

BMW Group Innovationstage 2010. Mobilität der Zukunft. Inhaltsverzeichnis.

1.	Warum Elektromobilität?	2
2.	Das Project i.	11
3.	Der elektrische Antriebsstrang.	19
4.	Leichtbau und LifeDrive Concept.	29
5.	CFK – ein Werkstoff für die Zukunft.	37



1. Warum Elektromobilität?

In der heutigen Zeit sehen sich unsere Gesellschaft, und mit ihr das Umfeld für individuelle Mobilität, mit wachsenden Herausforderungen konfrontiert. Immer mehr Faktoren beeinflussen die Tragweite des individuellen und des unternehmerischen Handelns. Die Welt befindet sich ökologisch, wirtschaftlich und sozial im Umbruch. Doch welche Entwicklungen gilt es zu beachten und wie kann man ihnen begegnen?

Klimawandel und globale Erwärmung.

Der Klimawandel und die damit einhergehende globale Erwärmung sind Fakt. Das Jahrzehnt von 2000 bis 2009 war zwar das wärmste, das je gemessen wurde, doch auch die weltweit unternommenen Anstrengungen, dem entgegenzuwirken, sind so groß wie nie. Mit einem weiteren Anstieg der Durchschnittstemperatur ginge eine Vielzahl weitreichender Folgen einher, darunter eine verstärkte Gletscherschmelze, ein steigender Meeresspiegel, ein verändertes Auftreten von Niederschlägen und zunehmende Wetterextreme. Eine Ursache der kontinuierlich steigenden Durchschnittstemperatur liegt in der Verstärkung des natürlichen Treibhauseffekts durch den Menschen. Insbesondere durch das Verbrennen fossiler Brennstoffe entsteht das klimaschädliche Gas CO₂, das den Treibhauseffekt und damit die Erderwärmung weiter vorantreibt. Um den Klimawandel zu verlangsamen und eventuell sogar aufzuhalten, gilt es daher vor allem, die CO₂-Emissionen deutlich und schnell zu reduzieren. Lösungen wären hier der Umstieg von fossilen Brennstoffen auf regenerative Energiequellen sowie die Steigerung der Effizienz sämtlicher Energieverbraucher.

Ressourcenverknappung.

Zusätzlich zu den klimatischen Veränderungen beeinflusst vor allem die drohende Ressourcenknappheit die globale Welt. Wichtige Rohstoffe wie Erdöl und Edelmetalle sind nicht unbegrenzt verfügbar, doch der tägliche Bedarf steigt. Zum einen liegt die Ursache für die schwindenden Ressourcen in der zunehmenden Industrialisierung der Schwellenländer. Doch auch das Wachstum der Bevölkerung, ein steigender



Lebensstandard sowie ein sorgloser Umgang mit Rohstoffen tragen zu dieser Entwicklung bei. Die Folge: In fast allen Rohstoffsektoren steigen die Preise. In absehbarer Zeit – der genaue Zeitpunkt ist strittig – wird das globale Ölfördermaximum (Peak Oil) erreicht sein. Ab diesem Zeitpunkt klaffen Angebot und Nachfrage auseinander und es können nicht mehr alle Bedarfe befriedigt werden. Die Suche nach Alternativen zum Öl läuft deshalb bereits auf Hochtouren.

Nachhaltigkeit als gesellschaftlicher Trend.

Aufgrund der zunehmenden Brisanz der klimatischen Entwicklung und der Ressourcenverknappung wird sich der Mensch seiner Rolle im ökologischen System immer mehr gewahr. Viele Menschen sind bereits sensibilisiert: Sie sehen sich als Teil eines Gesamtsystems und möchten gerade auch im Hinblick auf die kommenden Generationen bewusst und verantwortungsvoll handeln – mit einem nachhaltigen Lebensstil. Nachhaltig bedeutet jedoch mehr als nur „umweltschonend“. Im allgemeinen Verständnis besitzt der Begriff „Nachhaltigkeit“ drei Facetten: eine ökologische, eine ökonomische und eine soziale. Die ökologische Nachhaltigkeit umschreibt das Ziel, Natur und Umwelt für die nachfolgenden Generationen zu erhalten, also den verantwortungsvollen Umgang mit den Ressourcen. Die ökonomische Nachhaltigkeit fordert ein wirtschaftliches Handeln, das eine dauerhafte und tragfähige Grundlage für Erwerb und Wohlstand bietet. Die soziale Nachhaltigkeit versteht die Entwicklung der Gesellschaft als einen Weg, der Partizipation für alle Mitglieder einer Gemeinschaft ermöglicht. Die BMW Group hat sich der Nachhaltigkeit mit all ihren drei Facetten bereits frühzeitig verschrieben, um einen Mehrwert für Unternehmen, Umwelt und Gesellschaft zu schaffen.

Dass Nachhaltigkeit auch in der Wirtschaft als immer bedeutender wahrgenommen wird, zeigen Instrumente wie der Dow Jones Sustainability Index. Diese Aktienindizes bewerten Unternehmen nicht nur nach ökonomischen Aspekten, sondern berücksichtigen auch ökologische und soziale Aspekte. Die BMW Group ist dort seit fünf Jahren Branchenführer.

Zunehmende Urbanisierung – die Stadt erfordert neue Mobilitätslösungen.

Als weiterer Trend lässt sich die zunehmende Urbanisierung beobachten. Immer mehr Menschen ziehen vom Land in die Stadt, aus Dörfern



werden Städte, die Grenzen von Stadt und Land verschmelzen und große städtische Ballungsräume entstehen. Seit dem Jahr 2007 wohnt bereits mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten. Nach Prognosen der UNO wird der weltweite Anteil der städtischen Bevölkerung bis 2030 auf über 60 Prozent steigen und im Jahr 2050 rund 70 Prozent erreichen. Weltweit gibt es schon heute über 130 Städte mit mehr als drei Millionen Einwohnern.

Eine besondere Begleiterscheinung der Urbanisierung sind die so genannten „Megacitys“. Von Megacitys oder megaurbanem Raum spricht man, je nach Definition, bei Städten mit mindestens acht Millionen Einwohnern. Weltweit gibt es inzwischen über 30 dieser Riesenstädte, in denen insgesamt rund 280 Millionen Einwohner leben. Während diese Städte immer schneller wachsen, wachsen auch die Herausforderungen wie Platzmangel und Umweltverschmutzung. Doch Megacity ist nicht gleich Megacity: Shanghai, London, Los Angeles oder Tokio gelten laut Definition zwar als Megastädte, sie unterscheiden sich jedoch stark hinsichtlich ihrer Verkehrsinfrastruktur sowie der Anforderungen ihrer Einwohner an individuelle Mobilität. Der Einfluss des Wachstums auf die urbane Infrastruktur ist von Stadt zu Stadt verschieden.

Gesetzgebungen spiegeln das sich ändernde Umfeld wider.

Auch die Regierungen verschiedener Länder handeln als Folge von Klimawandel und Ressourcenverknappung. Mit der Einführung von Zertifizierungen für emissionsfreie Fahrzeuge, Zufahrtsbeschränkungen sowie ambitionierten Flottengesetzen versuchen sie, den steigenden CO₂-Emissionen zu begegnen. So verlangen USA, Europa, China und Japan bis 2020 eine Reduzierung des Flottenausstoßes gegenüber dem Jahr 2008 um bis zu 30 Prozent.

Die Antwort der BMW Group.

Die Mobilität der Zukunft verlangt eine neue Balance zwischen globalen Anforderungen und individuellen Bedürfnissen. Gefragt sind neue Lösungen für individuelle Mobilität im urbanen Raum. Sie sollen erkennbar nachhaltig sein und möglichst ohne Einschränkungen einhergehen, dabei aber Möglichkeit zur Differenzierung geben. Die Reduzierung von Kraftstoffverbrauch und Emissionen wird dabei immer wichtiger. Die BMW Group hat diese Bedarfe erkannt und sich das Ziel gesetzt, emissionsfreie Mobilität zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang entwickelt die BMW



Group ein Fahrzeug, das in diesem Umfeld neue Möglichkeiten eröffnet und auf die sich wandelnden Kundenwünsche eingeht.

„Auch in Zukunft wird es Bedarf an individueller Mobilität geben. Die Kunden möchten auch später selbst entscheiden, wann sie wohin fahren und wie. Sie möchten dies aber möglichst umweltschonend tun. Und es wird auch weiterhin ein Differenzierungswunsch vorhanden sein, ein Wunsch, sich beispielsweise durch Premiumprodukte abzuheben.“ (Peter Ratz)

E-Mobilität als nachhaltige Lösung und stabile Entwicklung.

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 z. B. aus Wind- oder Wasserkraft, ist die E-Mobilität klimaneutral und schont die natürlichen Ressourcen, da selbst für die Erzeugung der benötigten Energie kein CO₂ in die Umwelt gelangt. Zum einen tragen E-Fahrzeuge so zur Reduktion von Emissionen bei und steigern die Lebensqualität in großen Städten. Zum anderen begegnet die E-Mobilität dadurch dem wachsenden Kundenbedürfnis, ganzheitlich, ökologisch nachhaltig und umweltschonend zu handeln.

„Elektromobilität erlaubt, individuell mobil zu sein, ohne die Umwelt durch schädliche Emissionen zu belasten.“ (Martin Artl)

Dynamik, Drehmoment und Komfort – E-Mobilität ist Freude.

Doch Elektromobilität ist nicht nur emissionsfrei. Sie bietet darüber hinaus ein einzigartiges und emotionales Fahrerlebnis. Nicht nur, dass E-Fahrzeuge nahezu ohne Motorengeräusch zu bewegen sind. Bei Elektromotoren steht das gesamte Drehmoment der E-Maschine bereits ab Stillstand zur Verfügung. Das sorgt für eine hohe Agilität und damit für einen hohen Spaßfaktor. Zudem beschleunigt ein E-Fahrzeug unterbrechungsfrei bis zur Höchstgeschwindigkeit durch.

„Alle Testkunden bestätigen uns, dass Elektromobilität einfach Spaß macht.“
(Ulrich Kranz)



Das Fahren mit einem Elektromotor geht mit einer weiteren Besonderheit einher. Geht man vom Gas, rollt das Fahrzeug nicht einfach weiter, sondern verzögert aktiv. Das Gaspedal wird damit zum Fahrpedal und ermöglicht vor allem bei mittlerem und leicht variierendem Tempo eine überaus komfortable Fahrweise. Im Stadtverkehr können dadurch sogar rund 75 Prozent aller Verzögerungsvorgänge ohne Aktivierung des Bremspedals absolviert werden. Das Verzögerungsmoment wird auch zur Energierückgewinnung genutzt, der so genannten Rekuperation. Sobald der Fahrer seinen Fuß vom Gaspedal nimmt, wird der Elektromotor zu einem Generator, der die Bewegungsenergie in Strom umwandelt und in die Fahrzeugbatterie zurück speist. So können bis zu 20 Prozent der verbrauchten Energie zurückgewonnen werden.

Wo liegen die 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.

Energiedichte und Gewicht des Energiespeichers.

Bislang lässt sich in einer Batterie nur eine begrenzte Menge Energie speichern, die Energiedichte des Zellenverbands ist vergleichsweise niedrig. Momentan beinhaltet ein Energiespeicher eines Elektrofahrzeugs ungefähr das Energieäquivalent von zwei bis drei Litern Kraftstoff. Der hohe Wirkungsgrad eines Elektromotors gleicht das zum Teil jedoch wieder aus. Denn während ein Verbrennungsmotor höchstens 40 Prozent der Energie im Kraftstoff verwerten kann, nutzt der Elektromotor bis zu 96 Prozent der zur Verfügung gestellten Energie. Ein Elektromotor kommt also mit weniger Energie deutlich weiter. Zwar sind die Reichweiten eines Elektrofahrzeugs heute noch nicht mit denen eines Verbrennungsmotors vergleichbar, die Entwicklung der automobilen Energiespeicher befindet sich jedoch erst am Anfang. Daher ist davon auszugehen, dass durch deutlich erweiterte Forschungsleistungen in den nächsten Jahren weitere Technologiesprünge stattfinden. Die Energiespeicher können damit in Zukunft nicht nur deutlich günstiger, sondern auch leichter und kompakter werden, bei gleichzeitig höherer Energiedichte.



