

# BMW Technologiekommunikation. Technologietransfer Formel 1 in die Serie



## Inhaltsverzeichnis:

- **Technologie-Beschleuniger für die Serienentwicklung.**  
BMW lernt auf der Rennstrecke für die Straße.
- **Mit KERS stößt die Formel 1 in eine neue Dimension vor.**
- **Gusstechnologien für die Formel 1 und für die Serie.**
- **Der Antrieb: Faszination V8 – Kraftpaket mit Idealmaßen.**
- **Das CFK-Dach. Ein Entwicklungs-Highlight des Landshuter CFK-Technikums.**
- **Revolutionäre Logistik: Rückverfolgbarkeit von Gussteilen.**
- **Windkanal: Synergien zur Serie**
- **Boxenstopp in Hinwil**
- **Der neue Supercomputer – Albert3.**

## **Technologie-Beschleuniger für die Serienentwicklung.**

### **BMW lernt auf der Rennstrecke für die Straße.**

Synergien zwischen F1- und Serienentwicklung herzustellen, war für BMW die Grundvoraussetzung für den Wiedereinstieg in die Formel 1 zum Jahr 2000. Konsequent wurde die Entwicklung des Formel-1-Antriebsstrangs und der Elektronik am Standort München integriert. Dabei spielt das BMW Forschungs- und Innovationszentrum (FIZ) eine Schlüsselrolle. Die F1-Fabrik wurde in weniger als einem Kilometer Entfernung von dieser Denkwerkstatt errichtet und mit ihr vernetzt. „Das FIZ repräsentiert die Zukunft von BMW“, erklärt Theissen, „dort arbeiten die fähigsten Ingenieure in modernsten Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen. Das FIZ verfügt über enorme Ressourcen, von denen wir unmittelbar profitieren. Umgekehrt stellt das F1-Engagement durch die extremen technischen Anforderungen und das geforderte Entwicklungstempo ein einzigartiges Versuchsfeld für unsere Techniker dar.“

Das erworbene Know-how bleibt im Unternehmen, wo es der Serienentwicklung zu Gute kommt. Das für die Formel 1 entwickelte Wissen für die Bearbeitung von verschiedenen Materialien und Komponenten, beispielsweise von Zylinderköpfen und Kurbelgehäusen, wird für Serien-Pkw ebenso genutzt wie bei BMW Motorrad.

Weitere Schwerpunkte sind die Beherrschung von CFK-Materialien und deren Einsatz im Karosseriebau, der Entwicklung von Hybridkomponenten für die Formel 1 und Ableitungen für die Serie. Aber auch aus Entwicklungs- und Logistikprozessen der Formel 1 profitiert die Serie. Beispiele dafür sind die Weiterentwicklungen der Aerodynamik und das Anlagenleitsystem.

### **Mit KERS stößt die Formel 1 in eine neue Dimension vor.**

Die Ampel steht auf „grün“, das Startsignal für Hybrid-Technologie in der Formel 1 ist erfolgt: Mit einem veränderten Antriebskonzept wird die Königsklasse des Motorsports ab 2009 in eine neue Dimension vorstoßen und wichtige Impulse für die Entwicklung von Serienfahrzeugen geben. In der Formel 1 kann mit Beginn der Saison 2009 erstmals Hybrid-Technologie zur Steigerung der Leistung und der Effizienz eingesetzt werden. Das BMW Sauber F1 Team arbeitet mit Hochdruck an der Entwicklung von KERS (Kinetic Energy Recovery System), einem System zur Bremsenergie-Rückgewinnung.

### **BMW Sauber F1 Team fördert die Hybrid-Kompetenz der BMW Group.**

Dr. Klaus Draeger, Entwicklungsvorstand der BMW AG: „Die BMW Group kann die im BMW Sauber F1 Team gewonnenen Erkenntnisse direkt in die

Entwicklung von Serienfahrzeugen transferieren. Die Formel 1 ist damit die ideale Vorentwicklungsplattform für innovative Antriebstechnologien. Das neue Formel-1-Reglement gibt uns die Möglichkeit, innovative Hybrid-Technologie unter extremen Bedingungen einzusetzen und dabei zusätzlich für die Serienentwicklung wichtige Erkenntnisse zu gewinnen. Davon werden die BMW Kunden profitieren. Denn die für den BMW Sauber F1.09 konzipierte KERS-Einheit umfasst eine hoch wirksame Variante der Bremsenergie-Rückgewinnung, die in ihrem Funktionsprinzip der für BMW Serienfahrzeuge entwickelten ActiveHybrid Technologie ähnelt.“

### **BMW Sauber F1 Team entwickelt elektrisches KERS-System.**

Hinter dem Begriff KERS verbirgt sich ein System zur Rückgewinnung und Speicherung von Bremsenergie, die dann beim Beschleunigen zusätzlich zur Motorleistung des V8 Motors zur Verfügung steht. Das BMW Sauber F1 Team hat sich für eine elektrische Lösung entschieden. Der BMW Sauber F1.09 wird mit einem Hybridsystem ausgestattet, das aus einer Kombination aus Elektromotor und Generator, der entsprechenden Leistungselektronik und einem Energiespeichermodul besteht.

Während der Bremsphasen des BMW Sauber F1.09 wird so viel Energie gespeichert, dass beim Beschleunigen während ungefähr 6,5 Sekunden eine zusätzliche Leistung von 60kW zur Verfügung steht. Das Gesamtsystem wird unter 40 Kilogramm wiegen. Damit liegt die Leistungsdichte der Formel-1-KERS-Technologie deutlich über der von heute bereits in Serienfahrzeugen eingesetzten Technik. Das neu gewonnene Know-How fließt umgehend in die Entwicklung künftiger Serienfahrzeuge ein.

