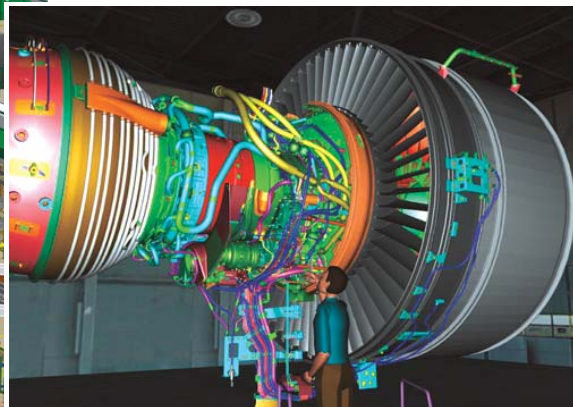


Intelligente Produktion mit Methoden der Digitalen Fabrik

Dr. Olaf Brandt
Stuttgart

CAD-CAM REPORT
Engineering Magazin

Nr. 1 Januar 2007



Seit rund zehn Jahren wird das Thema Digitale Fabrik in der Industrie und auf Konferenzen lebhaft diskutiert. Dabei durchliefen die Inhalte der Implementierung einen Reifeprozess, der sich aus Systemsicht grob in drei Stufen unterteilen lässt.

Die erste Stufe umfasste den Übergang von der traditionellen planerischen Arbeitsweise mit verschiedenen Werkzeugen, wie Simulationsprogrammen und Excel- oder MS-Access-Systemen, die nicht miteinander gekoppelt waren, in eine integrierte Planungsumgebung. Diese Systemumgebung wurde auf Team- oder bestenfalls auf Abteilungsebene eingesetzt. Die Arbeitsweise der Planer entspricht dabei weitgehend der vorherigen Arbeitsweise, allerdings mit direktem Zugriff auf alle relevanten Informationen und mit Verwendung von einfachen Standardelementen für die Planung. Die zweite Stufe umfasst die Verbreiterung und Vertiefung des Einsatzes



der integrierten Planungsumgebung über die Team oder Abteilungsebene hinaus und die Vernetzung verschiedener Standorte und verschiedener Planungsbereiche auf einer Datenplattform.

Damit wird die Fertigungsprozessplanung erst zu einem wirklichen vereinheitlichtem Unternehmensprozess, der als solcher steuerbar und wandelbar ist. Die Arbeitsweise der Planer verändert sich, da in einer 3D-orientierten grafischen Umgebung viele Arbeiten von der Planung in frühen Phasen übernommen werden, die vorher zu diesem Zeitpunkt gar nicht oder nur von Spezialisten durchgeführt wurden. Gleichzeitig wird die Standardisierung auf komplexe Strukturen erweitert, die gesamte

Anlagenelemente als Standards zur Verfügung stellen.

Aktuelle Herausforderungen der Digitalen Fabrik

Die dritte Phase beinhaltet die enge Verknüpfung der Fertigungsprozessplanung mit anderen Unternehmensprozessen, hier vor allem mit der Produktentwicklung und der Produktion. Bei den Planungsinhalten wird stark auf eine wesentlich effizientere Arbeitsweise fokussiert und diese Phase umfasst erste wissensbasierte Ansätze und Automatismen, die in einem ersten Schritt Planungsergebnisse liefern, die dann in einem zweiten Schritt manuell angepasst und optimiert werden können.

Ganzheitliche Planungssysteme sind erforderlich, die eine effiziente Planung unterstützen (Bilder: UGS, Köln).

Ziel dieser Entwicklung ist es, mit Hilfe der Planung sehr flexible, agile Produktionssysteme zu schaffen, mit denen schnell auf geänderte Marktanforderungen reagiert werden kann, um neue Produkte mit möglichst geringen Herstellkosten zu produzieren. Diese Transformation der Produktion zu agilen Systemen findet in Europa unter erschwerten Bedingungen statt, da zu meist keine neuen, vollständig flexiblen Produktionsstätten errichtet werden können, sondern evolutionär bestehende Produktionsanlagen umgestaltet werden müssen. Diese Trends erfordern ganzheitliche Planungssysteme, die eine effiziente Planung unterstützen, ohne das Rad immer wieder neu zu erfinden.

