

## ***Praxisbeispiel***

# **Virtuelle Fertigungsprozesse bei der AUDI AG, Ingolstadt**

**Martin Coordes,**  
Leiter Simulation Fertigungsanlauf  
AUDI AG, Werk Ingolstadt

**Dirk Wortmann**  
Vorstand SimPlan AG, Maintal

## **1. Aufgabenstellung**

Immer kürzere Produktlebenszyklen (AUDI: früher 56 Monate, heute 24 Monate), steigende Produktvarianz und -komplexität (AUDI: 1986: 2 Modellreihen, 1 Derivat; 2000: 6 Modellreihen, 10 Derivate) und zunehmender Kostendruck durch wachsenden Wettbewerb: In der Automobilindustrie müssen Produktentstehungs- und Fertigungsprozesse sowie wichtige begleitende Prozesse wie Logistik, Beschaffung/Disposition, interne und externe IT-Strukturen (bei Lieferanten und Kunden) nachhaltig verbessert werden. Die daraus resultierenden Veränderungen stellen höhere Ansprüche an die Fertigungstechnologie, erhöhen die Anzahl Teile und somit die Anforderungen an alle Prozessbeteiligten. Schließlich führen sie auch zu mehr Daten und Informationen, die wiederum höhere Anforderungen an die Beteiligten und an die Informationssysteme stellen.

Vor allem der Übergang vom Produktentstehungs- in den Fertigungsprozess, der sogenannte Anlaufprozess, ist besonders kritisch, wie verschiedene Beispiele aus der Praxis zeigen.

Um Probleme beim Anlaufprozess des neuen AUDI A4 zu vermeiden, starteten wir das Projekt „Simulation Fertigungsanlauf“ oder kurz „SiFa“, in dem die Fertigungsabläufe des Fahrzeugs vom Karosseriebau bis zur Endmontage in einem Simulationsmodell untersucht wurden.

Der Blick in den künftigen Anlaufprozess sollte Audi in die Lage versetzen, mögliche Probleme in der Fertigung frühzeitig zu erkennen und die erforderlichen Gegenmaßnahmen parat zu haben: Agieren statt Reagieren war das Ziel.

Die Projektziele:

- Absicherung und Unterstützung des Fertigungsanlaufs mittels Simulation (z. B. Volumen, Liefertreue, Lieferzeit)
- Ausrichtung der Entscheidungsabläufe für die Fertigungsanlauf-Planung und -Steuerung an den Simulationsergebnissen
- Steigerung des Simulations-Einsatzes innerhalb der Fertigungsanlauf-Planung und -Steuerung, im Serienanlauf sowie in der Serie

Nach der Simulation des Planungs- und Anlaufprozesses sollte das Modell operativ zur Prognose des Auftragsdurchlaufs und zur Untersuchung von werksweiten Strategie- und Strukturänderungen während der Serienfertigung verwendet werden.

Die Projekt-Strategie:

Eine Simulation zum Nachweis der Funktionsfähigkeit des Produktionsprozesses sowie des Material- und Informationsflussprozesses

## 2. Umsetzung

### 2.1 Randbedingungen

Um eine sichere Basis zu haben, wurde zunächst ein Simulationsmodell der bestehenden Fertigung aufgebaut, damit die Realitätsstreue des Modells anhand realer Fertigungszahlen gemessen werden kann. Ziel war es, bezogen auf die wichtigsten Kennzahlen (Durchsatz, Füllstand, Durchlaufzeit, Reihenfolgequalität etc.) eine Genauigkeit von ca. 95% zu erreichen.

Im nächsten Schritt wurden die geplanten Struktur- und Strategieänderungen zur Fertigung des neuen A4 im Modell nachvollzogen. Anhand eigens für die Simulation generierter zukünftiger Fertigungsaufträge sollte das Systemverhalten in den nächsten sechs Monaten untersucht werden.

Die Erfahrung aus früheren Anläufen zeigt, dass kritische Teile nicht nur in der Konstruktion, sondern auch aus Kapazitätsgründen oft zu Engpässen im Anlaufprozess führen. Wenn das Simulationsmodell auch keine konstruktive Unterstützung bieten konnte, so wollte man doch die Planung der Fertigungskapazitäten für Teile unterstützen und mögliche Engpässe entschärfen.

Folgende Bedingungen für das Modell ließen sich aus den Anforderungen ableiten:

- Das Modell muss die gesamte Fertigung des Werkes Ingolstadt (also alle Modellreihen) beinhalten.
- Die Betrachtung des Karossenflusses reicht nicht aus; auch der Teile- und der Informationsfluss sind einzubeziehen.
- Das Projekt ist organisatorisch so in den A4-Anlaufprozess zu integrieren, dass die Daten- und Informationsaktualität jederzeit sichergestellt ist.



