LOGISTIK IM NEUEN BMW-WERK LEIPZIG

Staplerfreie Montage per FTS

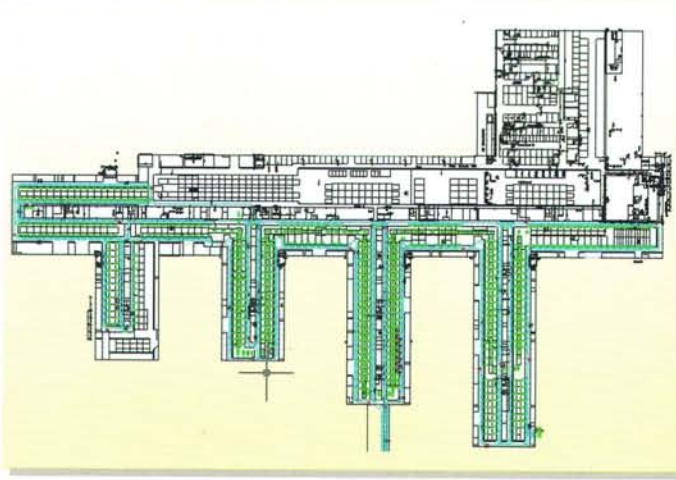
Im neuen BMW-Werk in Leipzig werden mittelfristig täglich bis zu 650 Fahrzeuge der 3er-Reihe gebaut. Im Bereich der Teileversorgung übernimmt erstmals in der Geschichte der Automobilindustrie ein Fahrerloses Transportsystem (FTS) umfangreiche Logistikfunktionen.

■ *Dr.-Ing. Günter Ullrich*

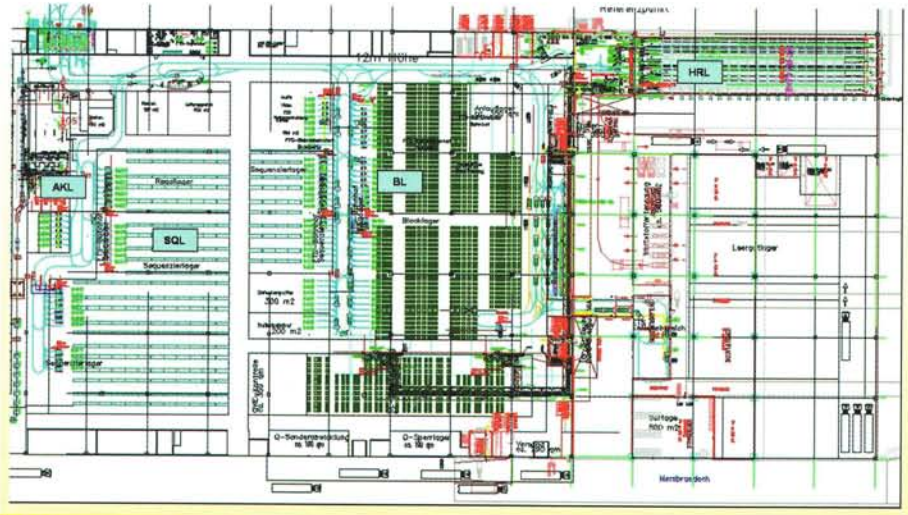
Flexibilität für mehr Nachhaltigkeit

Die Vision der Nachhaltigkeit bedeutet für BMW die Schonung von Ressourcen und die Sicherung der Zukunftsfähigkeit. Um dieser Vision gerecht zu werden, wurde das Werk Leipzig so gebaut, dass Erweiterungen und strukturelle Veränderungen jederzeit mit relativ geringem Aufwand realisierbar sind. Beispiele dafür sind überall zu finden, so auch in der Fahrzeugmontage.

