Leichte Fahrzeug- und Antriebsstrangstrukturen

Fahrplan 2020

Bericht

RECHTLICHER HINWEIS: Übersetzungen von Materialien in andere Sprachen als Englisch sind lediglich als Hilfestellung für Personen gedacht, die der englischen Sprache nicht mächtig sind, und sind rechtlich nicht bindend. Wir sind bestrebt, eine genaue Übersetzung des englischen Originaltexts bereitzustellen, aber aufgrund von sprachlichen Nuancen bei der Übersetzung in eine Fremdsprache können geringfügige Unterschiede bestehen. Diese Übersetzung wird Ihnen unter der Voraussetzung, dass Sie diesen rechtlichen Hinweis zur Kenntnis genommen haben, zur Verfügung gestellt. Das APC haftet nicht für die Verwendung der Übersetzung durch Sie oder einen Dritten, falls sich herausstellen sollte, dass die Übersetzung Mängel aufweist.

automotive council UK

ADVANCED PROPULSION CENTRE UK

Überblick: Leichte Fahrzeug- und Antriebsstrangstrukturen

In der Vergangenheit sind Fahrzeuge immer schwerer geworden, da mehr Komponenten wie passive und aktive Sicherheits- und anspruchsvollere Komfortfunktionen hinzugefügt wurden. Versuche, diese Gewichtssteigerung zu kompensieren, haben dafür gesorgt, dass das Fahrzeuggewicht in den meisten Klassen stabil geblieben oder nur leicht gesunken ist, während Leistung und Kraftstoffverbrauch weiter optimiert wurden.

Bei Fahrzeugen mit Elektroantrieb kommt die Herausforderung, das Fahrzeuggewicht zu reduzieren, noch stärker zum Tragen.

Batteriepacks von batteriebetriebenen Fahrzeugen schlagen mit bis zu 300–400 kg zusätzlichem Gewicht zu Buche, was die Reichweite des Fahrzeugs verringert. Wenn im herkömmlichen oder im elektrifizierten Antriebsstrang das Gewicht reduziert wird, lassen sich auch bei anderen Komponenten, wie z. B. den Bremsen und der Aufhängung, Gewichtseinsparungen realisieren.

Im Fahrplan werden Entwicklungen in den Bereichen Konstruktion, Werkstoffe und Fertigung als die entscheidenden Maßnahmen zur Gewichtsreduzierung genannt. Fahrzeuge für den Massenmarkt durchlaufen üblicherweise andere Entwicklungsschritte als Fahrzeuge im oberen Marktsegment, die in geringeren Stückzahlen gefertigt werden, wobei je nach Bedarf verschiedene Ansätze in Bezug auf Werkstoffspezifikation und Fertigungsverfahren angepasst werden können.

Die multiphysikalische Simulation mit High-Fidelity-Modell (High Fidelity multiphysics Simulation) bietet Möglichkeiten zur Gewichtsoptimierung und sorgt dafür, dass Fertigung und Prozessstruktur in einer frühen Konstruktionsphase bereits berücksichtigt werden können. Durch solche parallel laufenden Konstruktionsprinzipien und neue Mobilitätslösungen, zum Beispiel vernetztes und autonomes Fahren oder Zero-Crash-fähige Fahrzeuge, ergeben sich gänzlich neue Ansätze zur Gewichtsreduzierung, sodass ehrgeizige Gewichtseinsparungen möglich sind.

Schlüsseltechnologien für verbesserte Leichtbauoptionen bei Automobilanwendungen

Ein vollständiges Glossar ist am Ende dieses Berichts zu finden.

Vorwort und Danksagungen

Das Advanced Propulsion Centre UK (im Folgenden „APC“) möchte sich für die umfangreiche Unterstützung durch Industrie und Wissenschaft bei der Ausarbeitung und Veröffentlichung dieses Fahrplans bedanken.

Wir bedanken uns beim Automotive Council für das Vertrauen, das er uns bei der Überarbeitung der Produkt- und Technologiefahrpläne entgegengebracht hat, sowie für die kontinuierliche Unterstützung.

Dieses Vorhaben wurde ferner maßgeblich vom Ministerium für Wirtschaft, Energie und Industriestrategie (Department for Business, Energy and Industrial Strategy, im Folgenden „BEIS“) unterstützt.

Neville Jackson
Im Namen des
UK Automotive Council

Ich freue mich, Ihnen den Technologiefahrplan 2020 für Antriebstechnik in der Automobilindustrie vorstellen zu können, den das Advanced Propulsion Centre (im Folgenden „APC“) in enger Zusammenarbeit mit der Industrie entwickelt hat. In diesen Fahrplänen werden entscheidende Ziele für die Zukunft und die vielversprechendsten Wege zu einem CO2-freien und nachhaltigeren künftigen Fuhrpark aufgezeigt. Sie sind ein wesentliches Instrument für die Entwicklung einer gezielten FuE-Agenda, die insbesondere für gemeinsame Innovationen relevant ist.

Die Fahrpläne, die auf den Grundlagen der vorherigen Fahrpläne des UK Automotive Council aufbauen, wurden vom APC im Jahr 2017 ausgearbeitet. Sie wurden auf den neuesten Stand gebracht, um zu verdeutlichen, wie dringend das Ziel des Vereinigten Königreichs, bis 2050 Netto-Null-Emissionen zu erreichen, angegangen werden muss. Der Wandel im Bereich der Antriebstechnologien wurde in den letzten Jahren erheblich beschleunigt: Die Verbreitung von Fahrzeugen mit Elektroantrieb nimmt zu, die Preise für Batterien sind schneller gesunken als zunächst angenommen, alternative CO2-freie Technologien wie Brennstoffzellen kommen in einer beeindruckenden Geschwindigkeit zur Marktreife und saubere Kraftstoffe, unter anderem Wasserstoff, sind auf dem Vormarsch, um derzeitige fossile Kraftstoffe zu ersetzen.

Dabei gilt es allerdings große Herausforderungen zu bewältigen, da der Wandel noch schneller vonstattengehen muss. Voraussetzung dafür ist eine intensivere Forschung und Entwicklung sowie die Kommerzialisierung, wodurch erschwingliche Produkte auf den Markt gebracht werden, die für Verbraucher noch attraktiver sind. Die Technologiefahrpläne 2020 beruhen auf Umfragen unter Branchenexperten und Panels und liefern einen konsolidierten Überblick über zukünftige Ziele, Technologien und Zeithorizonte für Automobilantriebe.