„KERS ist für uns ein sehr spannendes Projekt und eine große Chance. Wir stehen an der Schwelle von einem konventionellen Paket aus Motor und einem unabhängigen Getriebe zu einem integrierten Antrieb“, erklärt BMW Motorsport Direktor Mario Theissen: „Die Leistungsdichte der KERS-Komponenten wird weit über die heutiger Hybridfahrzeuge hinausgehen. Mit KERS wird die Formel 1 eine Pionierrolle für künftige Serientechnologien übernehmen. Innovative Konzepte, deren Lebensdauer und Ausfallsicherheit einem Serieneinsatz noch nicht genügen, erleben in der Formel 1 ihre Feuertaufe und werden unter Hochdruck weiterentwickelt. Wir haben bei BMW das Formel-1-Projekt immer schon als Technologielabor für die Serie genutzt. Mit KERS gewinnt dieser Ansatz eine völlig neue Dimension. Die Formel 1 wird sich neu positionieren. Das Image wird sich wandeln. In der öffentlichen Akzeptanz wird die Formel 1 deutlich gewinnen.“

Die BMW Group setzt bereits heute im Rahmen von BMW EfficientDynamics die Bremsenergie-Rückgewinnung in einer Vielzahl von Serienmodellen ein

und bereitet darüber hinaus die Einführung der BMW ActiveHybrid Technologie in Fahrzeugen mehrerer Baureihen vor.

### **Gusstechnologien für die Formel 1 und für die Serie.**

Die Leistungsfähigkeit und Standfestigkeit von Motorblock, Zylinderkopf und Getriebe hängt entscheidend von der Gussqualität ab. Fortschrittliche Gusstechnologien mit höchst genauer Prozessführung ermöglichen leichte Bauteile von hoher Steifigkeit. Um dies für Serienfahrzeuge zu gewährleisten, unterhält BMW eine Gießerei in Landshut. Bereits 2001 wurde ihr eine eigene F1-Gießerei angegliedert. Beide Abteilungen arbeiten unter einer gemeinsamen Führung. Das garantiert den permanenten Austausch.

Mit dem gleichen Sandgussverfahren, mit dem der Formel-1-V8 entsteht, werden Ölwanne für die M-Modelle, die Sauganlage für den Achtzylinder-Dieselmotor sowie die Prototypen künftiger Motorgenerationen gegossen. Fast zeitgleich mit der Inbetriebnahme der F1-Gießerei wurde nach demselben Modell eine Formel-1-Teilefertigung an jene für Serienkomponenten angeschlossen. Dort fertigt das BMW Sauber F1 Team unter anderem die Nockenwellen und die Kurbelwellen für die Formel 1.

### **Das BMW Werk Landshut:**

#### **Integraler Bestandteil des weltweiten BMW Produktionsnetzwerks.**

Das Werk Landshut ist bereits seit 1967 integraler Bestandteil im Produktionsnetzwerk der BMW Group. Die hier gefertigten Komponenten werden an die weltweiten Motoren- und Automobilwerke geliefert und kommen in nahezu allen Fahrzeugen der BMW Group zum Einsatz - von den Motorrädern über die BMW Automobile bis zum Formel-1-Rennwagen. Rund 3.300 Mitarbeiter produzieren Zylinderköpfe und Kurbelgehäuse aus Leichtmetallguss, Instrumententafeln, Stoßfänger, Kunststoffkomponenten für das Interieur und Exterieur sowie Gelenkwellen und Austauschmotoren.

Mit der technologischen Weiterentwicklung der Automobile hat sich auch die Aufgabenstellung der Landshuter Komponentenfertigung gewandelt: Heute ist das Werk bereits frühzeitig in die Entwicklungsprozesse der Fahrzeuge eingebunden, um so noch stärker die Vorteile innovativer Werkstoffe und Fertigungsverfahren bei der Konstruktion neuer Fahrzeuge und der zugehörigen Komponenten zu nutzen.

### **Gebündelte Gießkompetenz.**

Innerhalb des weltweiten Produktionsnetzwerks der BMW Group stellt die Landshuter Gießerei die einzige Fertigungsstätte für Komponenten aus Leichtmetallguss dar. Pro Jahr fertigen die Mitarbeiter rund 1,8 Millionen

Motorkomponenten mit einem Gesamtgewicht von mehr als 30.000 Tonnen. Eine Besonderheit der Landshuter Leichtmetallgießerei: Für die Serienproduktion kommen mit dem Sandguss, Niederdruck- und Schwerkraft-Kokillenguss, Druckguss und Lost-Foam-Guss fünf verschiedene Gießverfahren zum Einsatz. In Abhängigkeit vom Motorenkonzept, den technologischen Anforderungen und dem Produktionsvolumen wählen die Gießereispezialisten das jeweils geeignete Gießverfahren, um das Optimum für die Motoren zu erreichen.

### **Das Sandguss-Technikum.**

Das Sandguss-Technikum ist nicht nur die Produktionsstätte für die Zylinderköpfe und Kurbelgehäuse der BMW Formel-1-Motoren, sondern auch ein hoch spezialisiertes Prototypenzentrum für die Entwicklung zukünftiger Serienkomponenten. Die Zylinderköpfe und Kurbelgehäuse für nahezu jeden BMW Serienmotor wurden und werden in der Entwicklungsphase im Landshuter Sandguss-Technikum hergestellt. Für deren Fertigung haben die Spezialisten im Technikum das bereits seit mehreren tausend Jahren bekannte Sandgussverfahren kontinuierlich weiterentwickelt. Charakteristisch für dieses Verfahren ist eine besonders große Konstruktionsfreiheit verbunden mit einer hohen Änderungsflexibilität und kurzen Durchlaufzeiten. Dabei wird das flüssige Aluminium in ein komplexes Sandpaket eingegossen, das als Negativform aus bis zu 30 verschiedenen, ausgehärteten Sandkernen zusammengesetzt ist.

Um die Herstellung der Sandkerne aus Sand und Kunstharzbinder zu beschleunigen, kommen im Sandguss-Technikum speziell für diese Anwendung innovative Rapid-Prototyping-Technologien zum Einsatz. Diese ermöglichen es, mit Hilfe computergesteuerter Verfahren die Sandkerne ohne den Einsatz von Werkzeugformen direkt aus den Konstruktionsdaten der Motorkomponenten herzustellen. Die Landshuter Gießerei setzt die Rapid-Prototyping-Technologien auch zur Fertigung von Sandkernen für Prototypen- und Versuchsmotoren ein, was zu einer deutlichen Verkürzung der Erprobungsprozesse in der Entwicklung von Serienmotoren beiträgt.