Neben der Energiedichte ist das Gewicht des Energiespeichers der zweite reichweiteneinschränkende Faktor. Grundsätzlich gilt: Je leichter ein Fahrzeug ist, desto höher ist die Reichweite bei gleicher Batteriekapazität. Durch die geringe Energiedichte hat eine Batterie für den Betrieb eines Automobils jedoch ungefähr die Ausmaße eines großen Reisekoffers und ist zudem sehr schwer. Zwar könnte man die Reichweite durch eine höhere Batteriekapazität steigern. Damit wird die Batterie jedoch noch schwerer, was einen Teil der gewonnenen Reichweite wieder zunichte machen würde. Es gilt also, das optimale Verhältnis zwischen Gewichts- und damit Kapazitätsniveau des Energiespeichers zu finden und die Reichweite durch Maßnahmen wie konsequenten Leichtbau sowie intelligente Lade- und Nutzungsstrategien weiter zu erhöhen. Darüber hinaus wird gezielt daran gearbeitet, durch das sogenannte „Schnellladen“ die Ladezeiten deutlich zu verkürzen. Denn noch sind mehrere Stunden Lade- und damit Standzeit notwendig, um ein E-Fahrzeug vollständig zu laden.

„Wir sind uns der Grenzen der Elektromobilität sehr bewusst. Das hält uns aber nicht davon ab, sie täglich (Schritt für Schritt) zu erweitern.“ (Martin Art)

Die Entwickler der BMW Group haben die noch offenen Arbeitsfelder der Elektromobilität erkannt und arbeiten intensiv an den optimalen, kundenwerten Lösungen. In diesem Rahmen betreibt die BMW Group umfangreiche Pilotprojekte in Deutschland, Großbritannien und den USA, um wertvolle Informationen über die Nutzung und den Betrieb von E-Fahrzeugen zu erhalten und sie 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 von EfficientDynamics: Mit EfficientDynamics reduziert die BMW Group seit längerer Zeit sehr erfolgreich Verbrauch und Emissionen durch neue hocheffiziente Motorengenerationen, Aerodynamikmaßnahmen, den Einsatz von innovativem Leichtbau und ein intelligentes Energiemanagement im Fahrzeug – und das bei gleichzeitig besseren Fahrleistungen. So konnte in den Jahren von 1995 bis 2009 die CO₂-Emission der gesamten Fahrzeugflotte um knapp ein Drittel reduziert werden. Bereits heute realisiert das Unternehmen über EfficientDynamics zusätzliche Verbrauchsvorteile durch die weitere Elektrifizierung des



Antriebsstrangs bis hin zur Hybridisierung. Auf lange Sicht bedeutet EfficientDynamics den Übergang zur emissionsfreien Mobilität – batterieelektrisch ebenso wie über regenerativ gewonnenen Wasserstoff.

„Langfristig wird man sich ausschließlich mit regenerativ erzeugten Energien fortbewegen. Ressourcen sind zu wertvoll, um sie zu verschwenden.“ (Peter Ratz)

Nachhaltigkeit bei der BMW Group.

Doch nur das Produkt zu betrachten, ist der BMW Group nicht genug. Den mit EfficientDynamics unter Beweis gestellten Führungsanspruch will die BMW Group zukünftig auch beim Thema Nachhaltigkeit über die gesamte Wertschöpfungskette behaupten. Deshalb legt die Nachhaltigkeitsstrategie der BMW Group nicht nur fest, die effizienten Antriebstechnologien weiter auszubauen und Konzepte für eine nachhaltige Mobilität in Ballungsräumen umzusetzen. Darüber hinaus sollen im Rahmen der Clean Production Philosophie auch im Produktionsprozess der Ressourcenverbrauch und die Umweltbelastungen weiter sinken. Und als Teil der Gesellschaft engagiert sich das Unternehmen bei der Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen – mit dem Ziel, die Rahmenbedingungen für das eigene Handeln innerhalb und außerhalb des Unternehmens aktiv mitzugestalten.

„Im gesamten Unternehmen sind wir davon überzeugt, dass auch und gerade Premiummobilität sich zukünftig weitaus stärker über Nachhaltigkeitsaspekte definieren wird als bisher. Wer Premium denkt, wird in Zukunft selbstverständlich auch Nachhaltigkeit meinen.“ (Martin Arlt)

BMW richtet seine Prozesse und Strukturen konsequent auf Elektromobilität aus.

Um auch den Elektrofahrzeugen die Gene des Unternehmens mitzugeben, legt die BMW Group großen Wert auf die Entwicklung und Gestaltung der identitätsstiftenden Elemente eines Elektrofahrzeugs. Beim Energiespeicher versuchen die Entwickler durch effektives Speichermanagement, intelligente Betriebsstrategien und die optimale Temperierung das Maximum an Leistungsausbeute und Reichweite aus den Zellen herauszuholen. Der hoch effiziente Antrieb ist ebenso eine Eigenentwicklung. Denn auch in Zukunft hat die BMW Group den Anspruch, die besten automobilen Antriebe zu bauen. Antriebe, die sich durch Effizienz und Leistungsentfaltung vom



Wettbewerb absetzen – auch wenn Strom statt Kraftstoff in Bewegung umgesetzt wird.

„Die BMW Group trägt die Motorenkompetenz im Namen. Und das wird auch in Zukunft so bleiben.“ (Patrick Müller)

In weiteren Bereichen erarbeitet die BMW Group ihr Know-how mit kompetenten Partnern. Ob mit SB LiMotive im Bereich Zellentwicklung oder der SGL Automotive Carbon Fibers (SGL Group) bei der Entwicklung und Produktion von Carbonfasern und Carbonfasergelegen – gemeinsam erschließen die Entwickler hier wertvolle Kompetenzen, um die individuelle Mobilität auch in Zukunft weiter voranzutreiben. So entsteht im Rahmen des Joint Ventures mit der SGL Automotive Carbon Fibers (SGL Group) ein hochmodernes, regenerativ betriebenes Carbonfaserwerk in Moses Lake (USA), um den Werkstoff bestmöglich fertigen und kostengünstig verarbeiten zu können.

Das Megacity Vehicle – nachhaltige Mobilität im urbanen Umfeld.

Das Megacity Vehicle (MCV) zeigt eine Möglichkeit, wie sich die BMW Group die zukünftige Mobilität im urbanen Umfeld vorstellt. Als Fahrzeug im „Purpose Design“ ist das MCV konstruktionsseitig konsequent auf die Bedürfnisse und Anforderungen der E-Mobilität ausgerichtet. Denn wie die bisherige Entwicklungsarbeit an MINI E und BMW Concept ActiveE zeigt, schöpft die Umrüstung eines Fahrzeugs, das ursprünglich auf den Betrieb mit einem Verbrennungsmotor (Conversion Vehicle) ausgelegt war, noch nicht das volle Potenzial der E-Mobilität aus. Das MCV integriert die neu entwickelten elektrischen Antriebskomponenten deshalb in einer völlig neuen Fahrzeugarchitektur. Konsequenter Leichtbau und innovativer Einsatz von CFK runden das bis ins Detail durchdachte Fahrzeugkonzept ab.

Erste Schritte in Richtung E-Antrieb unternahm BMW bereits im Jahr 1969 mit einem elektrifizierten BMW 1602. Über die letzten vierzig Jahre sammelte die BMW Group mit verschiedenen Prototypen und Versuchsaufbauten wertvolles Know-how über die alternative Antriebstechnologie und prüfte immer wieder potenzielle Umsetzungsmöglichkeiten. Unter anderem mit dem BMW E1, einem Experimentalfahrzeug, das bereits 1991 zahlreiche Merkmale moderner Elektrofahrzeuge aufwies und mit dem die Vor- und Nachteile dieses Antriebs im praktischen Einsatz erkundet werden



sollten. Doch erst mit der Lithium-Ionen-Technologie eröffneten sich konkrete Perspektiven für die Serienentwicklung, da sie die nötigen Anforderungen an Zyklfestigkeit und Belastbarkeit erfüllte und bereits mehrfach in verschiedenen Anwendungen unter Beweis gestellt hatte. Die BMW Group handelte schnell und konnte ihr Know-how früh in ein kundenwertes Ergebnis umsetzen – den MINI E. Dieser wichtige Meilenstein der BMW Group in der Entwicklung der E-Mobilität fährt bereits seit Mitte 2009 auf der Straße. Und mit mehr als 600 MINI E Fahrzeugen betreibt die BMW Group heute bereits eine der größten Flotten von Elektrofahrzeugen in Kundenhand. Die ersten Ergebnisse der Erprobungen zeigen, dass E-Mobilität bereits eindeutig alltagstauglich ist.

„Die Zeit ist reif für Elektrofahrzeuge.“ (Patrick Müller)

BMW denkt über das Produkt hinaus.

Die Elektromobilität eröffnet auch völlig neue Möglichkeiten um das Fahrzeug herum. Verschiedene Services rund um das Laden des E-Fahrzeugs sind 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. So erprobt die BMW Group mit ihren Partnern das so genannte gesteuerte Laden. Mit dieser antizyklischen Ladestrategie wird das E-Fahrzeug erst dann geladen, wenn der Gesamtbedarf an Strom niedrig ist oder regenerative Energie zur Verfügung steht – beispielsweise über Nacht. Dazu gibt man einfach die Endzeit an, zu der das Fahrzeug geladen sein soll. Je nach Präferenz kann das Fahrzeug dann besonders umweltschonend oder besonders schnell geladen werden. Langfristig existieren Ideen, E-Fahrzeuge zum Bestandteil der Energieversorgung zu machen und beispielsweise als Pufferspeicher zu verwenden.

In Zukunft wird die BMW Group individuelle Mobilität in noch größerem Rahmen begreifen. Da die zunehmende Urbanisierung die Mobilitätsvoraussetzungen mehr und mehr verändert, denkt die BMW Group auch über Mobilitätsdienstleistungen nach, bei denen die Intermodalität von Verkehrsträgern eine wesentliche Rolle spielt.



2. Das project i

Mit Blick auf die aktuellen Entwicklungen von Gesellschaft und Umwelt (Kap. 1) stellte die BMW Group Mitte 2007 die neue Ausrichtung des Unternehmens vor – die Strategie „Number One“. Dabei stehen konsequente Profitabilität, nachhaltige Wertsteigerung und die Sicherung der Unabhängigkeit des Unternehmens im Vordergrund. Neben Wachstum im Kerngeschäft sollen dafür auch neue profitable Handlungsfelder entlang des Automobillebenszyklus und entlang der Wertschöpfungskette erschlossen werden. Gleichzeitig investiert die BMW Group substantziell in Zukunftstechnologien, neue Fahrzeugkonzepte und richtungweisende Antriebssysteme. Der Anspruch ist klar: Die BMW Group ist auch in Zukunft der führende Anbieter von Premiumprodukten und Premiumdienstleistungen für individuelle Mobilität.

Im Zuge der neuen Unternehmensstrategie untersuchte man in einer umfangreichen, qualitativen Umfeldanalyse, was die Gesellschaft bewegt und was mögliche Technologien, Trends oder Herausforderungen für die zukünftige Mobilität sein könnten – insbesondere im Kontext der klimatischen und demografischen Entwicklungen. Eine Antwort auf diese Fragen lautet: project i.

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

Der Auftrag.

