und die Luftqualität haben. Infolgedessen steigt die CO_2 -Konzentration im Innenraum, wenn die Umluftrate erhöht wird.

Elektrische Heizflächen können zu einer Verringerung des Energiebedarfs der Kabinenconditionierung beitragen. Die Berücksichtigung der Wärmestrahlung der beheizten Oberflächen ist für die Bewertung des Potenzials dieser Technologie unerlässlich. Eine Möglichkeit, dies zu tun, ist die Bestimmung der Äquivalenttemperatur. Diese repräsentative Temperatur sollte die Wahrnehmung des Raumklimas widerspiegeln. Das Konzept der Äquivalenttemperatur ist in Abbildung 3 dargestellt. In der Abbildung befindet sich eine Person in einem Raum mit einer konstanten Lufttemperatur T_{Luft} . Das Temperaturempfinden des Probanden hängt nun nicht nur von der Lufttemperatur, sondern auch von der Temperatur der umgebenden Wände $T_{\text{Wand},i}$, des Bodens T_{Boden} und der Decke T_{Decke} ab. Wenn die umgebenden Flächen aktiv beheizt werden, kann sich das Temperaturempfinden der Person im Raum verändern. Es spielen natürlich viele weitere Faktoren eine Rolle, zudem müssen auch die Heizflächen in das Modell aufgenommen werden. Zu diesem Zweck wird für die Heizflächen eine eigene thermische Masse definiert.

3. Prinzip der Äquivalenttemperatur – schematische Darstellung.



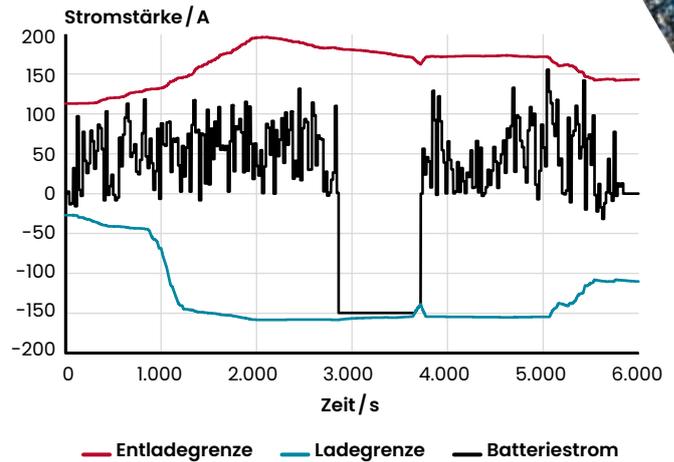
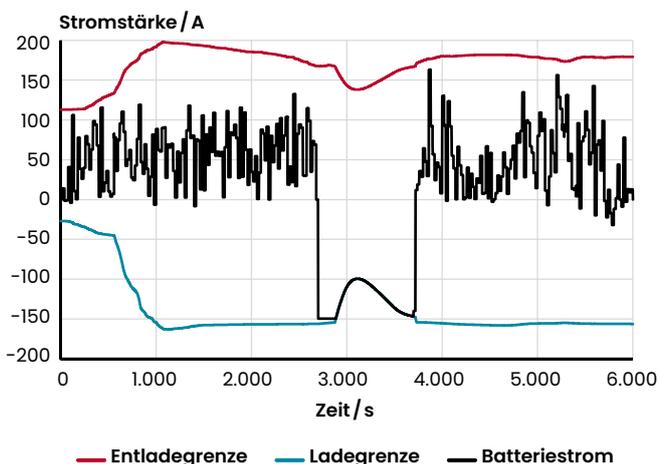
Untersuchung von prädiktiven Kontrollstrategien

Der MPC wird in zwei verschiedenen Anwendungen demonstriert. Im ersten Fall geht es um die Konditionierung der Fahrzeugbatterie. Anschließend wird der Einfluss der Heizflächen und deren Einbindung in die Gesamtstrategie erläutert.

Prädiktive Batteriekonditionierung

Das Szenario für die Untersuchung der Batteriekonditionierung basiert auf einem Fahrprofil, welches im realen Verkehr aufgezeichnet wurde. Das Geschwindigkeitsprofil beinhaltet Stadtverkehr, Landstraßen und die Autobahn. Insgesamt wurde eine Strecke von 134 km zurückgelegt. Für die Simulation wurde eine Umgebungstemperatur von -15 °C angenommen. Die Starttemperatur der Batteriestacks wurde auf -3 °C gesetzt. Das Fahrzeug startet immer mit einem Ladezustand (State-of-Charge, SoC) von 90 Prozent. Ein Ladestopp ist notwendig, sobald ein SoC von 15 Prozent erreicht ist. Es wird nicht berücksichtigt, ob an dieser Stelle der Strecke eine Ladestation vorhanden ist. Die maximale Ladegeschwindigkeit ist auf 3C begrenzt. Weitere Einschränkungen ergeben sich nur durch die temperatur- und SoC-abhängigen Lade- und Entladegrenzen der Batterie.

Die Basis ist die regelbasierte Steuerung des Testfahrzeugs. Die Batterie wird unterhalb einer Stacktemperatur von 10 °C aktiv beheizt. Die Kühlung beginnt, sobald die Stacktemperatur 40 °C überschreitet. In Abbildung 4 ist das Stromprofil dieser Simulation in der schwarzen Linie zu sehen. Die rote Linie stellt die Entladegrenze und



5. Stromprofil der Batterie bei Verwendung der MPC-Regelstrategie.

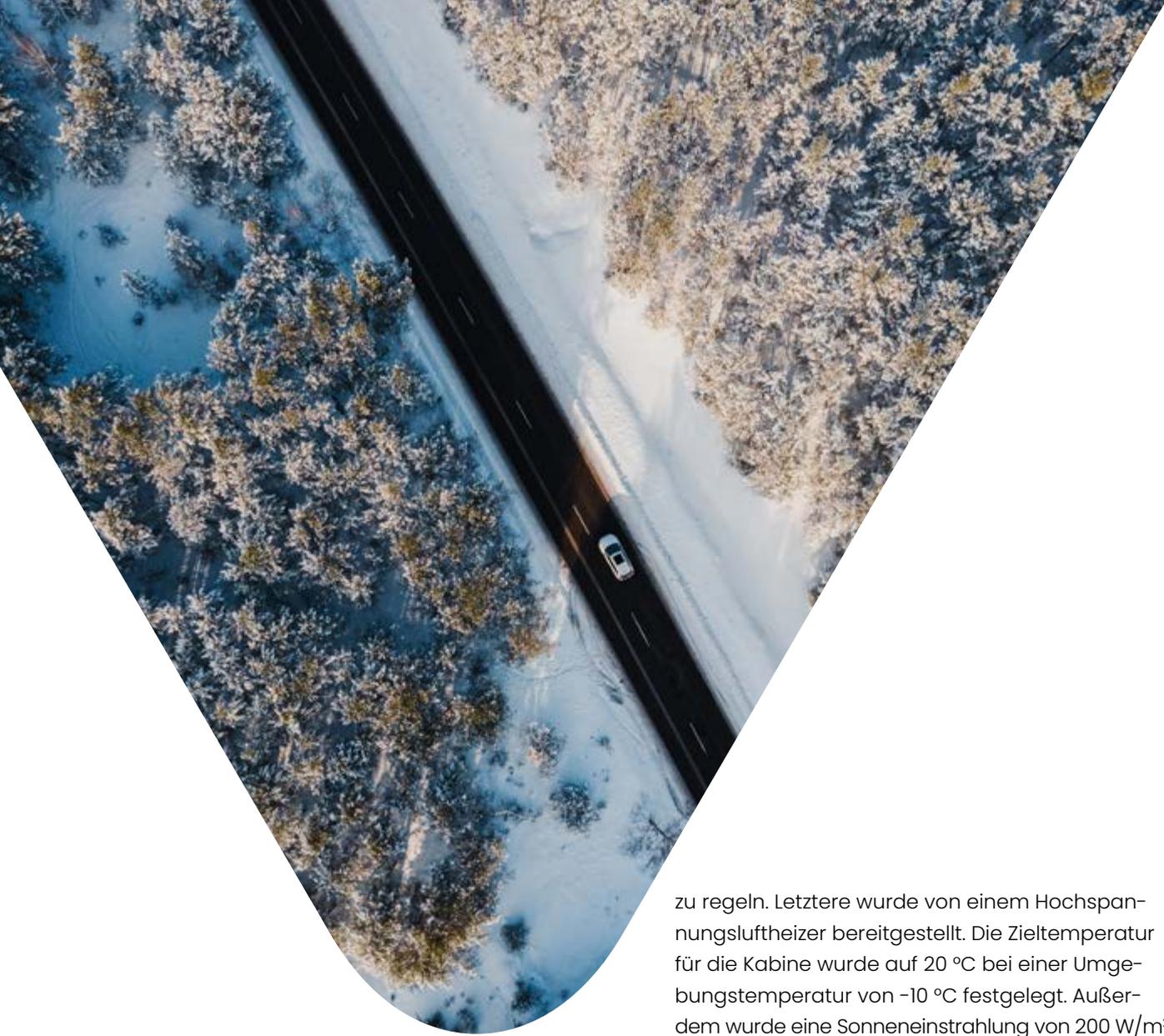
die blaue Linie die Ladegrenze der Batterie dar. Bei dem regelbasierten Ansatz war ein Ladestopp nach etwa 68 km ($\sim 2.700\text{ s}$) erforderlich. Die maximale Ladegeschwindigkeit konnte nicht über die gesamte Dauer des Ladevorgangs genutzt werden. Daher ergibt sich eine Ladezeit von $\sim 16\text{ min}$.