Mit dem Bericht bieten wir der Automobilindustrie Erkenntnisse und eine gemeinsame technologische Ausrichtung, um die Entwicklung und Bereitstellung erstklassiger Lösungen zu beschleunigen. Die Fahrpläne stellen eine wichtige Informationsquelle dar, wenn es darum geht, gemeinsame FuE-Möglichkeiten zu erschließen, um die künftigen Herausforderungen in den Bereichen Mobilität, Gütertransport und Forschung und Entwicklung von nicht für den Straßenverkehr bestimmten Fahrzeugen anzugehen.

Alan Banks, Ford Motor Company
Im Namen der Gruppe für Leichtbau
des UK Automotive Council

Mit der Überarbeitung des Fahrplans 2020 des UK Automotive Council wird der zunehmenden Bedeutung von Innovation, alternativen Kraftstoffen und Nachhaltigkeit im Automobilbereich Rechnung getragen. Aus den vorherigen Fahrplänen 2017 geht hervor, dass mit den Arbeiten insbesondere sichergestellt werden sollte, dass die Technologien relevant und zeitgemäß sind. Sämtliche Haupt- und Untergruppen wurden optimiert und deren Entwicklung beschleunigt, um den rasanten Entwicklungen Rechnung zu tragen. Der britische Vorstoß für ein Verbot von Benzin- und Dieselfahrzeugen ab 2030 ist eine echte Chance für das Vereinigte Königreich, um sämtliche Innovationsbereiche weltweit voranzutreiben und britischen Unternehmen einen bedeutenden Vorteil zu verschaffen.

Das Thema Leichtbau ist für die Industrie in Bezug auf die Entwicklung neuer Fahrzeuge von zentraler Bedeutung, da dadurch der Weg hin zu fortschrittlichen und neuen Antrieben geebnet wird. Die zusätzliche Masse, die diese Technologien mit sich bringen, muss kompensiert werden, vor allem bei Nutzfahrzeugen, bei denen Zulassungsbeschränkungen durch die Gesamtmasse des Fahrzeugs bestimmt werden und die Nutzlastkapazität ein entscheidendes Kriterium für Kunden ist.

Durch eine intelligente Verknüpfung aller Bereiche der Fahrpläne wird es möglich, dass britische Hochschulen, Forschungseinrichtungen, KMU, Tier-1-Zulieferer und Erstausrüster (OEM) zusammenkommen und Lösungen für die Anforderungen der Automobilindustrie bis weit ins nächste Jahrzehnt hinein entwickeln.

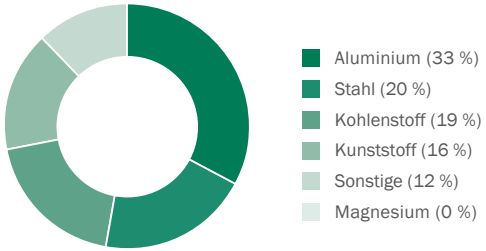
Erkenntnisse aus der Online-Umfrage unter Branchenexperten 2020

Was sind die wichtigsten Werkstoffe im Leichtbau für den Massenmarkt?

Hochfestes Aluminium und hochfester Stahl sind weiterhin eine solide Wahl für den Leichtbau, gefolgt von Kohlefaser und Kunststoffen.

Laut der Umfrage machen Aluminium und Stahl 53 % der Werkstoffe aus, die am ehesten zu Gewichtsoptimierungen führen.

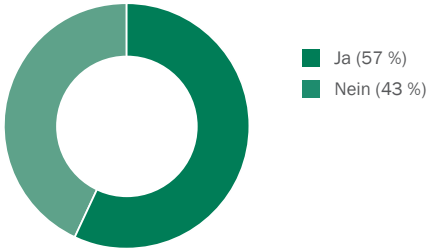
Aluminium ist bei Weitem der beliebteste Werkstoff, und zwar aufgrund flexibler Extrusionsverfahren und seiner Recycelbarkeit.



Ist Kohlefaser eine praktikable Option für die Fertigung von Fahrzeugen für den Massenmarkt?

Mehr als die Hälfte der Teilnehmer der Umfrage gab an, dass Kohlefaser eine praktikable Option für die Fertigung von Fahrzeugen für den Massenmarkt ist.

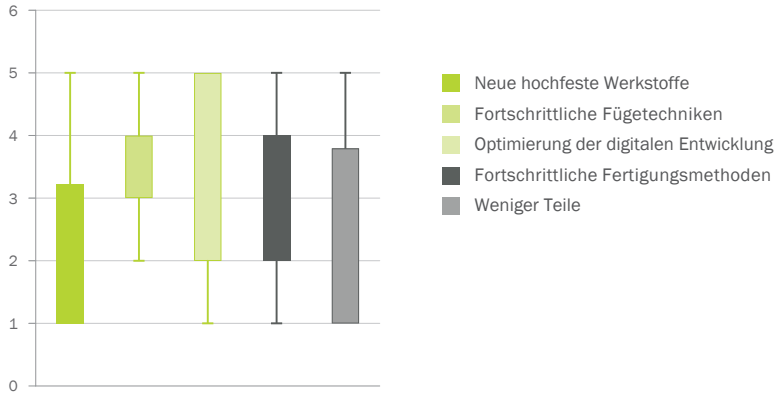
Die Herausforderungen in Bezug auf Recycelbarkeit und energieeffiziente Fertigung müssen zwar noch gemeistert werden, aber in Fertigungsprogrammen für den Massenmarkt wird gezielt auf die Integration von CFK in die Strukturen gesetzt.



Wo liegt das größte Potenzial für Gewichtseinsparungen?

Wir haben die Branche gebeten, anhand einer Skala von 1 bis 5 (wobei 1 die größte Wahrscheinlichkeit darstellt) zu bewerten, welche Möglichkeiten zur Gewichtsreduzierung am ehesten in Frage kommen.

Nach Meinung der Teilnehmer unserer Umfrage bieten hochfeste Werkstoffe und Initiativen zur Reduzierung der Teilezahl wahrscheinlich das größte Potenzial für Gewichtseinsparungen.



Technologiekennzahlen für leichte Nutzfahrzeuge

Technologiekennzahlen, die die Industrie in einem wettbewerbsorientierten Massenmarkt wahrscheinlich erreichen wird.