Um die Planungszeiten erheblich zu verkürzen (Bild 2), sind für die unterschiedlichen Planungsphasen spezifische Anwendungsschwerpunkte der digitalen Fabrik sinnvoll:

- In der Konzeptplanungsphase liegt der Schwerpunkt in der aktiven Produktbeeinflussung.
- Die Detaillierungsphase wird bestimmt durch Standardisierung und Formalisierung des Erfahrungswissens.
- Die Umsetzungsphase kann durch einen möglichst glatten Übergang von der digitalen Welt in die reale Welt beschleunigt werden.

Aktive Produktbeeinflussung in der Konzeptplanung

Die aktive Produktbeeinflussung in frühen Planungsphasen lässt sich hauptsächlich durch die Änderung der Planungs- und Arbeitskultur erreichen. Dazu muss der Planung mehr Kapazität in frühen Phasen den Entwicklungsprojekten zugeordnet werden. Zusätzlich muss die Planung als gleichberechtigter Partner der Produktentwicklung akzeptiert werden.

Damit verbunden sind auch die Zugriffe auf Daten und Informationen schon in frühen Phasen, auch wenn diese aus Entwicklungssicht noch nicht abgesichert sind. Diese Absicherung sollte nicht mehr rein

aus Konstruktionsicht stattfinden, sondern zusammen mit der Prozessplanung.

Parallelisierung von Produkt- und Prozessentwicklung

Der größte Zeitvorteil kann durch die Parallelisierung von Prozess-Schritten gewonnen werden, in diesem Fall durch die Parallelisierung der Produkt- und Prozessentwicklung. Damit ist eine Zusammenarbeit bei folgenden Fragestellungen verbunden:

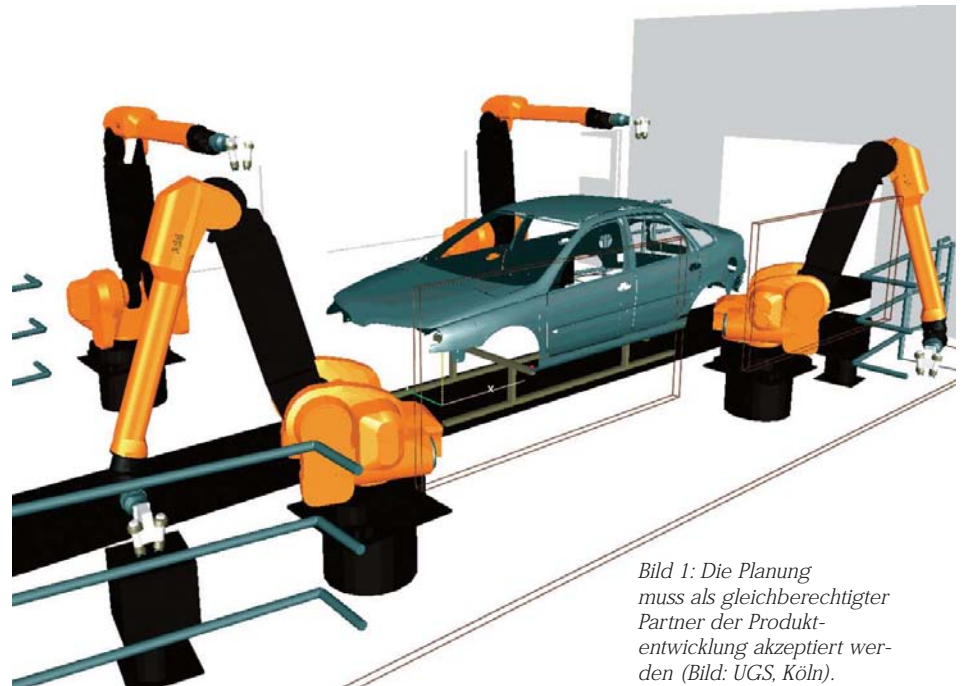


Bild 1: Die Planung muss als gleichberechtigter Partner der Produktentwicklung akzeptiert werden (Bild: UGS, Köln).