Zur Überprüfung von Komponenten für die Formel-1-Motoren und Versuchsmotoren kommt das aus der Medizin bekannte Verfahren der Computertomografie zum Einsatz. Es ermöglicht die zerstörungsfreie Erfassung der Innen- und Außenkonturen von Motorkomponenten. Durch den Abgleich der Messdaten mit den Konstruktionsdaten kann beispielsweise überprüft werden, ob der Zylinderkopf maßhaltig ist und der eingesetzte Gießprozess die Qualitätsanforderungen erfüllt.

Diese Technologien finden ihre Anwendungen auch in der Fertigung des V8-Triebwerkes des BMW M3.

### **Der Antrieb:**

#### **Faszination V8 – Kraftpaket mit Idealmaßen.**

Ein außergewöhnlicher Motor für einen außergewöhnlichen Sportwagen: Das V8-Triebwerk für den neuen BMW M3 hebt den Fahrspaß, den der High-Performance-Zweitürer der BMW M GmbH vermittelt, in bisher unerreichte Dimensionen und beantwortet damit die Frage der Sportwagenfans, ob eine Steigerung noch möglich ist, auf begeisternde Weise. Nach 15 Jahren und zwei Modellgenerationen hat der epochale Sechszylinder-Motor – mehrfach mit dem Titel „Engine of the Year“ ausgezeichnet und zuletzt 252 kW/343 PS stark – nun seinen Nachfolger gefunden. Das Achtzylinder-Triebwerk im neuen BMW M3 bietet mehr Zylinder, mehr Hubraum, mehr Leistung, mehr Drehzahl – und sorgt so auf Anhieb für ein Mehr an Begeisterung. Die Kombination dieses Antriebs mit dem einzigartigen Fahrzeugkonzept, das dem BMW M3 zugrunde liegt, steckt voller Faszination.

Die technischen Daten des neuen Hochleistungstriebwerks belegen den enormen Fortschritt, der mit diesem Wechsel verbunden ist. Sein Hubraum beträgt 3 999 cm<sup>3</sup>, seine Leistung 309 kW/420 PS bei 8 300 min<sup>-1</sup>. Das maximale Drehmoment von 400 Newtonmetern beeindruckt ebenso wie die Höchstdrehzahl von 8 400 min<sup>-1</sup>. Vom Start weg setzt sich der neue BMW M3 mit imponierender Performance an die Spitze. Innerhalb von nur 4,8 Sekunden erreicht er aus dem Stand eine Geschwindigkeit von 100 km/h, erst bei 250 km/h setzt die Motorelektronik dem Beschleunigungsdrang des Zweitürers ein Limit. Neben diesen Fahrleistungswerten und der spezifischen Leistung von 105 PS je Liter Hubraum ist auch der im EU-Testzyklus ermittelte Durchschnittsverbrauch von 12,4 Litern je 100 Kilometer Ausdruck der Ingenieurskunst der Motorentwickler der BMW M GmbH.

#### **Idealmaße für optimale Performance.**

Mit einem Volumen von 500 cm<sup>3</sup> je Zylinder erfüllt das neue V8-Triebwerk bereits in seinen Hubraum-Maßen die Idealvorstellung anspruchsvoller Motorenkonstrukteure. Ein ähnlich leistungsstarker Sechszylinder hätte von dieser Idealgeometrie eines Sportmotors abweichen müssen. Das neue V8-Aggregat hingegen stellt in seinen Abmessungen, den Füllmengen, der Bauteile-Anzahl und dem Eigengewicht das theoretische und praktische Optimum dar.

Darüber hinaus besitzt der Achtzylinder die M spezifischen Eigenheiten wie Doppel-VANOS, Einzeldrosselklappen und eine leistungsstarke Motorelektronik. Zugleich deuten Zylinderanzahl, das M Hochdrehzahlkonzept

und das geringe Gewicht unverkennbar darauf hin, dass sich seine Ingenieure vom Achtzylinder-Motor des BMW Sauber F1 Teams haben inspirieren lassen. Die Gemeinsamkeiten mit dem aktuellen Triebwerk der Marke in der Formel 1 sind vielfältig. Auch werden diverse technologische Grundprinzipien, Fertigungsverfahren und Materialien aus dem Formel-1-Motor für den Antrieb des neuen BMW M3 übernommen. Ein Unterschied aber wird immer bleiben: Der BMW M3 wird nicht nur an Rennwochenenden hart beansprucht. Sein High-Performance-Triebwerk arbeitet zuverlässig jeden Tag, auf allen Straßen, bei jeder Witterung und in jahrelangem Einsatz.

### **Hochdrehzahlkonzept sorgt für unübertroffene Schubkraft.**

In seiner spezifischen Leistung überschreitet der neue V8-Motor die als Maßstab für besonders sportliche Kraftentfaltung geltende Marke von 100 PS je Liter Hubraum deutlich. Doch Leistung ist nicht alles. Das fahrdynamische Erlebnis wird entscheidend vom Beschleunigungsverhalten geprägt, das wiederum sowohl vom Fahrzeuggewicht als auch von der Schubkraft beeinflusst wird. Die Schubkraft an den Antriebsrädern ergibt sich aus dem Motordrehmoment und der Gesamtübersetzung. Das M Hochdrehzahlkonzept ermöglicht eine optimale Getriebe- und Hinterachsübersetzung und damit die Umsetzung einer beeindruckenden Schubkraft. Damit stellen die Motorenentwickler sicher, dass die Spontaneität, also die blitzschnelle Reaktion des Motors auf Fahrerwünsche, den hohen Ansprüchen an das Gesamtkonzept eines M-Fahrzeugs entspricht. Entsprechend erweist sich der neue V8-Antrieb im Leistungspotenzial, in der Art der Kraftentfaltung, in seinen Abmessungen und im Gewicht als typischer M Motor.