Das Layout der Montagehalle (Bild ❶) ähnelt einer Hand mit vier Fingern. Jeder der unterschiedlich langen Finger lässt sich, etwa wenn sich Arbeitsinhalte ändern oder Arbeitstakte hinzukommen sollten, leicht verändern oder erweitern. Für die Teileversorgung der Montage wurden für das Werk Leipzig folgende Standardprozesse definiert:



❶ **Layout der Montagehalle im BMW-Werk Leipzig**



❷ **Anordnung der vier Lagertypen im Versorgungszentrum Ost**

Direktanlieferung per LKW: Große Teile mit geringer Komplexität (z. B. Bodenmatte oder Kofferraumverkleidung) werden per Lkw zeitnah und in unmittelbare Nähe des Verbauortes angeliefert. Für die Direktanlieferung stehen derzeit 36 Direktanliefertore zur Verfügung, die innerhalb nur eines Werktages versetzt werden können.

Modulanlieferung per EHB: Große und komplexe Baugruppen (z. B. Cockpit) werden direkt auf dem Werksgelände von externen Lieferanten oder BMW-Mitarbeitern montiert. Eine Elektrohängebahn (EHB) bringt die Module dann in Sequenz an den Verbauort in der Montagehalle.

Lagerware per FTS: Die Mehrzahl der Teile wird im Versorgungszentrum Ost gelagert, kommissioniert und mit Fahrerlosen Transportfahrzeugen (FTF) an die jeweiligen Verbauorte in der Montage gebracht.

Im Versorgungszentrum Ost werden Lagerteile in vier unterschiedlichen Lagertypen bevorratet (Bild ❷): Kleinteile befinden sich in einem automatischen Kleinteilelager (AKL). Ein Hochregallager (HRL) ist für Teile konzipiert, die in großer Anzahl verbaut werden und in DIN-Behälter passen. Im Blocklager (BL) werden Teile gelagert, die so sperrig sind, dass sie nicht in die DIN-Behälter passen und damit nicht HRL-fähig sind. Für bestimmte variantenstarke Teile schließlich gibt es noch das Sequenzlager (SQL).

Struktur des FTS

Das FTS bedient alle vier Lagertypen und bringt die Teile an die jeweiligen Verbauorte in der Montage. Das gesamte Streckenlayout hat eine Länge von 14,5 km mit rd. 400 Bahnhöfen. Für die Teileversorgung sind derzeit 74 FTF im Einsatz. Die kompakten Dreirad-Fahrzeuge (L × B × H = 2400 mm × 800 mm × 380 mm) werden von einem Drehstrom-Radnabenmotor angetrieben und gelenkt. Als Ladehilfsmittel werden mehr als 2000 Rollwagen in zwei unterschiedlichen Ausführungen eingesetzt (Bild ❸). Je FTF werden entweder zwei kleine Rollwagen zur Aufnahme von Behältern bis DIN-Größe oder ein sog. übergroßer Rollwagen zur Aufnahme von Großbehältern eingesetzt. Eine Ausnahme bilden die Sequenziergestelle aus dem Sequenzlager mit Sonderaufbauten.

Die Rollwagen wurden unter ergonomischen Gesichtspunkten neu konstruiert, um eine einfache manuelle Rangierbarkeit sowie eine leichte Materialentnahme in der Montage zu ermöglichen. Weitere Ent-

❸ **Fahrzeuge mit unterschiedlichen Lastaufnahmemitteln**

wicklungsziele betrafen die mechanische Schnittstelle zum FTF sowie eine lange Lebensdauer.

Um einen Rollwagen zu transportieren, wird dieser vom FTF unterfahren und angehoben (Bild ❹). In Hauptfahrtrichtung fahren die Fahrzeuge mit einer maximalen Geschwindigkeit von 1,2 m/s. Den Personenschutz und die Hinderniserkennung übernimmt dabei ein Laser-Scanner, der den Bereich vor dem Fahrzeug überwacht. Rückwärts fahren die Fahrzeuge lediglich, um zu positionieren, und zwar mit maximal 0,3 m/s und eingeschaltetem akustischen Warnsignal. Eine Tritt-Schaltleiste, die an der Rückseite des Fahrzeuges angebracht ist, verhindert, dass Mitarbeiter vom rückwärts rangierenden Fahrzeug verletzt werden.