Mit project i startete Ende 2007 eine Initiative, deren Aufgabe darin besteht, nachhaltige und zukunftsweisende Mobilitätskonzepte zu entwickeln – immer mit dem Wissen, dass aus diesem Projekt ein Know-how-Transfer ins Unternehmen und in zukünftige Fahrzeugprojekte erfolgen soll. Das langfristige Ziel von project i ist, neue Denkanstöße zu Technologien, Prozessen und Fahrzeugkonzepten in den Bereichen Produktion, Entwicklung und Vertrieb zu geben. Der konkrete Auftrag lautet, neue, richtungweisende Produkte zu entwickeln, die gezielt die Herausforderungen und Anforderungen von Kunden im urbanen Umfeld ansprechen.



Die Herangehensweise.

Doch wie geht man diese Aufgabenstellung am Besten an? Für die Umsetzung dieser Ziele sind nicht nur neue Prozesse und Technologien erforderlich, sondern es gilt den Automobilbau, wie man ihn bisher kennt, komplett zu hinterfragen. Deshalb bricht project i aus bestehenden Strukturen aus und vereint Wissensträger und Querdenker aus dem gesamten Unternehmen an einem Ort. Im Rahmen dieser kleinen, aber effizienten und schlagkräftigen Organisationseinheit werden die Ziele und Anforderungen für nachhaltige Mobilitätslösungen von morgen definiert und mit den zukünftigen Kundenbedürfnissen abgeglichen. Damit das Team von Beginn an möglichst frei und ungebunden an die Fragestellungen herangehen konnte, ist das Projekt markenneutral aufgestellt. So kann dieser Thinktank unkonventionell und unabhängig, und doch mit voller Unterstützung der Experten aus dem gesamten Unternehmen arbeiten. In einer Kultur des offenen und transparenten Austauschs nutzt project i das Know-how aus allen Bereichen des Unternehmens.

„Für mich ist es eine tolle Erfahrung, in einem derartigen Projekt mit Kollegen, die alle auf einer Wellenlänge liegen, zusammenarbeiten zu dürfen. Wir hatten von Anfang an wirklich alle Freiheiten, die wir brauchen. Da herrschte gleich eine Stimmung, eine Atmosphäre, die man sonst nur von Start-ups kennt.“
(Peter Ratz)

Der Beginn mit neuen Prämissen.

Die Entwickler der BMW Group begannen ihre Arbeit bei project i vor zweieinhalb Jahren 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, um mögliche Entwicklungspotenziale für die BMW Group aufzuspüren. Zwar denkt man im Rahmen von project i nicht nur über Fahrzeuge nach, sondern forscht immer auch im Kontext ganzheitlicher Mobilitätslösungen. Doch schnell war klar, dass die erste Entwicklungsstufe ein Auto sein wird, 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 das gesamte Projekt steht, ist ein möglichst hohes Niveau an Nachhaltigkeit. Vom ersten Lieferanten an



über die Produktion bis hin zur Bauteilverwertung nach dem eigentlichen Fahrzeugleben soll Nachhaltigkeit in ihren drei Facetten prozessbestimmend sein: umweltschonend (ökologisch), profitabel (ökonomisch) und sozial verträglich. Deshalb durchleuchteten die Entwickler zunächst sämtliche Prozesse und Elemente der Wertschöpfungskette. Sie prüften, ob das bisherige Vorgehen den hohen, selbst gestellten Ansprüchen an Nachhaltigkeit entsprach oder ob sie es an bestimmten Stellen optimieren beziehungsweise neu gestalten konnten. Die Ergebnisse waren zugleich die Prämissen für die Entstehung des Megacity Vehicles.

„Wir wollten schauen, wie die Mobilität der Zukunft aussieht, um aus den Erkenntnissen nachhaltige Mobilitätskonzepte speziell für das urbane Umfeld zu entwickeln. Und zwar nachhaltig über den gesamten Prozess: angefangen von der Entstehung des Produkts über die Nutzung bis hin zur möglichen Weiterverwendung verschiedener Komponenten und zum Recycling.“ (Peter Ratz)

Das Ergebnis.

Alle zur Verfügung stehenden Freiheiten und Möglichkeiten hat das Projekt intensiv genutzt. Das Ergebnis ist ein ganzheitliches und nachhaltiges Mobilitätskonzept – das Mega City Vehicle (MCV). Das MCV zeigt eine Möglichkeit, wie sich die BMW Group ein nachhaltiges Cityfahrzeug vorstellt. Es ist hauptsächlich für den Einsatz in der Stadt konzipiert und vereint Dynamik, Komfort und Nachhaltigkeit in sich. Mit dem neu entwickelten elektrischen Antriebsstrang (Kap. 3), dem revolutionären Karosseriekonzept „LifeDrive“ und dem innovativen Einsatz von CFK in der Fahrgastzelle (Kap. 4) ermöglicht es ein souveränes, sicheres und komfortables Fahren in der Stadt – ganz ohne Emissionen.

Da die Produktentwicklung ganzheitlich betrachtet wurde, werden mit dem MCV auch einschneidende Prozessveränderungen einhergehen. Aufgrund der neuen Eigenschaften bei Antrieb und Fahrzeugarchitektur sowie des Einsatzes neuer Materialien ist die Produktion teilweise völlig anderen Prozessen unterworfen. Gemeinsam mit leistungsfähigen Partnern wie SB LiMotive (Batteriezellentwicklung) und SGL Automotive Carbon Fibers (Carbonfaser- und Carbonfasergelegeherstellung) erschließt sich die BMW Group dafür neue, wertvolle Kompetenzfelder.



„Die Technologien, die bei der BMW Group im Rahmen von project i entwickelt werden, bergen enormes Potenzial für ökologisch und ökonomisch nachhaltiges Handeln.“ (Martin Artl)

Das Prinzip der Nachhaltigkeit zieht sich dabei konsequent durch jeden Prozessschritt. Doch ökologisch nachhaltige und damit ressourcenschonende Produkte sind für die BMW Group kein Selbstzweck. Sie müssen ebenso betriebswirtschaftlich durchdacht wie profitabel sein.

MINI E – Pionierarbeit für die E-Mobilität.

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 der BMW Group setzte der MINI E mit einer Reichweite von durchschnittlich 150 Kilometern im Alltagsbetrieb und 204 PS nicht nur technische Maßstäbe. Er leistet darüber hinaus nach wie vor wichtige Pionierarbeit für die BMW Group im Rahmen der Entwicklung alternativer Antriebskonzepte auf dem Weg zur CO₂-freien Mobilität.

Ziel bei der Entwicklung war es, den MINI E so schnell wie möglich in Kundenhand zu übergeben, um durch die Nutzer wertvolle Erfahrungen über den Alltagsgebrauch eines E-Fahrzeugs zu sammeln. In groß angelegten Feldversuchen testen daher ausgewählte Kunden seit Mitte 2009 die Fahrzeuge in Deutschland, in den USA und in Großbritannien. Über zwei intensive Erprobungsphasen hinweg liefert die gesamte Kleinserie wichtige Erkenntnisse über die Nutzung und das Betriebsverhalten von E-Fahrzeugen und unterstützt damit die Weiterentwicklung des MCV. Mit mehr als 600 MINI E Fahrzeugen betreibt die BMW Group damit eine der größten Flotten von Elektrofahrzeugen in Kundenhand weltweit.

Der MINI E auf der Straße.

In allen drei Erprobungsländern arbeitet die BMW Group zum Teil eng mit örtlichen Energieanbietern, Universitäten und den jeweiligen Regierungen zusammen. Denn im Rahmen des MINI E Projekts gibt die BMW Group den Nutzern nicht nur die Möglichkeit, individuelle Mobilität völlig neu zu erfahren, sondern gestaltet mit den Partnern auch einen Teil der Infrastruktur. Die Energieanbieter ermöglichen den Nutzern, falls gewünscht, den Zugang zu „grünem“, regenerativ erzeugtem Strom.



Nutzungsstudie MINI E Berlin – Elektromobilität ist alltagstauglich.

Obwohl die Erprobungen noch in vollem Gange sind, stimmen die ersten Ergebnisse aus Berlin bereits überaus positiv. Wie die Nutzer in einer Befragung im Vorfeld angaben, erwarteten sie Einschränkungen bezüglich der Reichweite und durch die Ladezeiten. Tatsächlich wurden diese aber in nur wenigen Anwendungsfällen als solche empfunden. So belegt die Berliner Studie, 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 keine Einschränkung dar.

Wie sich zeigt, unterscheidet sich das Nutzungsverhalten der MINI E Fahrer nur marginal vom Verhalten vergleichbarer MINI Cooper und BMW 116i Benutzer. Die durchschnittliche Länge einer Einzelfahrt differiert zwischen BMW 116i, MINI Cooper und MINI E nur um zwei Kilometer. Und auch die tägliche Gesamtfahrstrecke ist bei den drei Fahrzeugen ähnlich. Beträgt sie beim MINI E 37,8 Kilometer, was etwas über dem gesamtdeutschen, innerstädtischen Durchschnitt liegt, wird ein BMW 116i im Durchschnitt 42 Kilometer pro Tag bewegt, ein MINI Cooper 43,5 Kilometer. Die bisher längste, von Kunden mit dem MINI E zurückgelegte Einzelstrecke liegt bei 158 Kilometern. Der Vergleich mit dem typischen Nutzungsverhalten eines BMW 5er zeigt aber auch, dass E-Mobilität nicht für alle Arten von Mobilitätsanforderungen gleichermaßen geeignet ist. Dies ist auch nicht ihr Anspruch. Dennoch bewerten 66 Prozent der Berliner Nutzer die Flexibilität des MINI E ebenso hoch wie die eines herkömmlichen Fahrzeugs.

Bei der öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur zeichnet sich ab, dass die Nutzer in erster Linie Ladesäulen in der Nähe ihres Arbeitsplatzes, in öffentlichen Parkgaragen, an Verkehrsknotenpunkten wie Bahnhöfen und Flughäfen beziehungsweise in Einkaufszentren aufsuchen. Der Großteil des Stroms wird aber zu Hause geladen und ermöglicht den Testnutzern schon jetzt eine alltagstaugliche Mobilität. Großen Zuspruch fand die Möglichkeit durch den Kooperationspartner Vattenfall Europe, das Fahrzeug mit regenerativ gewonnener Energie zu laden. Dies zeigt, dass die Nutzer elektrisches Fahren als Gesamtsystem aus Fahrzeug, Infrastruktur und Energieerzeugung wahrnehmen und einen verantwortungsvollen Part dabei übernehmen wollen.



MINI E in den USA – mehr Fahrfreude bei null Emissionen.

Auch in den USA sind Testkunden im MINI E unterwegs. Hinsichtlich der großen Flotte von 450 MINI E Fahrzeugen in den USA startete die BMW Group eine spezielle Forschungs Kooperation mit der University of California in Davis (UC Davis). Hier wurde der MINI E konsequent auf seine Alltagstauglichkeit getestet, um noch tiefere Erkenntnisse und Einsichten in das Nutzungsverhalten zu liefern.

Die Ergebnisse bestätigen die positive Resonanz aus Berlin: Der MINI E ermöglicht auch den amerikanischen Testkunden, ihre Mobilitätsbedürfnisse komplett zu erfüllen. Die Reichweite von 100 Meilen (ca. 160 km) ist im Alltag völlig ausreichend. So gaben die MINI E Fahrer in den USA eine durchschnittliche Streckenlänge von ungefähr 30 Meilen (ca. 48 km) pro Tag an, während der US-Bürger pro Tag durchschnittlich 40 Meilen (ca. 64 km) mit dem Auto zurücklegt.

Auch das Laden zu Hause stellt für die US-amerikanischen Nutzer keine Beeinträchtigung dar. Die Hälfte der Nutzer lud das Fahrzeug aus Routine sogar täglich, auch wenn dies gar nicht erforderlich war. Zusätzliches Laden außerhalb der eigenen Garage wurde daher fast gar nicht in Anspruch genommen.