Beim neuen BMW M3 haben die Ingenieure das Hochdrehzahlprinzip in eine neue Dimension gehoben. Die maximale Drehzahl seines Achtzylinder-Motors beträgt  $8400 \text{ min}^{-1}$ . Die zweite Komponente der Schubkraft, das Motordrehmoment, beträgt beim neuen V8-Antrieb 400 Newtonmeter bei  $3900 \text{ min}^{-1}$ . Etwa 85 Prozent des maximalen Drehmoments sind über die enorme Drehzahlspannbreite von  $6500 \text{ min}^{-1}$  hinweg abrufbar. Schon bei  $2000 \text{ min}^{-1}$  liegen 340 Newtonmeter an. Dies schlägt sich im Leistungscharakter des neuen BMW M3 nieder. Er lässt sich nicht nur extrem dynamisch bewegen, er empfiehlt sich ebenso für das zügige Cruisen über kurvenreiche Landstraßen oder im Stadtverkehr.

### **Hohe Leistung, geringes Gewicht.**

Der neue V8 ist mit nur 202 Kilogramm ein ausgesprochenes Leichtgewicht. Selbst gegenüber dem Sechszylinder-Motor des Vorgängermodells beträgt die Gewichtseinsparung rund 15 Kilogramm. Das Gewicht von zwei zusätzlichen Zylindern wurde also deutlich überkompensiert. Hinzu kommt,

dass das Hochdrehzahlkonzept prinzipiell einen leichten Antriebsstrang sowie sehr kurze Übersetzungen ermöglicht.

Gleichwohl rücken bei steigender Motordrehzahl unvermeidlich die Grenzen der Physik näher. Bei 8300 Kurbelwellenumdrehungen in der Minute – bei dieser Drehzahl wird die Höchstleistung von 309 kW/420 PS abgegeben – legt beispielsweise jeder der acht Kolben pro Sekunde einen Weg von 20 Metern zurück. Enorme Materialbelastungen treten dabei auf. Auch deshalb legten die Konstrukteure beim neuen Achtzylinder-Motor höchsten Wert auf möglichst geringe bewegte Massen.

### **Motorblock aus der Formel-1-Gießerei von BMW.**

Der Motorblock des neuen Achtzylinders stammt aus der BMW Leichtmetallgießerei in Landshut. Auch die Motorblöcke für die Formel-1-Boliden entstehen dort. Der neue V8 wird aus zwei Vierzylinder-Reihen in einem V-Winkel von 90 Grad mit einem Bankversatz von 17 Millimetern zu einem kompakten Aggregat zusammengesetzt. Der Hub der Kolben beträgt 75,2 Millimeter, die Bohrung 92 Millimeter, was den Gesamthubraum von 3 999 cm<sup>3</sup> ergibt. Das Zylinderkurbelgehäuse besteht aus einer speziellen Aluminium-Silizium-Legierung. Statt herkömmlicher Laufbuchsen wird die Zylinderlaufbahn allein durch Freilegen der harten Siliziumkristalle erzeugt. Die eisenbeschichteten Kolben laufen direkt in dieser unbeschichteten, gehonten Bohrung.

Die hohen Drehzahlen und Verbrennungsdrücke belasten das Kurbelgehäuse extrem. Es ist daher kompakt und verwindungssteif als Bedplate-Konstruktion ausgeführt, was eine sehr exakte Kurbelwellenlagerung gewährleistet. Auch die relativ kurze geschmiedete Kurbelwelle erweist sich als sehr biege- und torsionssteif. Dennoch wiegt sie nur etwa 20 Kilogramm.

Gegenüber konventionellen Systemen minimiert das Querstromkühlungskonzept des neuen V8-Motors deutlich die Druckverluste im Kühlsystem. Es verteilt die Temperatur gleichmäßig im Zylinderkopf und senkt dadurch die Temperaturspitzen in dessen kritischen Bereichen. Um jeden Zylinder optimal zu umspülen, strömt die Kühlflüssigkeit vom Kurbelgehäuse über die Auslassseite quer durch den Zylinderkopf und über die Sammelleiste auf der Einlassseite zum Thermostat beziehungsweise Kühler.

### **Acht Einzeldrosselklappen werden elektronisch geregelt.**

Der Einsatz jeweils einer Drosselklappe pro Zylinder ist nicht nur im Rennsport ein unübertroffenes Mittel, wenn es darum geht, ein möglichst spontanes Ansprechverhalten des Motors zu erzielen. Das neue Triebwerk für den BMW M3 verfügt über acht Einzeldrosselklappen. Zwei Stellmotoren

bedienen jeweils vier Drosselklappen einer Zylinderbank. Die Steuerung der Drosselklappen erfolgt vollelektronisch und blitzschnell. Dadurch wird ein feinfühliges Ansprechen des Motors im gesamten Drehzahlbereich erreicht sowie eine unmittelbare Reaktion des Fahrzeugs beim Abrufen hoher Motorleistung.

### **Strömungsoptimierte Luftansaugung.**

Für ein spontanes Dynamikverhalten des Motors sind die Drosselklappen in den Saugrohren sehr dicht an den Einlassventilen platziert. Die gesamte Ansaugluftführung des neuen Achtzylinder-Triebwerks kommt ohne die Sensorik eines Heißfilm-Luftmassen-Durchflussmessers (HFM) aus. Anstelle der Lasterfassung durch diesen aufwändigen Sensor, der überdies nachteilige geometrische Anforderungen an die Luftführung stellt, übernimmt die Motorsteuerung des V8 diese Aufgabe: Hierzu erstellt sie eine modellbasierende Lastberechnung aus den Positionen von Drosselklappe und

Leerlaufsteller, VANOS-Position, Motordrehzahl, Lufttemperatur und Luftdruck. Dadurch ergeben sich für die Ingenieure neue Freiheitsgrade bei der Gestaltung und Optimierung der Motorluftansaugung. Gleichzeitig arbeitet diese Art der Steuerung mit maximaler Zuverlässigkeit.

Länge und Durchmesser der Ansaugtrichter begünstigen die Schwingrohraufladung. Zur Gewichtsoptimierung bestehen Trichter und Luftsammler aus einem leichten Verbundwerkstoff mit 30-prozentigem Glasfaseranteil.