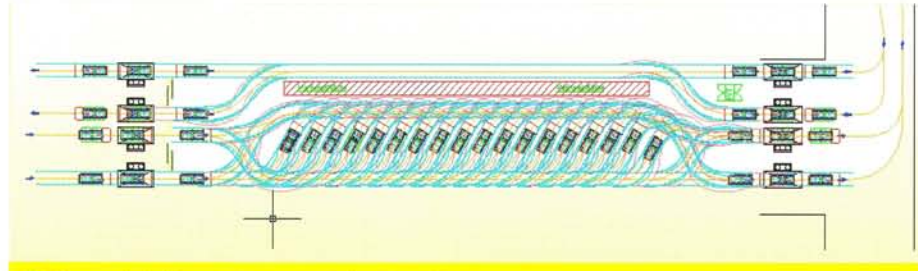
Sog. Line-Runner ermitteln den Teilebedarf in der Montage. Sie scannen den Barcode der leeren Behälter (HU = Handling Unit) in der Montage ein. Per WLAN wird der Abruf in das SAP-System übertragen, wodurch automatisch ein entsprechender Auftrag an das jeweilige Lager generiert wird. Die gesamte Material-Wiederbeschaffung dauert je nach Priorität von 20 min bis zu maximal 2 h.

Die ausgelagerte Ware wird in einer Gitterbox oder auf einer Palette an einem der 65 FTS-Bahnhöfe bereitgestellt und dort auf einen leeren Rollwagen gebracht. Per Scanner wird die HU-Nummer mit der aktuellen Bahnhofsadresse (Quelle) verheiratet. Der Ziel-Bahnhof wurde bereits mit der Bedarfsanforderung durch den Line-Runner festgelegt.

Um die Transportwege in der weitläufigen Montagehalle zu reduzieren, ist das Steckenlayout in drei Standardrouten aufgeteilt. Bei der Auslagerung aus dem HRL, aus dem 60 % der Transporte erzeugt werden, wird systemseitig geprüft, ob zeitnah weitere Transporte für die eine der drei Routen aus dem AKL und BL anliegen. Ist dies der Fall, findet eine sog. „Pärchenbildung" statt, d. h., auf einem FTF werden gleichzeitig Teile aus unterschiedlichen Lagern transportiert. Die Zuordnung dieser Pärchen erfolgt am Dispositionspunkt. Hier stehen bis zu zehn FTF in Warteposition und können wahlfrei für die anstehenden Aufträge herangezogen werden.

Versorgungszentrum und Montage sind mit einer Brücke verbunden. Das Niveau der Brücke erreichen die FTF über jeweils vier Heber an den Brücken-Enden. Auf der Brücke befinden sich auch die automatischen Batterieladestationen (Bild ❺). Hier werden die Batterien der Fahrzeuge auf der Rückfahrt von der Montage in das Versorgungszentrum nachgeladen.

❹ **FTF bei der Aufnahme eines Rollwagens**



❺ **Batterieladestationen auf der Brücke**

In der Montage hat jeder Takt einen eigenen Abgabebahnhof mit jeweils zwei Haltepositionen (Bild ❻). Je nachdem, ob der vordere oder der hintere Rollwagen vom FTF abgesetzt werden soll, wird die entsprechende Halteposition angefahren.

Der Line-Runner verschiebt den vollen Rollwagen vom FTF auf den Montageplatz und gibt einen leeren oder mit Wertstoffen beladenen Rollwagen wieder auf. Per Fußtaster am FTF wird der Rückweg bzw. die

www.fts-kompetenz.de

Weiterfahrt gestartet. Zurück geht es wieder über die Brücke in das Versorgungszentrum Ost bzw. zur Leerguthalle, wo die Wertstoffentsorgung erfolgt.