Im Vergleich dazu wurde eine MPC-basierte thermische Strategie untersucht. Ihr Ziel ist es, die Batterie so zu konditionieren, dass die vorhergesagte Batterieleistung während des Fahrens und Ladens bereitgestellt werden kann. Abbildung 5 zeigt das Stromprofil der Batterie bei Verwendung der MPC-Regelstrategie. Es wird deutlich, dass die maximale Laderate von 3C mit der MPC beibehalten werden kann. Die Gesamtzeit beim Laden beträgt $\sim 15\text{ min}$. (10,2 Prozent Reduktion). Der Ladestopp findet später statt. Das Fahrzeug muss nach 70 km ($\sim 2.850\text{ s}$) aufgeladen werden. Dies entspricht einer Verbesserung der Reichweite von 2,94 Prozent. Die Hauptvorteile werden durch eine geringere aktive Beheizung und die Vermeidung überflüssiger Kühlung der Batterie erzielt.

Prognostizierte Kabinenkonditionierung – Oberflächenheizung

Im folgenden wird der MPC-Regelungsansatz für die Kabinenkonditionierung untersucht. Es wurde dafür eine MPC verwendet, die in der Lage war, den in die Kabine eintretenden Luftmassenstrom, die Umluftrate und die erforderliche Heizleistung

4. Stromprofil der Batterie bei Verwendung der regelbasierten Kontrollstrategie.



zu regeln. Letztere wurde von einem Hochspannungsluftheizer bereitgestellt. Die Zieltemperatur für die Kabine wurde auf 20 °C bei einer Umgebungstemperatur von -10 °C festgelegt. Außerdem wurde eine Sonneneinstrahlung von 200 W/m² für eine Testfahrt in einem WLTC Klasse 3 angenommen. Ziel der MPC war es, den gewählten Temperatursollwert für den Innenraum zu erreichen und gleichzeitig den elektrischen Stromverbrauch zu minimieren. Als zusätzliche Randbedingung wurde die MPC gezwungen, bestimmte Grenzwerte für die CO₂ Konzentration einzuhalten und drei verschiedene Grenzwerte gewählt: 5.000 ppm, 2.500 ppm und 1.200 ppm. Die MPC wurde mit einem einfachen regelbasierten Ansatz verglichen. Die Rezirkulationsrate wurde während des Betriebs konstant gehalten. Unter Abbildung 6 sind die Ergebnisse früherer Untersuchungen zusammengefasst.

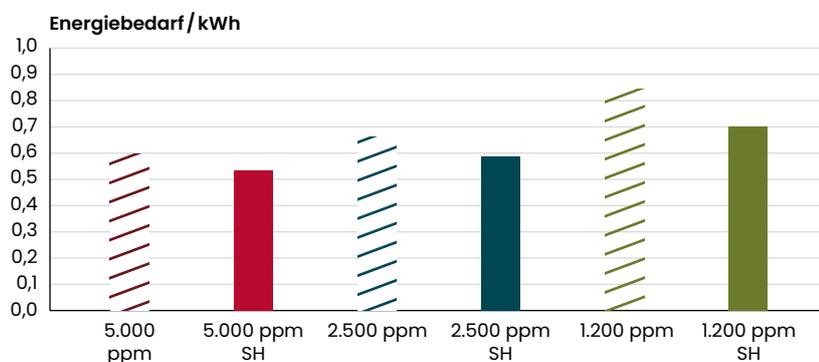
Die Auswirkung von Heizflächen auf den Energieverbrauch für die Kabinenklimatisierung wird in diesem Papier für das gleiche Szenario mit Strahlungsheizflächen (SH) untersucht. Daher bleibt der Sollwert für die Äquivalenttemperatur bei 20 °C. In Abbildung 7 ist der Vergleich zwischen dem MPC-Ansatz ohne SH und mit SH für die drei verschiedenen CO₂-Grenzwerte dargestellt.

Kontrolle Ansatz	Energiebedarf / kWh	Relative Einsparungen / %
RB / 50 % Rezirkulation	1,05	/
MPC / 5.000 ppm	0,60	-43,4 %
MPC / 2.500 ppm	0,66	-37,3 %
MPC / 1.200 ppm	0,84	-19,2 %

6. Vergleich des Energiebedarfs für die Kabinenklimatisierung.

»Bei strengen CO₂-Grenzwerten konnte ein Energieeinsparpotenzial von bis zu 16,7 Prozent identifiziert werden.«

Die gestrichelten Balken im Diagramm stellen die Ergebnisse des MPC-Ansatzes ohne die Heizflächen dar. Für alle drei CO₂-Grenzwerte kann durch den Einsatz der Heizflächen zusätzliche Energie eingespart werden. Bei strengeren CO₂-Limitierungen steigt das Einsparpotenzial sogar noch an. Dies ist darauf zurückzuführen, dass mehr Frischluft zur Aufrechterhaltung der Luftqualität in der Kabine verwendet werden muss. Während bei 5.000 ppm und 2.500 ppm etwa 11 Prozent der Energie eingespart werden können, steigt die relative Einsparung bei dem empfohlenen Wert von 1.200 ppm auf 16,7 Prozent.



7. Vergleich des Energiebedarfs für den MPC-Ansatz für die Kabinenkonditionierung ohne und mit Strahlungsheizflächen (SH).

Zusammenfassung und Fazit

In diesem Artikel wurde die Anwendung einer MPC-Regelungsstrategie für das Thermomanagement von BEV untersucht. Für die Batteriekonditionierung wurde eine Fahrt bei -15 °C simuliert. Die Ergebnisse zeigen, dass der Ladevorgang durch den Einsatz einer MPC um bis zu 10,2 Prozent verkürzt werden konnte. Gleichzeitig wurde eine effektive Reichweitenerhöhung von 2,94 Prozent erzielt.

Für die Kabinenklimatisierung wurde die Verwendung von Strahlungsheizflächen zur Verringerung des Energiebedarfs für die Kabinenklimatisierung bewertet. Die Simulationen mit den Heizflächen zeigen, dass zusätzlich Energie eingespart werden kann. Insbesondere bei strengen Grenzwerten für die CO₂-Konzentration wurde ein Energieeinsparpotenzial von bis zu 16,7 Prozent für die Implementierung einer Flächenheizung mit einem MPC-Ansatz identifiziert.

TEXT

Dr.-Ing. David Hemkemeyer
hemkemeyer_d@fev.com

Patrick Schutzeich
TME, RWTH Aachen University
schutzeich@tme.rwth-aachen.de

feel evolution

FEV



**We drive
innovation
to help the
world evolve**

[fev.com](https://www.fev.com)

#7

Ein modernes **Batterie-
managementsystem**:
KI-basierte Algorithmen
und Cloud-Konnektivität



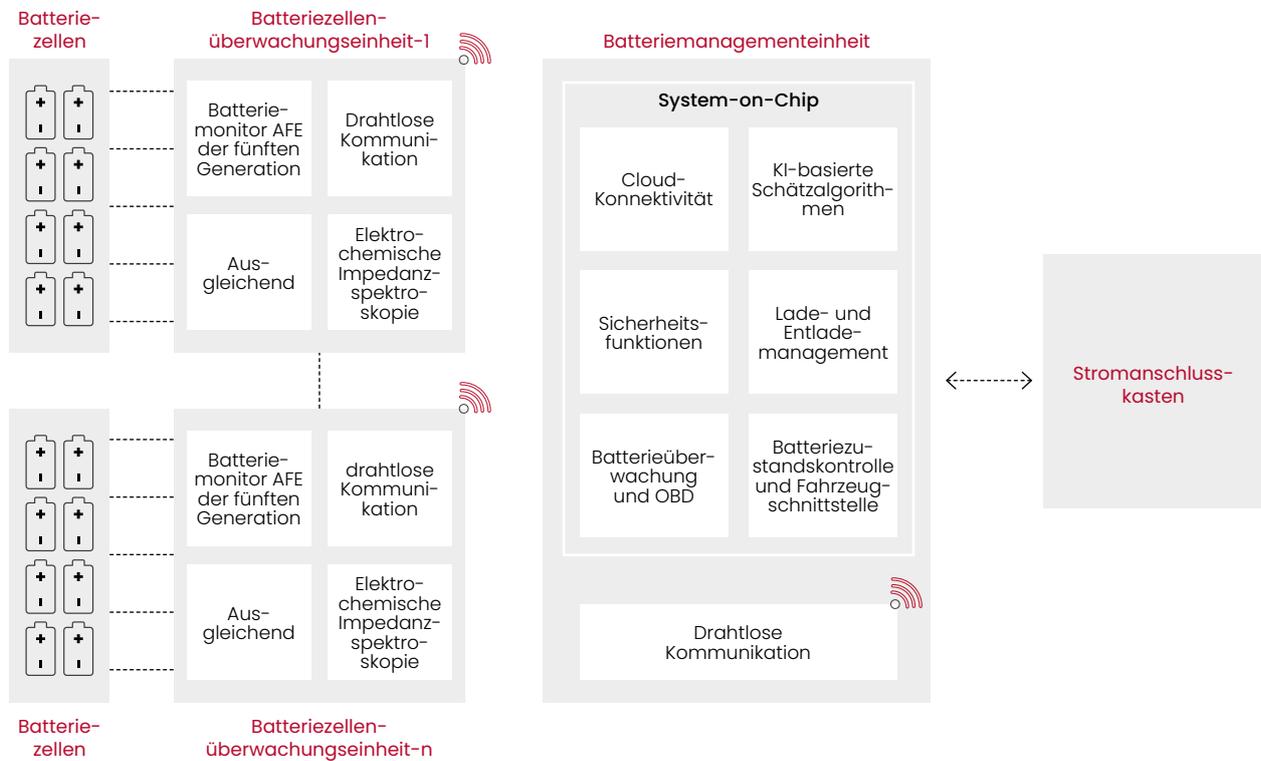
Die weltweit steigende Nachfrage nach leistungsfähigeren Elektrofahrzeugen erfordert effizientere und zuverlässigere Hochspannungsbatterien für die Automobilindustrie. Dies kann nur mit fortschrittlichen Batteriemanagementsystemen (BMS) erreicht werden. Seit 2006 entwickelt FEV sowohl Hardware als auch Software für BMS und bietet ein breites Dienstleistungsportfolio von der Entwicklung einzelner fortschrittlicher Softwarefunktionen bis hin zu schlüsselfertigen BMS-Lösungen. Zuletzt haben die FEV Ingenieure im Rahmen des von der Europäischen Union geförderten Horizon 2020-Projekts „ALBATROSS“ ein BMS mit Cloud-Anbindung und KI-basierten Algorithmen entwickelt.