### **Mehr Effizienz und Dynamik dank Brake Energy Regeneration.**

Um die Effizienz des Antriebs noch weiter zu steigern, wird mit der Brake Energy Regeneration ein intelligentes Energiemanagement betrieben, das die Erzeugung von Strom für das Bordnetz auf die Schub- und Bremsphasen konzentriert. Auf diese Weise wird die Fahrzeugbatterie geladen, ohne dass dazu auf die Motorleistung und damit auf die im Kraftstoff enthaltene Energie zugegriffen werden muss. Während der Zugphasen des Motors bleibt der Generator dagegen im Regelfall abgekoppelt. Neben einer besonders effizienten Stromgewinnung führt dies auch dazu, dass beim Beschleunigen mehr Antriebskraft zur Umsetzung in Fahrdynamik zur Verfügung steht.

Weil mit der gezielten Steuerung der Stromerzeugung die Zahl der Ladezyklen ansteigt, wird die Brake Energy Regeneration mit modernen Batterien vom Typ AGM (Absorbent Glass Mat) kombiniert. Sie sind erheblich belastbarer als herkömmliche Blei-Säure-Batterien. Bei AGM-Batterien wird die Säure in Mikroglasfasermatten zwischen den Bleischichten gebunden. Ihre

Energiespeicherfähigkeit bleibt auch bei häufigem Auf- und Entladen lange erhalten.

### **Das CFK-Dach.**

#### **Ein Entwicklungs-Highlight des Landshuter CFK-Technikums.**

Bei kaum einem Karosserieelement kommt die fortschrittliche Technologie des neuen BMW M3 so offensichtlich zum Ausdruck wie beim Dach: Es besteht aus kohlefaser verstärktem Kunststoff (CFK). Dabei bleibt die Faserstruktur des Formel-1-Werkstoffs sichtbar – nur ein Klarlack überzieht die Hightech-Oberfläche.

Dem puristischen Grundsatz "Form follows function" sind die Designer und Entwickler des neuen BMW M3 bei kaum einem Bauteil so konsequent gefolgt wie beim Dach. Es besteht aus kohlefaser verstärktem Kunststoff (CFK). Dies führt zum einen zu einer Gewichtsreduzierung um etwa fünf Kilogramm, zum anderen bekräftigt das Dach durch seine in Sichtoptik gehaltene Materialstruktur den Hightech-Anspruch des gesamten Fahrzeugs.

Das Thema CFK-Komponenten ist von Beginn an im 1999 gegründeten Landshuter Innovations- und Technologiezentrum LITZ beheimatet. Dort entwickelten die Kunststoff-Spezialisten des CFK-Technikums insbesondere die Verfahrenstechnik für die Serienproduktion des Dachs. Erster Einsatz des Dachs war 2003 beim BMW M3 CSL. Bereits diese erste Version des CFK-Dachs baute BMW übrigens selbst im Werk Landshut. Damit stellten die Landshuter Leichtbau-Spezialisten nicht nur ihre Kompetenz, sondern auch Schnelligkeit und Flexibilität bei der Umsetzung technologisch anspruchsvoller Leichtbau-Innovationen unter Beweis. Es folgte Anfang 2005 der BMW M6, der serienmäßig ebenfalls ein Dach aus CFK trägt. Mit der Markteinführung des neuen BMW M3 nahm die BMW Group in Landshut eine neue hoch automatisierte Fertigungslinie für CFK-Dächer in Betrieb, um den deutlich gestiegenen Stückzahlen (nun M6 und M3) mittels industrialisierten Prozessen gerecht zu werden.

Zunächst werden mehrere CFK-Lagen vorgeformt, es entsteht der so genannte Preform. Im Anschluss wird in einer Presse im so genannten RTM-Verfahren (Resin-Transfer-Molding) in den Preform Harz injiziert. Nach der Injektion härtet das Bauteil im Werkzeug aus. In einem weiteren Prozessschritt wird das Bauteil in Teilbereichen befräst. Um dem Bauteil die spezifische und edle Carbon-Optik zu verleihen, wird es schließlich mit Klarlack lackiert, ehe es einbaubereit ins Werk Regensburg geliefert wird.

Um das CFK-Dach gemäß den hohen Qualitätsansprüchen für BMW M Hochleistungsfahrzeuge fertigen zu können, sind innovative Werkzeug- und

Verfahrenstechniken erforderlich, die im Landshuter CFK-Technikum entwickelt wurden. Diese sind Grundvoraussetzung für standardisierte und industrialisierte Prozesse bei gleichzeitig hoher Wirtschaftlichkeit. Die Konstrukteure nutzen das ursprünglich aus der Raumfahrt stammende und inzwischen in vielen technischen Sportarten - von der Formel 1 bis zum America's Cup - weit verbreitete Material, um den Schwerpunkt des neuen BMW M3 weiter abzusenken. Die Gewichtseinsparung entfällt auf den höchstgelegenen Bereich der Karosserie und wirkt sich damit besonders positiv auf die Fahrzeugdynamik aus.

Eine der Herausforderungen lag in der Elektromagnetischen Verträglichkeit, die im Automobilbau derzeit ein generelles Thema ist. Die Frage lautet: Wie können die in ihrer Zahl stetig zunehmenden Elektronikbauteile im Fahrzeug vor elektromagnetischen Störungen von außen und somit vor Fehlfunktionen geschützt werden? „Um beim M6 und M3 höchste Zuverlässigkeit zu garantieren, haben wir den Materialaufbau des CFK-Dachs neu definiert“, sagt Projektleiter Hanno Buchner.

Völliges Neuland beschritten die Spezialisten bei den M6-Stoßfängerträgern vorne und hinten, ein ebenfalls in einem vollautomatisierten Prozess produziertes CFK-Hohlbauteil. Der Clou ist eine neu entwickelte Kerntechnologie. „So etwas war noch nie da“, sagt Gotterbauer. Zur Fertigung des hohlen Profils umflechten Fasern einen Kern, der in Zusammenarbeit mit den Gießereikollegen entwickelt wurde. Die besondere Herausforderung bei der Verfahrensentwicklung war, den leicht gebogenen und bruchempfindlichen Kern beim Beflechten nicht zu beschädigen. Schließlich wird in den Faserverbund flüssiges Harz injiziert, das dem Bauteil die Festigkeit verleiht. Abschließend wird der Kern heraus gewaschen. Diese einzigartige Innovation führt im Vergleich zum 6er Coupé zu einer Gewichtsreduktion um rund elf Kilogramm pro Fahrzeug. Die erzielte Gewichtersparnis von 20 Prozent vorne und 40 Prozent hinten steigert Agilität und Handling des Fahrzeugs erheblich. Exklusiv im Fahrzeugsegment: Dach in Kohlefaser-Sichtoptik.