Für den Teileabruf aus dem Sequenzlager wurde ein abweichender Prozess definiert. In den Sequenziergestellen werden verschiedene Varianten spezieller Teilefamilien gemäß Montagereihenfolge kommissioniert und manuell an den dafür vorgesehenen FTF-Bahnhöfen bereitgestellt.

7 FTF bei der Aufnahme eines Sequenziergestells (Fotos: BMW)

Da jedes Sequenziergestell nur für eine bestimmte Teilefamilie geeignet ist, verschlüsselt eine Festcodierung jedes Gestell in Bezug auf Teilefamilie und Verbauort (Ziel). Diese Codierung wird von den Fahrzeugen erkannt.

Die Transporte der Sequenziergestelle haben immer eine hohe Priorität (Bild 7). Leere Sequenziergestelle werden nicht zur Leerguthalle, sondern zum Ausgangspunkt in der Sequenzierzone zurück gebracht.

Wirtschaftlichkeit

Bereits in der Frühphase der Planung wurden Wirtschaftlichkeitsrechnungen und Simulationen durchgeführt. Manuelle Fahrzeuge, wie etwa Schleppzüge, waren die wesentlichen Wettbewerber des FTS. *Nikolaus Bauer*, Leiter Logistik IT, war als Gesamtprojektleiter auch für diesen Bereich verantwortlich: „Für den langen Weg vom Versorgungszentrum Ost zur Montage über die Brücke hatten wir auch eine Materialautobahn mit konventioneller Fördertechnik untersucht. Und in der Montage lautete unsere Prämisse ‚Kein Staplerverkehr!' Das FTS hat uns letztlich überzeugt. Die Durchgängigkeit des Konzepts und die Nachhaltigkeit aufgrund der Flexibilität, der Zuverlässigkeit und des Ausbleibens von Beschädigungen an peripheren Einrichtungen sind die Hauptvorteile des FTS. Außerdem wiesen unsere Wirtschaftlichkeitsrechnungen bei der FTS-Lösung die höchste Rendite aus."

Der Auftrag für das FTS wurde im März 2003 vergeben. Die Entscheidung fiel auf den österreichischen Hersteller TMS Automotion GmbH aus Linz, der nicht nur durch den günstigsten Preis, sondern auch durch fundierte Fachkompetenz überzeugte. Während der Projektrealisierung wurde die Entscheidung bestätigt. *Nikolaus Bauer*: „Auf so einer Großbaustelle ist es nicht einfach, die vielen Anlagenlieferanten zu koordinieren, die teilweise zu wenig Qualitätsüberwachung durchführen. Mit unserem FTS klappte alles vorbildlich, weil der Lieferant getestete Fahrzeuge auf die Baustelle lieferte, so dass es hier zu keiner Verlängerung der Inbetriebnahmezeit kam."

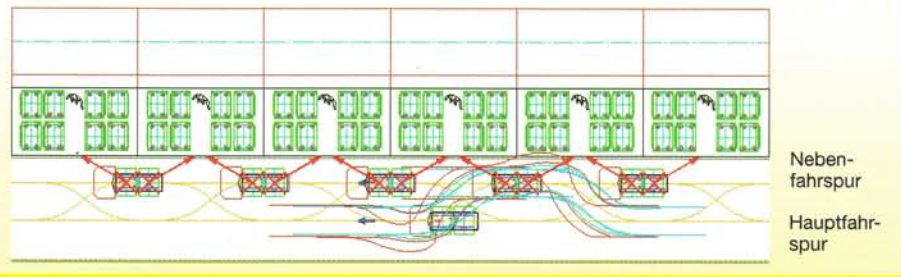
Nach den Vorabnahmen im Juli 2004 hat TMS Automotion das Personal von der Baustelle abgezogen. Dadurch konnte die BMW-Wartungsmannschaft schon vor dem SOP (Start of Production) im März 2005 den selbstständigen Umgang mit dem FTS, d. h. seine Bedienung und Wartung, erlernen. Das System läuft heute mit extrem hoher Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit und trägt damit seinen Teil zum Erfolg der neuen 3er-Reihe von BMW bei.