Auch der Fahrspaß kam nicht zu kurz: Alle Nutzer waren sich einig, dass Fahren mit dem MINI E Spaß macht und keineswegs mit Verzicht einhergeht. Die Testkunden gewöhnten sich schnell an das neue Fahrgefühl und viele Nutzer erklärten sogar, dass sie nach einem Wechsel vom MINI E in ihr eigenes Auto weniger Freude am Fahren hatten. Das zeigte sich auch in der Nutzungshäufigkeit. Ein Drittel der Nutzer gab an, den MINI E sogar mehr zu fahren als das ersetzte Fahrzeug.

Schlussfolgerungen aus den Studien.

Die Ergebnisse aus Berlin und Kalifornien zeigen, dass die BMW Group auf dem richtigen Weg ist. Nur eine geringe Anzahl an Fahrten konnte mit dem MINI E nicht durchgeführt werden. Die meist genannten Gründe hierfür waren in den USA wie in Deutschland der fehlende Stauraum und die limitierte Passagieranzahl. Aus den erfassten Daten lässt sich ableiten, dass ein Megacity Vehicle mit etwas größerer Reichweite und einem erweiterten Platzangebot die Mobilitätsbedürfnisse von Großstädtern fast zu 100



Prozent abdeckt. Die BMW Group arbeitet bereits intensiv an der Umsetzung.

BMW Concept ActiveE – der nächste Schritt.

Mit dem BMW Concept ActiveE werden die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der BMW Group zur Elektromobilität im Rahmen von project i konsequent fortgesetzt. 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.

War beim MINI E der Platz im Innenraum eher eingeschränkt, stellt das BMW Concept ActiveE durch die verbesserte Integration der elektrischen Antriebskomponenten vier vollwertige Sitzplätze und einen rund 200 Liter fassenden Gepäckraum zur Verfügung. Der speziell für den 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. Die Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs wurden mit Blick auf die Anforderungen des MCV konzipiert und werden hier in einem Vorserienstadium erprobt.

Im BMW Concept ActiveE werden außerdem neue, exklusiv für die Anwendung in einem Elektrofahrzeug entwickelte Services von BMW Connected Drive präsentiert. Dazu gehören Funktionen, die es ermöglichen, per Mobiltelefon den Ladezustand des Akkus abzufragen, nach öffentlichen Ladestationen zu suchen oder die Standheizungs- beziehungsweise Standklimatisierungsfunktion des Fahrzeugs zu aktivieren.

Das Megacity Vehicle – das erste Serienfahrzeug der BMW Group mit E-Antrieb.

Mit dem Megacity Vehicle (MCV) wird die BMW Group eine neuartige Lösung für nachhaltige Mobilität im urbanen Umfeld anbieten, die noch im Jahr 2013 unter einer Submarke von BMW auf den Markt kommen wird. Wie die Entwicklungsarbeit von MINI E und BMW Concept ActiveE zeigen, schöpft die Umrüstung eines Fahrzeugs, das ursprünglich auf den



Betrieb mit einem Verbrennungsmotor (Conversion Car) ausgelegt war, noch nicht das volle Potenzial der E-Mobilität aus. Entsprechend ist das MCV konstruktionsseitig kompromisslos auf die Bedürfnisse und Anforderungen der E-Mobilität ausgerichtet. Das MCV verfügt über einen neu entwickelten Antrieb (Kap. 3) sowie eine revolutionäre Fahrzeugarchitektur (LifeDrive) (Kap. 4), die konsequenten Leichtbau, optimale Raumfunktionalität und höchste Crashesicherheit miteinander verbindet. Damit wird es auch ein neues Kundenfeld ansprechen, denn der kompakt bauende elektrische Antriebsstrang ermöglicht neue Innenraumkonzepte mit neuen Funktionalitäten sowie neue Freiheitsgrade im Design.



3. Der elektrische Antriebsstrang.

Ein Auto zu fahren, hieß bisher immer auch, mit einem Verbrennungsmotor zu fahren. Doch die aktuellen Entwicklungen von Umwelt und Gesellschaft zeigen, dass die Nutzung der fossilen Brennstoffe in allen Bereichen des täglichen Lebens mit ökologischen Nachteilen einhergeht und die Brennstoffe selbst nur noch eine begrenzte Zeit verfügbar sein werden. Eine Möglichkeit, dem zu begegnen, sieht die BMW Group darin, die technische Entwicklung der Elektromobilität intensiv voranzutreiben. Doch was verbirgt sich hinter dem Begriff E-Mobilität, was sind die Unterschiede zu einem Verbrennungsmotor, welche Potenziale liegen darin und welche Herausforderungen liegen noch vor den Entwicklern?

Emissionsfrei und dynamisch – die neue Generation der Fortbewegung.

Die Möglichkeit, Fahrzeuge ausschließlich mit elektrischer Energie anzutreiben, eröffnet völlig neue Mobilitätsperspektiven. Da während des Betriebs eines E-Motors keine klimaschädlichen Gase entstehen, ermöglicht die Verwendung von elektrischer Energie eine lokale emissionsfreie und damit umweltschonende Mobilität. Bei Einsatz von regenerativen Energien ist die Stromerzeugung sogar komplett emissionsfrei. Darüber hinaus geht E-Mobilität mit einem völlig neuen, sehr agilen Fahrgefühl einher. Die Leistungscharakteristik eines modernen E-Motors der BMW Group ist beeindruckend und lässt Assoziationen zu bisherigen Nischen-E-Fahrzeugen schnell vergessen. Höchstens das geringe Motorgeräusch erinnert daran, dass man elektrisch unterwegs ist.

„Die Leistungsentfaltung bei einem E-Fahrzeug ist fast wie bei einem Lichtschalter: einfach anknipsen/einschalten und die volle Leistung ist da.“
(Hans-Jürgen Branz)

Ein moderner E-Antrieb der BMW Group, wie der für das Megacity Vehicle beispielsweise, leistet deutlich über 100 kW. Die Besonderheit daran ist jedoch, dass hier die volle Motorleistung bereits zum Anfahren zur Verfügung steht und nicht erst wie bei Verbrennungsmotoren über die



Motordrehzahl aufgebaut werden muss. Differenziale, Schlupfregelungen und eine Getriebestufe sorgen dafür, dass das gesamte Drehmoment auch auf die Straße übertragen wird. Das bereits im Stillstand verfügbare maximale Drehmoment verleiht E-Fahrzeugen eine besonders hohe Agilität und sorgt für beeindruckende Beschleunigungswerte. Der Heckantrieb ergänzt beim Megacity Vehicle das Leistungsverhalten der E-Motoren perfekt: Aufgrund der dynamischen Radlastverlagerung lastet beim Anfahren mehr Gewicht auf den Antriebsrädern und ermöglicht dadurch eine bessere Traktion und Kraftübertragung. So sorgt das hohe Drehmoment der E-Motoren in Kombination mit dem Heckantrieb für eine BMW Group typische Fahrdynamik.

Auch in Zukunft hat die BMW Group den Anspruch, die besten 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 daher die Experten für Entwicklung, Fertigung und Einkauf unter einem Dach. Sie alle arbeiten an der Entwicklung und Umsetzung der neuen Antriebsgeneration.

Beschleunigen, ohne zu schalten.

Elektromotoren nutzen einen deutlich größeren Drehzahlbereich als Verbrennungsmotoren. Drehzahlen über 12.000 U/min sind ohne Weiteres möglich. Entsprechend anders gestaltet sich auch das Erreichen der Höchstgeschwindigkeit. Durch das hohe Drehmoment beschleunigt ein E-Fahrzeug nicht nur schneller als ein Verbrenner mit vergleichbarer Leistung. Die hohe Nutzdrehzahl erlaubt außerdem die unterbrechungsfreie Drehmomentabgabe über den vollen Geschwindigkeitsbereich. Die Motorleistung wird nur durch eine Übersetzungsstufe geführt und dann direkt an die Räder weitergegeben, ein mehrgängiges Getriebe entfällt. Das bedeutet, dass ein E-Fahrzeug mit nur einem Gang aus dem Stand bis zur Höchstgeschwindigkeit beschleunigt. Der zugkraftunterbrechungsfreie Vortrieb mit kontinuierlich steigender Drehzahl ist ein besonderes Erlebnis, das bei einem Verbrennungsmotor bisher nur mit großem konstruktionsseitigen Aufwand wie z. B. Doppelkupplungsgetrieben zu „erfahren“ war.



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

Lediglich die theoretische Höchstgeschwindigkeit reizt man im Hinblick auf das Megacity Vehicle (MCV) bewusst nicht komplett aus. Da das MCV hauptsächlich im Stadtbereich und Umland eingesetzt wird, gelten derzeit rund 150 km/h Spitzengeschwindigkeit als vollkommen ausreichend. Höhere Geschwindigkeiten wären zwar möglich, sind jedoch nicht unbedingt sinnvoll. Zum einen aufgrund des sehr hohen Energiebedarfs beim Hochgeschwindigkeitsfahren: Mit steigender Geschwindigkeit erhöht sich auch der Luftwiderstand – und zwar exponentiell. Entsprechend erhöht sich damit auch der Energieverbrauch. Da durch die Speicherkapazität der Batterie aber nur begrenzt Energie zur Verfügung steht, würden zu hohe Geschwindigkeiten die Reichweite stark einschränken. Zum anderen wäre zur Erreichung der höheren Endgeschwindigkeit eine andere Übersetzung nötig, die jedoch die Agilität des Fahrzeugs im Stadtverkehr deutlich reduziert. Eine weitere Möglichkeit, die Höchstgeschwindigkeit zu erhöhen, wäre ein mehrgängiges Getriebe, das jedoch deutlich mehr Konstruktionsaufwand, Bauraum und Gewicht bedeuten würde.

Bremsen mit dem Gaspedal.

Ein weiterer Unterschied, der dem E-Fahrzeug zu einem eigenständigen Fahrerlebnis verhilft, ist die Möglichkeit, über das Gaspedal auch zu bremsen. So wird aus dem Gaspedal ein „Fahrpedal“. Nimmt man den Fuß vom Pedal, rollt das Fahrzeug nicht im Leerlauf weiter, sondern verzögert aktiv. Dieses Verzögerungsmoment wird zur Energierückgewinnung genutzt, der so genannten Rekuperation. Beim Abbremsen wird aus dem Elektromotor damit ein Generator, der Energie erzeugt und die Batterie lädt. Im Grundprinzip ähnlich der Bremsenergieerückgewinnung aus dem Maßnahmenpaket von EfficientDynamics, kann die zurückgewonnene Energie hier jedoch direkt wieder in Vortrieb umgesetzt werden. Eine intensive Nutzung der Rekuperation von Energie durch den Motor führt zu einer Erhöhung der Reichweite um bis zu 20 Prozent. Das Fahren über das Fahrpedal ermöglicht zudem ein entspannteres Fahren mit weniger Fußwechseln, erlaubt schnelles Reagieren und eignet sich daher besonders gut für das „Mitschwimmen“ im Stadtverkehr. Bis zu 75 % der Verzögerungsvorgänge lassen sich hier ohne den zusätzlichen Einsatz des Bremspedals durchführen.



Leistungsstark und kompakt – die Antriebskomponenten.

Ein Fahrzeug mit E-Antrieb bietet 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. Der gesamte Antrieb beim BMW Concept ActiveE (und später beim MCV) beispielsweise ist ohne Energiespeicher gerade mal so groß wie zwei Getränkekästen. Das kompakte Antriebsaggregat kann daher gut in die Fahrzeugarchitektur eingebunden werden, außerdem entfallen ein zusätzlich zu integrierender Abgasstrang und die komplexe Ansaugluftführung. Die geringeren Abmessungen und die deutlich geringere Masse des E-Antriebs ermöglichen eine Bauraumeinsparung von bis zu 50 % gegenüber einem Verbrennungsmotor inklusive Getriebe, die in zukünftigen Fahrzeugkonzepten vor allem den Passagieren im Innenraum zugutekommt.