### **Revolutionäre Logistik: Rückverfolgbarkeit von Gussteilen.**

Gießprozesse sind durch eine Vielzahl von unterschiedlichen Eingangsgrößen und ihrer Wechselwirkungen charakterisiert. Für die Sicherstellung einer qualitätsorientierten Fertigung sind bei immer komplexer werdenden Bauteilen die Kenntnis über die Wirkungszusammenhänge zwischen Eingangs- und Zielgrößen sowie das rechtzeitige Abstellen von Fehlern durch gezielte Maßnahmen notwendig. Insbesondere bei den hoch beanspruchten Formel 1-Gussteilen ist höchstes Qualitätsniveau unerlässlich. Dies führte dazu, dass mit dem Wiedereinstieg in den Formel-1-Rennsport und mit dem Bau der

Landshuter Formel 1-Gießerei im Jahr 2001 ein innovatives Dokumentationssystem installiert wurde, um jedes einzelne F1-Bauteil mit all seinen individuellen Prozessparametern zu erfassen. Der hohe Nutzen dieses für Transparenz, hohe Reaktionsgeschwindigkeit und somit optimiertes Qualitätsniveau sorgenden Systems motivierte die Qualitätsspezialisten der Landshuter Leichtmetallgießerei, es ausgehend von der Formel-1-Gießerei auch auf die gesamte Serienfertigung zu übertragen. Damit wurde auf Basis einer vollständigen Rückverfolgbarkeit der Bauteile ein Qualitätsregelungssystem aufgebaut, innerhalb dessen die Wirkungszusammenhänge erkannt, die einzelnen Prozessparameter überwacht und bei Verlassen der vorgegebenen Grenzen auch Maßnahmen abgeleitet werden können. Zusätzlich dazu können Aussagen getroffen werden, wie folgende Prozessschritte dynamisch gestaltet werden können, um beispielsweise eine dynamische Bauteilprüfung einzuführen und Bauteile frühzeitig aus der Wertschöpfungskette zu entnehmen. Kernbestandteil der Qualitätsregelung sind die analytischen Verfahren aus dem Bereich des Data Minings. Ziel ist die Modellierung von Qualitätsgrößen aus gemessenen Prozessdaten auf Basis historischer Daten.  
Laborarbeit für die Zukunft.

Die modernen Laboreinrichtungen des FIZ ermöglichen Materialforschung auf höchstem Niveau und im Schulterschluss mit den Formel-1-Experten. Dabei kommt der Entwicklung von Beschichtungen ein großer Stellenwert zu, aber auch für die Detektivarbeit der Schadensanalyse wird das High-Tech-Zentrum genutzt.

Bei der Forschung dient oft die Luft- und Raumfahrttechnik als Ausgangsbasis. Einige viel versprechende Entwicklungen, die aus Kostengründen noch nicht für Großserien in Betracht kommen, haben im F1-Projekt bereits Verwendung gefunden. Diese Einsatzmöglichkeit neuer Technologien hilft den Ingenieuren, sie zur Serienreife weiterzuentwickeln.

### **Schnelle Modelle aus dem FIZ – Rapid Prototyping.**

Eine neue Idee, die Konzeptionsphase, der Konstruktionsvorgang, die Produktion notwendiger Werkzeuge, die Fertigung des neuen Teils, die Erprobungsphase – das ist der kosten- und zeitintensive Vorgang für Neuerungen. Weil in der Formel 1 extrem kurze Reaktionszeiten für Fortschritt und Problembewältigung gefordert sind, sucht man nach Abkürzungen. Auch hier kann die BMW Formel-1-Mannschaft auf das FIZ zugreifen, konkret auf die Abteilung Rapid Prototyping/Tooling Technology.

Sobald die benötigten Teile auf einem CAD-System konstruiert wurden, produzieren ebenfalls von Computern gesteuerte Maschinen mittels

Laserstrahlen oder dreidimensionaler Drucktechnik maßgetreue Modelle aus Harz, Kunststoffpulver, Acrylat, Wachs oder Metall. Damit können kurzfristig Einbausituationen und Wechselwirkungen simuliert werden, um vor dem endgültigen Herstellungsprozess noch Modifikationen vornehmen zu können.

### **Windkanal: Synergien zur Serie**

BMW stellt derzeit in München zwei Windkanäle fertig, die im Laufe des Jahres 2009 in Betrieb genommen werden. Einen 1:1-Windkanal und das Aerolab, das in vielen technischen Details fast baugleich ist mit jenem des BMW Sauber F1 Teams in Hinwil. Wichtigstes gemeinsames Element ist dabei die Rolling Road, eine drehbare Plattform, die unter anderem ein rotierendes, auf einem Luftkissen gelagertes Stahlband besitzt, das eine realistischere Messung der Strömungsverhältnisse im Unterboden ermöglicht.

Der Windkanal in Hinwil läuft bereits seit über vier Jahren und wird seit Oktober 2006 im Dreischichtbetrieb gefahren, d.h., dass dieser unter Extrembedingungen betrieben wird. Wegen der großen Bedeutung der Aerodynamik in der Formel 1 werden Verbesserungen von einem Rennen zum nächsten, also im Zweiwochen-Rhythmus, entwickelt.

Moderne Windkanäle sind extrem komplexe Anlagen, die dann besonders effizient betrieben werden können, wenn die Mitarbeiter ein großes Maß an Know-how und viel Erfahrung besitzen. Dieses haben sich die verantwortlichen Leute in Hinwil in den vier Jahren angeeignet. In dieser Zeit wurde eine ganze Reihe von technischen Optimierungen vorgenommen, die Verbesserungen im Bereich der Zuverlässigkeit wie auch der Messgenauigkeit gebracht haben.