## 2.2 Analyse

Um alle erforderlichen Daten und Informationen für die Abbildung der bestehenden Fertigung aufzunehmen, mussten zunächst alle Know-How-Träger ausfindig gemacht werden. Die Suche nach ihnen und die Vereinbarung von Gesprächsterminen dauerte mehrere Wochen. Oft war das Wissen über bestimmte Abläufe nur über die Anlagelieferanten zu bekommen. Und etliches war nicht dokumentiert, sondern nur in den Köpfen der Beteiligten vorhanden.

Bereits zu diesem Zeitpunkt war zu erkennen, dass eine deutliche Effizienzsteigerung in der Informationsbeschaffung erforderlich ist. Es war zu vermuten, dass auch die Informationsbeschaffung für andere Projekte einen ähnlichen Aufwand erzeugen musste. Schätzungen von Audi (und übrigens auch DaimlerChrysler) besagen, dass Planer heute ca. 30% ihrer Arbeitszeit mit Daten- und Informationsbeschaffung verbringen. Das traf auch für SiFa zu. Allein die Reduzierung dieses Anteils würde eine erhebliche Beschleunigung der Projekte und letztlich auch der Prozesse bringen.

Es wurden deshalb erste Überlegungen angestellt, wie man vorhandene Informationen und vorhandenes Wissen strukturieren kann. Für die Simulationsprojekte (immerhin mehr als 20) wurde aus diesem Grund ein Koordinator eingesetzt, der Standards für alle Projekte definiert, Umfang und Inhalte der Projekte dokumentiert sowie den Informationsaustausch zwischen den Beteiligten sicher stellt.

Für ein weiter führendes Wissensmanagement war es erforderlich, zunächst die Basis des Wissens, die Daten, in möglichst konzentrierter und einfacher Form verfügbar zu machen. Dazu musste SiFa eng in das übergreifende Projekt „Virtuelles Produkt“ (ViPro) eingebunden werden, denn für eine Vielzahl von ViPro-Teilprojekten erwartete man einen ähnlichen Wissensbedarf und somit hohen Aufwand. Das Projekt ViPro hatte zum Ziel, den Produktentstehungs- und Fertigungsprozess mit Hilfe virtueller Arbeitstechniken wie z. B. „Digital Mockup“ oder Simulationen zu unterstützen und zu beschleunigen.

SiFa ist ein Teilprojekt der virtuellen Fabrik, die auf folgender Vision basiert:

- In der virtuellen Fabrik werden sämtliche Fertigungs-, Materialfluss- und Informationsflussprozesse abgebildet, die die reale Fabrik kennzeichnen.
- Die reale Fabrik wird erst gebaut, wenn Stückzahl und Qualität virtuell erreicht wurden.
- Die virtuelle Fabrik ist zu jedem Zeitpunkt ein Abbild der realen Fabrik.

Die virtuelle Fabrik ist einer der vielversprechendsten Ansätze, um eine signifikante Verbesserung der Prozesse in Fertigungsplanung und Produktion zu erreichen. Auf Basis einer einheitlichen, möglichst unternehmensweiten Datenbank werden virtuelle Arbeitstechniken eingesetzt. Generelles Ziel dieser Techniken ist die Vorwegnahme realer Systeme mit Hilfe von Computermodellen. Anhand dieser Modelle werden schnell, risikolos und kostengünstig Wirkungszusammenhänge innerhalb des realen Systems erkannt, mögliche Systemfehler und -engpässe aufgezeigt und bereits in der Planung adäquate Lösungen erarbeitet oder optimiert.

Virtuelle Arbeitstechniken wie Ablauf-, Roboter- oder Ergonomiesimulationen werden heute bereits erfolgreich eingesetzt. Diese Techniken erhöhen zwar die Qualität des Planungsergebnisses, bremsen aber aufgrund des umfangreichen Datenbedarfs und entsprechendem Aufwand oft einen laufenden Planungsprozess, statt ihn zu beschleunigen. Den Kern der virtuellen Fabrik bildet deshalb die sogenannte Prozessplanungsdatenbank, die sicherstellt, dass alle am Planungsprozess Beteiligten jederzeit auf die aktuellen Daten zugreifen können.

SiFa stand nun vor dem Problem, dass diese Prozessplanungsdatenbank noch nicht existierte, da es eines der ersten Projekte der virtuellen Fabrik war. Zudem deckte die kommerzielle Software im Bereich der virtuellen Fabrik nur einen Bruchteil der für SiFa erforderlichen Funktionen ab.