Batteriemanagementsysteme sind eine Schlüsselkomponente von Batterien und verantwortlich für die Überwachung und Steuerung der Leistung von Batterien, die Gewährleistung optimaler Lade- und Entladevorgänge und die Maximierung der Gesamtlebensdauer der Batterien. Außerdem spielen sie durch die Überwachung von Temperatur, Spannung und Strom eine entscheidende Rolle bei der Gewährleistung der Sicherheit des Batteriesatzes.

FEV liefert BMS-Lösungen, die über den aktuellen Stand der Technik hinausgehen

Das grundlegende Design von FEV im ALBATROSS-Projekt besteht aus einer Master-Slave-Topologie, die aus einer Batteriemanagementeinheit (Battery Management Unit, BMU) und zahlreichen Zellenüberwachungseinheiten (Cell Monitoring Unit, CMU) besteht. Die BMU sammelt Daten von einzelnen Zellen innerhalb des Batteriepacks über die CMUs. In Kombination mit den CMUs liefert die BMU eine umfassende Übersicht über die Batterieleistung und ermöglicht eine präzise Steuerung und Optimierung der Lade- und Entladevorgänge.

»FEV bietet ein breites BMS-Dienstleistungsportfolio bis hin zu schlüsselfertigen Systemlösungen an.«



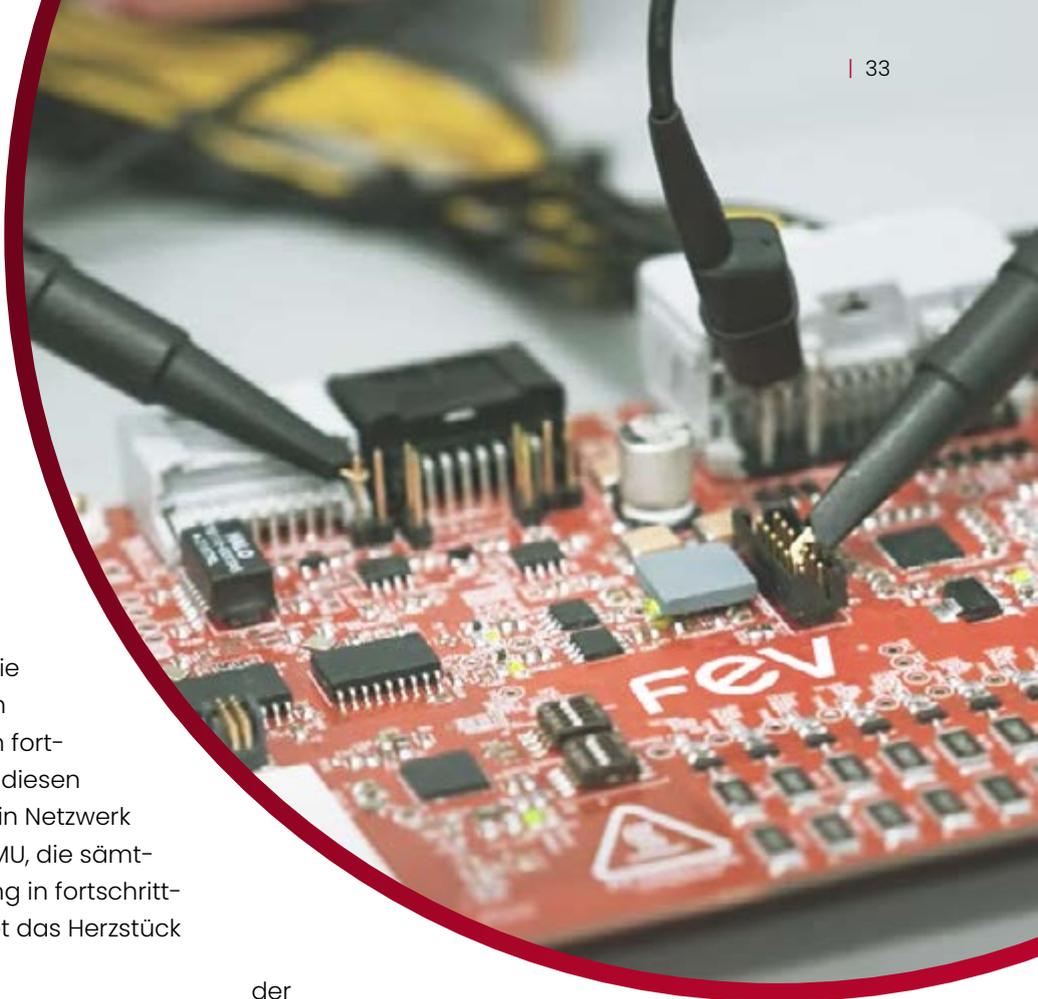
AFE-Zellüberwachung der 5. Generation

Bei der Entwicklung des ALBATROSS-Batteriemagementsystems werden die neuesten Technologien zur Verbesserung von Leistung und Sicherheit eingesetzt. Batteriemagementsysteme verfügen über verschiedene hochentwickelte Algorithmen, die auf der BMU ausgeführt werden. Dennoch basieren alle Algorithmen auf der grundlegendsten und wichtigsten Funktion des CMU, nämlich der Spannungsmessung. BMS-Algorithmen können ohne eine genaue und zuverlässige Spannungsmessung nicht richtig funktionieren. Das ALBATROSS BMS ist mit hochmodernen Analog-Front-End(AFE)-Chips der fünften Generation zur Überwachung des Batteriesatzes ausgestattet, um die Gesamtleistung zu optimieren. Diese fortschrittlichen AFE-Chips bieten mehrere Funktionen zur Verbesserung der Funktionalität und Effizienz des Systems. Eine wichtige Funktion ist die genaue Überwachung der Spannung jeder einzelnen Batterie-zelle, was eine präzise Steuerung des Lade- und Entladevorgangs ermöglicht. Außerdem ermöglichen die ASIC-Chips der fünften Generation eine präzise Temperaturüberwachung, so dass die Batterie innerhalb sicherer Temperaturgrenzen betrieben werden kann. Darüber hinaus stellt AFE in CMUs eine „funktionssichere“ Konstruktionsgrundlage dar, die wiederum bis zur ASIL-D-Einstufung entwickelt werden kann.

Kabellose Batteriemagementsysteme

Kabellose Batteriemagementsysteme sind ein revolutionärer Fortschritt bei der Überwachung und Steuerung von Batterien und setzen neue Maßstäbe für Effizienz und Komfort. Im Gegensatz zu herkömmlichen verkabelten Systemen werden bei diesen hochmodernen Systemen drahtlose Kommunikationsprotokolle verwendet, um wichtige Batteriedaten in Echtzeit zu übertragen. Auf diese Weise entfällt der Bedarf an sperrigen Kabeln, was die Installation erleichtert und gleichzeitig die Flexibilität erhöht. Dies stellt wiederum einen entscheidenden Vorteil für verschiedene Anwendungen dar. Zudem sind kabellose Batteriemagementsysteme in hohem Maße skalierbar und lassen sich leicht an unterschiedliche Konfigurationen von Batterien anpassen. Aufgrund dieser Anpassungsfähigkeit können die Hersteller die Raumnutzung optimieren.

Ein weiteres bemerkenswertes Merkmal der kabellosen Batteriemagementsysteme besteht darin, dass sie die Verlegung von Kommunikationsnetzkabeln rund um den Batteriesatz überflüssig machen. Durch diesen Ansatz ergibt sich ein aufgeräumtes und effizienteres Systemdesign, da die Integration von Batteriemagementsystemen und Zellüberwachungseinheiten vereinfacht wird.