- Kann in der geplanten Fertigungsreihenfolge das Produkt kollisionsfrei gefügt werden?
- Sind die Verschraubungen und sonstige Verbindungen mit den Werkzeugen problemlos erreichbar (Bild 3)?
- Sind die automatisiert erstellten Verbindungen mit den Werkzeugen herstellbar?
- Gibt es unnötige Wechsel der Werkzeuge?
- Können genügend Vorrichtungen wieder verwendet werden, um die Vorgaben für die Investitionskosten einzuhalten?
- Können die existierenden Transporteinrichtungen wieder verwendet werden?

Mit der Parallelisierung wird zum einen eine höhere Qualität in der

Produktentwicklung erreicht, da die Belange der Fertigung bereits in die Konstruktion einfließen. Darüber hinaus werden Entscheidungen über Alternativen in der Konstruktion einschließlich der Kenntnis der Auswirkung auf die Fertigung, hier vor allem auf die Fertigungskosten, getroffen und haben dadurch eine höhere Qualität. Ein wichtiger Aspekt ist dabei die Verfügbarkeit der Daten. Hierbei sollte man genauer untersuchen welche Daten denn wirklich verfügbar sein müssen. Die gemeinsamen Datenbestände, auf

die sich die Produkt- und die Prozessplanung verständigen sollten, richten sich nach den oben aufgeführten Aufgabenstellungen. Hier sind insbesondere die folgenden Daten zu nennen:

- Produktdarstellung (keine exakte Geometrie notwendig),
- Produktstruktur (teilweise generische Struktur oder von Referenzprojekten),
- Fertigungsmerkmale (Verbindungen, teilweise summarisch, eventuell Toleranzen) und
- Spann-, Fixier- sowie Aufnahme-punkte.

Die geometriebezogenen Daten werden in erster Linie für die Untersuchung der Montagefähigkeit und der Herstellbarkeit benötigt. Die Strukturinformation ist wichtig für

die grobe Planung und Zuordnung der Montageaufwände. Verbindungsdaten sind notwendig für die genauere Analyse der Fertigungszeiten und vor allem zur Optimierung der Produktgeometrie, indem abgesichert wird, dass möglichst standardisierte Montagevorgänge umgesetzt werden können. Die Spann- und Fixierpunkte sind ausschlaggebend für die Bewertung der Wiederverwendbarkeit von Anlagen oder Anlagenteilen, und bei der Definition von flexiblen Anlagen.

Die genannten Daten sind häufig in der Geometrie enthalten. Sie sollten aber nicht in der Geometrie

Eine kritische Frage ist hierbei immer die Akzeptanz von Standards. Einerseits werden Standards nur akzeptiert und angewandt, wenn sich wirklich das Fertigungswissen darin widerspiegelt und damit auch eine Planung zu einem hohen Prozentsatz abgedeckt werden kann. Andererseits fördert eine Systemunterstützung die Standardisierung, da sie die Möglichkeit bietet systematisch die Einhaltung von Standards zu überprüfen.

Das Kernelement zum Aufbau einer Wissensbasis im Rahmen der Digitalen Fabrik sind zunächst einmal die Bibliotheken. Diese Biblio-

Die komplexeste Aufgabe und das meiste Know-how steckt hinter den komplexen Anlagenteilen und den Standardprozessen. Hierfür muss eine Vorarbeit geleistet werden, die die Fertigungs- und Bearbeitungsstationen kategorisiert und dadurch in einem System abbildbar macht. Dabei lassen sich beispielsweise standardisierte Montage-, Schweiß- und Prüfstationen hinterlegen.