Detaillösungen im FTS-Projekt

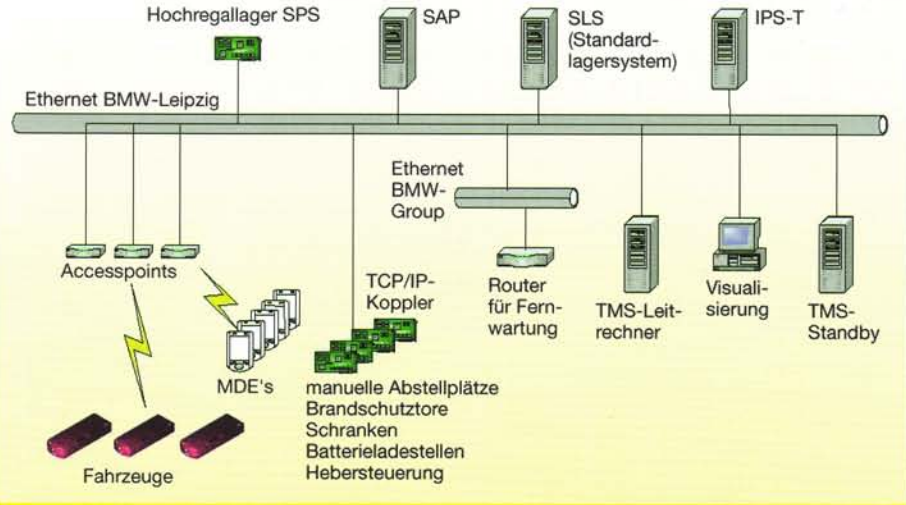
Navigation

Die FTF finden ihren Weg mit Hilfe der sog. freien Navigation, die ohne physikalische Leitspuren im Boden auskommt und nach einem kombinierten Prinzip aus Kopplung und Peilung arbeitet. Kopplung bedeutet die Auswertung von fahrzeuginternen Sensoren (Messräder und ein faseroptischer Kreisel), wodurch der zurückgelegte Weg mitsamt Kurven bestimmt wird. Etwa alle 5 m wird gepeilt. In diesem Abstand sind – über das gesamte Layout verteilt – 3000 kleine Dauermagnete im Boden eingelassen. Diese zylindrischen Magnete haben einen Durchmesser von 20 mm und sind 10 mm hoch. Sie werden beim Überfahren von einer Magnetsensorleiste, die an der Unterseite des Fahrzeuges befestigt ist, erkannt und ausgewertet. Bei jeder Peilung werden aufgetretene Fahrfehler, die durch Schlupf der Räder oder durch Veränderungen des Raddurchmessers auftreten können, korrigiert. Die Vorteile dieser Magnet-Navigation liegen in der Zuverlässigkeit und Flexibilität bei zukünftigen Layoutanpassungen.

Die Umsetzung der freien Navigation war im BMW-Werk Leipzig notwendig, da



6 Fahrspuren an den Haltepositionen in der Montage



8 EDV-Anbindung des FTS (Bilder: TMS, BMW)

das Streckenlayout durch viele sich überschneidende Kurvenradien gekennzeichnet ist. Mit Leitdraht oder anderen physikalischen Leitspuren ist eine solche Streckenführung nicht realisierbar. Zudem sind die Genauigkeitsanforderungen an den Bahnhöfen der Montage sehr hoch. Mit der kreiselunterstützten Magnetnavigation positionieren die FTF innerhalb von nur ± 7 mm.

Energiekonzept

Die FTF sind mit schnellladefähigen NiCd-Batterien ausgestattet (104 Ah bei 24 V). Das bedeutet, dass sie nicht wie konventionelle Bleibatterien vollständig entladen und dann wieder ganz aufgeladen werden müssen. In dieser Anwendung sind Zwischenladungen, d. h. kurzes Aufladen mit hohem Ladestrom, in den Ablauf integriert. Auf jeder Rückfahrt über die Brücke halten die FTF rd. 6 min auf im Boden eingelassenen Kupferkontakten und bekommen automatisch die Energie nachgeladen, die sie für den nächsten Einsatz benötigen.

