

BMW Group Innovationstage 2010. Mobilität der Zukunft. Kurzfassung.

1.	Warum Elektromobilität?	2
2.	Das Project i.	6
3.	Der elektrische Antriebsstrang.	10
4.	Leichtbau und LifeDrive Concept.	14
5.	CFK – ein Werkstoff für die Zukunft.	17



1. Warum Elektromobilität?

Die Welt, und mit ihr das Umfeld für individuelle Mobilität, befinden sich ökologisch, wirtschaftlich und gesellschaftlich im Umbruch. Globale Entwicklungen wie Klimawandel und Ressourcenverknappung verstärken das individuelle Bedürfnis vieler Menschen, ihre soziale Verantwortung wahrzunehmen und ihr Leben bewusster und nachhaltiger zu gestalten.

Die Prämissen für individuelle Mobilität wandeln sich.

Aufgrund des fortschreitenden Treibhauseffekts und endlicher Ressourcen gilt es vor allem, die CO₂-Emissionen deutlich und schnell zu reduzieren, den Umstieg von fossilen Brennstoffen auf regenerative Energiequellen voranzutreiben sowie die Effizienz sämtlicher Energieverbraucher zu erhöhen. Auch die Regierungen verschiedener Länder haben dies erkannt und reagieren mit ambitionierten Flottengesetzen und der Förderung von emissionsfreien Fahrzeugen.

Zudem lässt sich überall auf der Welt eine zunehmende Urbanisierung beobachten. Bereits die Hälfte der Weltbevölkerung lebt in Städten und täglich werden es mehr Menschen. Wie Magnete ziehen die Städte die Landbevölkerung an, immer mehr Menschen leben auf engerem Raum zusammen. Doch mit den Städten wachsen auch die Herausforderungen. Veränderte Infrastrukturen, Platzmangel und Umweltverschmutzung erfordern neue Mobilitätslösungen.

Herausforderungen für die Zukunft.

Die Mobilität der Zukunft verlangt eine neue Balance zwischen globalen Anforderungen und individuellen Bedürfnissen. Gefragt sind neue Lösungen für eine individuelle und vor allem nachhaltige Mobilität im urbanen Raum. Die BMW Group hat diesen Bedarf erkannt und entwickelt ein Fahrzeug, das in diesem Umfeld neue Möglichkeiten eröffnet und gezielt auf die sich wandelnden Kundenwünsche eingeht.



E-Mobilität als zukunftssträchtige Perspektive.

Eine Möglichkeit, den zukünftigen Anforderungen an die individuelle Mobilität zu begegnen, sieht die BMW Group in der Elektromobilität. Ein großer Vorteil liegt hier vor allem in der lokalen Emissionsfreiheit. Da bei der Elektromobilität Strom statt Kraftstoff in Bewegungsenergie umgewandelt wird, entstehen während der Fahrt keine klimaschädlichen Gase. Gewinnt man die Energie für den Fahrbetrieb regenerativ aus Wind- oder Wasserkraft, ist die E-Mobilität klimaneutral und schont die natürlichen Ressourcen. Doch Elektromobilität ist nicht nur emissionsfrei. Sie bietet darüber hinaus ein einzigartiges und emotionales Fahrerlebnis. So sind E-Fahrzeuge einerseits nahezu ohne Motorengeräusch zu bewegen, andererseits steht bei Elektromotoren das gesamte Drehmoment der E-Maschine bereits ab Stillstand zur Verfügung. Das sorgt für eine hohe Agilität und damit für einen hohen Spaßfaktor.

Grenzen der E-Mobilität.

Die Elektromobilität steht erst am Beginn ihrer Entwicklung, entsprechend ist an einigen Stellen noch weitere Innovationsarbeit zu leisten. Die größte Herausforderung ist eindeutig die Weiterentwicklung des Energiespeichers. Aufgrund seiner spezifischen Eigenschaften hinsichtlich Energiedichte und Gewicht ist er momentan der begrenzende Faktor der E-Mobilität. So lässt sich bislang nur eine begrenzte Menge Energie in einer Batterie speichern, die Energiedichte des Zellenverbands ist vergleichsweise niedrig. Der hohe Wirkungsgrad eines Elektromotors von bis zu 96 Prozent gleicht das zum Teil jedoch wieder aus. Zwar sind die Reichweiten eines Elektrofahrzeugs heute noch nicht mit denen eines Verbrennungsmotors vergleichbar. Doch durch die deutlich erweiterten Forschungsleistungen bei automobilen Energiespeichern ist davon auszugehen, dass in den nächsten Jahren weitere Technologiesprünge stattfinden und damit größere Reichweiten möglich werden.

Das Gewicht des Energiespeichers ist der zweite reichweiteneinschränkende Faktor. Durch die geringe Energiedichte hat eine Batterie für den Betrieb eines Automobils ungefähr die Maße eines großen Reisekoffers und ist zudem sehr schwer. Um die Batterie nicht noch weiter zu vergrößern und damit noch schwerer zu machen, versuchen die Entwickler, die zur Verfügung stehende Batteriekapazität bestmöglich zu nutzen und die Reichweite durch Maßnahmen wie konsequenten Leichtbau sowie intelligente Lade-



und Nutzungsstrategien weiter zu erhöhen. Darüber hinaus wird gezielt daran gearbeitet, die Ladezeiten deutlich zu verkürzen. Denn noch sind mehrere Stunden Lade- und damit Standzeit notwendig, um die Batterie eines E-Fahrzeugs vollständig zu laden.