Standardkennzahlwerte

Sukzessive Anpassung der Technologie mit Fokus auf den Leichtbau

		2020	2025	2035
Leichte Nutzfahrzeuge	Gewichtseinsparungen bei herkömmlichen Fahrzeugen (%)	Ausgangswert	5–10 %	20–25 %
	Gewichtseinsparungen bei emissionsfreien Fahrzeugen (%)	Ausgangswert	10–15 %	20–30 %

Ehrgeizige Kennzahlwerte

Grundlegende Änderungen der Fahrzeugarchitektur und Einführung neuer Technologien

		2020	2025	2035
Leichte Nutzfahrzeuge	Gewichtseinsparungen bei herkömmlichen Fahrzeugen (%)	Ausgangswert	10–15 %	30–35 %
	Gewichtseinsparungen bei emissionsfreien Fahrzeugen (%)	Ausgangswert	15–20 %	30–40 %

Anmerkungen:

- Herkömmliche Fahrzeuge sind Fahrzeugarchitekturen mit Verbrennungsmotoren.
- Emissionsfreie Fahrzeuge sind Fahrzeuge mit allen Varianten elektrifizierter Antriebsstränge, vor allem aber batteriebetriebene Fahrzeuge.
- Die Gewichtseinsparungen in % beziehen sich auf das Fahrzeuggewicht im Jahr 2020.
- Immer strengere Dekarbonisierungsziele haben die Prognosen für den Leichtbau für konventionelle Fahrzeuge beflügelt.
- Batteriepack-Konstruktionen, Systemintegration und Fortschritte bei der Elektrifizierung des Antriebsstrangs bieten in den nächsten fünf bis zehn Jahren erhöhtes Potenzial für Gewichtseinsparungen.

Technologiekennzahlen für leichte Nutzfahrzeuge

Technologiekennzahlen, die die Industrie in einem wettbewerbsorientierten Massenmarkt wahrscheinlich erreichen wird.

Technologiekennzahlen
Im Jahr 2020 ersetzen sie die Ziele in den Fahrplänen und geben eine Stoßrichtung und einen Ansatz zur Messung der Best-in-class-Leistung für diese Technologie vor.

Standardkennzahlwerte

Sukzessive Anpassung der Technologie mit Fokus auf den Leichtbau

		2020	2025	2035
Leichte Nutzfahrzeuge	Gewichtseinsparungen bei herkömmlichen Fahrzeugen (%)	Ausgangswert	5–10 %	20–25 %
	Gewichtseinsparungen bei emissionsfreien Fahrzeugen (%)	Ausgangswert	10–15 %	20–30 %

Ehrgeizige Kennzahlwerte

Grundlegende Änderungen der Fahrzeugarchitektur und Einführung neuer Technologien

		2020	2025	2035
Leichte Nutzfahrzeuge	Gewichtseinsparungen bei herkömmlichen Fahrzeugen (%)	Ausgangswert	10–15 %	30–35 %
	Gewichtseinsparungen bei emissionsfreien Fahrzeugen (%)	Ausgangswert	15–20 %	30–40 %

Standardkennzahlwerte

Diese Leistungszahlen entsprechen den erreichbaren Gewichtsreduzierungen durch stetige Verbesserungen beim Leichtbau, und zwar durch die Optimierung der Entwicklung, die Werkstoffauswahl und die Reduzierung der Teilezahl.

Die Emissionsziele drängen OEMs zu mehr Effizienz (CO_2/km) und zum Leichtbau. Durch die Verringerung des Gewichts kann der Energiebedarf gesenkt werden, was eine sinnvolle Möglichkeit zur Verringerung des CO_2-Ausstoßes von konventionellen Verbrennungsmotoren ist. Zudem bieten sich weitere Vorteile, da Elemente wie Motoren und Bremsen auch kleiner gestaltet werden können, wenn die Fahrzeugmasse insgesamt abnimmt.

Seit vielen Jahren erschweren es zusätzliche Komponenten für Sicherheit, NVH, Komfort und Unterhaltung, das Fahrzeuggewicht zu begrenzen. Um dies zu kompensieren, wird vermehrt auf den Leichtbau gesetzt, was dazu geführt hat, dass das Gewicht in den meisten Fahrzeugklassen weitgehend stabil geblieben ist. Anmerkung: Bis 2025 wird eine Gewichtssteigerung von etwa 5 % und bis 2035 von etwa 10 % erwartet.

Die Elektrifizierung bringt zusätzliche Herausforderungen mit sich, da die Batterien bzw. zusätzlichen elektrischen Komponenten schwerer sind als herkömmliche Verbrennungsmotoren. Allerdings ergeben sich Chancen bei der Optimierung des Gewichts der Batterieträger, bei verbesserten Batterielösungen mit höherer Energiedichte und beim Reichweitenmanagement.

Technologiekennzahlen für leichte Nutzfahrzeuge

Technologiekennzahlen, die die Industrie in einem wettbewerbsorientierten Massenmarkt wahrscheinlich erreichen wird.

Standardkennzahlwerte

Sukzessive Anpassung der Technologie mit Fokus auf den Leichtbau

		2020	2025	2035
Leichte Nutzfahrzeuge	Gewichtseinsparungen bei herkömmlichen Fahrzeugen (%)	Ausgangswert	5–10 %	20–25 %
	Gewichtseinsparungen bei emissionsfreien Fahrzeugen (%)	Ausgangswert	10–15 %	20–30 %

Ehrgeizige Kennzahlwerte

Grundlegende Änderungen der Fahrzeugarchitektur und Einführung neuer Technologien

		2020	2025	2035
Leichte Nutzfahrzeuge	Gewichtseinsparungen bei herkömmlichen Fahrzeugen (%)	Ausgangswert	10–15 %	30–35 %
	Gewichtseinsparungen bei emissionsfreien Fahrzeugen (%)	Ausgangswert	15–20 %	30–40 %

Ehrgeizige Kennzahlwerte

Möglichkeiten zur verbesserten Gewichtsoptimierung bei neuen Plattform- und Produktarchitekturen bieten grundlegend neue Gestaltungsmöglichkeiten für die Entwicklung, die Konstruktion und die Fertigung. Werden diese Schritte gleichzeitig ausgeführt, bieten sich zusätzliche Vorteile in Bezug auf das Gewicht.

Neue Fahrzeugarchitekturen, z. B. spezielle Plattformen für batteriebetriebene Fahrzeuge, Konzepte für Zero-Crash-Technologien oder städtische Mobilitätslösungen, ermöglichen grundlegend neue Ansätze, mit denen sich ganzheitliche Leichtbaugrundsätze anwenden lassen, um radikale Gewichtsreduzierungen zu erreichen.