Für die Entwicklung der CMUs von FEV werden kabellose Mikrocontroller der neuesten Technologie verwendet. Jede CMU verfügt über einen eigenen drahtlosen Mikrocontroller. Auch die BMU verfügt über einen drahtlosen Mikrocontroller zusätzlich zu einem fortschrittlichen System-on-Chip. Auf diesen kabellosen Mikrocontrollern wird ein Netzwerk mit Sterntopologie gebildet. Die BMU, die sämtliche Batteriedaten zur Verwendung in fortschrittlichen Algorithmen sammelt, bildet das Herzstück dieses Netzwerks.

Elektrochemische Impedanzspektroskopie

Die elektrochemische Impedanzspektroskopie (EIS) ist eine leistungsstarke Technik, die zur Analyse der elektrochemischen Eigenschaften von Batterien und anderen elektrochemischen Systemen eingesetzt wird. Dabei wird ein Wechselstromsignal mit geringer Amplitude an eine Batterie oder elektrochemische Zelle angelegt und die resultierende Stromreaktion gemessen. Dies erfolgt über eine Reihe von Frequenzen.

Im Rahmen dieses Projekts wird eine weitere Spitzentechnologie eingesetzt: die On-Board-EIS-Analysetechnik. Für die Anwendung von EIS an Bord wird eine spezielle Hardware in das Batteriemanagementsystem integriert. Diese Hardware erzeugt ein geringes Wechselstromsignal und legt es an die Batteriezellen an. Die Reaktion der Batteriezellen wird bei verschiedenen Frequenzen gemessen. Ein Batteriemanagementsystem mit integrierter EIS-Fähigkeit ermöglicht die Verbesserung der BMS-Algorithmen. Außerdem können Algorithmen zur thermischen Ausbreitung und Fehlererkennung von EIS-Daten zur Verbesserung der allgemeinen Batteriesicherheit profitieren. Zusammengefasst bieten On-Board-Messungen

der elektrochemischen Impedanzspektroskopie zusammen mit fortschrittlichen Algorithmen wertvolle Einblicke in die Leistung, den Zustand und das thermische Verhalten von Batterien.

Der System-on-Chip

Der System-on-Chip (SoC) stellt eine bahnbrechende Lösung dar, die durch ihre dedizierten Kerne für verschiedene Operationen und durch die Implementierung hocheffektiver Mechanismen für die Inter-Prozessor-Kommunikation (Inter-Processor Communication, IPC) eine Vielzahl von Vorteilen bietet. Die dedizierten Kerne der Architektur sind auf Signal- und Bildverarbeitung, Fließkomma-Vektorberechnung und Echtzeitsteuerung spezialisiert. So gewährleistet die Möglichkeit, bestimmte Aufgaben dedizierten Kernen zuzuweisen, nicht nur die optimale Nutzung von Datenverarbeitungsressourcen. Sie ebnet auch den Weg für eine beispiellose Leistung in ihren jeweiligen Bereichen. Im Projekt „ALBATROSS“ nutzt FEV diese hochentwickelte Technik des SoC zur Verbesserung der Präzision und Effizienz von hochkomplexen KI-basierten Algorithmen und Steuerungsmechanismen. Darüber hinaus strebt



FEV die Schaffung einer neuen Architektur an, mit der Batteriesysteme in der softwaredefinierten Zukunft komplexere Lösungen verwalten können.

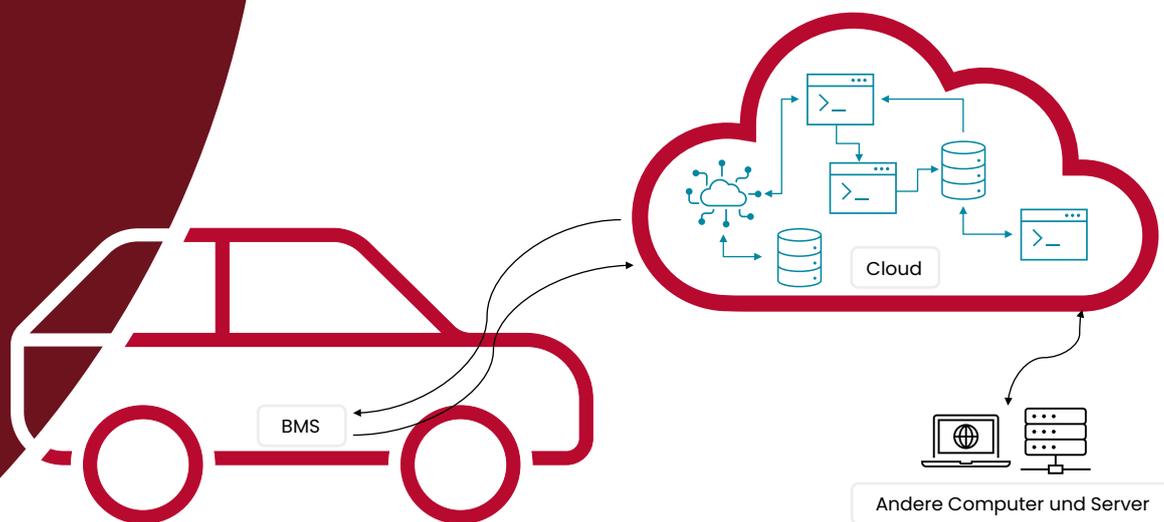
Das Telematiksystem: Informationsaustausch zwischen BMS und Cloud

Die Telematiksysteme, die den Informationsaustausch zwischen einem Fahrzeug und einer Zentrale ermöglichen, gewinnen mit der weltweit steigenden Nachfrage nach E-Mobilitätslösungen zunehmend an Bedeutung. Ein typisches Telematiksystem besteht aus einem oder mehreren mobilen Fahrzeugsystemen und einem stationären Fernüberwachungssystem. Die Fahrzeugsysteme kommunizieren mit dem Fernüberwachungssystem über Funk-, Mobilfunk- oder Satellitenkommunikation, um fahrzeugspezifische Daten wie die Fahrzeugpositionen oder Daten von Sensoren oder elektronischen Steuergeräten zu übermitteln und Kontrollmeldungen oder Over-the-Air-Firmware und Sicherheitspatches zu empfangen. Das Fernüberwachungssystem umfasst in der Regel eine Datenbank zur Speicherung der fahrzeugspezifischen Daten oder Meldungen.

Das Systemdesign beginnt mit der Definition der Eigenschaften des Systems und der Daten, die auf dem Cloud-System zur Verfügung gestellt werden sollen. Zu den Funktionen des Cloud-

Systems gehören die Sicherung fahrzeugspezifischer Daten für das Flottenmanagement und Analysen, die Ausführung von Online-Algorithmen für das Batteriemanagementsystem oder die Bereitstellung von Algorithmusverbesserungen für die Fahrzeuge. Die fahrzeugspezifischen Daten umfassen u. a. Spannungs-, Strom- und Temperaturmessungen eines Batteriesatzes, Berechnungen des Batteriemanagements auf höherer Ebene, z. B. des Ladezustands (State of Charge, SoC), des Leistungszustands (State of Power, SoP) und des Funktionszustands (State of Health, SoH), sowie Batteriemodellparameter. Die Anforderungen an die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Cloud sowie an die Cloud-Datenbank und -Speicherung werden durch die geplanten Funktionen und Datenspezifikationen definiert.

Die Cloud-Systeme umfassen Datenempfänger- und -senderdienste für den Empfang von Messungen und Berechnungen von den Fahrzeugen, die Übertragung von BMS-Algorithmen an die entsprechenden Fahrzeuge und die Bereitstellung von Firmware-Patches oder -Paketen für die Flotte. Dabei werden hauptsächlich MQTT und HTTP als Kommunikationsprotokolle verwendet. Im Rahmen der Informationssicherheit können Authentifizierungsmethoden wie die Verwendung von Client-Zertifikaten und die Anwendung benutzerdefinierter Authentifizierungsschemata,



die auf einzelnen oder mehreren Faktoren basieren, sowie sichere Kommunikationsprotokolle wie TLS zum Einsatz kommen. Die Daten der empfangenen Meldungen werden in der Regel in relationalen oder nicht-relationalen Datenbanken gespeichert, wobei zum Zweck des Datenschutzes auch Verschlüsselungen eingesetzt werden können. Für die Ausführung von Online-BMS-Algorithmen müssen ein oder mehrere Datenverarbeitungsdienste mit den zugehörigen Datenverarbeitungsressourcen integriert und entsprechend den Anforderungen des Algorithmus an Arbeitsspeicher, Speicherkapazität und Leistung konfiguriert sowie mit den erforderlichen Berechtigungen für den Zugriff auf Datenbanken oder andere Datenverarbeitungsdienste ausgestattet werden. Außerdem werden Pipelines verwendet, um die Prozesse des maschinellen Lernens zu automatisieren, d. h. das Training, die Auswertung, die Registrierung und die Anwendung von Modellen für BMS-Schätzungen.