Die Entwickler der BMW Group haben die noch offenen Arbeitsfelder der Elektromobilität erkannt und arbeiten intensiv an den optimalen, kundenwerten Lösungen. Umfangreiche Pilotprojekte in Deutschland, Großbritannien und den USA liefern wertvolle Informationen über die Nutzung und den Betrieb von E-Fahrzeugen und ermöglichen es der BMW Group, sie in Zukunft noch besser auf die Kundenbedürfnisse auszurichten. Wie die ersten Resultate der MINI E Erprobung zeigen, ist die BMW Group hier auf dem richtigen Weg.

Die BMW Group verfolgt einen zukunftsfähigen Gesamtansatz.

Elektromobilität ist integraler Bestandteil der Unternehmensstrategie, entsprechend richtet die BMW Group ihre Prozesse und Strukturen konsequent danach aus. Dies zeigt auch die Efficient Dynamics Strategie: Sie beschreibt die langfristige Ausrichtung der BMW Group Produktstrategie in Richtung emissionsfreier individueller Mobilität. Maßnahmen zur Realisierung dieses Ziels reichen von dem serienmäßigen Efficient Dynamics Technologiepaket mit optimierten verbrennungsmotorischen Antrieben sowie Leichtbau-, Aerodynamik- und Energiemanagementmaßnahmen über verschiedene Stufen der Elektrifizierung (Hybrid) bis hin zu vollständig CO₂-freien Fahrzeugkonzepten wie Elektro- und Wasserstofffahrzeugen.

BMW richtet seine Prozesse und Strukturen konsequent auf Elektromobilität aus.

Um auch den Elektrofahrzeugen die Gene des Unternehmens mitzugeben, entwickelt die BMW Group die identitätsstiftenden Elemente eines Elektrofahrzeugs in Eigenleistung. Erst dann kann ein Produkt entstehen, das dem Anspruch der BMW Group gerecht wird. Energiespeicher, elektrischer Antrieb und Fahrwerk werden deshalb im Forschungs- und Innovationsnetzwerk der BMW Group entwickelt. Partner, wie SB LiMotive im Bereich Zellentwicklung oder SGL Automotive Carbon Fibers (SGL Group) bei der Entwicklung und Produktion von Carbonfasern und Carbonfasergelegen, ergänzen mit ihrem Know-how die Entwicklungsarbeit der BMW Group, um die individuelle Mobilität auch in Zukunft weiter voranzutreiben.



BMW denkt über das Produkt hinaus.

Die Elektromobilität eröffnet auch völlig neue Möglichkeiten um das Fahrzeug herum. Beispielsweise sind verschiedene Services rund um das Laden des E-Fahrzeugs denkbar. So arbeitet die BMW Group bereits mit Energieanbietern zusammen, um einen schnellen und flexiblen Zugang zu „grünem“ Strom zu ermöglichen. Intelligente Laderegeln und fernbedienbares Laden sind weitere Möglichkeiten, E-Mobilität noch kundenwerter zu gestalten. Außerdem denkt die BMW Group auch über weiterreichende Mobilitätsdienstleistungen sowie intermodale Verkehrsangebote nach, um zukünftigen Mobilitätsanforderungen gerecht zu werden.



2. Das project i.

Mit project i startete Ende 2007 eine Initiative, deren Aufgabe darin besteht, als Speerspitze der BMW Group nachhaltige und zukunftsweisende Mobilitätskonzepte zu entwickeln. Das langfristige Ziel ist die Weiterentwicklung des gesamten Unternehmens durch neue Denkanstöße und konkrete Projekte in den Bereichen Produktion, Entwicklung und Vertrieb.

„Mit project i stellt sich die BMW Group den zukünftigen Herausforderungen der individuellen Mobilität.“ (Martin Arlt)

Eine revolutionäre Herangehensweise für ein revolutionäres Produkt.

Für die Umsetzung dieser Ziele sind nicht nur neue Prozesse und Technologien erforderlich. Die Entwickler der BMW Group hinterfragen dafür den Automobilbau, wie man ihn bisher kennt. Deshalb schuf die BMW Group mit project i einen Thinktank, der unkonventionell arbeiten darf und soll. Er setzt sich aus Wissensträgern und Vordenkern aus dem gesamten Unternehmen außerhalb bestehender Strukturen zusammen. Die kleine und effiziente Organisationseinheit engagiert sich seitdem dafür, die Anforderungen von Nachhaltigkeit, Wertschöpfung und Zukunftsfähigkeit in Produkten zu vereinen und dann gemeinsam mit den eigenen Fachabteilungen und geeigneten Kooperationspartnern außerhalb des Unternehmens umzusetzen. In diesem fokussierten Umfeld arbeiten die Entwickler unabhängig – und doch mit voller Unterstützung der Experten des gesamten Unternehmens.

Die Prämissen von project i.