Während einer Rundfahrt verbrauchen die Fahrzeuge nur rd. 20 % der gepufferten Energie – so ist immer genügend Reserve vorhanden. Die Batterien müssen nicht getauscht werden, und die Fahrzeuge sind rund um die Uhr einsatzfähig. Ein weiterer Vorteil dieser Batterietechnik ist die hohe Leistungsdichte und damit der geringe Platzbedarf im Fahrzeug. Das erweist sich gerade bei den im BMW-Werk Leipzig eingesetzten sehr niedrigen Fahrzeugen als sehr praktisch.

Leitsteuerung

Die FTS-Leitsteuerung (TMS-Leitrechner im Bild 8) ist der stationäre, übergeordnete Koordinator der Fahrerlosen Transportfahrzeuge. Sie ist über das BMW-Ethernet-Netzwerk und den hausinternen WLAN-Breitbandfunk sowohl mit den Fahrzeugen (als Auftragausführende) als auch mit dem SAP-System (als maßgeblicher Auftraggeber) verbunden. Die FTS-Leitsteuerung kommuniziert auf diese Weise ebenso mit den peripheren Einrichtungen, wie Heber, Batterie-Ladestationen und Brandschutztore.

Eine Hauptfunktion der FTS-Leitsteuerung ist die Transportauftragsabwicklung. Alle Transportaufträge werden in einer Liste geführt und entsprechend ihrer Dringlichkeit priorisiert. Auf diese Weise wird die Reihenfolge der Auftragsabwicklung festgelegt.

Die Fahrzeugdisposition wählt nach verschiedenen Kriterien für jeden Transportauftrag ein FTF aus. Ist dies geschehen, überwacht die Fahrauftragsabwicklung die Durchführung des Auftrages. Dabei unterstützt sie das Fahrzeug auf seinem Weg bei der Bedienung der Heber und der weiteren peripheren Einrichtungen.

Die im BMW-Werk Leipzig eingesetzte FTS-Leitsteuerung zeichnet sich durch eine weitgehende Parametrierbarkeit aus, wodurch sie überaus flexibel ist. So ist es möglich, während des Betriebs durch die Veränderung von Systemparametern Optimierungen zu testen und ggf. durchzuführen. Außerdem kann eine Vielzahl von Ausnahmen, die im täglichen Betrieb vorkommen, gehandhabt werden. Damit sind die FTF fast so flexibel einsetzbar wie manuelle Flurförderzeuge.