Diese können sich dadurch unterscheiden, dass entweder eine hohe oder niedrige Stückzahlen damit gefahren werden sollen, oder dass ein hoher oder niedri-

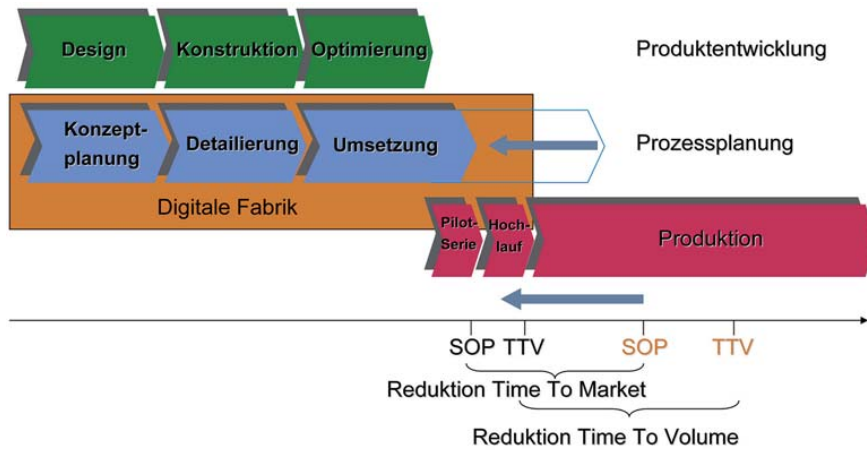


Bild 2: Die Parallelisierung von Produktentwicklung und Prozessplanung (Bild: UGS, Köln).

ger Automatisierungsgrad als Ziel für die Fertigung definiert ist.

Wenn solche komplexen Bibliotheken verfügbar sind, lassen sich in der Regel Fertigungsanlagen ähnlich wie Lego-Bausteine zusammensetzen und mit relativ wenig Aufwand ausgestalten. Sind die dazu notwendigen Standardabläufe bereits definiert, können solche Fertigungsprozessmodelle bereits für Simulationsanwendungen verwendet werden. Nach dem Aufbau der Anlage im digitalen Modell stehen automatisch die relevanten planerischen Aussagen über den detaillierten Ressourcenbedarf bereit, die benötigte Fläche und auch die notwendigen Investitions- und Betriebskosten sind verfügbar, ohne dass dafür zusätzlicher Aufwand anfällt.

»versteckt« sein, da viele nachgelagerten Prozesse auf diese Datenobjekte ebenfalls zugreifen müssen, ohne die geometrische Information zu benötigen. Beispielsweise reichen bei einer Untersuchung aus Montagesicht genäherte geometrische Darstellungen vollkommen aus, da die Bewegungsabläufe gar nicht so genau durchführbar sind. Daher sollten die oben genannten Daten in den PDM-Systemen verwaltet werden.

Vorteile durch Standardisierung und Wissensmanagement

Nach der frühen Phase, in der die Produktabsicherung und die Produktbeeinflussung eine wesentliche Rolle spielt, kommt die eigentliche Planungs- und Detailierungsphase. In dieser Phase spielt die Standardisierung des Planungsvorgehens und vor allem der Planungsergebnisse eine große Rolle.