Insgesamt besteht ein E-Antrieb aus mehreren Komponenten, die erst im Zusammenspiel das Fahrzeug bewegen: der Elektromotor, die Leistungselektronik, eine Getriebestufe sowie der elektrische Energiespeicher.

Das elektrische Herz – der E-Motor.

Herzstück des elektrischen Antriebs ist der Elektromotor. 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 Rotor ist mit der Getriebestufe und dadurch mit den Antriebsrädern verbunden. Im Stator sind Spulen angebracht, in denen durch Stromfluss ein Magnetfeld erzeugt werden kann. Auf dem Rotor dagegen befinden sich ein oder mehrere Magneten mit fester Polung. Um den Elektromotor in Bewegung zu versetzen, wird über ein wanderndes Magnetfeld (Drehfeld) eine gezielte Anziehung und Abstoßung zwischen Rotor und Stator erzeugt. Man macht sich hier zunutze, dass sich die unterschiedlichen Pole eines Magneten anziehen bzw. zwei gleiche Pole abstoßen – Nord- und Südpol ziehen sich an, zwei Süd- oder Nordpole stoßen sich jeweils ab.

Schaltet man nun den Strom ein, zieht der Südpol des im Stator erzeugten Magnetfelds 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. Entsprechend der Geschwindigkeit, mit der man das Drehfeld den Stator umlaufen lässt, ändert sich auch die Fahrgeschwindigkeit. Das Drehmoment dagegen wird durch die Anzahl der Magneten und die Stromstärke beeinflusst: Je mehr Magneten auf dem Rotor sind und je höher der fließende Strom, desto mehr Drehmoment kann der E-Antrieb erzeugen.

Das hier beschriebene Funktionsprinzip zeigt eine permanent erregte, dreiphasige Synchronmaschine, wie sie im Concept ActiveE und auch im MCV zu finden sein wird. „Synchronmaschine“ bedeutet, dass der Rotor dem umlaufenden Erregerfeld auf dem Stator synchron folgt. Darüber hinaus ist das Magnetfeld des Rotors durch Magnete permanent erregt und muss nicht erst induziert (fremderregt) werden. Die Fremderregung wäre deutlich aufwändiger, da sie noch eine zweite Regelungsinstanz erfordern würde, um das Magnetfeld im Rotor zu erzeugen. Permanent erregte Maschinen stellen momentan das Optimum aus Anforderung, Komplexität und Funktion dar.

Mehr Leistung durch Elektronik – die Leistungselektronik.

Grundvoraussetzung für einen funktionierenden Elektromotor und dessen optimale Leistungsfähigkeit ist der richtige Umlauf des Magnetfelds auf dem Stator. Um die hohen Drehzahlen von über 12.000 U/min realisieren zu können, müssen die Magnetfelder der Phasen sehr schnell und präzise geschaltet werden. Diese wichtige Aufgabe übernimmt eine spezielle Steuereinheit, die Leistungselektronik. Sie sorgt für die Weiterschaltung des Drehfelds in der gewünschten Geschwindigkeit und mit der dazu erforderlichen Feldstärke. Sie stellt damit sicher, dass der Rotor sich mit der benötigten Drehzahl dreht und das gewünschte Drehmoment abgibt.

Die Batterie – der Tank beim Elektrofahrzeug.

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 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, kommt ein Verbund von neu entwickelten Lithium-Ionen-Speicherzellen



zum Einsatz. Die Lithium-Ionen-Technologie hat bereits in vielen Anwendungsgebieten – so etwa in Mobiltelefonen und Laptops – ihre besonders hohe Speicherkapazität und Zyklenfestigkeit unter Beweis gestellt. Eine einzelne Lithium-Ionen-Zelle für den Automobilbereich ist ungefähr so groß wie ein Taschenbuch und besitzt eine Nennspannung von ca. 3,7 Volt. Der nutzbare Spannungsbereich einer Zelle liegt jedoch zwischen 2,7 und 4,1 Volt. Um einen Hochvoltpeicher mit der benötigten Spannung von 400 Volt zu erreichen, schaltet man ungefähr 100 dieser Zellen in Reihe.

Der Einsatz von Batteriezellen geht jedoch mit einigen Besonderheiten einher. So arbeiten Lithium-Ionen-Zellen nicht über den gesamten Temperaturverlauf gleich. Erst die optimale Betriebstemperatur von ungefähr 20 Grad Celsius stellt die maximale Reichweite sicher. Entsprechend wird der Energiespeicher durch Zusatzheizelemente beziehungsweise eine aktive Kühlung bedarfsgerecht temperiert. Der Nutztemperaturbereich der in der Automobilbranche eingesetzten Zellen ist jedoch deutlich toleranter, als man dies von anderen Batteriezellen kennt. Einige Laptopzellen beispielsweise sollte man ab einer Temperatur unter null Grad nicht mehr laden, auch die Leistung wäre dann sehr eingeschränkt. Bei den Zellen der BMW Group dagegen gibt es bei niedrigen Temperaturen zwar auch einen Leistungsabfall, durch die andere Zusammensetzung der Chemikalien im Inneren der Batterie ist dieser aber deutlich flacher. Durch die Vorkonditionierung der Batterie schon während des Ladevorgangs sowie der bedarfsoptimierten Temperierung während der Fahrt wird dieses potenzielle Manko beseitigt.

Sicherheit ist oberstes Gebot.

Bei der Entwicklung und Auslegung des Energiespeichers galt es vor allem auch, die Sicherheit der Passagiere zu gewährleisten. Der Energiespeicher birgt aufgrund der hohen Ströme und der verwendeten Chemikalien, die bei Kontakt miteinander reagieren und sich entzünden könnten, prinzipiell ein gewisses Risikopotenzial. Die Wahrscheinlichkeit eines elektrischen Schlags oder einer Entzündung wird durch zahlreiche Maßnahmen eliminiert. Zum einen werden in Batteriezellen für Fahrzeuge deutlich „gutmütigere“ Zusammensetzungen der Chemikalien verwendet als beispielsweise in Laptopbatterien. Des Weiteren sind die Batteriemodule durch die Karosserie zuverlässig geschützt, damit sie auch im Crashfall nicht beschädigt werden. Zudem sorgen Kühlmittel, aufwändige



Überwachungsalgorithmen und -sensorik an Bord dafür, dass die Batterie im Betrieb und beim Laden nicht überhitzt. Abschaltmechanismen sichern den Energiespeicher gegen zu tiefes Entladen oder Überladen und sogar die Penetration des Energiespeichers mit Metallgegenständen konnte unkritisch gestaltet und abgesichert werden.

Ein Fahrzeugleben lang.

Momentan beschäftigen sich die Entwickler der BMW Group damit, die Kapazität des Energiespeichers möglichst lange zu gewährleisten. Dabei sind einige Faktoren zu berücksichtigen, die die Lebensdauer des Energiespeichers beeinflussen. Eine Batterie altert in zwei Dimensionen: zum einen kalendarisch, das bedeutet, mit zunehmendem Alter nimmt auch ihre Leistungsfähigkeit und der maximal nutzbare Energieinhalt ab. Aber auch andere Faktoren beeinflussen die Lebensdauer einer Zelle. Die Entladungstiefe (depth of discharge) oder die Temperatur, bei der die Batterie betrieben wird, stellen wichtige Kriterien für das Alterungsverhalten dar. Die Absicherungstests der BMW Group stellen sicher, dass die Zellen sowohl bezüglich Lebensdauer als auch bezüglich der so genannten Zyklisierbarkeit die Kundenanforderungen über die gesamte Fahrzeuglebensdauer erfüllen. Im Sinne der Nachhaltigkeit lassen sich für ein Fahrzeug nicht mehr verwendbare Batterien zudem weiterverwenden: Selbst wenn die Batteriekapazität irgendwann einmal nicht mehr für den Betrieb eines Fahrzeugs ausreichen sollte, besitzt sie noch genug Leistung, um als stationärer Energiespeicher für zahlreiche Anwendungen genutzt werden zu können.

Herausforderungen für die Zukunft.

Die Zukunft der Elektromobilität liegt in der Weiterentwicklung der Energiespeicher. Daher arbeiten die BMW Entwickler intensiv daran, den Energiespeicher kompakter, kostengünstiger und leichter bauen zu können. Vor allem aber gilt es, möglichst viel Energie für eine hohe Reichweite mitzuführen. Die Energiedichte des Energiespeichers beim E-Fahrzeug ist bisher noch nicht vergleichbar mit der eines vollen Kraftstofftanks. In einem Hochvolt-Speicher mit 22 kWh befindet sich ein Energieäquivalent von ungefähr 2,5 Litern Superkraftstoff. Entsprechend geringer sind die momentan möglichen Reichweiten. Ein Elektromotor arbeitet jedoch effizienter: Aufgrund des erheblich höheren Wirkungsgrads von bis zu 96



Prozent – ein Verbrennungsmotor erreicht bestenfalls 40 Prozent – kommt dieser mit der wenigen Energie deutlich weiter als ein vergleichbar motorisiertes Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Aufgrund der außerordentlich hohen Effizienz ist die momentan mögliche Reichweite für viele bereits alltagstauglich. Wie die ersten Ergebnisse der Nutzungsstudien mit dem MINI E zeigen, konnten 90 Prozent der Testnutzer mit der bisher realisierten Reichweite 100 Prozent ihrer Mobilität beibehalten.

Reichweitenerhöhende Maßnahmen.

Die zentrale Frage bleibt dennoch: Wie lässt sich die Reichweite weiter steigern? Eine Möglichkeit wäre, die Batteriekapazität zu erhöhen. Durch die größere Batterie würde das Fahrzeug aber auch schwerer, was die Reichweite gleichzeitig wieder einschränkt. Entsprechend lässt sich die Batterie nicht beliebig vergrößern, da das Mehrgewicht der Batterie ab einem gewissen Punkt die gewonnene Reichweite wieder zunichte machen würde. Folglich versuchen die Ingenieure der BMW Group, die zur Verfügung stehende Batteriekapazität bestmöglich auszureizen. Die wichtigste Maßnahme dafür ist, das Fahrzeuggewicht durch konsequenten Leichtbau und intelligenten Materialeinsatz so niedrig wie möglich zu halten (s. auch Kap. 4). Zudem werden die Batterien möglichst weit entladen. Der Nutzbereich der Batteriezellen der BMW Group liegt zwischen 400 und 250 Volt, was ungefähr 85 % der vorhandenen Batterieenergie entspricht. Eine noch weitere Entladung ist nicht möglich, weil sonst durch die so genannte Tiefentladung chemisch-physikalische Prozesse einsetzen, die die Batteriezellen irreparabel schädigen würden.