Die Entwickler der BMW Group begannen ihre Arbeit bei project i jedoch nicht auf einem weißen Blatt Papier. Basis der Entwicklungsarbeit war eine intensive Recherche, die sich mit den Fragen der Mobilität und den Kundenbedürfnissen der Zukunft beschäftigte. Schnell waren daraus die Anforderungen an das zu entwickelnde Produkt abgeleitet: ein Fahrzeug,



das möglichst umweltschonend, also emissionsfrei zu bewegen ist und gleichzeitig die Ansprüche an die moderne urbane Mobilität erfüllt – das Megacity Vehicle (MCV). Die eigens gewählte Zielsetzung, unter der dies alles erreicht werden sollte, war eine möglichst ausgeprägte Nachhaltigkeit. Vom ersten Lieferanten bis hin zur Bauteilverwertung nach dem eigentlichen Fahrzeugleben sollte Nachhaltigkeit in ihren drei Facetten prozessbestimmend sein: ökologisch, ökonomisch und sozial verträglich. Also hinterfragten die Entwickler sämtliche Prozesse und Elemente der Wertschöpfungskette. Die Ergebnisse waren gleichzeitig die Prämissen für die Entstehung des Megacity Vehicles.

„In den 2,5 Jahren in diesem Projekt habe ich mehr gelernt als in den acht Jahren zuvor.“ (Peter Ratz)

Das Ergebnis überzeugt.

Alle zur Verfügung stehenden Freiheiten und Möglichkeiten hat das Projekt intensiv genutzt. Das Ergebnis ist ein ganzheitliches und nachhaltiges Mobilitätskonzept und zeigt einen Weg, wie sich die BMW Group zukünftig individuelle Mobilität vorstellt. Aufgrund der neuen Eigenschaften bei Antrieb und Fahrzeugarchitektur sowie des Einsatzes neuer Materialien wird die Produktion des Megacity Vehicles teilweise vereinfacht, teilweise sind völlig neue Prozesse erforderlich. Um das optimale Ergebnis zu gewährleisten, ergänzen leistungsfähige Partner wie SB LiMotive (Batteriezellentwicklung) und SGL Automotive Carbon Fibers (Carbonfaser- und Carbonfasergelegeherstellung) das Know-how der BMW Group.

Der Weg von project i – MINI E, BMW Concept ActiveE und MCV.

Mit dem MINI E begann im Frühjahr 2008 die Erfolgsstory von project i. Gleichzeitig trat das Projekt damit erstmals in den Fokus der Öffentlichkeit. Als erstes Befähigungsprojekt setzte der MINI E mit einer Reichweite von durchschnittlich 150 Kilometern im Alltagsbetrieb und 204 PS nicht nur technische Maßstäbe. Er leistet seitdem zusätzlich wichtige Pionierarbeit für die BMW Group im Rahmen der Entwicklung alternativer Antriebskonzepte auf dem Weg zur CO₂-freien Mobilität. Ziel war es, den MINI E so schnell wie möglich in Kundenhand zu übergeben, um durch die Nutzer wertvolle Erkenntnisse über den Alltagsgebrauch eines E-Fahrzeugs zu gewinnen. Bereits seit Mitte 2009 fahren Kunden in USA, Großbritannien und



Deutschland den MINI E und tragen mit ihren Erfahrungen aktiv zur Weiterentwicklung der CO₂-freien Mobilität bei.

USA und Deutschland sind sich einig: Elektromobilität ist alltagstauglich.

Die ersten Ergebnisse der Erprobungen aus Berlin und den USA stimmen bereits überaus positiv. Die Studien zeigen, dass sich über 90 Prozent der Teilnehmer durch die durchschnittliche Reichweite von 150 Kilometern in ihrem gewohnten Mobilitätsverhalten nicht beeinträchtigt sehen. Auch die Ladezeiten stellen entgegen den ursprünglichen Erwartungen der Kunden keine Einschränkung dar. Insgesamt unterscheidet sich das Nutzungsverhalten der MINI E Fahrer nur marginal vom Verhalten vergleichbarer MINI Cooper und BMW 116i Benutzer. Zudem betonen alle Nutzer, wie viel Spaß es macht, MINI E zu fahren. Fahrspaß und E-Mobilität schließen sich keineswegs aus, sondern gehen Hand in Hand. Aus den Studienergebnissen lässt sich ableiten, dass ein Megacity Vehicle mit etwas größerer Reichweite und mit einem erweiterten Platzangebot die Mobilitätsbedürfnisse von Großstädtern fast zu 100 Prozent abdeckt.

BMW Concept ActiveE.

Mit dem BMW Concept ActiveE werden die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der BMW Group zur Elektromobilität im Rahmen von project i konsequent fortgesetzt. Der speziell für den ersten rein elektrisch angetriebenen BMW entwickelte Motor leistet 125 kW/170 PS und stellt ein maximales Drehmoment von 250 Newtonmetern zur Verfügung. Seine Energie bezieht der Elektroantrieb aus ebenfalls völlig neu konzipierten Lithium-Ionen-Akkus. Sie ermöglichen eine Reichweite von rund 160 Kilometern (100 Meilen) im Alltagsbetrieb. Zudem verfügt das BMW Concept ActiveE über vier Sitzplätze sowie einen vollwertigen Kofferraum. Die Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs wurden mit Blick auf die Anforderungen des MCV konzipiert und werden hier in einem Vorserienstadium erprobt.

Auf Grundlage dieser Konzeptstudie, die im Dezember 2009 vorgestellt wurde, wird die BMW Group im Jahr 2011 eine weitere Erprobungsflotte von Elektrofahrzeugen in Kundenhand geben. Diese Erprobung dient dazu, das bereits gewonnene Wissen über die alltagsgerechte Nutzung von Fahrzeugen mit Elektroantrieb zu vertiefen und weitere Erkenntnisse



über die Kundenwünsche zu liefern.