Die Bereitstellung von Firmware-Paketen oder Patches für Algorithmusverbesserungen für die Fahrzeuge vom Fernüberwachungssystem aus wird durch die Integration von FOTA-Funktionen (Firmware over the Air) in das Cloud-System ermöglicht. Die bereitzustellenden Pakete oder Patches können im Cloud-System vorbereitet oder als Teil der zugehörigen Pipelines in das Cloud-System hochgeladen werden. Gleichzeitig sind Frontend- und Backend-Datenverarbeitungsdienste für die Bereitstellung der Upload-Fähigkeit mit Autorisierungs- und Zugangskontrollen und die Regelung der Verteilung der Pakete an die zugehörigen Fahrzeuge zuständig.

Während konventionelle BMS-Lösungen eingebettete Hardware verwenden und nur über eine begrenzte Rechenleistung verfügen, überwinden Cloud-verbundene BMS-Lösungen diese Herausforderung mit der von Cloud-Systemen gebotenen Skalierbarkeit, Elastizität und Flexibilität. Infolge der weltweit steigenden Nachfrage nach E-Mobilitätslösungen war und ist das Batteriemangement ein wichtiger Anwendungsbereich für Telematiksystemlösungen.

Die Anwendungssoftware: Auf künstlicher Intelligenz basierende fortschrittliche Algorithmen

Im Rahmen von „ALBATROSS“ soll vor allem Anwendungssoftware entwickelt werden. Das FEV Team strebt durch die Nutzung der KI-Technologie bei der Berechnung kritischer Batterieparameter wie Ladezustand und Funktionszustand eine Präzision und Genauigkeit an, die über den Stand der Technik hinausgeht. Zu den innovativen Merkmalen von APSW, die im Rahmen des ALBATROSS-Projekts entwickelt wurden, gehört das anodengesteuerte Laden (Anode Controlled Charging, ACC). Dieses spielt bei Schnellladeanwendungen eine Rolle, indem es den Ladestrom anpasst und die Ladegeschwindigkeit maximiert, ohne die Zellalterungsleistung zu beeinträchtigen. Die von den FEV Ingenieuren bei der Entwicklung der SoC-Schätzung und der ACC-Funktion verwendeten neuartigen Methoden wurden patentiert:

TEXT

Efe Afacan
afacan@fev.com
Serhat Gül
gul@fev.com

Ladezustand (State of Charge, SoC)

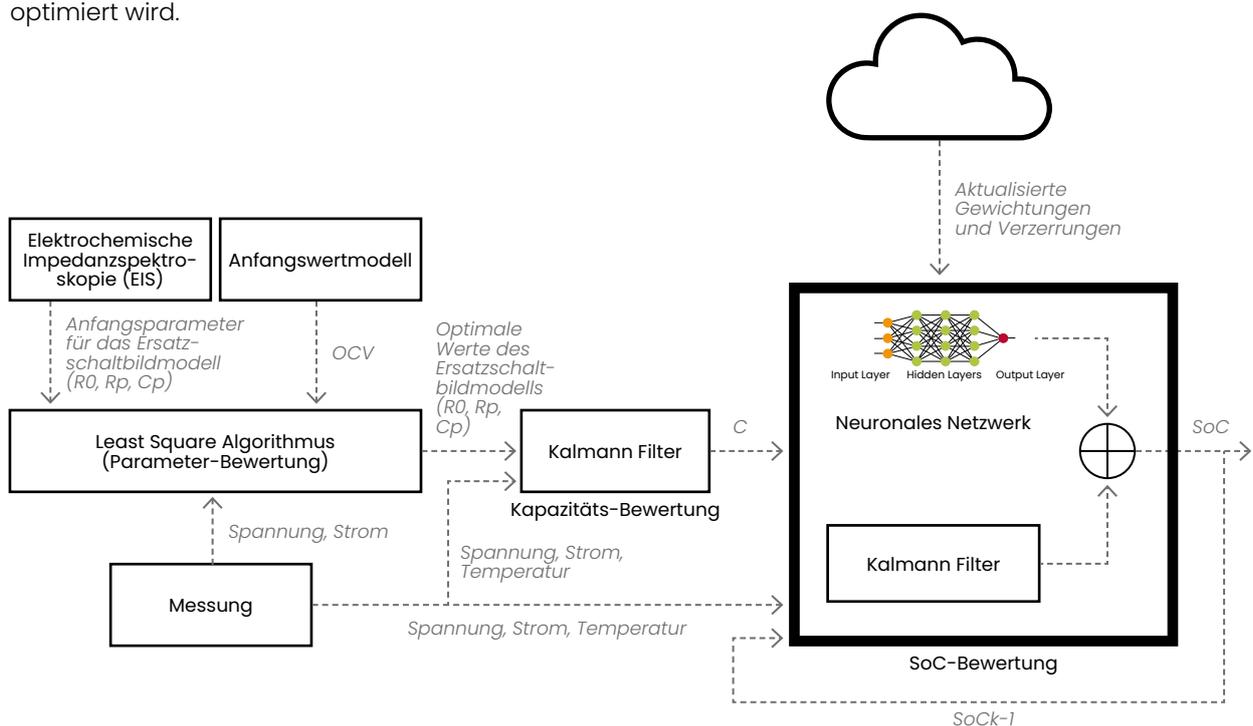
Es handelt sich um ein innovatives Verfahren zur SoC-Schätzung mit Hilfe eines neuronalen Netzwerkes und eines Kalmanfilters.

Funktionszustand (State of Health, SoH)

Es handelt sich um einen Algorithmus mit hoher Genauigkeit, bei dem die erfassten Daten in einem Cloud-Dienst gespeichert werden und maschinelles Lernen zum Einsatz kommt.

Anodengesteuerte Aufladung (Anode Control Charging, ACC)

Es handelt sich um eine innovative Methode für anodengesteuertes Laden, bei der das Laden mit Hilfe von neuronalen Netzwerken, Cloud-Operationen und elektrochemischen Zellmodellierungsmethoden optimiert wird.



feel evolution

FEV



Zero CO₂ Mobility

Special Edition | Berlin

7. internationale FEV Konferenz

7.–8. November 2023

Titanic Chaussee Hotel | Berlin

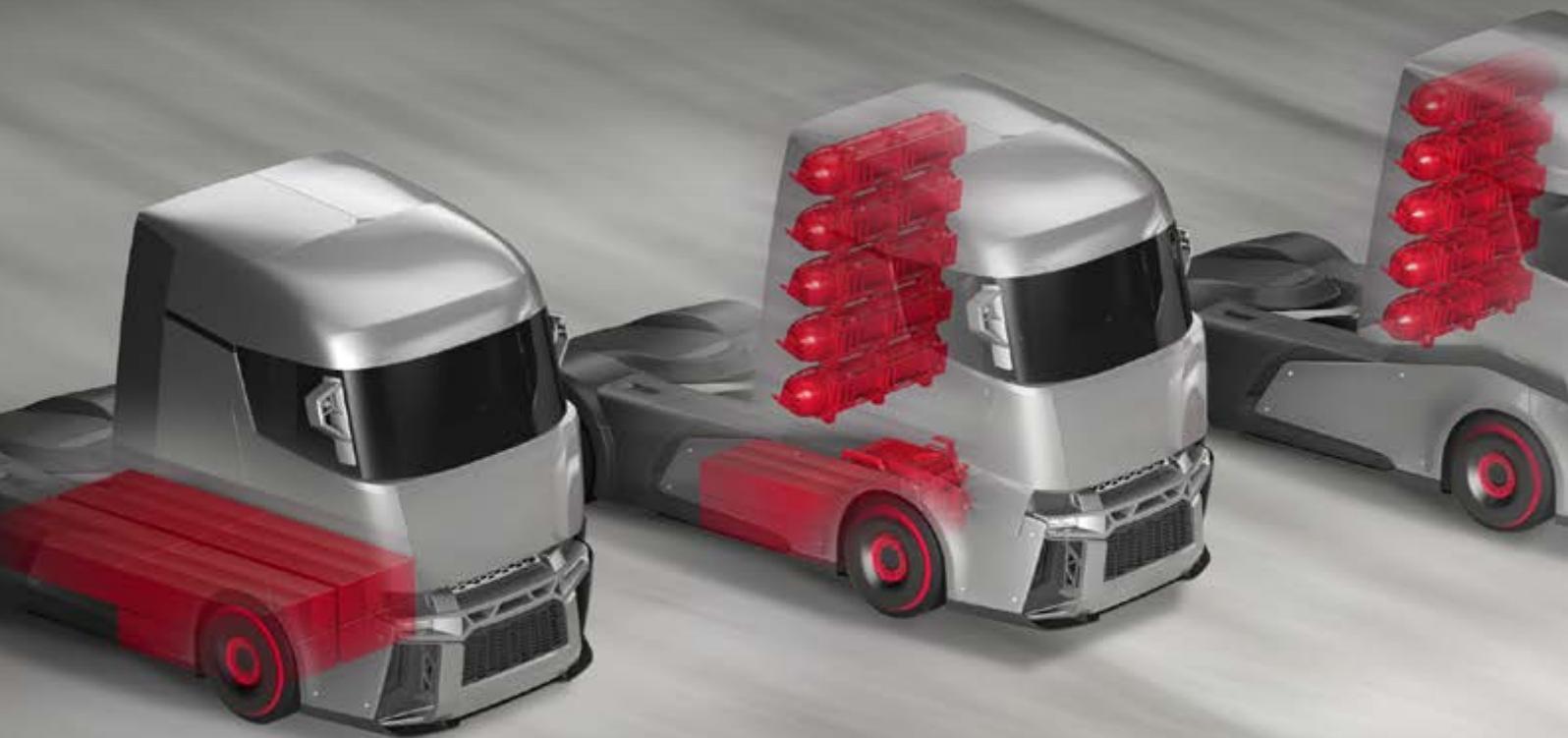


zeroco2mobility.com

Jetzt
Ticket
sichern!