„Wir geizen mit jeder Kilowattstunde, die wir aus der Batterie ziehen. Wir wollen den Betrieb so effizient wie nur irgend möglich gestalten.“ (Patrick Müller)

Neben dem Antrieb benötigen aber auch Funktionen wie Licht, Klimatisierung oder Infotainment Energie. Während diese Nebenverbraucher bei einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor kaum ins Gewicht fallen, machen sie sich bei einem E-Fahrzeug in der Reichweite durchaus bemerkbar. So benötigt ein Fahrzeug im Stadtbetrieb durchschnittlich nur ca. 2,5 kW für die Fortbewegung, die Klimaanlage dagegen kann im Vollastbetrieb bis zu 5 kW fordern. Daher versucht man, durch intelligente Laderegeln und effiziente Betriebsstrategien den Energieverbrauch so weit wie möglich



zu reduzieren. So kann das Fahrzeug während des Ladens bereits klimatisiert werden und die Batteriekapazität steht während der Fahrt fast ausschließlich für die Fortbewegung zur Verfügung. Ein angenehmer Nebeneffekt der intelligenten Ladestrategie ist außerdem der Komfort, im Sommer wie im Winter in ein bereits angenehm temperiertes Fahrzeug einsteigen zu können. Mittel zur Reichweitenerhöhung während der Fahrt wären die Abschaltung nicht benötigter Verbraucher oder die Möglichkeit, das Fahrzeug gezielt „segeln“ zu lassen. Hier nutzt man die Eigendynamik des Fahrzeugs und lässt es rollen, ohne den Motor für die Fortbewegung zu nutzen. Langfristig sehen die Entwickler 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 Strom über einen Generator, um die Batterie während der Fahrt zu laden beziehungsweise sie auf einem konstanten Ladelevel zu halten. Damit ließe sich eine beträchtliche Zusatzreichweite darstellen. Da bereits eine vollwertige E-Maschine an Bord ist, kann dieser Verbrennungsmotor relativ klein ausfallen. Untersuchungen zeigen, dass im Mittel eine Leistung von 20 bis 30 kW für den normalen Fahrbetrieb absolut ausreichend ist. In dieser Größenordnung stellt der Range Extender genügend Energie zur Verfügung, um das gewünschte Fahrprofil beibehalten zu können, ohne dabei unnötig viel Kraftstoff zu verbrauchen. Durch die kompakt gebauten elektrischen Antriebskomponenten und neue Fahrzeugarchitekturen ließe sich der Range Extender leicht integrieren.

Als kurzfristige Lösung zur Reichweitenerhöhung durchaus denkbar, stellt der Range Extender für die BMW Group jedoch nur eine Kompromisslösung dar. Langfristig setzen die Entwickler der BMW Group klar auf die Weiterentwicklung der Batterietechnik. Zwar ist der Energiespeicher durch Eigenschaften wie die geringe Energiedichte und der daraus resultierenden niedrigeren Reichweite bei relativ hohem Gewicht momentan noch der begrenzende Faktor der E-Mobilität. Da die automobilen Energiespeichertechnologie jedoch zunehmend an Fahrt aufnimmt, sind hier weitere Entwicklungssprünge zu erwarten.



„Es ist auch davon auszugehen, dass in den nächsten Jahren weitere Technologiesprünge stattfinden. Bald werden größere Reichweiten bei kleineren und leichteren Batterien möglich. Wir stehen hier mitten in einer Entwicklung, da steckt noch viel Potenzial drin.“ (Patrick Müller)



4. Leichtbau und LifeDrive Concept.

Neue Karosseriekonzepte für die Herausforderungen einer neuen Mobilität.

Ein Fahrzeug elektrisch zu betreiben, bedeutet nicht nur, den Verbrennungsmotor durch einen E-Antrieb zu ersetzen. Die Elektrifizierung eines Fahrzeugs geht mit aufwändigen Überarbeitungen in der gesamten Karosserie einher, da die elektrischen Antriebskomponenten völlig neue Anforderungen an die Bauräume in einem Fahrzeug stellen. Die Entwicklungsarbeit an den Projekten MINI E und BMW Concept ActiveE zeigte schnell, dass Conversion Cars – also Fahrzeuge, die für den Betrieb mit Verbrennungsmotor konzipiert und auf E-Betrieb umgerüstet werden – keine langfristig optimale Lösung für die Anforderungen der E-Mobilität ermöglichen. So wichtig diese Fahrzeuge zur Sammlung von Erkenntnissen über Nutzung und Betrieb von Elektrofahrzeugen waren und sind, die Integration eines E-Antriebs in eine prinzipfremde Fahrzeugumgebung schöpft das Potenzial der E-Mobilität nicht optimal aus. Conversion Cars sind vergleichsweise schwer und die Unterbringung der schweren und großen Batteriemodule sowie der speziellen Antriebselektronik gestaltet sich aufwändig, da die baulichen Gegebenheiten in den Fahrzeugen auf ganz anderen Voraussetzungen basieren.

Es galt also, ein neues Karosseriekonzept zu entwickeln, das sämtliche technischen Besonderheiten eines E-Antriebs gezielt adressiert und darüber hinaus alle sicherheitsrelevanten Anforderungen optimal erfüllt. Doch wie sieht eine sinnvolle und funktionale Karosseriekonstruktion für ein Elektrofahrzeug aus?

Leichtbau bei Elektrofahrzeugen.

Eine Karosserie muss heute nicht mehr nur stabil, sondern vor allem auch leicht sein. Gerade bei einem Fahrzeug mit Elektroantrieb ist Leichtbau von großer Bedeutung, denn neben der Batteriekapazität ist das Fahrzeuggewicht der limitierende Faktor bei der Reichweite. Je leichter ein Fahrzeug ist, desto größer wird die Reichweite – allein weil der E-Antrieb weniger Masse in Bewegung bringen und halten muss. Gerade beim



Beschleunigen macht sich jedes Kilogramm zu viel deutlich in einer geringeren Reichweite bemerkbar. Und in der Stadt, dem hauptsächlichen Einsatzgebiet eines E-Fahrzeugs, muss aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens sehr oft beschleunigt werden.

Neben höherer Reichweite bedeutet ein niedrigeres Fahrzeuggewicht außerdem spürbar bessere Fahrleistungen. Denn ein leichtes Fahrzeug beschleunigt schneller, fährt flinker durch die Kurven und kommt beim Bremsen schneller zum Stehen. Leichtbau ermöglicht also mehr Fahrfreude, Agilität und Sicherheit. Zudem können aufgrund der geringeren beschleunigten Masse die Strukturen zur Energieaufnahme im Crashfall reduziert werden, was wiederum Gewicht einspart.

Daher gilt es, das Gesamtgewicht eines E-Fahrzeugs von vornherein möglichst gering zu halten. Doch die bauartbedingten Voraussetzungen sind denkbar ungünstig: Der Antriebsstrang beim E-Fahrzeug ist deutlich schwerer als der eines Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor inklusive vollem Tank. So wiegt der elektrische Antrieb inklusive Batterie ungefähr 100 kg mehr. 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“.

„Materialeichtbau ist ein wichtiger Befähiger für die Elektromobilität, da er die Gewichtsnachteile des Energiespeichers ausgleichen kann.“ (Bernhard Dressler)

Purpose Design – das LifeDrive-Konzept (kompromisslos zweckorientiert).

Doch Leichtbau ist nur eine, wenn auch sehr wichtige Facette der Entwicklungsarbeit im modernen Karosseriebau. Mit der vollständigen Elektrifizierung eines Fahrzeugs nutzen die Ingenieure der BMW Group nun die Möglichkeit, die Fahrzeugarchitektur eines Automobils komplett neu zu denken und an die Anforderungen und Gegebenheiten der Mobilität von morgen anzupassen. Mit dem LifeDrive-Konzept schufen sie ein



revolutionäres Karosseriekonzept im Purpose Design, 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 aus Aluminium, 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 kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK). Mit diesem innovativen Konzept verleiht die BMW Group den Themen Leichtbau, Fahrzeugarchitektur und Crashesicherheit eine völlig neue Dimension.

„Das LifeDrive-Konzept verbindet sämtliche zum Fahren erforderlichen Systeme mit den Gegebenheiten und Anforderungen der Elektromobilität und setzt sie in einem neuen Ansatz BMW Group typisch um.“ (Uwe Gaedicke)

Das Drive-Modul – die Basis, das stabile Fundament.

Das Drive-Modul vereint auf der Basis eines leichten und stabilen Strukturträgers aus Aluminium mehrere Funktionen in sich: Es ist Grundkarosserie mit Fahrwerk, Crashelement, Energiespeicher und Antriebseinheit in einem. Mit ungefähr 250 kg und Ausmaßen ähnlich denen einer Kindermatratze ist der Energiespeicher treibendes Element für das integrative und funktionale Design des Drive-Moduls. Bei der Konzeption galt es daher zunächst, die Batterie als größten und gewichtigsten baulichen Faktor beim Elektrofahrzeug betriebs- und crashsicher in die Fahrzeugstruktur zu integrieren.

So teilt sich das Drive-Modul in drei Bereiche. Der mittlere Teil beherbergt die Batterie und umgibt sie sicher mit kräftigen Aluminiumprofilen. Die zwei crashaktiven Strukturen in Vorder- und Hinterwagen sorgen für die nötige Knautschzone im Falle eines Front- oder Heckaufpralls. Auf dem Drive-Modul befinden sich zudem die Komponenten der elektrischen Antriebseinheit sowie zahlreiche Fahrwerkskomponenten. Da der E-Antrieb insgesamt deutlich kompakter gebaut ist als ein vergleichbarer Verbrenner, können Elektromotor, Getriebestufe, Leistungselektronik und Achsen hier durch raffinierte Lösungen auf sehr kleinem Raum untergebracht werden.



Das Life-Modul – CFK in einer neuen Dimension.

Komplettiert wird das LifeDrive-Konzept durch das Life-Modul, die Fahrgastzelle, die auf die Trägerstruktur des Drive-Moduls aufgesetzt wird. Die große Besonderheit: Das Life-Modul besteht hauptsächlich aus kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff – kurz CFK. Der Einsatz des Hightech-Werkstoffes in dieser Größenordnung ist für die Großserienproduktion eines Fahrzeugs bisher einzigartig, schien bisher die großflächige Verwendung von CFK noch zu teuer, die Verarbeitung und Fertigung noch nicht flexibel genug. Doch nach über zehn Jahren intensiver Forschungsarbeit und Optimierung der Prozesse verfügt die BMW Group als einziger Automobilhersteller über die erforderliche Fertigungserfahrung, um CFK in der Großserienproduktion einzusetzen. CFK besitzt gegenüber Stahl viele Vorteile, er ist sehr stabil und gleichzeitig überaus leicht. So ist er bei mindestens gleicher Festigkeit ungefähr 50 Prozent leichter als Stahl. Aluminium dagegen würde gegenüber Stahl „nur“ 30 Prozent Gewicht einsparen. Damit ist CFK das leichteste Material, das sich ohne Sicherheitseinbußen im Karosseriebau einsetzen lässt.

Durch den großflächigen Einsatz des Hightech-Werkstoffes wird das Life-Modul sehr leicht und ermöglicht eine höhere Reichweite bei gleichzeitig besseren Fahrleistungen. Zudem profitiert das Fahrverhalten deutlich: Die hohe Steifigkeit des Materials macht das Fahrerlebnis direkter, auch schnelle Lenkbewegungen werden verlustfrei umgesetzt. Gleichzeitig ermöglicht CFK einen höheren Fahrkomfort, denn die steife Karosserie dämpft Energieeinträge sehr gut. So entstehen während der Fahrt keine störenden Vibrationen, es rüttelt und schwingt nichts.

Doch das Life-Modul ist nicht nur sehr leicht, es ermöglicht außerdem, den Innenraum eines Fahrzeugs neu zu begreifen und zu gestalten. Aufgrund der Integration aller Antriebskomponenten ins Drive-Modul entfällt der bisher notwendige und platzraubende Kardantunnel im Innenraum, durch den bisher die Kraft des Motors an die Hinterräder weitergeleitet wurde. Damit bietet das Megacity Vehicle (MCV) bei gleichem Radstand deutlich mehr Raum für die Insassen. Diese neue Struktur ermöglicht außerdem die Integration neuer Funktionalitäten, erlaubt neue Freiheitsgrade in der Architektur und damit die Chance, den Innenraum optimal an die Bedürfnisse von Mobilität in der Stadt anpassen zu können.



CFK als Karosseriebaumaterial.