Auch auf Seiten der Produktion fand man eine heterogene Systemlandschaft vor. In jedem Fertigungsabschnitt (Karosseriebau, Lack, Montage) wurden die Betriebsdaten anders erfasst. Das erschwerte nicht nur den Zugriff, sondern bedeutete auch, dass der Datenumfang ganz unterschiedlich gestaltet und mal mehr, mal weniger vollständig vorhanden war. Ähnliches fand man bei der Analyse weiterer Datenquellen vor. Das stand im Widerspruch zu der Idee, alle notwendigen Daten stets aktuell und ohne weiteren Aufwand per Schnittstelle zu den entsprechenden Informationssystemen in das Modell zu laden.

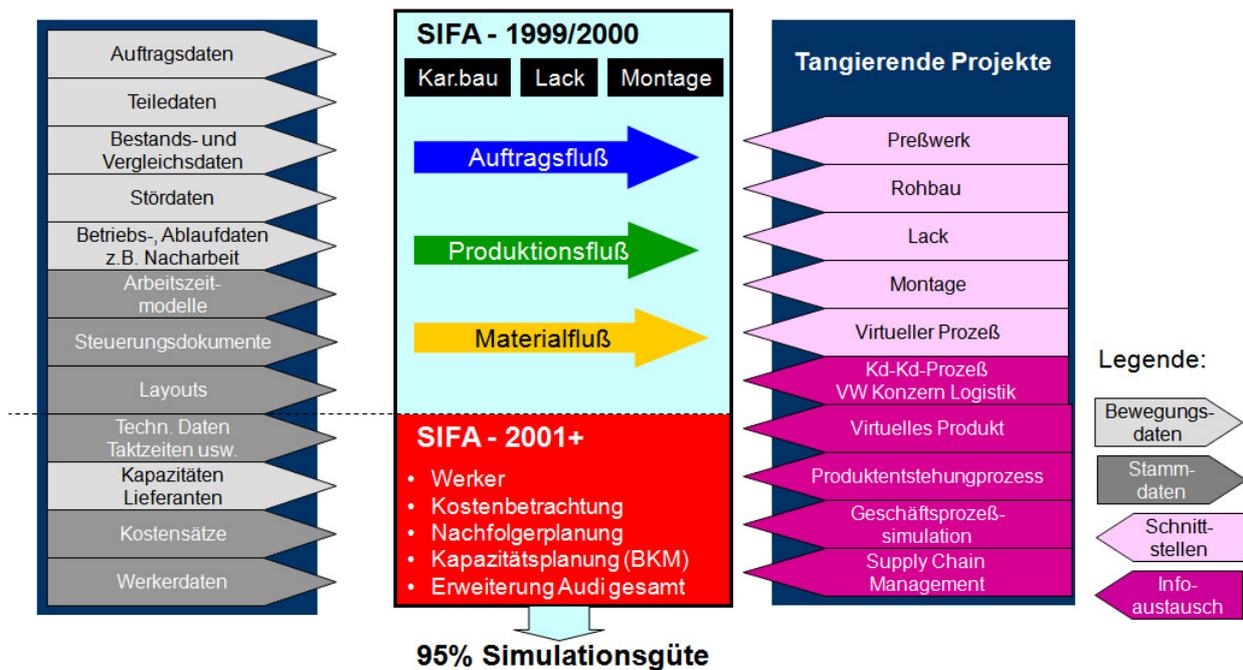


Abb. 2: Idealbild der Daten- und Projektschnittstellen SiFa

Wie Abb.2 zeigt, war auch ein enger Kontakt zu anderen Projekten erforderlich, um wechselseitig Synergien (etwa bei der Datenrecherche oder dem Aufbau von Schnittstellen) nutzen zu können. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden und für die weitere Nutzung des Modells eine effizientere Methode zur Aufnahme der Eingangsdaten zu entwickeln, entschieden wir uns für den Start eines zusätzlichen Projekts zum Datenmanagement.

Im Rahmen dieses Projekts sollten

- eine Datenbank für SiFa entwickelt werden, die aus den Daten liefernden Systemen gespeist wird und alle Ein- und Ausgangsdaten zentralisiert,
- eine werksweite, standardisierte Betriebsdatenerfassung erarbeitet werden sowie
- vorhandene Lücken in der Datenverwaltung aufgezeigt und adäquate Lösungen dazu konzipiert werden.

Schnell kam man in die Situation, dass die durch die Simulation initiierten Projekte umfangreicher und langwieriger waren als SiFa selbst. Die vorgefundenen Bedingungen zeigten, dass die Nutzung moderner Technologien wie der Simulation noch viel Grundlagenarbeit voraussetzt. Der Weg hin zur virtuellen Fabrik musste also genau an diesem Punkt beginnen: dem Aufbau einer vollständigen, möglichst homogenen und zentralisierten Datenlandschaft. Um das zu erreichen, waren organisatorische Voraussetzungen zu schaffen, dass überhaupt alle Daten entstehen.