Wenn die Ziele in Bezug auf die ehrgeizigen Emissionsminderungen erreicht werden sollen, sind weitere Gewichtsreduzierungen erforderlich, die jedoch nicht allein durch schrittweise Änderungen erreicht werden können. Es wurden ehrgeizige Kennzahlwerte festgelegt, um Innovationen in den Bereichen Fahrzeugwerkstoffe, Konstruktion und Fertigung anzukurbeln und so einen Beitrag zur Erreichung der allgemeinen Emissionsziele zu leisten.

Es ergeben sich neue Möglichkeiten für die Integration von Batterien in Fahrwerk- oder Karosseriestrukturen, die zu Gewichtseinsparungen führen würden. Verbesserte Ladevorgänge und Fortschritte bei Batterien können bei batteriebetriebenen Fahrzeugen zu größeren Gewichtseinsparungen führen als bei konventionellen Fahrzeugen.

Fahrplan 2020

Leichte Fahrzeug- und Antriebsstrangstrukturen

Technology Roadmap

Technologiekennzahlen für die Jahre 2020–2035 finden Sie auf Seite 1.

automotive council UK

ADVANCED PROPULSION CENTRE UK

Dieser Fahrplan stellt eine Momentaufnahme der weltweiten Prognosen für Antriebstechnologien in der Automobilindustrie für den Massenmarkt dar. Anwendungsspezifische Technologien können je nach Region unterschiedlich sein.

Dunkler Balken: *Die Technologie ist auf dem Massenmarkt etabliert. In diesem Zeitrahmen werden bahnbrechende Innovationen erwartet.*

Übergang: *Ein Übergang bedeutet kein Rückzug aus dem Markt, sondern eine Neuausrichtung des FuE-Schwerpunkts.*

Balken mit gestrichelter Linie: *Marktreife: Die Technologie hat Marktreife erreicht. Sie verbleibt voraussichtlich im Massenmarkt, bis sie verdrängt wird.*

Konstruktionsorientiert	Spezielle Plattformen für Elektrofahrzeuge für den Massenmarkt	Modulare, skalierbare und flexible Plattformen mit mehreren Produkten	
		Anwendungsbezogener Leichtbau (z. B. vernetztes & autonomes Fahren, Zero Crash, städtische Mobilität)	
	Optimierung der integrierten multiphysikalischen Simulation	Optimierung der Simulation von gleichzeitiger Entwicklung, Konstruktion und Fertigung	
		In echte Fahrzeuge eingebaute Instrumente zur Verbesserung der Konstruktionsspezifikation, neue optimale Konstruktionen	
	Entwicklung mit Blick auf die Ökobilanz und Kreislaufwirtschaft (Umweltauswirkungen, Recycling von Komponenten)		
Werkstoff-orientiert – Karosserie, Fahrwerk, Türen und Verglasung	Zunehmender Einsatz von Aluminium (Gussteile und Extrusionsprofile)	Hochfester Stahl der 3. Generation (>1400 Mpa), festeres und haltbareres Aluminium	
	Verbundstrukturen aus gemischten Werkstoffen	Strukturen aus mehreren Werkstoffen (metallisch und nichtmetallisch) mit fortschrittlichen Fügetechniken	
		Serienfertigung von Verbundwerkstoffen (automatisiertes Layout und Heißformung)	Kostengünstige CFK-Herstellung
	Polymerstrukturen, z. B. Möglichkeiten zur Teilereduzierung, Hochmodul-GF der nächsten Generation		Komplexe Geometrie von Polymerteilen
Werkstoff-orientiert – Antriebsstrang	Wärmeantriebe aus Stahl und Aluminium, kleinere Antriebsstränge	Wärmeantriebe der nächsten Generation mit Netto-Null-Emissionen, Einsatz von Leichtmetallen und Polymeren	
	Leichte Batterieträger	Batterie als Fahrwerksstrukturen	In den Fahrzeugaufbau integrierte Batterien
	CFK-Tanks zur H2-Speicherung für Brennstoffzellen	Optimierte leichte CFK-Tanks für H2	Bessere Tanks, neue Werkstoffe & mehr Lebensdauer
Werkstoff-orientiert – Elektrik	Vereinfachte Verdrahtung (z. B. flexible Schaltungen)	Leitfähige Strukturen	Zusammenführung elektronischer Systeme, drahtlose Steuerung
Werkstoff-orientiert – Innenraum	Leichtbau für Sitzsysteme – Werkstoffe und Konstruktion	Sitze und Cockpit, die in die primäre Fahrzeugstruktur integriert werden	
Fertigungs- und prozessorientiert	Flexible Montagelinien für modulare Plattformen	Skalierbare Fertigung, variable Fertigung mehrerer Produkte	
	Fügeverfahren für Strukturkonstruktionen aus mehreren Werkstoffen, z. B. Warm-/Kaltschweißen, automatisiertes Verbinden		
	ALM-Teile für den Leichtbau für Nischenanwendungen	Additive Fertigung für den Massenmarkt (z. B. Hohlkörper, komplexe Geometrien, vernetzte Komponenten)	
Ökobilanz der Werkstoffe	Automatisierte Demontagetechniken für Multi-Material-Strukturen	Ausgereifte Closed-Loop-Werkstoffrecycling- und -Lieferketten	
	Energieeffiziente Werkstoffherstellung und Dekarbonisierung, insbesondere CFK	Werkstoffherstellung mit Netto-Null-Emissionen	
	Bessere, auf die Ökobilanz ausgerichtete Recycling- und Wiederverwertungslieferketten für Polymere und CFK	Nachhaltige Quellen für Polymere und Verbundwerkstoffe	

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

Primäre Technologiebereiche

Konstruktionsorientiert

Konstruktionsorientierte Ansätze decken Fahrzeugarchitekturen und -konzepte ab, die aufgrund modularer, flexibler und skalierbarer Konstruktionen angepasst werden. Neue Mobilitätslösungen und die ständige Weiterentwicklung virtueller Simulationstechnologien treiben künftige Konstruktionen voran. Immer mehr Hersteller analysieren im Vorfeld die Ökobilanz, um umweltverträgliche Produkte anzubieten, ohne dabei den Leichtbau außer Acht zu lassen.