Als Baumaterial für eine Fahrzeugkarosserie hat CFK zahlreiche Vorteile: Das Material ist äußerst korrosionsbeständig. Es rostet nicht und ist damit deutlich langlebiger als Metall. Aufwändige Korrosionsschutzmaßnahmen können entfallen. Zudem bleibt CFK unter allen klimatischen Bedingungen stabil.

Das Geheimnis dieses hochfesten Werkstoffes ist die Kohlenstofffaser. Sie ist entlang ihrer Längsrichtung überaus reißfest. Zu Gelegen vernäht und in eine Kunststoffumgebung (Kunststoffmatrix) eingebettet entsteht der Faser-Kunststoff-Verbundwerkstoff CFK. Im trockenen, harzfreien Zustand lässt sich CFK beinahe wie ein Textil bearbeiten, was die Möglichkeiten in der Formgebung sehr flexibel hält. Erst durch das Aushärten des in die Gelege injizierten Harzes erhält die Verbindung schließlich ihre harte, finale Form und ist dann mindestens ebenso belastbar wie Stahl – und das bei deutlich geringerem Gewicht.

Die hohe Reißfestigkeit entlang der Fasern ermöglicht es außerdem, CFK-Bauteile gezielt in ihrer Belastungsrichtung hochfest auszulegen. Hierzu ordnet man die Fasern innerhalb des Bauteils entsprechend der Belastungsverläufe an. Durch Überlagerungen der Faserausrichtungen lassen sich Bauteile auch in mehreren Richtungen belastungsfest machen. So können die Komponenten wesentlich effizienter und effektiver ausgelegt werden als mit jedem anderen Material, das in alle Richtungen gleich belastbar ist, wie Metall beispielsweise. So lassen sich nochmals Material und Gewicht einsparen. Das führt wiederum zu neuen Einsparpotenzialen: Durch die geringere beschleunigte Masse im Falle eines Crashes können die Strukturen zur Energieaufnahme reduziert werden, was wiederum Gewicht einspart.

„CFK bietet die Möglichkeit, eine sehr leichte Kunststoffkarosserie bauen zu können, ohne Kompromisse bei Komfort und Sicherheit eingehen zu müssen.“ (Bernhard Dressler)

Leichtbau und Sicherheit – mit CFK ist leichter auch sicherer.

Neben dem Leichtbau spielte auch die Sicherheit der Passagiere eine große Rolle bei der Entwicklung des LifeDrive-Konzepts. Die heutigen Crashanforderungen an eine Karosserie sind sehr hoch, zahlreiche Aufprallszenarien müssen berücksichtigt werden. Normalerweise stellt



dies die Entwickler gerade bei der Verwendung neuer Materialien vor große Herausforderungen. Doch 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!

„Leichtbau heißt nicht gleich „unsicher“, ganz im Gegenteil – das LifeDrive-Konzept ist in Crashtests den bisherigen Konstruktionen zum Teil sogar überlegen.“ (Nils Borchers)

Durch die Eigenschaft, bei hoher Festigkeit ein enormes Maß an Energie aufnehmen zu können, ist CFK sehr schadenstolerant. Selbst bei hohen Aufprallgeschwindigkeiten verformt er sich kaum. Damit sorgt das extrem steife Material, ähnlich wie in einem Formel-1-Cockpit, für einen äußerst stabilen (Über-)Lebensraum. Zudem bleibt die Karosserie bei einem Front- oder Heckaufprall intakt und die Türen öffnen auch nach dem Crash problemlos.

Beim Seitencrash bestens geschützt.

Die Energieaufnahmefähigkeit von CFK ist außergewöhnlich. Gerade bei Pfahlcashes und Seitenaufprallszenarien zeigt sich das beeindruckende Sicherheitsverhalten von CFK. Trotz der großen, teilweise punktuell einwirkenden Kräfte deltet das Material kaum ein. Die Passagiere sind bestens geschützt. Damit ist CFK prädestiniert für den Einsatz im Seitenbereich des Fahrzeugs, wo jeder Zentimeter unverletzter Innenraum wertvoll ist.

„Um CFK zu zerstören, braucht man sehr große Kräfte bzw. sehr große Beschleunigungen. Deutlich mehr als man auf den ersten Blick glauben mag.“ (Bernhard Dressler)

Doch CFK ist nicht unendlich belastbar. Überschreiten die einwirkenden Kräfte die Festigkeitsgrenzen des Werkstoffes, trennt sich der Faserverbund kontrolliert in seine einzelnen Bestandteile auf.

Das Beste aus beiden Welten – die Kombination von Aluminium und CFK.

Auch das neue Drive-Modul wurde gezielt auf die hohen Craschanforderungen hin konzipiert und ausgelegt. Für zusätzliche Sicherheit sorgen hier crashaktive Strukturen aus Aluminium an Vorder- und Hinterwagen. Sie



nehmen bei einem Front- oder Heckaufprall einen Großteil der einwirkenden Energie auf. Zum bestmöglichen Schutz der Batterie ist diese im Unterboden untergebracht. Statistisch gesehen muss ein Fahrzeug im Crashfall dort am wenigsten Energie aufnehmen und verformt sich in diesem Bereich entsprechend kaum. Zudem erreichen die Entwickler der BMW Group durch die Position der Batterie im Unterboden einen optimal niedrigen Schwerpunkt, der das Fahrzeug sehr agil und überschlagsicher macht.

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. Durch den eingesetzten Materialmix aus Aluminium im Drive-Modul und CFK im Life-Modul ist die Batterie auch im Schwellerbereich bestmöglich geschützt.

„Das Drive-Modul ist die sicherste Form, die eine Batterie haben kann.“
(Hans-Jürgen Branz)

Insgesamt schafft die hochfeste CFK-Fahrgastzelle in Verbindung mit der intelligenten Kraftverteilung im LifeDrive-Modul die Voraussetzung für einen optimalen Insassenschutz. So ist der Materialmix im LifeDrive-Modul sicherer als eine selbsttragende Stahlkarosserie. Wie viel Potenzial im Material CFK und in der Kombination mit anderen Materialien noch steckt, zeigen die Erprobungen. Bereits in dieser noch recht frühen Phase kann das Material mehr als andere in einem weitaus ausgereifteren Stadium.

Vorteile LifeDrive.

Durch Purpose Design integriert das LifeDrive-Konzept sämtliche Besonderheiten der E-Mobilität wie die große sperrige Batterie und die kompakten Antriebselemente in einer crashsicheren Struktur. Doch die Vorteile des LifeDrive-Konzepts liegen nicht nur in der Gewichtsersparnis, der damit einhergehenden höheren Reichweite bei besseren Fahrleistungen und der erhöhten Sicherheit. Wie viel mehr hinter dem LifeDrive-Konzept steckt, zeigt sich, wenn man neben dem Produkt auch die angelagerten Produktionsprozesse betrachtet. Denn das LifeDrive-Prinzip ermöglicht die Erfüllung sämtlicher Anforderungen an ein nachhaltiges Produkt innerhalb einer nachhaltigen Produktionskette.

Die Rahmenbauweise ist bis in die Produktion mittlerer Stückzahlen hinauf sehr praktikabel und ermöglicht durch parallele Arbeitsabläufe eine



hohe Flexibilität. Durch die neue Architektur des Fahrzeugs sind völlig neue Produktionsprozesse möglich, die einfacher und energieärmer sind. So erlaubt die horizontale Trennung der Module eine separate Herstellung der beiden Elemente, die dann beinahe überall auf der Welt in einem einfachen Montageprozess zusammengeführt werden können.

„Über Entwicklungsarbeit der letzten Jahre hat sich für mich klar herausgestellt, dass das LifeDrive-Konzept momentan DIE Lösung ist, um sämtliche Anforderungen der Elektromobilität zu erfüllen und gleichzeitig die ihr innewohnenden Potenziale bestmöglich zu nutzen.“ (Uwe Gaedicke)



5. CFK – ein Werkstoff für die Zukunft.

Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (CFK) ist aus der Luft- und Raumfahrtindustrie oder dem Rennsport längst nicht mehr wegzudenken. Besonders dort, wo ein stark belastbarer und trotzdem leichter Werkstoff mit hoher Steifigkeit und Festigkeit gefragt ist, nutzen die Konstrukteure zunehmend die Vorteile von CFK. Deshalb beschäftigen sich auch die Experten des Landshuter Innovations- und Technologiezentrums (LITZ) seit über zehn Jahren intensiv mit dem Hightech-Werkstoff. Durch die langjährige Entwicklungsarbeit und den Transfer in die Serienproduktion hat sich die BMW Group ein im Automobilbereich einzigartiges Know-how über Prozesse, Werkzeuge und Verarbeitung sowie einen hohen Grad an Industrialisierung in der CFK-Produktion erarbeitet. Doch was macht diesen Werkstoff so besonders?

Unglaublich leicht und so stabil wie Stahl.

Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (CFK) ist ein Verbundwerkstoff und besteht aus einer Kohlenstofffaser, die von einer Kunststoffmatrix (Harz) umgeben ist. CFK ist kaum mit einem anderen Werkstoff zu vergleichen. Er vereint in sich zahlreiche positive Eigenschaften, die in dieser Kombination einzigartig sind. So ist CFK zuallererst überaus steif und fest – und das bei einem äußerst geringen Gewicht. Bei mindestens gleicher Funktion ist CFK rund 50 Prozent leichter als Stahl und immerhin 30 Prozent leichter als Aluminium. Außerdem ist der Werkstoff resistent gegen Korrosion, Säuren sowie organische Lösungsmittel und damit deutlich langlebiger als Metall. Zudem bleibt CFK unter allen klimatischen Bedingungen stabil und verformt sich auch unter hohen Temperaturschwankungen kaum.

Leichtbau ohne Kompromisse an Sicherheit.

Die hohe Festigkeit des Werkstoffes geht überdies mit hervorragenden Dämpfungseigenschaften sowie einer hohen Schlagzähigkeit einher. CFK besitzt eine beeindruckende Fähigkeit zur Energieabsorption und ist somit sehr schadenstolerant. Karosseriekomponenten aus CFK sind nicht nur sehr leicht, sondern zeigen darüber hinaus ein vorbildliches Crashverhalten. CFK ist damit das leichteste Material, das sich ohne



Sicherheitseinbußen im Karosseriebau einsetzen lässt. Doch das Material ist nicht unendlich belastbar. Überschreiten die einwirkenden Kräfte die Festigkeitsgrenzen des Werkstoffes, trennt sich der Faserverbund kontrolliert in seine einzelnen Bestandteile auf.

„Um CFK zu zerstören, braucht man sehr große Kräfte bzw. sehr große Beschleunigungen. Deutlich mehr als man auf den ersten Blick glauben mag.“
(Bernhard Dressler)

Lastgerechtes Maßschneiden von Bauteilen.

Das Geheimnis dieses hochfesten Werkstoffes ist die Kohlenstofffaser. Im Gegensatz zu quasi isotropen Metallen wie Aluminium oder Stahl, die in alle Raumrichtungen gleich belastbar sind, ist die Kohlenstofffaser anisotrop. Sie ist wie ein Stab vor allem in eine Richtung, nämlich auf Zug und Druck, äußerst belastbar. Das ist ihr entscheidender Vorteil: Da in einem Bauteil nie in allen Punkten gleichzeitig Lastfälle in alle Raumrichtungen auftreten, erlaubt diese besondere Eigenschaft das belastungsgerechte Maßschneiden von Bauteilen. Wie die Natur, die das Material in Knochen oder Pflanzen nur dort anlagert, wo es wirklich gebraucht wird, konfektionieren die Experten der BMW Group die CFK-Bauteile in der erforderlichen Ausrichtung und Materialstärke. Dazu ordnen sie die Fasern in der erforderlichen Menge entlang der späteren Belastungsrichtung(en) an. Das Bauteil ist damit kennwertgerecht ausgelegt und gleichzeitig sehr leicht.