Zur Erhebung der ersten Daten für SiFa und für den Aufbau der Datenbank musste ein aufwendiger Weg gegangen werden: Suche der Know-How-Träger oder -Gremien, Gespräche über die Analyse der vorhandenen Informationssysteme, Aufbau einer Vielzahl von Schnittstellen und Einbindung individuell erfasster Daten. Letztlich war der Aufwand für die Analyse und den Aufbau der Datenbank deutlich höher als der Aufwand für die Modellerstellung. Es bestätigte sich die Erfahrung aus früheren Simulationen bei Audi, dass das Verhältnis Datenbeschaffung zu Modellerstellung bei ca. 4:1 liegt.

Eine weitere Erfahrung ist, dass die aus den Analysen entstandene Informationsflut durch die Simulation kanalisiert wird: Entscheidungen und Handlungen, die wertvolle Informationen ergeben, werden herausgefiltert. Dies kann noch während der Analysephase direkt an die Realität zur Optimierung der Prozesse rückgekoppelt werden.

Informationen sind nur dann wertvoll, wenn sie zu Entscheidungen und Handlungen führen.

## 2.3 Modellaufbau

Auf Basis der Analyseergebnisse wurde das Modell aufgebaut. Aufgrund des Umfangs beschäftigte sich je ein Projektmitarbeiter mit der Abbildung eines Fertigungsabschnittes (Karosseriebau, Lack, Montage). Ein weiterer Mitarbeiter koordinierte die Teilentwicklungen, beschäftigte sich mit der Abbildung des Teileflusses und der Anbindung der Datenbank an das Modell.

Um einen strukturierten Zugriff auf das Modell zu ermöglichen, wurde es über vier Hierarchie-Ebenen aufgebaut. Diese Gliederung erlaubt dem Anwender die Übersicht über das ganze Werk (Ebene 1) bis zur detaillierten Sicht auf einzelne Anlagen, Arbeitsplätze oder Förderstrecken (Ebene 4).

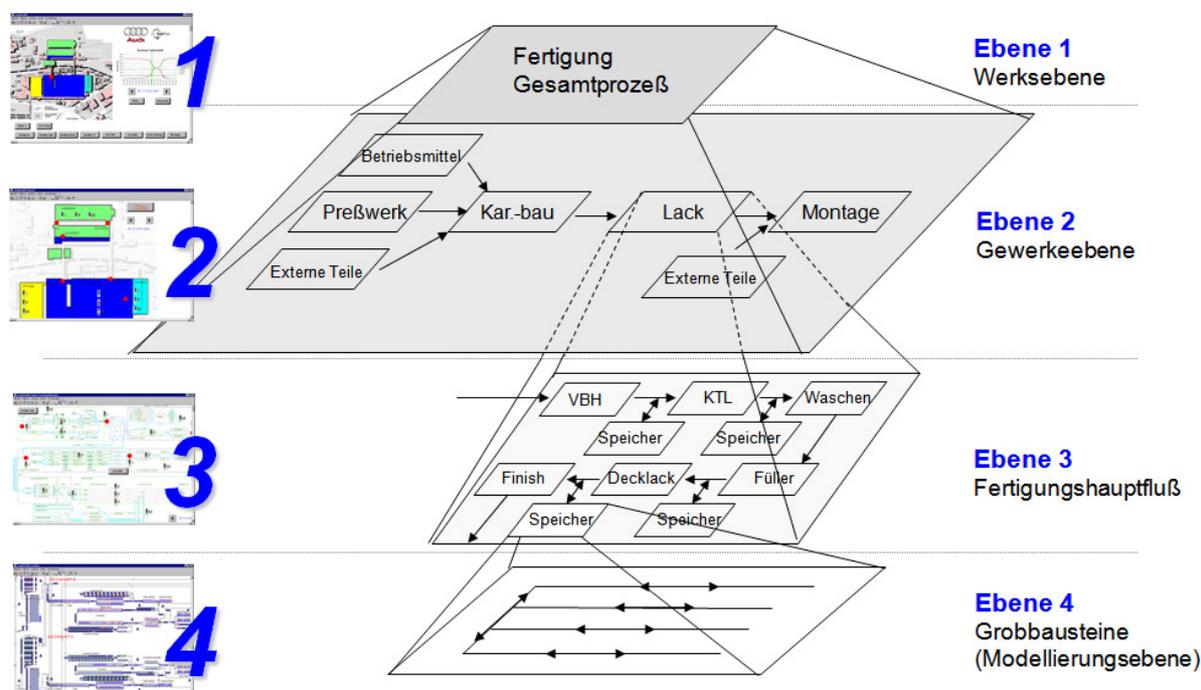


Abb. 3: Modellhierarchien

Die mit dem Modell und der Datenbank kombinierte Benutzeroberfläche ermöglicht auch Laien einen verständlichen Blick auf die Daten, Abläufe und Ergebnisse. Basis hierfür ist die SiFa-Systemstruktur.