Werkstoff-orientiert

Karosserie, Fahrwerk, Türen und Verglasung

Antriebsstrang

Elektrik

Innenraum

Werkstofforientiert:

Karosserie, Fahrwerk, Türen und Verglasungen machen den überwiegenden Teil der Gewichtsansätze gängiger Hersteller aus. Die größten Vorteile werden durch hochfeste Werkstoffe, immer mehr Strukturen aus gemischten Werkstoffen, neue Fügetechniken und den zunehmenden Einsatz von CFK und Polymeren in der Massenfertigung erwartet.

Antriebssysteme für Verbrennungsmotoren, batterieelektrische Antriebe und Brennstoffzellen bieten zahlreiche Möglichkeiten zur Gewichtsreduzierung. Diese reichen von Leichtbauwerkstoffen für Antriebsstrangkomponenten bis hin zur Integration von Batterie und Träger in Karosserie- und Fahrwerksstrukturen.

Elektrische Architekturen und Komponenten können bis zu 5 % des Fahrzeuggewichts ausmachen. Sie werden zwar oft nicht beachtet, bieten aber ein erhebliches Potenzial zur Gewichtseinsparung.

Der **Innenraum** bietet großes Potenzial für Leichtbaulösungen, einschließlich Werkstoffauswahl und Konstruktionen, die in die Rohbaukarosserie integriert werden können.

Fertigungs- und prozessorientiert

Fertigungs- und prozessorientierte Ansätze spielen bei der Umsetzung von Entwicklungskonzepten eine zentrale Rolle. Auf mehrere Fahrzeugplattformen ausgelegte Montagelinien, das Fügen unterschiedlicher Werkstoffe und die additive Fertigung für Nischenanwendungen tragen maßgeblich dazu bei, dass Leichtbaustrategien umgesetzt werden können.

Ökobilanz der Werkstoffe

Die **Ökobilanz der Werkstoffe** umfasst das Verwertungsdesign, das Recycling von Werkstoffen in geschlossenen Kreisläufen und nachhaltige Fertigungsverfahren speziell für kohlenstoffverstärkte Kunststoffe und Polymere.

Konstruktionsorientiert

Durch neue Plattformentwicklungen und multiphysikalische Simulationen lassen sich erhebliche Vorteile beim Leichtbau erschließen.

Fahrplan 2020

Leichte Fahrzeug- und Antriebsstrangstrukturen

Technologiefahrplan

Konstruktionsorientiert

1. *Spezielle Plattformen für Elektrofahrzeuge für den Massenmarkt* → *Modulare, skalierbare und flexible Plattformen mit mehreren Produkten*
2. *Anwendungsbezogener Leichtbau (z. B. vernetztes & autonomes Fahren, Zero Crash, städtische Mobilität)*
3. *Optimierung der integrierten multiphysikalischen Simulation* → *Optimierung der Simulation von gleichzeitiger Entwicklung, Konstruktion und Fertigung*
4. *In echte Fahrzeuge eingebaute Instrumente zur Verbesserung der Konstruktionsspezifikation, neue optimale Konstruktionen*
5. *Entwicklung mit Blick auf die Ökobilanz und Kreislaufwirtschaft (Umweltauswirkungen, Recycling von Komponenten)*

Werkstoff-orientiert

- Karosserie, Fahrwerk, Türen und Verglasung
- Antriebsstrang
- Elektrik
- Innenraum

Fertigungs- und prozessorientiert

Ökobilanz der Werkstoffe

1 Plattformen für Elektrofahrzeuge

Es gibt immer mehr spezielle Plattformen für Elektrofahrzeuge. Eine bessere Auswahl an Batteriespeichern sowie eine verbesserte Ladeinfrastruktur versetzen OEMs in die Lage, optimierte Elektrofahrzeugplattformen für die Einführung mehrerer Produkte zu entwickeln, z. B. den modularen E-Antriebs-Baukasten (MEB) von Volks-wagen.

Modulare, skalierbare und flexible Plattformen

Angetrieben von Skaleneffekten wird die künftige Großserienfertigung von modularen und flexiblen Plattformen, mit denen eine Vielzahl von Produktvariationen hergestellt werden kann, und adaptiven Fertigungssystemen abhängen, die auf Veränderungen der Nachfrage reagieren können.

2 Anwendungsbezogener Leichtbau

Die Zukunft der Mobilität wird geprägt von vernetzten autonomen Fahrzeugen, Zero-Crash-Fahrzeugen (sowohl in Bezug auf Erkennung als auch auf Vorbeugung) und neuen Anforderungen an die städtische Mobilität. Die Komponenten und Architekturen weichen von herkömmlichen Personenkraftwagen ab und bieten neue Ansatzpunkte für den Leichtbau.

3 Multiphysikalische Simulation

Multiphysikalische Simulationssoftwares existieren zwar schon seit einiger Zeit, aber nun gibt es immer mehr multiphysikalische Simulationssoftwares, die auf High-Fidelity-Modellen beruhen und ähnlich genau sind wie spezielle Einzelphysik-Modelle. In Kombination mit der Hochleistungsrechentechnik führt dies zu einer verstärkten simulationsgestützten Entwicklung. Dadurch können neue Konstruktionshypothesen, Herausforderungen an traditionelle Bauformspezifikationen und Kompromisse zwischen mehreren Attributen frühzeitig im Entwicklungsverfahren berücksichtigt werden.

Gleichzeitige Entwicklung, Konstruktion und Fertigung

Diese drei Elemente können mit fortschreitender Simulationstechnologie gleichzeitig in Angriff genommen werden.

4 In echte Fahrzeuge eingebaute Instrumente

Dieser Punkt ist von zunehmendem Interesse, da hiermit echte Daten zur Fahrzeugleistung zur Verfügung gestellt werden, die in Konstruktionsspezifikationen und -regeln einfließen können und diese dann angepasst werden können. Dies ist ein relativ neues und sich noch entwickelndes Gebiet und neue Daten ermöglichen es, überdimensionierte Bereiche des Fahrzeugs gezielt in den Fokus zu rücken.

5 Entwicklung unter Berücksichtigung der Ökobilanz

Viele OEMs haben bereits Aspekte der Ökobilanz in ihre Konzepte für den Leichtbau aufgenommen. Eine ganzheitliche Herangehensweise an die Entwicklung – einschließlich Aspekte der Ökobilanz – bewirkt langfristige Nachhaltigkeit und kann zudem wirtschaftliche Vorteile mit sich bringen.

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

Werkstofforientiert

Bedarfsgerechte Werkstoffe, hochfester Stahl und hochfestes Aluminium der nächsten Generation sowie Verbundstrukturen mit mehreren Werkstoffen bieten das höchste Optimierungspotenzial für Karosserie, Fahrwerk und Türen.