#8

300+ kW Brennstoff- zellensysteme für den Fernverkehr



Welche Verbesserungen sind mit dieser nächsten Generation von Brennstoffzellensystemen zu erwarten?

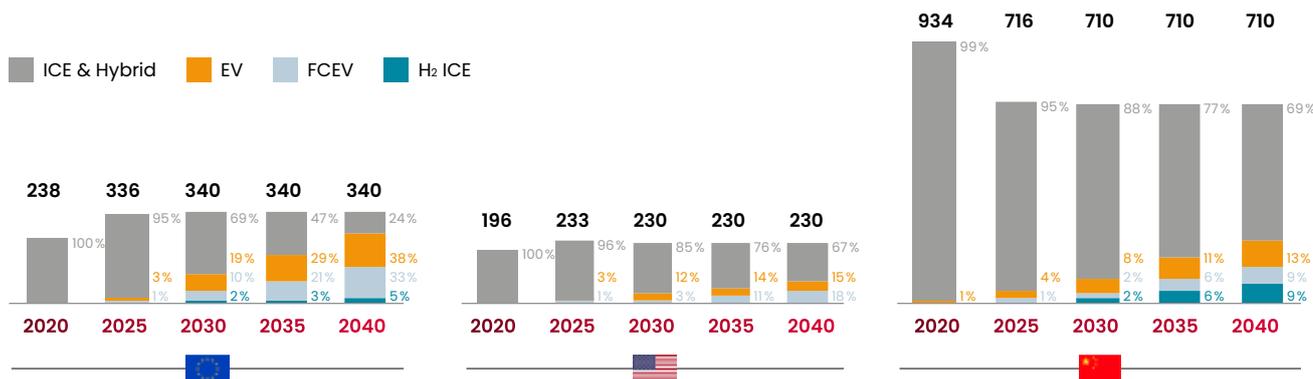
Laut einer aktuellen ICCT-Studie sind LKW für etwa 22 % der Kohlendioxidemissionen des Straßenverkehrs in der Europäischen Union verantwortlich.

Bis 2030 müssen die CO₂-Emissionen von schweren LKW um 30 % gegenüber 2019/2020 gesenkt werden. Alle führenden LKW-Hersteller haben angekündigt, bis 2040 Fahrzeuge zu verkaufen, die ohne fossile Kraftstoffe auskommen. Brennstoffzellenantriebe sind ein Eckpfeiler dieses Übergangs.

Die Europäische Union, die USA und China sind die größten Einzelmärkte für schwere LKW. Für das Jahr 2040 prognostiziert FEV einen Absatz von rund 340.000 schweren Nutzfahrzeugen in der EU, 230.000 in den USA und 710.000 in China (Abbildung 1). Von diesen Fahrzeugen werden in der EU voraussichtlich 33 % von einer Brennstoffzelle angetrieben. In den USA und China sind die Anteile mit 18 % bzw. 9 % etwas geringer, was einem Jahresabsatz von rund 220.000 schweren Brennstoffzellen-LKW bis 2040 entspricht.

In der Europäischen Union sind die meisten schweren LKW mit Dieselmotoren von 300 bis 370 kW ausgestattet. Die in den USA übliche Leistung liegt etwas höher und bewegt sich aufgrund der höheren Geschwindigkeit und Nutzlast zwischen 320 und 400 kW. Die Strategie vieler OEMs und Tier-1-Zulieferer von Brennstoffzellensystemen besteht darin, eine Modularisierungsstrategie zu verfolgen, um so schnell wie möglich auf Brennstoffzellen-Stack- und Systemebene zu hohen Stückzahlen zu kommen. Stacks und Systeme von jeweils 80 bis 150 kW können kombiniert werden, um die passende Leistung für verschiedene Anwendungen und Märkte bereitzustellen.

1. FEV Prognose für Antriebssysteme von schweren Nutzfahrzeugen in der EU, den USA und China, Absatzvolumen in Tausend Fahrzeugen (ICE: Verbrennungsmotor, EV: Batterieelektrisches Fahrzeug, FCEV: Brennstoffzellen-Elektro-Fahrzeug, H₂ ICE: Wasserstoff-Verbrennungsmotor).



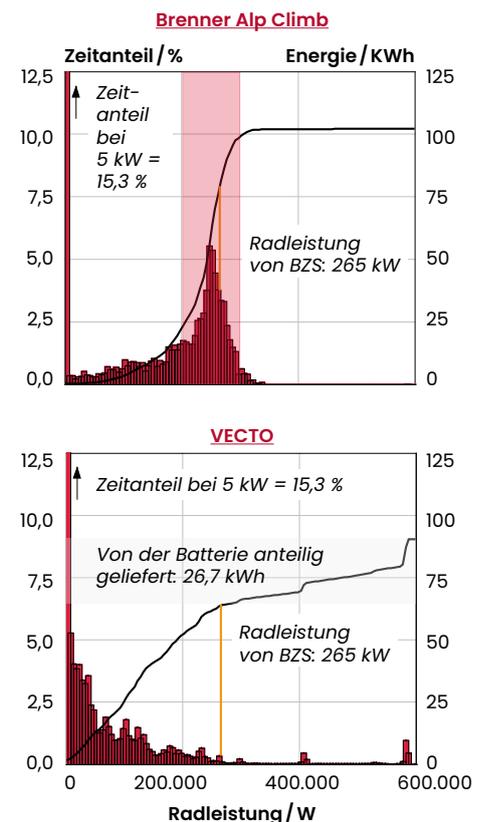


Anforderungen an das Antriebssystem und Systemdimensionierung für schwere LKW

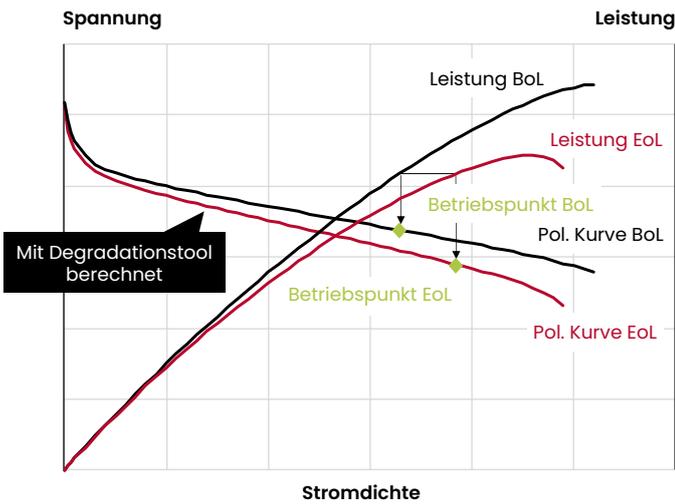
Um den Leistungsbedarf eines typischen europäischen Schwerlast-LKW-Antriebssystems abzuleiten, wird ein Längsdynamik-Simulationsmodell verwendet und es werden zwei Fahrzyklen, nämlich der „Brenner Alp Climb“ und der „VECTO long-haul“, betrachtet. Die resultierende Radleistungsverteilung ist in Abbildung 2 zusammen mit dem kumulierten Energiebedarf des Zyklus dargestellt.

In der Grafik ist zu erkennen, dass die kumulierte Energiekurve des „Brenner Alp Climb“-Zyklus zwischen 200 und 300 kW stark ansteigt. Geht man davon aus, dass das Fahrzeug mit einer vorausschauenden Hybridstrategie ausgestattet ist, die die Batterie vor einem Berganstieg vollständig auflädt und die Batterie den Spitzenleistungsbedarf liefert, ist die Sensitivität der benötigten Batteriekapazität gegenüber der Brennstoffzellenleistung sehr hoch. Würde das Brennstoffzellensystem 200 kW an den Rädern liefern, müsste die Batterie fast 80 kWh an den Rädern liefern.

Um zu einer angemessenen Batteriekapazität zu kommen, wird daher ein häufigerer Anwendungsfall berücksichtigt, wie z. B. der VECTO-Zyklus. Betrachtet man das Energiehistogramm dieses Zyklus in Abbildung 2, so ist ein Knie in der kumulierten Energiekurve bei 265 kW erkennbar. Wenn das Brennstoffzellensystem so dimensioniert ist, dass es diesen Strombedarf deckt, müsste die Batterie nur zu 26,7 kWh einen Anteil liefern, um den Zyklus bewältigen zu können. Diese Energie würde zu einer Gesamtauslastung des Brennstoffzellensystems im VECTO-Zyklus von 95 % bzw. 92 % im „Brenner Alp Climb“ führen. Mit diesem Ansatz kann eine sinnvolle Radleistung ermittelt werden, die das Brennstoffzellensystem zur Verfügung stellen muss. Da es sich bei der zuvor ermittelten Leistung um die benötigte Leistung am Rad handelt, muss man die zusätzlichen



2. Simuliertes Histogramm der Energie am Rad und des kumulierten Energiebedarfs des „Brenner Alp Climb“ Zyklus (oben) und des VECTO-Zyklus (darunter) für einen Lkw mit 100 % Nutzlast. Der schattierte graue Bereich stellt die Energie dar, die unter Annahme eines 265 kW Brennstoffzellensystems anteilig durch die Batterie bereitgestellt werden muss.