„CFK erlaubt effizienten Materialeinsatz für optimale Stabilität und Funktion bei minimalem Gewicht.“ (Bernhard Dressler)

Der Einsatz von CFK ist mehr als nur ein einfacher Materialersatz, so wie beispielsweise Stahl durch Aluminium ersetzt werden kann. Durch seine besonderen Eigenschaften erlaubt das Hightech-Material vollkommen neue Herangehensweisen und damit auch neue Konstruktionskonzepte. Gerade im Hinblick auf die Elektromobilität bietet CFK als Karosseriebaumaterial großes Potenzial, da das geringe Materialgewicht ein höheres Leistungsgewicht und damit eine höhere Reichweite ermöglicht. Durch den überlegten Einsatz von kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff lassen sich zahlreiche Leichtbauprodukte enorm verbessern, sofern man den Werkstoff wirklich verstanden hat.



„Erst der richtige Umgang mit CFK macht den Leichtbau aus.“ (Jochen Töpker)

Technologiekompetenz der BMW Group.

Dass CFK bisher nur in Kleinserien oder bei Prototypen verbaut wurde, hat mehrere Gründe. Üblicherweise entstanden die Bauteile aus dem vergleichsweise jungen Werkstoff bislang überwiegend in Handarbeit und mit sehr hohem Zeitaufwand. Die damit einhergehenden Kosten sowie lange Zykluszeiten in Fertigung und Verarbeitung standen einer Großserienproduktion bisher entgegen. Seit 2003 jedoch produziert die BMW Group CFK-Bauteile in industrialisierter Serienproduktion mit kontinuierlich steigenden Stückzahlen. Inzwischen werden in Landshut sogar die Dächer für die BMW Modelle M3 und M6 sowie die Stoßfängerträger des M6 in industrialisierter Produktion gefertigt.

Durch die intensive Werkstoff- und Verfahrensentwicklung hat sich die BMW Group in den letzten zehn Jahren eine große Kompetenz in CFK-spezifischen Fertigungsprozessen, zielführendem Werkzeugeinsatz und der Optimierung von Zykluszeiten erarbeitet. So ist es CFK-Spezialisten der BMW Group gelungen, den Fertigungsprozess für CFK-Bauteile im Werk Landshut so weiterzuentwickeln und zu automatisieren, dass nun erstmals auch die wirtschaftliche und qualitativ hochwertige Großserienfertigung von Karosseriekomponenten aus Kohlenstofffaserwerkstoffen möglich ist. Damit haben die Verfahrensspezialisten des Landshuter Innovations- und Technologiezentrums (LITZ) eine der wesentlichen Grundlagen für den verstärkten Einsatz von Kohlenstofffaserwerkstoffen in Automobilkarosserien geschaffen. Hier leistet die BMW Group wichtige Pionierarbeit, um das Potenzial des Werkstoffes zukünftig noch mehr erschließen zu können.

Hochmoderne Produktion bei der BMW Group.

Die momentan noch vielfach angewendete Produktionsweise, in der im Vorfeld in Harz getränkte Faserhalbzeuge – so genannte Prepregs – der Verarbeitung zugeführt und anschließend im Autoklaven, einem riesigen Backofen, fertiggestellt werden, ist für die industrielle Großserienproduktion von Automobilen nicht praktikabel. Bei der BMW Group hat deshalb bereits im Jahr 2003 eine neue Generation der CFK-Serienfertigung begonnen, die eine Serienproduktion auf hohem Fertigungsniveau ermöglicht. Hochmodern und mit sehr kurzen Zykluszeiten. Dabei ist die CFK-Produktion



keinesfalls ausschließlich an den Standort Landshut gebunden, sondern unter einigen wenigen Voraussetzungen theoretisch an allen BMW Standorten der Welt durchführbar. Doch wie entsteht ein CFK-Bauteil bei der BMW Group?

Von der Faser zum Gelege.

Ausgangspunkt der CFK-Produktion ist der so genannte Precursor. Diese thermoplastische Textilfaser aus Polyacrylnitril bildet die Basis für den Produktionsprozess. In einem komplexen, mehrstufigen Prozess unter verschiedenen Temperatur- und Druckverhältnissen werden sämtliche Elemente der Faser gasförmig abgespalten, bis nur noch eine aus nahezu reinem Kohlenstoff bestehende Faser mit stabiler Graphitstruktur vorliegt. Die entstandene Carbonfaser ist lediglich sieben Mikrometer (0,007 Millimeter) dünn, ein menschliches Haar dagegen misst rund 50 Mikrometer. Für die Verwendung im Automobilbereich werden anschließend ca. 50 000 dieser Einzelfilamente zu so genannten „rovings“ oder „heavy tows“ zusammengefasst und für die Weiterverarbeitung aufgewickelt. Neben den automobilen Anwendungen kommen die Faserverbünde dieser Stärke zum Beispiel auch in großen Rotorblättern von Windenergieanlagen zum Einsatz.

Im nächsten Prozessschritt werden die Faserbündel zu Gelegen verarbeitet. Im Gegensatz zu einem Gewebe werden die Fasern in der Gelegeherstellung nicht miteinander verschränkt und verwoben, sondern in einer Ebene nebeneinander angeordnet. Das Weben würde die Faser krümmen und damit die hervorragenden Eigenschaften teilweise wieder reduzieren. Erst die Faserorientierung im Gelege gewährleistet die optimalen Eigenschaften eines CFK-Bauteils.

Preformen und Konfektionieren – optimal in Form gebracht.

Das zugeschnittene, aber noch flache Gelege erhält dann im so genannten Preformprozess seine spätere Form. Dabei verleiht ein Heizfeld dem Lagenpaket eine stabile, dreidimensionale Kontur. Die spätere Bauteilform ist bereits klar zu erkennen. Mehrere dieser vorgeformten Lagenpakete (Preform-Rohlinge) können dann 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. Das hat erhebliche Vorteile für die Konstruktion und die Fertigung der Karosserie: Verschiedene Funktionen, wie z. B. Befestigungselemente, lassen sich



direkt in das Bauteil integrieren. Selbst komplexe Strukturteile sowie ganze Karosserie-Baugruppen mit verschiedenen Wandstärken können so in einem Werkzeug gefertigt werden.

In den beiden Prozessschritten, Vorformen und Konfektionieren, besteht die große Herausforderung darin, ein flexibles Textil so handhabbar zu machen, dass die Form des Preform-Rohlings stabil bleibt und außerdem die Rohlinge in der Konfektionierung passgenau verbunden werden. Auch hier hat sich die BMW Group im Laufe der Jahre wertvolle Expertise erarbeitet.

Harzen unter Hochdruck mit Resin Transfer Moulding (RTM).

Die konfektionierten Preform-Rohlinge werden dann dem nächsten Prozessschritt zugeführt, der Harzinjektion. Damit die vorgeformten Lagenaufbauten dauerhaft in ihrer vorkonfigurierten Form bleiben, benötigt man den zweiten wichtigen Werkstoff für den Verbund – das Harz. Beim Resin Transfer Moulding (RTM) wird das Harz unter hohem Druck in die Preform-Rohlinge injiziert. Erst durch die Verbindung der Fasern mit dem Harz und das anschließende Aushärten erhält das Material seine Steifigkeit und damit seine hervorragenden Eigenschaften.

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. Daher muss das Harz eine möglichst geringe Viskosität besitzen, also flüssig genug sein, um sich schnell im gesamten Gelege verteilen zu können. 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.

Das Imprägnieren des Geleges mit Harz ist ein Prozess, in dem ungefähr zehn Einzelstoffe und Materialien sich einerseits verbinden und andererseits auf keinen Fall miteinander reagieren sollen. Darüber hinaus muss der



Verbund aus Kohlenfasergelege, Harz, Härter, Binder, Nähgarn, Trennmittel und weiteren Materialien sowohl auf großer Fläche als auch auf mikroskopischer Ebene zustande kommen. Hierin liegt die übergeordnete Herausforderung bei der Arbeit mit dem Faserverbund, denn der Werkstoff ist nur so gut wie die Verbindung zwischen Harz und Faser.

Endbearbeitung – Feinschliff mit dem Wasserstrahl.

Nach der Harzinjektion und dem Aushärten ist das Bauteil nahezu fertig. Lediglich Feinarbeiten wie das saubere Zuschneiden der Bauteilkontur sowie das Einbringen noch fehlender Öffnungen sind noch zu erledigen. Diese Endbearbeitung leistet bei der BMW Group eine Wasserstrahlschneidanlage. Da das fertige CFK-Bauteil nach dem Harzen bereits seine volle Stabilität und damit auch Widerstandsfähigkeit besitzt, kämen herkömmliche Fräsköpfe bei der Endbearbeitung sehr schnell an ihre Grenzen und müssten aufgrund des hohen Verschleißes oft ausgetauscht werden. Wasserstrahlschneiden dagegen ermöglicht verschleißfreies Schneiden und Bohren, muss jedoch für das Bearbeiten von CFK modifiziert werden. Entsprechend hat die BMW Group dieses Verfahren weiter optimiert.

„Durch unsere ausgereiften Produktionsverfahren sind wir in der Lage, das Bauteil exakt so zur Verfügung zu stellen, wie der Konstrukteur es will und das Produkt es braucht.“ (Andreas Reinhardt)

Recycling – aus Verschnitt wird ein neues Strukturbauteil.

Doch die BMW Group denkt auch über den Produktzyklus hinaus und hat im Laufe der Entwicklungsarbeiten verschiedene Recycling- und Verwertungskonzepte erarbeitet und bewertet. Bisher waren die Reste des hochwertigen Materials nicht optimal zu nutzen. Nun aber hat die BMW Group ein weltweit einmaliges Recyclingkonzept für sortenreine Produktionsabfälle bis zur Serientauglichkeit entwickelt. Ein wesentlicher Anteil der Fasern kann damit wieder in die Prozesse eingebracht werden. Durch ein spezielles Aufbereitungsverfahren entsteht wieder ein Textil, das sogar Primärfaserbedarf substituieren kann. Die Wiederverwendung lohnt sich gleich doppelt, denn weniger Abfall bedeutet einerseits niedrigere Umweltbelastung und andererseits geringeren Bedarf an neu produziertem Material.



„Wir haben uns als Ziel gesetzt, den Verschnitt, der in den Produktionsprozessen anfällt, in unseren eigenen Produkten hochwertig wieder einzusetzen.“ (Andreas Reinhardt)

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 punktuelle Fortschritte sich auch positiv auf den Gesamttablauf auswirken.

Von Anfang an auf Serienproduktion ausgerichtet.

Durch die stete Erhöhung der Stückzahlen und die Entwicklung innovativer Verfahren verfügt die BMW Group mittlerweile über einen großen Erfahrungsschatz in Form von Mitarbeitern, Werkzeugen und Prozess-Know-how. Möglich wurde dieser hohe Grad an Expertise jedoch nur, da von Beginn an der Einsatz von CFK in der industrialisierten Großserienproduktion angestrebt wurde. Die BMW Group begreift CFK nicht nur als fahrzeugspezifische Nischenanwendung, sondern als zukunftsweisende Technologie im Automobilbau. Deshalb hat man von Beginn an viel in Eigenleistung investiert, Mitarbeiter wie Prozesse im Haus befähigt und konsequent weiterentwickelt. Durch die hohe Selbstständigkeit und den hohen Anteil an Eigenleistung über den gesamten Produktionsprozess ist die BMW Group zudem kaum von äußeren Faktoren abhängig. Wie ausgereift der Produktionsprozess dadurch ist, zeigt sich vor allem in der hohen Qualitätsgüte der produzierten Bauteile.



„Grundlage für die Industrialisierung von CFK ist nicht, die Qualität nachträglich zu prüfen, sondern diese zu produzieren.“ (Jochen Töpker)