Konstruktionsorientiert

1 Aluminiumstrukturen

Das Interesse ist groß, Aluminium für Karosserie- und Fahrwerksstrukturen zu verwenden. Einfache Extrusionsprofile, maßgeschneiderte Dicken, hohe Festigkeit und Anpassungsfähigkeit an künftige Änderungen sorgen für einzigartige Vorteile in vielen Fahrzeugbereichen.

Hochfester Stahl und hochfestes Aluminium

Stahl ist weiterhin einer der wichtigsten Werkstoffe für Fahrzeugstrukturen. Der Einsatz hochfesten Stahls der dritten Generation und verbesserten Aluminiums der 6000er-Serie, die sich beide in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium befinden, ermöglicht Strukturen mit einem besseren Energieabsorptionsvermögen bei einem Aufprall.

Werkstoff-orientiert

Karosserie, Fahrwerk, Türen und Verglasung

Antriebsstrang

Elektrik

Innenraum

1. *Zunehmender Einsatz von Aluminium (Gussteile und Extrusionsprofile)* → *Hochfester Stahl der 3. Generation (>1400 Mpa), festeres und haltbareres Aluminium*
2. *Verbundstrukturen aus gemischten Werkstoffen* → *Strukturen aus mehreren Werkstoffen (metallisch und nichtmetallisch) mit fortschrittlichen Fügetechniken*
3. *Serienfertigung von Verbundwerkstoffen (automatisiertes Layout und Heißformung)* → *Kostengünstige CFK-Herstellung*
4. *Polymerstrukturen, z. B. Möglichkeiten zur Teilereduzierung, Hochmodul-GF der nächsten Generation* → *Komplexe Geometrie von Polymerteilen*

Fertigungs- und prozessorientiert

Ökobilanz der Werkstoffe

2 Verbundstrukturen aus gemischten Werkstoffen

Bei immer mehr Fahrzeugstrukturen kommt eine Mischung aus metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen zum Einsatz, die auf die jeweiligen Eigenschaften und Vorteile abgestimmt ist. CFK-Strukturen ermöglichen eine Gewichtseinsparung von 30–40 % gegenüber herkömmlichen Metallstrukturen. Der Hersteller NIO verwendet beispielsweise Kohlefaser und Aluminium in seinen Elektrofahrzeugkarosserien für den chinesischen Markt.

Strukturen aus mehreren Werkstoffen mit fortschrittlichen Fügetechniken

Die Herausforderungen des Fügens gemischter Werkstoffe für schnelle Produktionssysteme mit hohen Stückzahlen und der unterschiedlichen thermischen Ausdehnung der Werkstoffe müssen für den Massenmarkt noch überwunden werden.

3 Serienfertigung von Verbundwerkstoffen

Die Arbeiten zur Industrialisierung der CFK-Herstellung gehen weiter. Es wird erwartet, dass manuelle Layout-Prozesse bereits ab 2025 durch konfigurierbare automatisierte (und visuelle Erkennungs-)Systeme ersetzt werden, wodurch die Zeit zum Heißpressen der Teile verkürzt und eine schnellere Aushärtung möglich wird.

Kostengünstige CFK

Weitere Kenntnisse über die Vorteile und die Integration von CFK-Komponenten in Fahrzeugstrukturen und die Möglichkeiten zur Kostensenkung werden dafür sorgen, dass diese Werkstoffe zunehmend eingesetzt werden.

4 Polymerstrukturen

Glasfaser- und andere Polymerstrukturen sind bereits verfügbar und werden voraussichtlich ab 2022 auf dem Massenmarkt eingesetzt. Mit ihnen gehen Möglichkeiten zur Teilereduzierung einher, da mehrere Teile durch Gelenke ersetzt werden, die im Formverfahren hergestellt werden. Hochfeste/Hochmodul-Glasfasern werden derzeit entwickelt.

Teile für komplexe Geometrien

Kontinuierliche Innovationen der Formtechnik ermöglichen zukünftig auch komplexe Geometrien.

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | é

Werkstofforientiert

In den Bereichen Leichtbau des Antriebsstrangs, Elektrik und Fahrzeuginnenraum schlummert noch Potenzial, das es auszuschöpfen gilt.

Fahrplan 2020

Leichte Fahrzeug- und Antriebsstrangstrukturen

Technologiefahrplan

Konstruktionsorientiert

1 Leichte Wärmeantriebe (Verbrennungsmotoren)

Derzeit finden sich überwiegend Motoren aus Eisenwerkstoffen und Aluminium auf dem Markt. Hier sind gezielte Gewichtseinsparungen möglich, da die Fertigungsverfahren weiterentwickelt werden, wodurch der Einsatz von ausgehöhlten Komponenten (z. B. ALM) und verschiedensten Werkstoffen (z. B. Titanfedern, Gussteilen aus Magnesiumlegierungen und Pleuel aus Verbundwerkstoffen) möglich wird. Auch der Bereich Antriebsstrangkomponenten birgt viel Potenzial, z. B. thermoplastische Differential- und Elektromaschinengehäuse und CFK-Gelenkwellen.

2 Leichte Batterieträger

Die meisten Batteriegehäuse und internen Trägerstrukturen sind aus Metall gefertigt. Polymere und Verbundwerkstoffe bieten die Möglichkeit, Teile zusammenzuführen und Funktionen zu integrieren. Polymere müssen jedoch in höheren Stückzahlen hergestellt werden, um die Werkstoffkosten zu senken, während bei Verbundwerkstoffen eine Prozessentwicklung stattfinden muss, um höhere Stückzahlen zu erreichen.

Auf lange Sicht wird davon ausgegangen, dass Batterien leichter in ein Fahrzeug integriert werden können, zum Beispiel als primäres Strukturelement.

3 Leichte Brennstoffzellentanks

Für die Speicherung des Wasserstoffs für Polymerelektrolytbrennstoffzellen werden CFK-Tanks verwendet. Um den Druck von 350 bar auszuhalten, der auf bis zu 700 bar steigen kann, sind jedoch extrem hochfeste Werkstoffe erforderlich. Um das Gewicht zu reduzieren und gleichzeitig einen höheren Druck für die Speicherung zu erreichen, sind erhebliche Innovationen bei Kraftstofftanks erforderlich.

Anmerkung: Der Toyota Mirai ist mit zwei Wasserstofftanks mit einer dreischichtigen CFK-Struktur ausgestattet, die insgesamt 87,5 kg wiegen.