Megacity Vehicle (MCV).

Mit dem Megacity Vehicle (MCV) wird die BMW Group eine neuartige Lösung für nachhaltige Mobilität im urbanen Umfeld anbieten, die im Jahr 2013 unter einer Marke von BMW auf den Markt kommen wird. Das MCV verfügt über einen neu entwickelten Antrieb (s. Kap. 3) sowie eine revolutionäre Fahrzeugarchitektur (LifeDrive, Kap. 4), die konsequenten Leichtbau, optimale Raumfunktionalität und höchste Crashesicherheit miteinander verbindet.

„Künftig wird derjenige Hersteller beim Wettbewerb im Premiumsegment führend sein, der am effizientesten und ressourcenschonendsten produziert – und seinen Kunden die zukunftsweisendsten und emotionalsten Lösungen für eine umweltfreundliche, individuelle Mobilität bietet. Die BMW Group wird auch zukünftig diese Vorreiterrolle einnehmen.“ (Martin Arlt)



3. Der elektrische Antriebsstrang.

Emissionsfrei und dynamisch – die neue Generation der Fortbewegung.

Auch in Zukunft hat die BMW Group den Anspruch, die besten automobilen Antriebe zu bauen. Antriebe, die sich durch Effizienz, Leistungsentfaltung und Laufruhe vom Wettbewerb absetzen – auch wenn Strom statt Kraftstoff in Bewegung umgesetzt wird. Entsprechend intensiv treibt die BMW Group die technische Entwicklung der Elektromobilität voran: Im „e-Werk“, dem Kompetenzzentrum der BMW Group für elektrische Antriebe, versammeln sich Experten für Entwicklung, Fertigung und Einkauf unter einem Dach. Sie alle arbeiten an der Umsetzung der neuen Antriebsgeneration.

Die Möglichkeit, Fahrzeuge ausschließlich mit elektrischer Energie anzutreiben, eröffnet völlig neue Mobilitätsperspektiven. E-Fahrzeuge erlauben nicht nur eine lokal emissionsfreie und geräuscharme Fortbewegung, sie überzeugen darüber hinaus mit einem völlig neuen, sehr agilen Fahrerlebnis. Der E-Antrieb der BMW Group für das Megacity Vehicle leistet deutlich über 100 kW. Die Besonderheit daran ist jedoch, dass hier das volle Drehmoment bereits beim Anfahren zur Verfügung steht und nicht erst wie bei Verbrennungsmotoren über die Motordrehzahl aufgebaut werden muss. Das hohe Drehmoment ab Stillstand verleiht E-Fahrzeugen eine besonders hohe Agilität und sorgt für beeindruckende Beschleunigungswerte. Die hohe Nutzdrehzahl von über 12.000 U/min erlaubt außerdem die unterbrechungsfreie Drehmomentabgabe über den vollen Geschwindigkeitsbereich. Das bedeutet, dass ein E-Fahrzeug mit nur einem Gang aus dem Stand bis zur Höchstgeschwindigkeit durchbeschleunigen kann.

„Elektromobilität ist bei Weitem keine rollende Verzichtserklärung. E-Fahrzeuge machen richtig Spaß.“ (Patrick Müller)



Leistungsstark und kompakt – die Antriebskomponenten.

Ein Fahrzeug mit E-Antrieb besitzt aber nicht nur ein attraktives Fahrverhalten. Die Elektromaschine verfügt außerdem über eine höhere Leistungsdichte als ein Verbrennungsmotor. Das bedeutet, dass bei einem E-Motor die gleiche Motorleistung auf kleinerem Raum darstellbar und umsetzbar ist. Auch ein zu integrierender Abgasstrang oder die komplexe Ansaugluftführung entfällt. Daher kann das kompakte Antriebsaggregat optimal in die Fahrzeugarchitektur eingebunden werden. Die heute noch erforderlichen Energiespeichergrößen und -gewichte schränken diesen Vorteil allerdings wieder ein: Elektrofahrzeuge benötigen einen dedizierten Raum zur Unterbringung des relativ voluminösen Energiespeichers. Fahrzeugumbauten von Verbrennungs- auf E-Antrieb sind deshalb lediglich eine Zwischenlösung und keine nachhaltige Antwort auf die Fragen der Antriebsstrangelektrifizierung.

Das elektrische Herz – der E-Motor.

Herzstück des elektrischen Antriebs ist der Elektromotor mit der dazugehörigen Leistungselektronik. Er setzt die elektrische Energie in Bewegungsenergie um. Vereinfacht dargestellt besteht die neueste Generation eines E-Motors der BMW Group aus dem gehäusefesten, rohrförmigen Stator und einem drehbaren Zylinder innerhalb des Stators, dem Rotor, der mit der Getriebestufe und dadurch mit den Antriebsrädern verbunden ist. Im Stator sind Spulen angebracht, in denen durch Stromfluss ein Magnetfeld erzeugt werden kann. Auf dem Rotor dagegen befinden sich ein oder mehrere Magnete mit fester Polung. Schaltet man nun den Strom ein, zieht der Südpol des im Stator erzeugten Magnetfelds, bildlich gesprochen, den Nordpol des Rotormagneten an. Doch bevor der Nordpol des Rotors den Südpol des Stators erreicht, schaltet man den Südpol auf die nächste Phase weiter. Als Folge dreht sich auch der Rotor weiter und „läuft“ den wechselnden Magnetfeldern auf dem Stator nach. Durch seine Drehbewegung überträgt der Rotor die mechanische Energie für den Vortrieb. Grundvoraussetzung für einen funktionierenden Elektromotor und dessen optimale Leistungsfähigkeit ist der richtige Umlauf der Magnetfelder auf dem Stator. Diese wichtige Aufgabe übernimmt eine spezielle Steuereinheit, die Leistungselektronik. Sie sorgt für die Weiterschaltung des Magnetfelds in der gewünschten Geschwindigkeit und mit der richtigen Feldstärke. Damit stellt sie sicher, dass der Rotor sich mit der geforderten Drehzahl dreht