3. Verallgemeinerter Zusammenhang zwischen Brennstoffzellen-Nettoleistung und Abwärme sowie parasitären Verlusten der Nebenaggregate (Balance-of-Plant(-BoP)-Komponenten).

* Nebenverbraucher

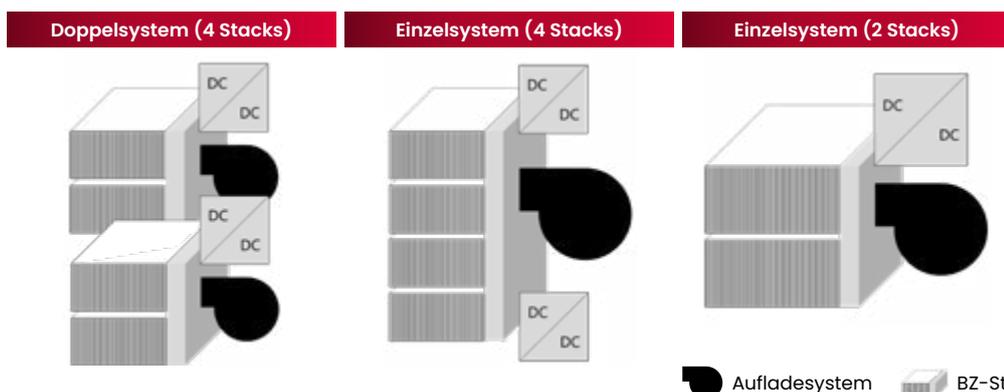
Verluste und Nebenaggregate berücksichtigen. Besonderer Fokus liegt dabei auf dem Lüfter, da dieser 15–20 % der Nettoleistung des Brennstoffzellensystems verbrauchen kann. Das Luftversorgungssystem kann weitere 10 % der Systemleistung verbrauchen. Des Weiteren unterliegt der Brennstoffzellen-Stack einer Degradation und der Verlust an Ausgangsleistung und Wirkungsgrad muss ebenfalls berücksichtigt werden. Diese Lastpunktverschiebung und die erhöhte Abwärme sind in Abbildung 3 dargestellt. Die Lebensende (End-of-Life, EoL)-Polarisationskurve wurde mit Hilfe eines FEV internen Degradations-Tools bestimmt.

Unter Berücksichtigung all dieser Überlegungen, zusammen mit einem minimal erforderlichen Stack-Wirkungsgrad bei EoL aufgrund der thermischen Einschränkungen, ist eine Brutto-Brennstoffzellen-Stack-Leistung von ca. 380 kW erforderlich, um die Anforderungen des Schwerlast-LKW zu erfüllen.

Aus Sicht der Hochspannungsarchitektur und der Sicherheit des Fahrzeugs ergeben sich zusätzliche Anforderungen, die bei der Auslegung eines Brennstoffzellen-Stacks und des Systemlayouts zu berücksichtigen sind. Die erforderliche Stackleistung ist zu hoch, um ein Design mit nur einem Stack zu ermöglichen. Daher muss die Leistung auf mehrere Stacks verteilt werden. Es entstehen mehrere Systemkonfigurationen mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen in Bezug auf Leistung, Effizienz, Skaleneffekte und Kosten. Beispiele für solche Konfigurationen sind in Abbildung 4 dargestellt.

Doppelsysteme (vgl. Abbildung 4) sind aufgrund der breiteren Anwendbarkeit vorteilhaft zur Erzielung von Skaleneffekten. Einzelsysteme mit vier Stacks können Vorteile für die Integration in die E/E-Architektur des Fahrzeugs haben. Ein einziges großes System hat das höchste Effizienzpotenzial bei gleichzeitig reduzierten Skaleneffekten.

Die Unterschiede in der Effizienz sowie in den Kosten werden im Folgenden erläutert.



4. Modularisierungsansatz von mehreren Systemen bis hin zu einem einzigen Systemdesign.

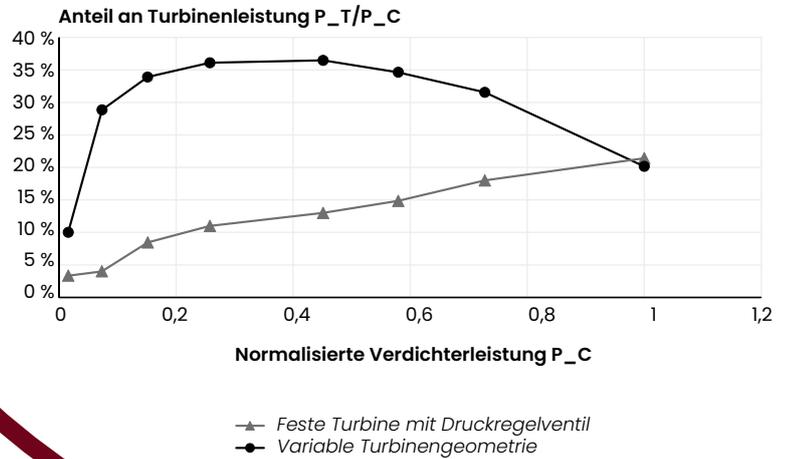
Leistung und Effizienz

Für die Wirtschaftlichkeitsbewertung der verschiedenen Layouts wurden detaillierte 1D-Systemsimulationen durchgeführt. Die Systemsimulation besteht aus folgenden Teilsystemen:

- Anoden-Subsystem für die Wasserstoffversorgung
- Kathoden-Subsystem für die Luftversorgung einschließlich eines Kompressor-Expander-Moduls (Compressor-expander module, CEM)
- Physikalisches Modell des Brennstoffzellen-Stacks
- Thermomanagementsystem zum Aufheizen und Kühlen des Systems

Im Rahmen dieser Systemsimulation wurde der Stack entsprechend skaliert und reale Bauteil-daten für eine realistische Effizienzbewertung herangezogen. Die Bauteildaten wurden ebenfalls skaliert und die Bauteilgröße korrigiert.

Großer Wert wurde auf die Optimierung des CEM gelegt, da es sich um den größten Verbraucher innerhalb der Fuel-Cell-System(FCS-)Grenzen handelt. Hier wurde eine Untersuchung verschiedener Topologien in Betracht gezogen – Turbine mit fester Geometrie vs. Turbine mit variabler

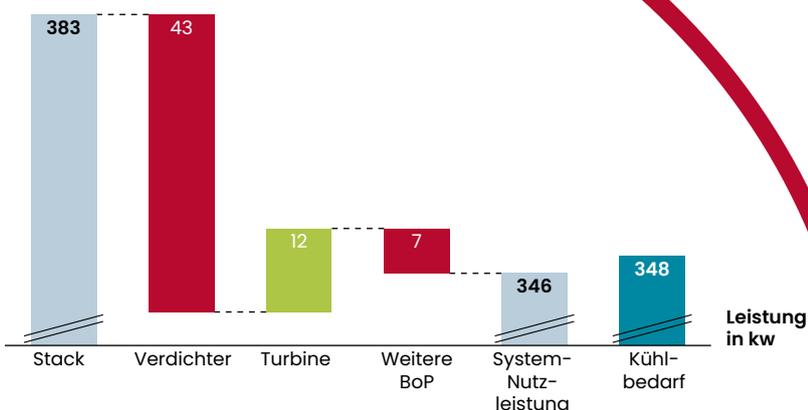


Geometrie (Variable geometry turbine, VTG) und zwei kleine CEM vs. ein großes CEM.

Die Ergebnisse der Simulation sind in Abbildung 5 dargestellt. Größter Verbraucher ist der Kompressor mit einem Leistungsbedarf von 43 kW. Die Turbine kann fast ein Drittel des Leistungsbedarfs des Verdichters zurückgewinnen, was zu einem Spitzenleistungsbedarf des CEM von 31 kW führt. Der Systemwirkungsgrad des Turbinensystems mit fester und variabler Geometrie ist bei Nennleistung gleich. Bei Teillast zeigte das System mit VTG aufgrund des höheren Anteils der Turbinenstützung einen signifikant höheren Wirkungsgrad, siehe Abbildung 6

Betrachtet man zwei kleine CEM im Vergleich zu einem einzelnen großen CEM, zeigt das größere einen um 4 % reduzierten Stromverbrauch. Durch die Rückkopplung all dieser Effizienzsteigerungen in die Zyklussimulationen kann der Kraftstoffverbrauch um mehr als 1,1 % im „VECTO-Zyklus“ und um 1,6 % im Zyklus „Brenner Alp Climb“ gesenkt werden, wenn ein VTG-System mit einem großen CEM im Vergleich zu einem System mit fester Geometrie verwendet wird.