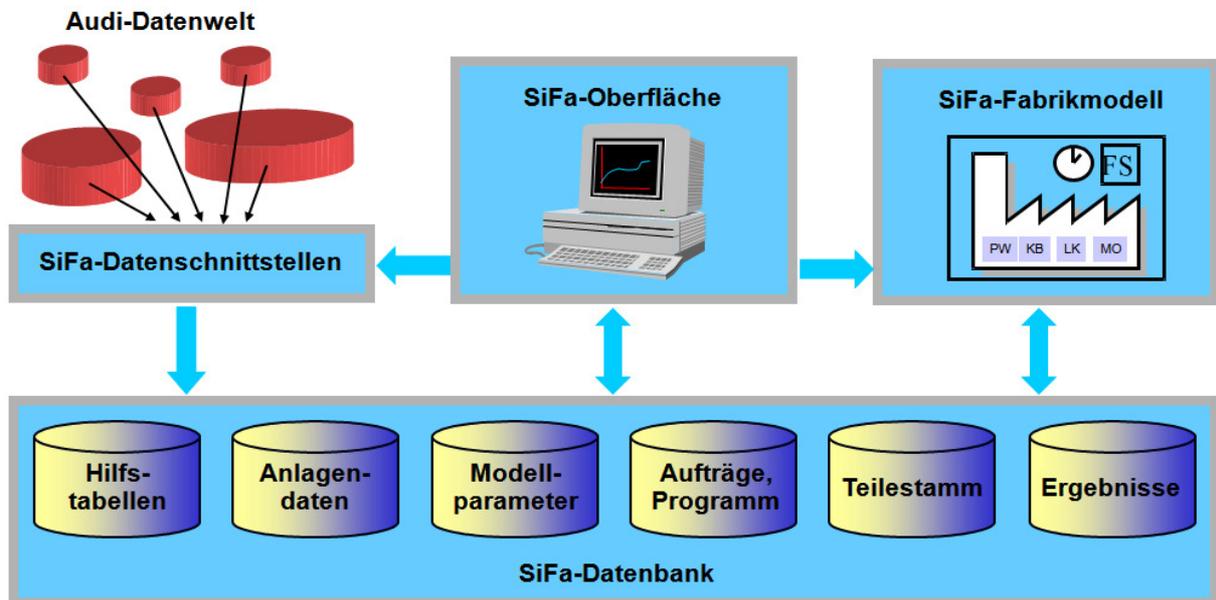


Abb. 4: Systemstruktur

### 3. Ergebnisse

Die ersten Ergebnisse, die im Rahmen der Validierung (Vergleich des Modells mit den Realwerten) entstanden, zeigten signifikante Unterschiede zwischen Simulation und Realität. Die Ursachenforschung führte auf einige Modellungenauigkeiten. Es war aber auch schnell festzustellen, dass die Eingangsdaten nicht die erforderliche Qualität hatten. Die Mängel wurden ausführlich dokumentiert, um im Rahmen des Datenmanagement-Projekts konkrete Hinweise zu den Schwachstellen in der Datenwelt zu haben.

Da aus dem Datenmanagement-Projekt erst mittel- bis langfristig Lösungen zu erwarten waren, entschied man, das Lieferanten-Empfänger-Prinzip für die Eingangsdaten einfach umzudrehen: Konnten also einzelne Anlaufkurven für die Anlagenverfügbarkeiten oder Kapazitäten und Liefertreue der Teilelieferanten nicht bereitgestellt werden, ermittelte man einfach mit Hilfe des Modells die Sollwerte. Ergebnis: Verfügbarkeits-Anlaufkurven und wochengenaue Teilebedarfskurven in Abhängigkeit von der definierten Anlaufkurve und den Vorgaben über den Mix an Produkteigenschaften über einen Zeitraum von rund sechs Monaten. Diese Ergebnisse konnten bei Änderung der Annahmen innerhalb weniger Stunden erzeugt und allen Beteiligten, einschließlich Teilelieferanten, zur Verfügung gestellt werden.

Ziel:

Die Annahmen der Simulationswelt durch Entscheidungen der Realwelt ersetzen

Über diese Werte hinaus konnte auch die Stimmigkeit der Planungsannahmen für den Anlaufprozess ermittelt werden.

Durch die Aufzeichnung jedes einzelnen simulierten Karossendurchlaufs durch die Fertigung konnten Auswertungen zu den kritischen Pfaden in der Anlage bzw. kritischen Karossen und zum Wertschöpfungsanteil durchgeführt werden.