und das gewünschte Drehmoment abgibt.

Der Energiespeicher – der Tank des E-Fahrzeugs.

Um den Motor eines E-Fahrzeugs antreiben zu können, sind sehr hohe Ströme erforderlich. Pro Phase werden hier Stromstärken bis zu 400 Ampere geschaltet, was ungefähr dem 25-fachen Maximalstrom einer Haushaltssteckdose entspricht. Auch die Spannungen sind mit bis zu 400 Volt fast doppelt so hoch wie bei der herkömmlichen Stromversorgung normaler Endgeräte. Um diese Energie zu speichern und bei Bedarf zur Verfügung zu stellen, kommen eine große Anzahl in Reihe geschalteter Batteriezellen zum Einsatz, die in kleinere Moduleinheiten aufgeteilt werden. Bei der Entwicklung und Auslegung des Energiespeichers und auch des Fahrzeughochvoltsystems ist oberste Prämisse, die Sicherheit der Fahrzeuginsassen zu gewährleisten. Deshalb stellen zahlreiche Sicherheitsmaßnahmen an Energiespeicher und Hochvoltsystem den optimalen Schutz für die Passagiere sicher. Umfangreiche Absicherungstests zeigen, dass sämtliche gesetzlichen und internen Craschanforderungen erfüllt werden.

Herausforderungen für die Zukunft.

Die Zukunft der Elektromobilität liegt vor allem in der Weiterentwicklung der Energiespeicher. Daher arbeiten die BMW Entwickler intensiv daran, Energiespeicher kompakter, kostengünstiger und leichter zu bauen. Vor allem aber gilt es, möglichst viel Energie für eine hohe Reichweite mitzuführen. Denn die Energiedichte des Energiespeichers beim E-Fahrzeug ist bisher noch nicht vergleichbar mit der eines vollen Kraftstofftanks. In einer Batterie mit 22 kWh befindet sich ein Energieäquivalent von ungefähr 2,5 Litern Superkraftstoff. Entsprechend geringer sind die momentan möglichen Reichweiten. Ein Elektroantrieb arbeitet im Vergleich jedoch effizienter: Aufgrund des erheblich höheren Wirkungsgrads von bis zu 96 Prozent – ein Verbrennungsmotor erreicht bestenfalls 40 Prozent – kommt dieser mit der begrenzten Energie deutlich weiter als ein vergleichbar motorisiertes Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Aufgrund der außerordentlich hohen Effizienz ist die momentan mögliche Reichweite für 90 % der Kunden heute bereits ausreichend, das Fahrzeug ist damit voll alltagstauglich. Dies wird durch Ergebnisse der Nutzungsstudien mit dem MINI E bestätigt.



Die zentrale Frage der E-Mobilität lautet allerdings auch zukünftig: Wie lässt sich die Reichweite weiter erhöhen? Die Entwickler arbeiten hier in zwei Richtungen. Die wichtigste Maßnahme ist, das Fahrzeuggewicht durch konsequenten Leichtbau und intelligenten Materialeinsatz so niedrig wie möglich zu halten (s. auch Kap. 4). Dies wird auch beim Antrieb wo immer möglich realisiert. Eine Erhöhung der Batteriekapazität wäre ebenfalls denkbar. Die größere Batterie würde das Fahrzeug aber wieder schwerer machen, was die Reichweite gleichzeitig wieder einschränkt. Deshalb versucht man, die vorhandene Batteriekapazität bestmöglich zu nutzen. Dazu werden einerseits die Batterien möglichst weit entladen. Andererseits helfen intelligente Laderegeln, bedarfsoptimierte Batterietemperatur und effiziente Betriebsstrategien, den Energieverbrauch während der Fahrt so weit wie möglich zu reduzieren. Dies schließt auch Maßnahmen zur effizienten Ansteuerung von Heiz-Klimasystem, Beleuchtung sowie Infotainment ein. Langfristig liegt die Zukunft jedoch in der Weiterentwicklung der Energiespeicher hin zu einer höheren Energiedichte.

Range Extender – kleiner Motor, große Reichweite.