Werkstoff-orientiert

Karosserie, Fahrwerk, Türen und Verglasung

Antriebsstrang

Elektrik

Innenraum

1 *Wärmeantriebe aus Stahl und Aluminium, kleinere Antriebsstränge* → *Wärmeantriebe der nächsten Generation mit Netto-Null-Emissionen, Einsatz von Leichtmetallen und Polymeren*

2 *Leichte Batterieträger* → *Batterie als Fahrwerksstrukturen* → *In den Fahrzeugaufbau integrierte Batterien*

3 *CFK-Tanks zur H2-Speicherung für Brennstoffzellen* → *Optimierte leichte CFK-Tanks für H2* → *Bessere Tanks, neue Werkstoffe & mehr Lebensdauer*

4 *Vereinfachte Verdrahtung (z. B. flexible Schaltungen)* → *Leitfähige Strukturen* → *Zusammenführung elektronischer Systeme, drahtlose Steuerung*

5 *Leichtbau für Sitzsysteme – Werkstoffe und Konstruktion* → *Sitze und Cockpit, die in die primäre Fahrzeugstruktur integriert werden*

Fertigungs- und prozessorientiert

Ökobilanz der Werkstoffe

4 Vereinfachte Verdrahtung

Ein höherer Anteil elektrischer und elektronischer Komponenten führt tendenziell zu einer höheren Kabelmasse. Versuche, Schaltungen zu rationalisieren und leichtere Drähte und flexible Schaltungen zu verwenden, wie sie etwa Tesla in Zusammenarbeit mit Lear Corporation oder BME i-Ventures mit CelLink unternehmen, werden zukünftig wahrscheinlich zum Zwecke der Reduzierung des Kabelbedarfs von leitfähigen Karosseriestrukturen (z. B. eingebettete Streifen) abgelöst. Darüber hinaus reduziert sich die Kabelmasse zusätzlich aufgrund der Funktionsintegration und der drahtlosen Steuerung. Da die Verdrahtung fast 5 % des Fahrzeuggewichts ausmacht, können erhebliche Gewichtseinsparungen erreicht werden.

5 Sitzsysteme und Cockpit

Beim Leichtbau für Sitzsysteme liegt der Schwerpunkt derzeit auf der Verwendung von Legierungen für den Sitzrahmen, auf dem Übergang von einteiligen hin zu mehrteiligen Komponenten (vorangetrieben durch Verbesserungen im Fertigungsverfahren) und auf Polymerwerkstoffen. Für Fahrzeuge mit neuer Architektur gibt es zahlreiche Möglichkeiten, Sitz- und Cockpitstrukturen in die Rohbaukarosserie zu integrieren. Neben den Versuchen, den Einsatz von Gelenken für einzelne Teile zu reduzieren, gewinnt eine ganzheitliche, systembasierte Konstruktionsphilosophie in der Branche zunehmend an Bedeutung (z. B. für das vernetzte und autonome Fahren und die städtische Mobilität).

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | é

Fertigungs- und prozessorientiert

Durch gleichzeitige Konstruktion und Fertigung und die Entwicklung einer Prozessstruktur (Bill of Process) können ganzheitliche Lösungen entwickelt werden, die in einem herkömmlichen sequenziellen Entwicklungsprozess nicht möglich sind.

Konstruktionsorientiert

Werkstoff-orientiert

Karosserie, Fahrwerk, Türen und Verglasung

Antriebsstrang

Elektrik

Innenraum

1 Flexible, skalierbare und modulare Plattformen

Die Nutzung solcher Plattformen ist eine Grundvoraussetzung für entscheidende Vorteile beim Leichtbau. Prozessstrukturen (Bill of Process) und Stückzahlen (Bill of Material) können bei einem ganzheitlichen, systemoptimierten Ansatz für eine deutliche Gewichtsreduzierung sorgen. Werkstoffauswahl, Fügetechniken, Montageschritte, Anlagenlayout und die Planung des Platzbedarfs in der Fertigung können – wenn all diese Elemente kombiniert werden – zu größeren Verbesserungen führen.

Neue Plattformen für Elektrofahrzeuge oder künftige Mobilitätsfahrzeuge richten einen ganz neuen Blick auf die Synergien zwischen diesen Bereichen. Modulare und skalierbare Systeme ermöglichen Skaleneffekte, sodass Leichtbaustrategien umgesetzt werden können.

2 Fügetechniken sind für den Leichtbau maßgeblich

Die Entwicklung von Einstoffverfahren für Komponenten aus mehreren Werkstoffen wie etwa das Mehrpunkt-Fügeverfahren (z. B. Remote-Laserschweißen, Heiß-, Kalt- und Thermoplastschweißen), das Binden (z. B. schnell kalthärtende Harze) und das mechanische Fügen (z. B. Stanznieten, Befestigungen und Reibschweißen) ermöglicht enorme Gewichtseinsparungen.

Automation und Robotik sind für gleichmäßige Verbindungen maßgeblich und ermöglichen Konstruktionsspezifikationen, durch die der Einsatz des Verbindungswerkstoffs optimiert werden kann.

Kürzere Taktzeiten verbessern die Effizienz neuer Fertigungslinien und das Layout der Fertigungshalle.

3 ALM für Nischen- und Massenanwendungen

Bei Nischenanwendungen werden derzeit Metallverfahren eingesetzt, durch die die Notwendigkeit der Zerspanung reduziert und gleichzeitig kostengünstige und einzigartige Geometrien ermöglicht werden (z. B. additive Fertigung und Metallpulverspritzgießen).

Auf lange Sicht werden hochautomatisierte Verfahren und eine schnelle Großserienfertigung dazu führen, dass durch Konstruktionen mit Multi-Material-Strukturen mit genauen Abmessungen eine optimale Leistung bei geringem Gewicht erreicht wird. In künftigen Fahrzeugstrukturen werden wahrscheinlich Hohlkörper, komplexe Geometrien und vernetzte Komponenten zu finden sein.

Fertigungs- und prozessorientiert

1 *Flexible Montagelinien für modulare Plattformen* → *Skalierbare Fertigung, variable Fertigung mehrerer Produkte*

2 *Fügeverfahren für Strukturkonstruktionen aus mehreren Werkstoffen, z. B. Warm-/Kaltschweißen, automatisiertes Verbinden*

3 *ALM-Teile für den Leichtbau für Nischenanwendungen* → *Additive Fertigung für den Massenmarkt (z. B. Hohlkörper, komplexe Geometrien, vernetzte Komponenten)*

Ökobilanz der Werkstoffe

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

Ökobilanz der Werkstoffe

CFK und Polymere bieten zwar zahlreiche Möglichkeiten zur Gewichtsreduzierung, müssen aber im Hinblick auf die Ökobilanz weiterentwickelt werden. Zudem muss der Energieeinsatz bei ihrer Herstellung und ihrem Recycling reduziert werden.