Sehr wichtig ist auch eine hohe Effizienz. Wie kann man in möglichst kurzer Zeit möglichst viele Messungen machen? Und wie hält man die Kosten für den Betrieb des Windkanals möglichst niedrig?

Bereits seit einiger Zeit tauschen sich die Kollegen aus München und Hinwil regelmäßig aus, einerseits in Meetings, andererseits in Schulungen. Dabei werden Erfahrungen ausgetauscht und Empfehlungen abgegeben. Beide Seiten haben Zugriff auf ein gemeinsames Laufwerk mit wichtigen Informationen. Zudem werden die Ersatzteile gemeinsam verwaltet, was Kosteneinsparungen ermöglicht. Dieser Austausch von Erfahrungen und Informationen führt direkt dazu, dass der neue Windkanal in München effizienter und kostengünstiger betrieben werden kann.

## **Boxenstopp in Hinwil**

Zwei Jahre gaben sich die Verantwortlichen des BMW Sauber F1 Teams

Zeit, um den Aufbau des Teams abzuschließen. Dazu gehörte auch die Vergrößerung der Fabrik. Der Erweiterungsbau wurde direkt an das seit 1992 bestehende Gebäude angegliedert, wodurch die Fläche von ursprünglich 6.900 m<sup>2</sup> auf 15.600 m<sup>2</sup> (ohne Windkanal) wuchs.

So entstand Platz für zusätzliche Maschinen und Prüfstände sowie für die neuen Mitarbeiter. Von 275 im Juni 2005 stieg deren Zahl auf rund 430. Nicht wenige von ihnen arbeiteten bis zuvor in angemieteten Büro- und Industrieräumen in der nahen Umgebung.

Die Planung des Anbaus begann im Oktober 2005, bereits Anfang Februar erfolgte die Baueingabe, und Ende Juni erteilten die Behörden die Baubewilligung. Im Juli 2006 konnte mit den Aushubarbeiten begonnen werden. Ab Herbst 2007 waren die ersten Arbeitsplätze bezugsbereit.

Die Konzeption dieses auch optisch attraktiven Baus unterlag streng praktischen Gesichtspunkten. Er ist so ausgelegt, dass kurze Wege und optimale Arbeitsabläufe gewährleistet sind. Effizienz hat Priorität. So verbindet beispielsweise eine geschlossene Brücke das Konstruktionsbüro und den Windkanal.

Im Erdgeschoss befindet sich die Lastwagen-Halle. Daneben ist Platz für große Produktionsanlagen, wie etwa die Portalfräsmaschinen. Ebenfalls im Parterre stehen die Autoklaven, wogegen kleinere Maschinen im ersten Stock Platz finden.

Optisch interessant ist die zweite Etage gestaltet. Dort ist die Kohlefaser-Abteilung untergebracht, und in der Mitte werden die Formel-1-Rennwagen gewartet. Dieser zentrale Teil ist als Atrium ausgebildet, sodass die Rennwagen auch vom dritten Stock aus zu sehen sind. Dort befinden sich die Administration, das Konstruktionsbüro sowie die Fahrzeug-Elektronik.

### **Der Windkanal: Herr der Lüfte.**

Direkt neben dem Neubau steht der hochmoderne Windkanal, der im Frühjahr 2004 in Betrieb genommen wurde. Das 65 Meter lange, 50 Meter breite und 17 Meter hohe Gebäude besticht durch seine mit Glas verkleidete Fassade. Hier befinden sich die Arbeitsplätze einer ganzen Reihe von Spezialisten: Neben den Aerodynamikern sind dies Modelldesigner und Modellbauer, CFD-Ingenieure sowie andere Mitarbeiter der Aerodynamik - Abteilung. Deren Gesamtzahl stieg von 35 zu Sauber-Zeiten auf nunmehr über 80. Seit Oktober

2006 arbeitet das BMW Sauber F1 Team, genau wie die andern Topteams, im Dreischichtbetrieb rund um die Uhr.

Die Technik der Anlage ist auf dem neuesten Stand. Das gilt für alle relevanten Faktoren wie Windgeschwindigkeit, Größe der Testsektion und der Modelle, Dimensionen der „Rolling Road“, „Model Motion System“ sowie die Datenerfassung.

Der Windkanal ist als geschlossener Kreislauf ausgeführt, der eine Gesamtlänge von 141 Metern und einen maximalen Rohrdurchmesser von 9,4 Metern hat. Das Gewicht aller Stahlelemente beträgt, inklusive Ventilatorgehäuse, 480 Tonnen. Der einstufige Axialventilator mit Rotorblättern aus Karbon nimmt bei Vollast eine Leistung von 3.000 kW auf und ermöglicht so Windgeschwindigkeiten bis zu 300 km/h. Damit keine störenden Schwingungen auf die Anlage übertragen werden, ist der Axialventilator über Schwingungsdämpfer mit einem massiven Betonsockel gekoppelt.

Das Kernstück jedes Windkanals ist die Testsektion, wo die Objekte dem Luftstrom ausgesetzt werden. Sowohl deren Querschnitt als auch die Länge der rollenden Straße sind in Hinwil besonders großzügig ausgelegt und bieten damit optimale Voraussetzungen für genaue Resultate. Gearbeitet wird vorwiegend mit 60-Prozent-Modellen. Die Aerodynamiker haben jedoch auch die Möglichkeit, Messungen am 1:1-Rennwagen durchzuführen. Damit die Testobjekte nicht nur frontal, sondern auch leicht schräg bis zu einem Winkel von maximal zehn Grad angeströmt werden können, lässt sich die gesamte Messplattform drehen. Diese ist mit einem rotierenden Stahlband ausgerüstet, das die Relativbewegung zwischen Fahrzeug und Straße simuliert und synchron mit der Luftströmung läuft. Unter dem Rollband sind Wägezellen angebracht, mit denen die Radlasten gemessen werden.

Über die Technik hinaus wurde bei der Konzeption des Windkanals auch dem Erscheinungsbild große Beachtung geschenkt. Das Gebäude beeindruckt nicht bloß durch seine Abmessungen, auch die mit Glas verkleideten Fassaden unterstreichen seine Einmaligkeit als Kombination von Industriebau und Eventgebäude.