Eine besondere Maßnahme zur Erhöhung der Reichweite stellt der so genannte „Range Extender“ dar. Hier erzeugt ein Verbrennungsmotor über einen Generator Strom, um die Batterie während der Fahrt zu laden beziehungsweise sie auf einem konstanten Ladungslevel zu halten. Damit lässt sich eine beträchtliche Zusatzreichweite realisieren. Da bereits eine vollwertige E-Maschine an Bord ist, kann dieser Verbrennungsmotor relativ klein ausfallen. Mit 20 bis 30 kW elektrischer Leistung stellt der Range Extender genügend Energie zur Verfügung, um das gewünschte Fahrprofil beibehalten zu können. Durch die moderate Leistung der Verbrennungskraftmaschine ergibt sich zudem ein relativ niedriger Kraftstoffverbrauch. Als kurzfristige Lösung zur Reichweitenerhöhung durchaus denkbar, setzen die Entwickler der BMW Group langfristig jedoch klar auf die Weiterentwicklung der Batterietechnik. Da die automobilen Energiespeichertechnologien zunehmend an Fahrt aufnehmen, sind hier weitere Entwicklungssprünge zu erwarten.



4. Leichtbau und LifeDrive Concept.

Die Elektrifizierung eines Fahrzeugs erfordert neue Konzepte in Fahrzeugarchitektur und Karosseriebau, um die Potenziale der E-Mobilität optimal nutzen können. Doch wie sieht eine sinnvolle und funktionale Architektur für ein Elektrofahrzeug aus? Mit dem revolutionären „LifeDrive“-Konzept denken die Ingenieure der BMW Group die Fahrzeugarchitektur eines Automobils komplett neu und passen sie an die Anforderungen und Gegebenheiten der Mobilität von morgen an. Sie schufen ein Karosseriekonzept, das sich konsequent am späteren Einsatzzweck und Einsatzgebiet des Fahrzeugs orientiert und mit innovativem Materialeinsatz aufwartet.

Ähnlich wie bei Fahrzeugen mit Rahmenbauweise besteht das LifeDrive-Konzept aus zwei horizontal getrennten, unabhängigen Modulen. Das „Drive“-Modul, das Chassis, bildet das stabile Fundament und integriert Batterie, Antrieb sowie Struktur- und Basiscrashfunktionen in einer Struktur. Der Gegenpart, das „Life“-Modul, besteht hauptsächlich aus einer hochfesten und sehr leichten Fahrgastzelle aus kohlenstoffaserverstärktem Kunststoff (CFK). Der Einsatz des Hightech-Werkstoffs in dieser Größenordnung ist bisher einzigartig. Mit diesem innovativen Konzept verleiht die BMW Group den Themen Leichtbau, Fahrzeugarchitektur und Crashsicherheit eine völlig neue Dimension.

Leichtbau macht einen gewichtigen Unterschied.

Konsequenter Leichtbau ist gerade bei einem Fahrzeug mit Elektroantrieb von großer Bedeutung. Neben der Batteriekapazität schränkt vor allem ein hohes Fahrzeuggewicht die mögliche Reichweite ein. Je leichter ein Fahrzeug ist, desto größer wird die Reichweite – allein, weil der E-Antrieb weniger Masse in Bewegung bringen und halten muss. Der Antriebsstrang beim E-Fahrzeug ist jedoch knapp 100 kg schwerer als der eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor inklusive vollem Tank. Das liegt vor allem am Gewicht der Batterie. Um dies zu kompensieren, setzt die BMW Group auf konsequenten Leichtbau und innovativen Materialeinsatz. Je nach Anforderung und Einsatzgebiet nutzen die Ingenieure der BMW Group



für jede Komponente das optimale Material. Und tatsächlich gelingt es den Entwicklern, dass die schwere Batterie insgesamt kaum „ins Gewicht fällt“.

CFK im Karosseriebau.

Einen großen Anteil an der Gewichtsersparnis hat das Material CFK. Der großflächige Einsatz des Materials wie im Life-Modul ist für die Großserienproduktion eines Fahrzeugs bisher einzigartig. Dabei ist CFK bei mindestens gleicher Festigkeit ungefähr 50 % leichter als Stahl. Aluminium würde „nur“ 30 % Gewicht einsparen. Somit ist CFK das leichteste Material, das sich ohne Sicherheitseinbußen im Karosseriebau einsetzen lässt. Ein weiterer Vorteil ist die Korrosionsbeständigkeit. Das Material rostet nicht und ist damit deutlich langlebiger als Metall. Zudem bleibt es unter allen klimatischen Bedingungen stabil.

Leichter ist sicherer.

Neben dem Leichtbau spielte auch die Sicherheit der Passagiere eine große Rolle bei der Entwicklung des LifeDrive-Konzepts. Und die Materialkombination von Aluminium im Drive-Modul mit der Fahrgastzelle aus CFK im Life-Modul übertraf bereits in den ersten Erprobungen alle Erwartungen und zeigt klar: Leichtbau und Sicherheit sind kein Widerspruch!

Ähnlich wie in einem Formel-1-Cockpit sorgt die Fahrgastzelle aus CFK für einen äußerst stabilen (Über-)Lebensraum. Gerade bei Pfahlcrashes und Seitenaufprallszenarien zeigt sich das beeindruckende Sicherheitsverhalten des extrem steifen Materials. Während bei Metallkonstruktionen große Knautschzonen nötig sind, gelingt es durch spezielle Deformationselemente in der CFK-Struktur, auf kleinstem Raum die große Energie zu absorbieren. Trotz der großen, teilweise punktuell einwirkenden Kräfte deltet das Material kaum ein.