Doch nicht nur in der eigentlichen Fertigung wurde Verbesserungspotenzial vermutet. Auch die Abstimmung der vorgelagerten Entscheidungen über Programm, Eigenschafts-Mix, Kapazitäten usw. auf die Bedingungen im Werk standen im Fokus der Untersuchungen. Da jedoch das Fertigungsmodell an dem Punkt aufsetzte, wo bereits die für die Fertigung freigegebenen Aufträge als Eingangsgröße verarbeitet werden, war hierfür eine weitergehende Analyse der vorgelagerten Geschäftsprozesse (Produktentstehungs- sowie Programmplanungs- und Auftragsabwicklungs-Prozess) erforderlich.

Mit Hilfe eines Prozessanalysewerkzeugs wurden die Abläufe erfasst und die Abhängigkeiten der vorgelagerten Prozesse des Simulationsmodells SiFa im Sinn einer Geschäftsprozess-Modellierung aus bestehenden Dokumentationen (gedruckte Unterlagen, Geschäftsprozess-Modelle usw.) dargestellt. Ausgehend von den Eingangsparametern des Simulationsmodells (z. B. Auftragsfluss) kann die vorgelagerte Prozesskette (Funktionen, Gremien, Systeme) durchwandert werden. So ist ein schneller Durchgriff, z. B. bei der Ursachenanalyse möglich.

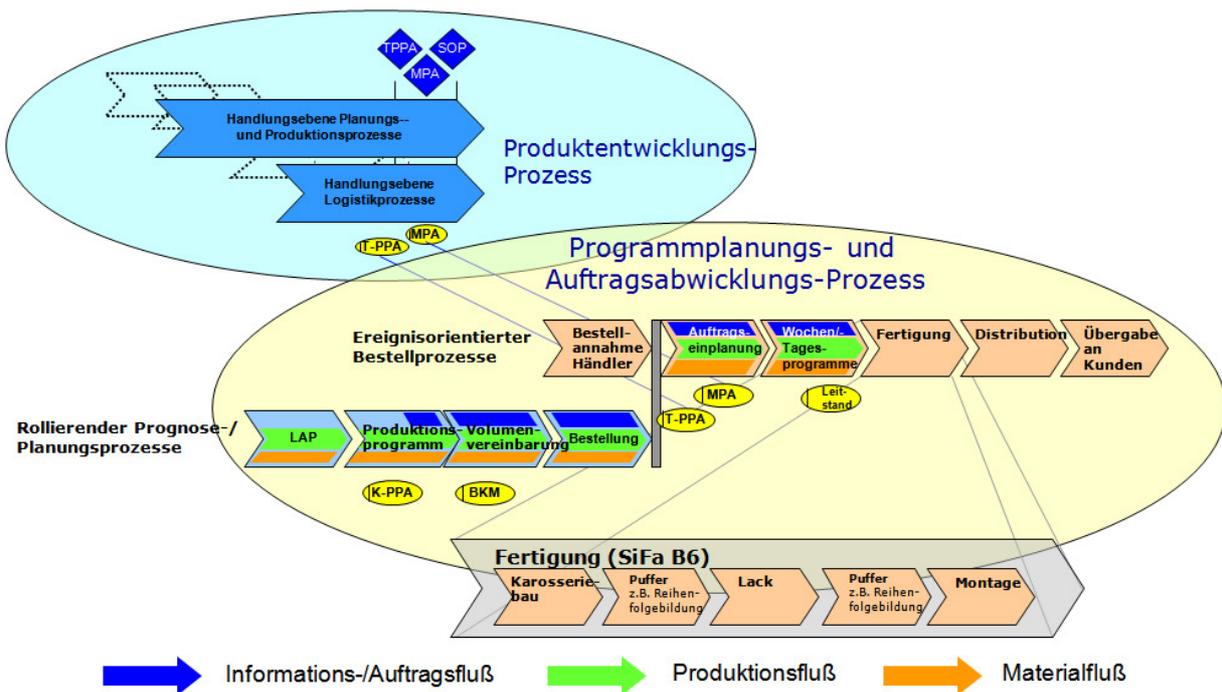


Abb. 5: Einbindung SiFa in die Prozesswelt bei Audi

## 4. Kritische Erfolgsfaktoren

Um ein Projekt, das gemessen an den Rahmenbedingungen so weit voraus ist und hohe Anforderungen an das Umfeld stellt, zum Erfolg zu führen, waren folgende Faktoren besonders wichtig:

1. Ein Projektpromotor musste dafür sorgen, dass alle relevanten Personen aus den Bereichen Fertigungsplanung, Logistik, Fertigung und IT eingebunden werden.
2. Bereits von Anfang an wurde über das Projekt im Haus AUDI und im VW-Konzern informiert, um die möglichen Nutznießer der Projektergebnisse zu erreichen und Fürsprecher für das Projekt zu gewinnen. Der Start und die Finanzierung neuer durch SiFA initiiertes Projekte zur Umgestaltung der Rahmenbedingungen verlangte die Akzeptanz und Mitarbeit einer Vielzahl von Personen.
3. Ein Projekt wird erst wertvoll, wenn es Nutzen stiftet. Deshalb wurden bereits sehr früh Untersuchungen mit dem Modell durchgeführt, um den Planern und der Fertigung wichtige Hinweise für die Fertigung des neuen A4 zu geben. Durch den Einsatz von Teilsegmenten (z. B. Lack) des Gesamtmodells für diese Untersuchungen konnten Synergien gezeigt und die Akzeptanz für die Simulation erhöht werden
4. Sich permanent ändernde Datenquellen mussten „online“ angebunden werden, also durch eine direkte Verbindung der Simulationsdatenbank mit den entsprechenden betrieblichen Informationssystemen. Nur auf diesem Weg war eine echte Begleitung des Anlaufprozesses möglich.

Die Auswertung und die Vernetzung des ursprünglichen Themas „Simulation SiFA“ in die Fachbereiche, Systemstellen und Projektwelten bei AUDI und im VW-Konzern verdeutlicht Abb. 6.

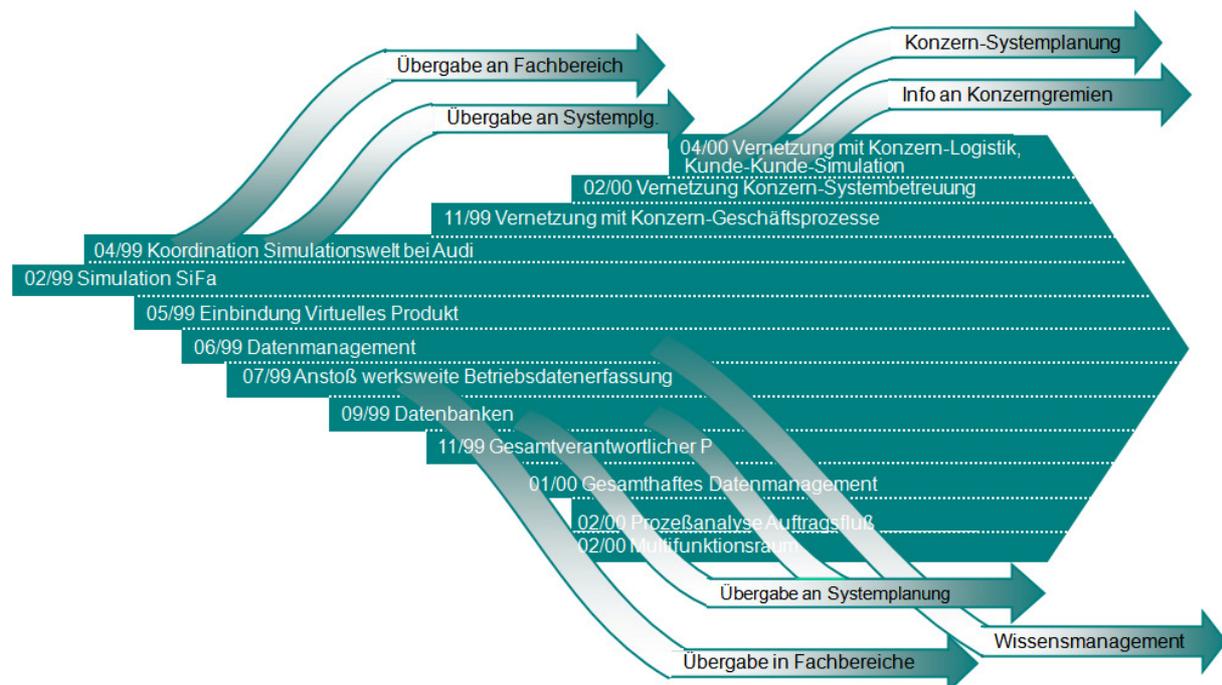


Abb. 6: Simulation SiFA ist nicht nur Simulation

## 5. Perspektiven

Das ursprünglich als Simulationsprojekt gestartete SiFa leitete einen Umdenkprozess bei AUDI ein, der langfristig nicht nur zu einer Umstrukturierung der IT-Landschaft führen, sondern auch organisatorische Änderungen in den Prozessen nach sich ziehen wird. Die Standardisierung und Konzentration von Daten, Informationen und Wissen in den verarbeitenden Systemen (angefangen bei einem werksweit einheitlichen Betriebsdatenerfassungs-System bis zum Aufbau einer Unternehmensdatenbank) werden diese Umstrukturierung kennzeichnen. Erst wenn diese Aufgabe erfolgreich umgesetzt wird, ist die Grundlage zum Aufbau einer virtuellen Fabrik geschaffen.