Was von außen als homogene Halle erscheint, besteht tatsächlich aus zwei klar abgetrennten Gebäudeelementen: dem eigentlichen Windkanal und einem Trakt mit Arbeitsräumen und einer Eventplattform, wo Partner und Sponsoren Marketingveranstaltungen, Kundenevents oder Seminare in einem einzigartigen Ambiente durchführen können. Die Galerie im ersten Stock bietet 150 Personen Platz.

Aus optischen Gründen liegt die Mittelachse der Windkanalverrohrung mehr als acht Meter über dem Boden. Mit Ausnahme der Messstrecke, die in eine Betonkonstruktion eingebettet ist, „schwebt“ der aus Stahlelementen zusammengefügte Kreislauf in der Halle.

Die beiden Bereiche werden durch eine Glaswand getrennt, sodass der optische Bezug erhalten bleibt, die Lärmemissionen des Windkanals aber wirkungsvoll abgehalten werden.

### **Der neue Supercomputer – Albert3.**

Im Dezember 2006 stellte das BMW Sauber F1 Team den Supercomputer Albert2 vor. Schon die 21 Tonnen schwere Anlage für CFD-Berechnungen basierte auf Intel-Technologie (bestehend aus Prozessoren, Hauptplatine, Chipset und Servergehäuse) und war bei ihrer Inbetriebnahme eine der leistungsstärksten in der Formel 1. Albert2 verfügte über 256 Knoten mit je zwei Intel® Xeon® 5160 Dualcore Prozessoren (zwei Rechnerkerne pro Prozessor). Daraus ergaben sich total 1.024 Prozessorkerne. Die Kapazität des Hauptspeichers betrug 2.048 GByte, die maximale Rechenleistung 12,28 TFlops (12.288 GFlops). Eine Ergänzung um 32 Knoten auf insgesamt 288 Knoten bzw. 1.152 Prozessorkerne erfolgte kurze Zeit später.

Nun hat das BMW Sauber F1 Team die nächste Stufe gezündet und den bestehenden Rechner ausgebaut. 384 Knoten, ausgerüstet mit Intel® Xeon® E5472 Quadcore Prozessoren (vier Rechnerkerne pro Prozessor) und zugehöriger Intel-Technologie kamen zu der bisherigen Anlage hinzu, so dass der neue Supercomputer Albert3 über insgesamt 4.224 Prozessorkerne verfügt. Der Arbeitsspeicher wuchs auf 8.448 GByte, und die maximale Rechenleistung auf 50,7 TFlops. Das sind 50.700.000.000.000 Rechenoperationen pro Sekunde. Für die gleiche Rechenleistung müssten alle Einwohner der Städte München und Berlin (4,7 Millionen) während eines ganzen Jahres alle drei Sekunden zwei achtstellige Zahlen multiplizieren. Diese Leistung entspricht in der aktuellen Top-500-Liste der weltweit in Betrieb stehenden Supercomputer Rang 45 (Rang drei unter den industriell genutzten Anlagen).

Der neue Supercomputer, der wie seine Vorgänger von der Schweizer Firma Dalco entwickelt wurde und auf dem CFD-Software von Ansys-Fluent läuft, hat ein Gesamtgewicht von 38 Tonnen und findet auf einer Fläche von lediglich 24 Quadratmetern Platz.

Genutzt werden die enormen technischen Möglichkeiten von Albert3 für Analysen im Bereich der Aerodynamik. Mit seiner Hilfe berechnen die Spezialisten Teile für den Formel-1-Renner. Dabei werden Gitternetz-Modelle

verwendet, die oft aus mehr als 100 Millionen Zellen bestehen. CFD (Computational Fluid Dynamics) spielt insbesondere eine wichtige Rolle bei der Entwicklung von Front-, Heck- und Zusatzflügeln sowie auch bei der Motor- und Bremskühlung.

Die computergestützte Strömungssimulation steht nicht in Konkurrenz zur Arbeit im Windkanal, sondern ergänzt diese. „Ein großer Vorteil von CFD liegt darin, dass man die Luftströmung visuell darstellen kann und dadurch versteht, warum ein Teil besser ist als ein anderes“, erklärt Willem Toet, Head of Aerodynamics.

BMW Motorsport Direktor Mario Theissen sagt: „Im Gegensatz zu andern Teams planen wir nicht den Bau eines zweiten Windkanals, sondern werden in Zukunft weiter auf die stetig wachsenden Möglichkeiten im Bereich der Simulation setzen.“

Auf beiliegender CD Rom sind die Pressemitteilung sowie umfangreiches Bildmaterial gespeichert.

Weitere Information zum BMW Sauber F1 Team auf der Media-Website [www.press.bmw-motorsport.com](http://www.press.bmw-motorsport.com) (Pressemitteilungen, Pressemappen, Fotos, TV Footage) und auf der offiziellen Team-Website [www.bmw-sauber-f1.com](http://www.bmw-sauber-f1.com) (Auto, Saison, Race Club, Teaminformationen).

Weitere Informationen über die Technologiekommunikation der BMW Group finden Sie unter [www.press.bmwgroup.com](http://www.press.bmwgroup.com).

Hanspeter Brack, Leiter Presse und Öffentlichkeitsarbeit BMW Sauber F1, Hinwil  
Telefon: +41-44-937-9450, [Hanspeter.Brack@bmw-sauber.com](mailto:Hanspeter.Brack@bmw-sauber.com)

Benjamin Titz, BMW Sportkommunikation, Formel 1  
Telefon: +49-89-382-22998, Fax: +49-89-382-27563, [Benjamin.Titz@bmw.de](mailto:Benjamin.Titz@bmw.de)

Julian Friedrich, Leiter Presse und Öffentlichkeitsarbeit Landshut  
Telefon: +49-871-702-3232, [Julian.Friedrich@bmw.de](mailto:Julian.Friedrich@bmw.de)

Daniel Kammerer, BMW Group Technologiekommunikation  
Telefon: +49-89-382-25506, Fax: +49-89-382-27563, [Daniel.Kammerer@bmw.de](mailto:Daniel.Kammerer@bmw.de)