Für zusätzliche Sicherheit bei Front- und Heckaufprall sorgen crashaktive Strukturen aus Aluminium an Vorder- und Hinterwagen des Drive-Moduls. Zum bestmöglichen Schutz ist die Batterie im Unterboden untergebracht, da sich ein Fahrzeug im Crashfall dort am wenigsten verformt. Bei einem Seitenaufprall profitiert die Batterie zudem von den Crasheigenschaften des Life-Moduls, da dort bereits die gesamte Energie aufgefangen wird und nicht



bis zum Energiespeicher vordringt. Insgesamt schafft die hochfeste CFK-Fahrgastzelle in Verbindung mit der intelligenten Kraftverteilung im LifeDrive-Modul die Voraussetzung für einen optimalen Insassenschutz.

Vorteile LifeDrive.

In der revolutionären Fahrzeugarchitektur geht das LifeDrive-Konzept alle Anforderungen der E-Mobilität an und integriert die große, sperrige Batterie sowie den kompakten E-Motor in einer crashsicheren Struktur. Doch wie viel mehr hinter dem LifeDrive-Konzept steckt als „nur“ ein modernes, leichtes und sicheres Karosseriekonzept, zeigt sich, wenn man neben dem Produkt auch die angelagerten Produktionsprozesse betrachtet. Die Rahmenbauweise ist bis in die Produktion mittlerer Stückzahlen hinauf sehr praktikabel. Zudem sind durch die neue Fahrzeugarchitektur völlig neue Produktionsprozesse möglich, die einfacher, flexibler und energieärmer sind.



5. CFK – ein Werkstoff für die Zukunft.

Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (CFK) ist kaum mit konventionellen Werkstoffen zu vergleichen. Dieser einzigartige Verbundwerkstoff besitzt zahlreiche positive Eigenschaften in einzigartiger Kombination. CFK besteht aus einer Kohlenstofffaser, die in eine Kunststoffmatrix (Harz) eingebettet ist. Das Material ist dadurch zum einen äußerst stabil, gleichzeitig sehr leicht und damit bei mindestens gleicher Funktion rund 50 Prozent leichter als Stahl. Außerdem ist der Werkstoff resistent gegen Korrosion, Säuren sowie organische Lösungsmittel und so deutlich langlebiger als Metall. Zudem bleibt CFK unter allen klimatischen Bedingungen stabil und verformt sich auch unter hohen Temperaturschwankungen kaum.

Darüber hinaus besitzt CFK eine beeindruckende Fähigkeit zur Energieabsorption und ist somit sehr schadenstolerant. Es ist das leichteste Material, das sich ohne Sicherheitseinbußen im Karosseriebau einsetzen lässt. Das Geheimnis dieses hochfesten Werkstoffes ist die Kohlenstofffaser. Sie ist sehr reißfest, und dadurch entlang der Faserrichtung äußerst belastbar. Diese besondere Eigenschaft erlaubt das belastungsgerechte Maßschneiden von Bauteileigenschaften. Wie die Natur, die das Material in Knochen oder Pflanzen nur dort anlagert, wo es wirklich gebraucht wird, ordnen die Experten die Fasern in der erforderlichen Menge entlang der späteren Belastungsrichtung(en) an. Das Bauteil ist damit exakt auf die späteren Anforderungen ausgelegt und gleichzeitig sehr leicht.

Technologiekompetenz der BMW Group.

Durch die intensive Werkstoff- und Verfahrensentwicklung hat sich die BMW Group in den letzten zehn Jahren große Kompetenz in CFK-spezifischen Fertigungsprozessen, zielführendem Werkzeugeinsatz und der Optimierung von Zykluszeiten erarbeitet. So ist es CFK-Spezialisten der BMW Group gelungen, im Werk Landshut den Fertigungsprozess für CFK-Bauteile so weiterzuentwickeln und zu automatisieren, dass nun auch die wirtschaftliche und qualitativ hochwertige Großserienfertigung von Karosseriekomponenten aus Kohlenstofffaserwerkstoffen möglich ist. Bereits im Jahr 2003 hat bei der BMW Group eine neue Generation der



CFK-Serienfertigung begonnen: hochmodern und mit sehr kurzen Zykluszeiten.

Von der Faser zum Gelege.

Ausgangspunkt der CFK-Produktion ist der so genannte Precursor, eine Textilfaser aus Polyacrylnitril. Diese Faser findet man unter anderem auch in Textilien aus Fleece. In einem komplexen, mehrstufigen Prozess unter verschiedenen Temperatur- und Druckverhältnissen werden sämtliche Elemente der Faser gasförmig abgespalten, bis nur noch eine lediglich sieben Mikrometer dünne, aus nahezu reinem Kohlenstoff bestehende Faser mit stabiler Graphitstruktur vorliegt. Mit 0,007 Millimetern entspricht der Durchmesser dieser Faser lediglich einem Zehntel des Durchmessers eines menschlichen Haares. Daher werden für die weitere Verwendung ca. 50 000 dieser Einzelfilamente zu so genannten „rovings“ oder „heavy tows“ zusammengefasst, die auch in großen Rotorblättern von Windenergieanlagen zum Einsatz kommen. Aus den Faserbündeln werden dann spezielle Fasergelege gearbeitet. Würde man die Fasern verweben, würde die damit einhergehende Krümmung der Fasern deren hervorragende Eigenschaften wieder reduzieren. Erst die spezifische Anordnung der Fasern nebeneinander, in einer Ebene, gewährleistet die optimalen Eigenschaften eines CFK-Bauteils.

Preformen und Konfektionieren.