Das entstandene Simulationsmodell wird weiter ausgebaut (Abb. 2 – SIFA 2001+) und mit anderen Modellen wie der bei VW entwickelten Simulation des Programmplanungs- und Auftragsabwicklungs-Prozesses (Abb. 5) vernetzt, um zukünftig Aussagen über die gesamte Prozesskette zu erhalten.

Über die Anbindung des Modells und der Datenbank an das Intranet werden alle relevanten Personen auf Modelldaten und -ergebnisse zugreifen können. Als „Management-Cockpit“ wird es der Werksleitung einen Überblick über den Stand der Fertigung, Engpässe in der Auftragsabarbeitung oder auch Informationen über wichtige Fertigungsparameter liefern.

Für die Werkleitung ist die Simulation

- der Einstieg in die Virtuelle Unternehmensanalyse und -steuerung
- ein Anforderungsprofil für die vorgelagerten Prozesse der realen und der virtuellen Welt

# Literaturverzeichnis

- /1/ Schmahls, Th. (1999): "Produktionsanlaufcontrolling" in VDI Berichte Nr. 1469, Düsseldorf, VDI-Verlag
- /2/ Collisi, T., Fahlbusch, M., Hagmann, M., Ostermann, A., Weiß, M., Wuttke, C.C. (2000): „Hierarchische Simulationsmodelle“ in Logistik für Unternehmen, Springer VDI Verlag
- /3/ Fechteler, T., Spieckermann, S. (2000): „Referenzmodelle für Automobilrohbau und Lackiererei“ in Wenzel, S. (Hrsg.): Referenzmodelle für die Simulation in Produktion und Logistik; SCS-Europe Verlag
- /4/ Spieckermann, S., Griffel, N., Prof. Dr.-Ing. Hoffmann, H. (1997): „Neues Simulationsmodell bildet Materialfluss im Rohbau eines Automobilherstellers ab – Ein Münchner im Himmel" in Logistik im Unternehmen; VDI-Verlag
- /5/ Spieckermann, S. Wortmann, D. (1995): „Manufacturing Line Simulation Of Automotive Industry To Enhance Productivity And Profitability“ in "Automotive Simulation", Fourth European Cars/Trucks Simulation Symposium, Moshe R. Heller (Editor); SCS-Society for Computer Simulation International.
- /6/ Coordes, M. (2000): "Durchgängige Erfassungssysteme – Neue Anforderungen durch Virtuelle Techniken/Simulation" in Tagungsunterlagen, Siemens solution day, Nürnberg/Hannover

## Autorenverzeichnis

### **Coordes, Martin**

Dipl.-Ing. FH, Projektleiter für die „Simulation Fertigungsanlauf des neuen AUDI A4“ im Bereich Fertigung Ingolstadt der AUDI AG.

Nach seinem Studium für Maschinenbau (Vertiefungsrichtung Prozessdynamik und -regelung) begann er 1981 als Trainee in der Produktionssteuerung des Werks Bremen der Daimler Benz AG. 1987 wechselte er zur Volkswagen AG nach Wolfsburg, als Programmplaner und Leiter der Geschäftsstelle Programmplanungs-Ausschuss und Programm-Vorstand. Anschließend übernahm er die Leitung der Verkaufssteuerung PKW im Bereich Vertrieb Inland.

1993 wechselte er in den Vertrieb AUDI nach Ingolstadt, zuständig für die Leitung der Zentralen Absatzplanung. Es folgte die Leitung der Programmplanung und die Berufung zum Projektleiter für das Simulationsprojekt.

### **Wortmann, Dirk**

Vorstand der SimPlan AG, Maintal. Nach seiner Ausbildung zum Fachinformatiker begann er 1988 seine Tätigkeit, die Entwicklung einer Simulationssoftware und die Durchführung von Simulationsprojekten im Bereich der Produktion und Logistik, in einem Frankfurter Ingenieurbüro. 1991 gründete er sein eigenes Unternehmen, aus dem 1992 die Wortmann GmbH hervorging. 1995 wurde die Firma in SimPlan GmbH umbenannt und 2000 in eine AG umgewandelt. SimPlan bietet Beratung im Zusammenhang mit der Virtuellen Fabrik an. Bei AUDI wirkte sie in der Umsetzung des Projekts „SiFa“ und anderen Virtuelle-Fabrik-Projekten mit.

## Das Unternehmen

AUDI fertigt in Deutschland, Ungarn, Brasilien, China und Südafrika.

1999 lieferte AUDI rund 635.000 Fahrzeuge aus und stellte mehr als 1,2 Millionen Motoren her. Der Umsatz lag bei 29,6 Milliarden Mark. Im AUDI Konzern sind rund 47.000 Mitarbeiter beschäftigt.