Visualisierung

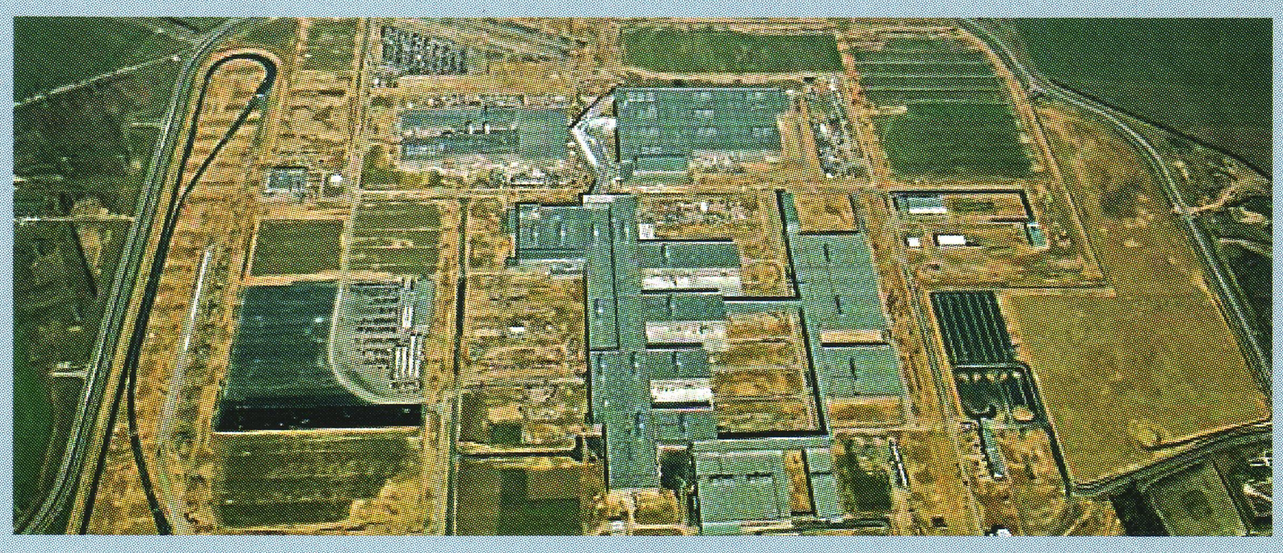
Dem TMS-Leitrechner steht ein Visualisierungs-Rechner zur Seite. Hier erfolgt eine übersichtliche Gesamtdarstellung des FTS. Alle aktiven Elemente im System – FTF, Bahnhöfe, Batterie-Ladestationen, Heber und Brandschutztore – werden mit ihrem jeweiligen Status angezeigt. Mit Hilfe von Zoom-Funktionen können diese Status-Informationen weiter detailliert werden. Für die FTF sind das z. B. die Auftragszuordnung, Transportdaten oder eventuelle Störungen. Über ein übersichtliches Maskensystem sind weitere wichtige Funktionalitäten realisiert:

- Eingabe und Pflege der erforderlichen Stammdaten
- Parametrierung des Systemverhaltens
- Beobachten und Beeinflussen des Produktionsablaufs
- Anzeige von historischen Daten
- Übersicht über vorliegende Störungen.

Die Kombination von TMS-Leitrechner und Visualisierung ergibt ein leistungsstarkes Paket zum Bedienen und Beobachten des Fahrerlosen Transportsystems.

www.fts-kompetenz.de
Tel.: 02855/933109

Kurzchronik des BMW-Werks Leipzig



Luftaufnahme der Leipziger Produktionsanlage für die 3er Reihe von BMW

(Foto: BMW)

Juni 2000	Entscheidung des Vorstands zum Bau eines neuen Automobilwerks
November 2000	Abschluss der Machbarkeitsuntersuchung und Auswahl von 50 Standorten
Februar 2001	Abschluss der vertiefenden Untersuchung und Auswahl von 24 Standorten
31. Mai 2001	Auswahl von 12 Standorten aufgrund eines umfangreichen Bewertungssystems
7. Juni 2001	Reduzierung auf 5 Standorte: Leipzig, Schwerin, Augsburg, Kolin (Tschechische Republik), Arras (Frankreich)
18. Juli 2001	Standortentscheidung für Leipzig
25. Juli 2001	Unterzeichnung Ansiedlungsvertrag
13. August 2001	Beginn Baufeldfreimachung durch die Stadt Leipzig
30. August 2001	Die BMW Group stellt sich und ihr geplantes neues Werk in der Region vor. Die ersten Auszubildenden beginnen im September mit ihrer Ausbildung in den bayerischen Werken
07. Mai 2002	Erster Spatenstich
30. Juli 2002	Beginn des Hochbaus mit der Errichtung der ersten Stützen für die Lackiererei
8. November 2002	Eröffnung des infocenter auf der Baustelle
29. April 2003	Grundsteinlegung für das Zentralgebäude
07. Mai 2003	Richtfest
30. Januar 2004	Erhalt der dritten und letzten Teilgenehmigung zur Errichtung und zum Betrieb des BMW Werks Leipzig
01. Juli 2004	Start Erprobungsbetrieb
01. März 2005	Start der Serienproduktion der BMW 3er Limousine
13. Mai 2005	Offizielle Werkseröffnung

Dr.-Ing. Günter Ullrich
ist Unternehmensberater in Voerde