5. Ergebnis der BoP-Optimierung mit variabler Turbinengeometrie bei EoL



6.
Vergleich
verschiedener
Turbinen-
konfigurationen.

Kostenreduktionspotenzial

Neben den technischen Auswirkungen eines einzelnen Brennstoffzellen-Systemdesigns wurde auch das Kostensenkungspotenzial untersucht.

Basierend auf Studien und Hardware-Benchmarks mehrerer Pkw- und Schwerlast-Lkw-Brennstoffzellensysteme, wurde ein Kostenmodell für ein generisches duales System als Bottom-up should cost Ansatz mit den folgenden Randbedingungen erstellt:

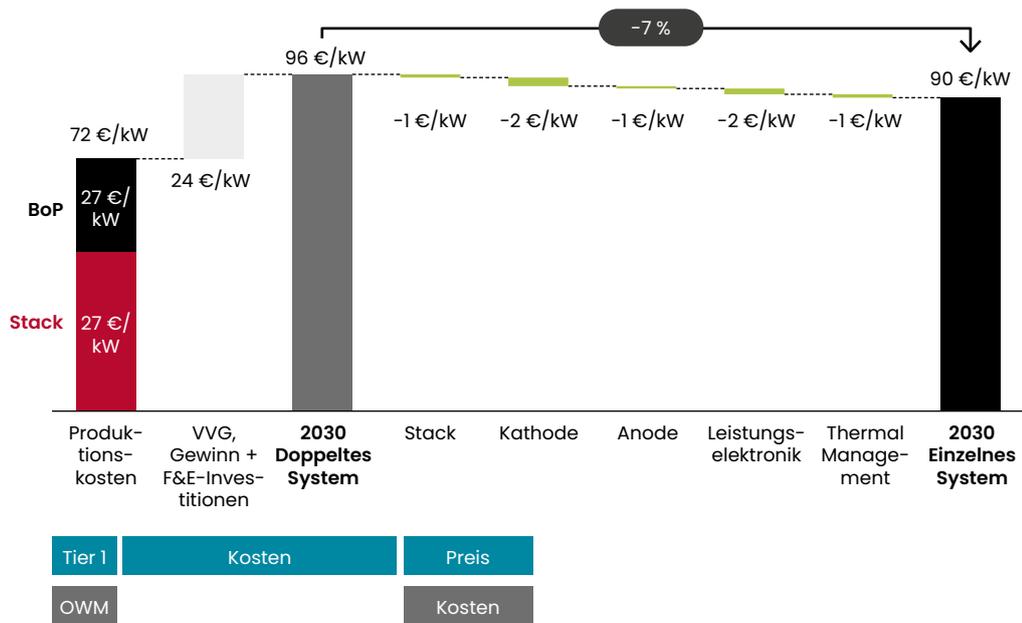
		Randbedingungen
Produktionsvolumen: Fahrzeuge	Fahrzeuge/Jahr	15.000
Produktionsvolumen: Duales System	Systeme/Jahr	30.000
Produktionsvolumen: Einzelsystem	Systeme/Jahr	15.000
Produktionsstandort	-	Europa

Die Produktionskosten werden aus der Sicht eines Tier-1-Lieferanten berechnet. Die Endmontage des Stacks und die Systemmontage werden ebenfalls von einem Tier-1-Lieferanten durchgeführt, der das montierte System an den OEM verkauft, einschließlich eines Aufschlags für Vertriebsgemeinkosten, Gewinn und F&E-Kosten.

Die Produktionskosten im Jahr 2030 betragen 72 €/kW_{net}, der Aufschlag führt zu einem Preis von 96 €/kW_{net} für ein montiertes System, siehe Abbildung 7, S. 44. Dieser Wert dient als Grundlage für den Vergleich zwischen dem dualen System (je zwei Stacks) und einer Einzelsystemlösung (vier Stacks), vgl. Abbildung 4. Wenn im Folgenden von Kosten die Rede ist, sind die Anschaffungskosten des OEM gemeint.

Ein einzelnes System anstelle von zwei parallelen Systemen hat erhebliche Auswirkungen auf die Kosten der meisten Subsysteme, da doppelte Systeme eliminiert werden und die Kosten bei den meisten Komponenten nicht stark mit der Leistung korrelieren. Die Auswirkungen des reduzierten Produktionsvolumens aufgrund dieses Ansatzes wurden ebenfalls berücksichtigt.





7. Kostensenkungspotentiale beim Übergang von einem dualen System zu einem Einzelsystem mit 345 kW_{net}.

Während die Kosten für die Zellen innerhalb des Stacks als Hauptkostentreiber des Systems gleichbleiben, können die Kosten für andere Stack-Komponenten wie Gehäuse, Luftverteiler oder Teile der Zellspannungsüberwachung (CVM) im Single-System reduziert werden. Entsprechend sinken auch die Montagekosten. Diese Änderungen auf Stack-Ebene reduzieren die Systemkosten um ca. 1 €/kW_{net}.

Das Subsystem, das am meisten vom Einzelsystemansatz profitiert, ist der Kathodenpfad. Dabei werden Hauptkomponenten, die im dualen System doppelt berücksichtigt werden, durch eine größere Version im Single-System ersetzt. Das CEM wurde oben bereits als Beispiel genannt; Darüber hinaus werden CEM-Wechselrichter, Ladeluftkühler, Luftbefeuchter und verschiedene Arten von Ventilen und Sensoren günstiger. Auch die Kosten für die Verrohrung sinken. Insgesamt können die Kosten für Kathodenkomponenten um ca. 2 €/kW_{net} gesenkt werden.

Ähnliche Effekte reduzieren die Kosten für die Komponenten des Anodenpfades um ca. 1 €/kW_{net}, wobei insbesondere die Kosten für das Rezirkulationsgebläse, den Wasserabscheider, die Injektoreinheit, das Ablass- und Spülventil und die entsprechende Verrohrung für den Einzelsystemansatz geringer anzusetzen sind.

TEXT

Dr. Marius Walters
walters@fev.com

Johannes Klütsch
kluetsch@fev.com

Alexander Koch
koch_a@fev.com

Dominik Lückmann
lueckmann@fev.com

»Ein einziges großes System hat bei der Konfiguration das höchste Effizienzpotenzial bei gleichzeitig reduzierten Skaleneffekten.«

Hauptkostentreiber innerhalb des Subsystems Leistungselektronik ist der DC/DC-Wandler, der im Einzelsystem auch doppelt berücksichtigt wird. Andere Komponenten wie die HV-Anschlussdose, die HV- und LV-Verkabelung und das Steuergerät werden jedoch im Einzelsystem kostengünstiger und haben einen Kostensenkungseffekt von etwa 2 €/kW_{net}.

Im Subsystem Thermomanagement kann die Anzahl der Pumpen, Ventile und Sensoren sowohl im HT- als auch im NT-Kreislauf reduziert werden. Diese Änderungen führen auch zu einer weniger komplexen Verrohrung, so dass die Gesamtsystemkosten um ca. 1 €/kW_{net} gesenkt werden können.

Die Summe dieser Effekte reduziert die erwarteten Kosten für ein einzelnes System im Jahr 2030 um etwa 6 €/kW_{net} auf 90 €/kW_{net}, was einer Reduzierung von 7 % gegenüber dem dualen System entspricht (siehe Abbildung 7). In einer TCO-Kalkulation wirkt sich dies positiv auf die Anschaffungskosten des Fahrzeugs aus. Darüber hinaus senken die in den vorherigen Abschnitten beschriebenen Effizienzvorteile die jährlichen Kraftstoffkosten.

Der größte Treiber für die Kostensenkung ist die Reduzierung der Zellzahl. Mit zunehmender Leistungsdichte in der Zukunft kann diese Zahl reduziert werden, was zu weiteren Kostenverbesserungen für CVM, Gehäuse, Verteiler sowie DC/DC führt.

In diesem Artikel wurde gezeigt, wie der Leistungsbedarf für LKW-Brennstoffzellenantriebe analysiert und die Hauptkomponenten des Antriebssystems dimensioniert werden können. Die Dimensionierung des Brennstoffzellensystems inklusive Stack und BoP wurde ausführlich vorgestellt, mit besonderem Fokus auf das CEM. Ausgehend von dem heutigen vollständig modularen Ansatz zur Deckung des Leistungsbedarfs in Nutzfahrzeuganwendungen wurde gezeigt, dass speziell entwickelte Einzelsysteme effizienter und kostengünstiger sind als ein duales System. Der Wirkungsgrad steigt um 1,1 bis 1,6 % und die Kosten sinken um ca. 6 €/kW für 300+ kW_{net} FCS. Weitere Kostensenkungen und eine verbesserte Leistungsdichte sind für Brennstoffzellen-Stacks mit deutlich vergrößerter aktiver Fläche und fast der Hälfte der Zellen zu erwarten. Mit steigendem Absatz von Brennstoffzellen für Nutzfahrzeuge sind solche maßgeschneiderten Brennstoffzellensysteme und Stacks für schwere, mittlere und leichte Nutzfahrzeuge zu erwarten.

Fazit und Ausblick

mehr als
7.300 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 #77
Ausgabe 02/2023

Redaktion
Marius Strasdat
FEV Europe GmbH
Gestaltung
Verena Mainz
FEV Europe GmbH

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**

feel evolution