Im so genannten Preformprozess erhalten die bedarfsgerecht zugeschnittenen, jedoch noch flachen Gelege ihre dreidimensionale Kontur. Mehrere dieser vorgeformten Lagenpakete (Preform-Rohlinge) können später zu einem größeren Bauteil zusammengefügt werden. Dadurch lassen sich mit CFK beispielsweise hochintegrierte und großflächige Karosseriebauteile herstellen, die sich sonst nur mit großem Aufwand aus Aluminium oder Stahlblech realisieren ließen. Um das noch flexible Gelege so handhabbar zu machen, dass die Form des Preform-Rohlings stabil bleibt und die Rohlinge in der Konfektionierung passgenau verbunden werden können, hat sich die BMW Group im Laufe der Jahre wertvolle Technologiekompetenz erarbeitet.

Harzen unter Hochdruck mit Resin Transfer Moulding (RTM).

Im nächsten Schritt werden die vorgeformten Aufbauten der Harzinjektion zugeführt – auch Imprägnierung genannt. Denn erst durch die Verbindung der Fasern mit dem Harz und das anschließende Aushärten



erhält das Material seine Steifigkeit und damit seine hervorragenden Eigenschaften. Beim Resin Transfer Moulding (RTM) wird das Harz unter hohem Druck in die Preform-Rohlinge injiziert. Die Imprägnierung der Fasern mit dem Harz ist ein hochkomplexer Prozess voller gegensätzlicher Anforderungen. So soll das Harz einerseits innerhalb sehr kurzer Zeit an jede Stelle des Materials vordringen und jede Faser bis auf mikroskopische Ebene benetzen. Andererseits soll das Harz schnellstmöglich aushärten, sobald das gesamte Material mit ihm imprägniert ist. Darüber hinaus muss ein Trennmittel gewährleisten, dass die verharzten Bauteile schadensfrei aus den Werkzeugen entfernt werden können – ohne jedoch die Verbindung zwischen Faser und Harz zu beeinträchtigen. Diese Widersprüche gleichzeitig zu lösen und zu realisieren, ist sehr komplex. Die BMW Group hat hier eigene Prozess-, Werkzeug- und Anlagenkonzepte entwickelt, die diesen Zielkonflikt lösen und eine hohe Produktivität bei gleichzeitig sehr hoher Qualität ermöglichen.

Endbearbeitung – Feinschliff mit dem Wasserstrahl.

Nach der Harzinjektion und dem Aushärten sind nur noch Feinarbeiten wie das saubere Zuschneiden der Bauteilkontur sowie das Einbringen noch fehlender Öffnungen zu erledigen. Da das fertige CFK-Bauteil nach dem Harzen bereits seine volle Stabilität und damit auch Widerstandsfähigkeit besitzt, leistet diese Endbearbeitung bei der BMW Group eine Wasserstrahlschneidanlage. Im Gegensatz zu konventionellen Fräsköpfen ermöglicht Wasserstrahlschneiden ein verschleißfreies Schneiden und Bohren. Um ein optimales Ergebnis zu gewährleisten, haben die Experten das Verfahren speziell auf die Bearbeitung von CFK hin optimiert.

Recycling und regenerative Energiegewinnung.

Die BMW Group denkt über den Produktzyklus hinaus und hat im Laufe der intensiven Arbeit mit dem Werkstoff ein weltweit einmaliges Recyclingkonzept für sortenreine Produktionsabfälle bis zur Serientauglichkeit erarbeitet. Ein wesentlicher Anteil der Fasern kann damit wieder in die Prozesse eingebracht werden. Durch ein spezielles Aufbereitungsverfahren entsteht wieder ein Textil, das sogar Primärfaserbedarfe substituieren kann. Ökologische Nachhaltigkeit drückt sich bei der BMW Group im Bereich CFK nicht nur durch Recycling aus. Schon bei der Produktion der Carbonfaser achtet die BMW Group im Rahmen des Joint Ventures mit SGL ACF (Automotive Carbon Fibers) darauf, dass die erforderliche Energie im neuen Werk in



Moses Lake (USA) ausschließlich regenerativ gewonnen wird. Auch in der Energieeffizienz wird das Werk Maßstäbe setzen.

Ganzheitliche Herangehensweise für ein optimales Ergebnis.

Alle Prozesse, Materialien, Anlagen und Werkzeuge wurden von den Entwicklern und CFK-Experten in den letzten zehn Jahren so weit entwickelt, dass nun eine Großserienproduktion von CFK-Bauteilen möglich ist. Dabei hatten die CFK-Spezialisten stets die gesamte Prozess- und Wertschöpfungskette im Blick. Von der Faserproduktion bis hin zum Recycling hat die BMW Group bisher einzigartigen Einfluss auf sämtliche Prozesse. Denn nur so ist sichergestellt, dass die hohen Ansprüche an Qualität und Prozessabläufe erfüllt werden.

Durch die konsequente Entwicklung der Prozesse, Anlagen und Mitarbeiter mit dem nachhaltigen Ziel des (Groß-)Serieneinsatzes hat sich die BMW Group eine einzigartige Technologiekompetenz erarbeitet. Denn die BMW Group begreift CFK nicht nur als Nischenanwendung, sondern als zukunftsweisende Technologie im Automobilbau.

„CFK ist für uns ein Werkstoff der Zukunft.“ (Norbert Reithofer)