Konstruktionsorientiert

Werkstoff-orientiert

Karosserie, Fahrwerk, Türen und Verglasung

Antriebsstrang

Elektrik

Innenraum

Fertigungs- und prozessorientiert

1 Multi-Material-Strukturen

Multi-Material-Strukturen begünstigen zwar eine Gewichtsreduzierung, allerdings müssen sowohl die Demontage als auch die Werkstofftrennung für das Recycling in den Entwicklungs- und Konstruktionsprozessen berücksichtigt werden, um die Anforderungen an die Ökobilanz zu erfüllen.

Closed-Loop-Recycling- und -Lieferketten

Für die meisten Werkstoffe werden wertstromorientierte geschlossene Lieferketten (Closed-Loop Supply Chains) entwickelt. Allerdings müssen neue Werkstoffe, Polymere und CFK auf diesem Gebiet noch ausgereift und weiterentwickelt werden.

2 Energieeffiziente Werkstoffherstellung

Die Herstellung von CFK ist sehr energieintensiv. Studien belegen, dass CFK-Teile (50 % Volumenanteil) einen Heizwert von bis zu 800 MJ/kg bei der Herstellung aufweisen. Der Heizwert von Stahl liegt im Vergleich dazu bei 50 MJ/kg. Die Versorgung mit Ökostrom aus erneuerbaren Quellen und Prozessverbesserungen zur Senkung des Energiebedarfs sind wichtige Aspekte in Bezug auf die Lieferung von Verbundwerkstoffen, die auch wirtschaftlich von Vorteil sind.

Zur Realisierung des Ziels, bis 2050 Netto-Null-Emissionen zu erreichen, braucht es einen kritischen Blick auf die energieintensiven Verfahren der Werkstoffherstellung.

3 Erwägungen zur Ökobilanz von Polymeren und Verbundwerkstoffen

Damit die immer strenger werdenden Ökobilanzvorgaben erfüllt werden können, müssen recycelbare Polymere und CFK entwickelt werden, die mit wirtschaftlich tragfähigen, auf die Kreislaufwirtschaft ausgerichteten Lieferketten einhergehen.

Nachhaltige Quellen

Kohlenwasserstoffe sind ein zentraler Bestandteil von Polymer- und Verbundwerkstoffen. Neue Entwicklungen zur Erzeugung von Ersatzstoffen aus nachhaltigen biologischen Rohstoffen (ohne Erdöl) sind vielversprechend.

Ökobilanz der Werkstoffe

1. *Automatisierte Demontagetechniken für Multi-Material-Strukturen* → *Ausgereifte Closed-Loop-Werkstoffrecycling- und -Lieferketten*
2. *Energieeffiziente Werkstoffherstellung und Dekarbonisierung, insbesondere CFK* → *Werkstoffherstellung mit Netto-Null-Emissionen*
3. *Bessere, auf die Ökobilanz ausgerichtete Recycling- und Wiederverwertungslieferketten für Polymere und CFK* → *Nachhaltige Quellen für Polymere und Verbundwerkstoffe*

2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 | ...

Glossar

Abkürzung	Erläuterung
ALM	Bei der additiven Fertigung (Additive Layer Manufacturing; ALM), die ursprünglich beim Schnellprototyping eingesetzt wurde, werden dreidimensionale Teile erzeugt, indem zahlreiche zweidimensionale Schichten zusammengefügt werden.
BIW	Body-in-white. Die Rohbaukarosserie eines Fahrzeugs.
CAVs	Die Bezeichnung „vernetzte und autonome Fahrzeuge“ (connected autonomous vehicles, CAV) ist ein Sammelbegriff für die verschiedenen Autonomiestufen und Technologien im Zusammenhang mit selbstfahrenden Fahrzeugen.
CFK	Kohlenstoffverstärkter Kunststoff.
Ökobilanz	Bewertung der Lebenszyklen. Hierbei werden die Umweltauswirkungen über alle Phasen des Lebenszyklus eines Produkts hinweg erfasst (z. B. von der Rohstoffgewinnung über die Verarbeitung, Herstellung und Nutzung bis hin zum Recycling bzw. zur Entsorgung am Ende der Lebensdauer).
MIM	Beim Metallpulverspritzgießen (Metal Injection Moulding) werden zwei bewährte Technologien miteinander verknüpft: die Kunststoff-Spritzgusstechnik und die Pulvermetallurgie. Bei diesem Verfahren wird feines Metallpulver verwendet, das mit einem Binder zu einem Ausgangsmaterial vermischt wird, das dann im Spritzgussverfahren geformt und gefestigt wird.
Multiphysikalische Simulation	Hierbei handelt es sich um eine Computersimulation mehrerer interagierender physikalischer Phänomene (z. B. Strom in einem Schaltkreis, Magnetfelder in einer Elektromaschine, physikalische Rückkopplung zum Fahrer und chemische Reaktionen einer Batterie).
NIO	Chinesischer Automobilhersteller.
NVH	Geräusch, Vibration, Rauhigkeit (Noise, Vibration and Harshness).
TPS	Ein Wärmeantrieb (Thermal Propulsion System) ist ein System, in den ein Motor oder eine Brennstoffzelle mit thermischen und/oder elektrischen Systemen integriert ist, um die Leistungsabgabe an die Räder zu steuern und überschüssige Energie für eine verbesserte Leistung und Effizienz zurückzugewinnen. Das wichtigste Merkmal eines TPS ist, dass die Primärenergie chemisch gespeichert wird (und nicht elektrochemisch wie in einer Batterie).
MEB	Der modulare E-Antriebs-Baukasten bzw. die modulare Antriebsmatrix von Volkswagen ist eine gemeinsame Plattform für Elektrofahrzeuge, die die Grundlage für die Massenfertigung mehrerer Modelle der Marke bildet.

Ein besonderer Dank geht an Spell Creative und Mindraft für die Unterstützung bei der Gestaltung und Ausarbeitung dieses Berichts sowie an BMG Research für die Durchführung der Umfrage unter Branchenexperten für den Fahrplan im Auftrag des APC und für die Unterstützung.