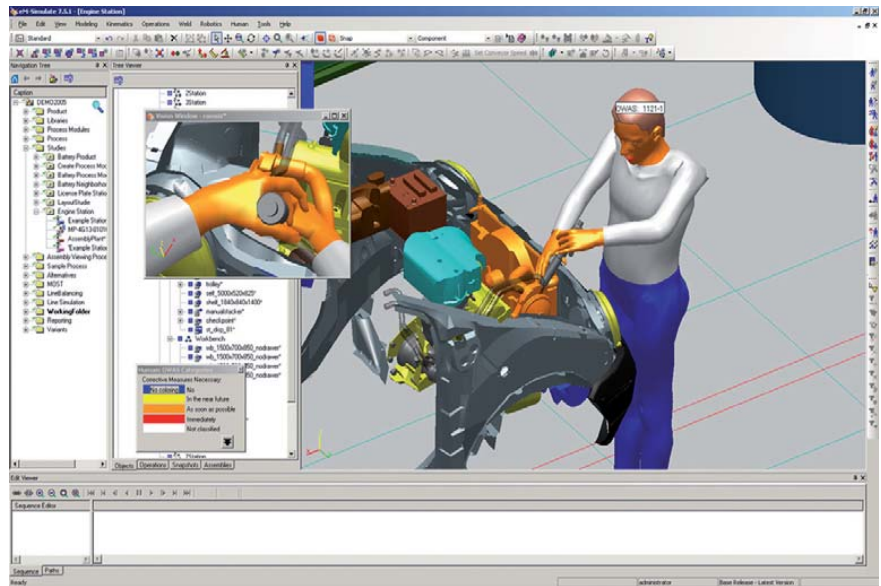
theken können sich auf unterschiedliche Ebenen und Objekte beziehen: auf Standardressourcen wie Einzelressourcen, komplexe Ressourcen und komplexe Anlagenteile, auf Standardoperationen und -abläufe sowie auf Standardprozesse von Anlagenteilen einschließlich der Standardabläufe in dieser Anlage.

Auf der Ebene der Einzelobjekte (Ressourcen oder Anlagen) können die Planungsinhalte auf einer bestimmten Detaillierungsebene standardisiert werden, dadurch lassen sich bei Ressourcen vor allem Investitionskosten sparen, während sich bei Operationen die Abschätzung der Fertigungszeiten und damit der Fertigungskosten standardisieren lässt. Bei komplexen Ressourcen, wie Robotern mit allen Versorgungseinrichtungen, können die Aufwände eingespart werden, die notwendig sind, um die Ausstattung immer wieder neu zu definieren.

Wissensbasierte Planung für die Maschinenbearbeitung

Ein Ansatz, der über die Formalisierung des Wissens über Bibliotheken hinausgeht, ist im Bereich der Planung von Anlagen für die Maschinenbearbeitung umsetzbar und wird heute bereits bei zahlreichen Herstellern von Fertigungslinien realisiert.

Bild 3: Beispiel einer Montageuntersuchung in der Konzeptplanung (Bild: UGS, Köln).



Hierbei werden aus der Produktgeometrie die Fertigungsmerkmale ausgelesen und als Objekte angelegt. Jedem Fertigungsmerkmal können anschließend über eine Regelbasis die entsprechenden Bearbeitungsverfahren und die dazu notwendigen Werkzeuge zugeordnet werden. Ist im Modell zum Beispiel eine Bohrung mit dem Durchmesser 10 mm mit einer hohen Oberflächengüte enthalten, so wird dieses Merkmal in der Produktgeometrie erkannt. Das zugeordnete Bearbeitungsverfahren bestimmt den Bohrungsdurchmesser und den Vorschub für den ersten Bearbeitungsschritt und die Reibahle und den Vorschub für den zweiten Schritt. Dies ist ein sehr einfaches Beispiel, es sind natürlich wesentlich kompliziertere Bearbeitungsvorgänge abdeckbar und auch die Bestimmung der Werkzeuge kann weitergehen, bis hin zu Unterstützung der Konstruktion von Werkzeugen für bestimmte Bearbeitungsverfahren. Das Ergebnis dieser automatisierten durchführbaren Schritte ist dann die Kenntnis aller Bearbeitungsschritte, die für die Bearbeitung eines Teiles notwendig sind.

Diese Bearbeitungsschritte werden nun automatisch den vorhandenen Bearbeitungszentren zugeordnet. Mit Hilfe der Maschinengeometrie lassen sich die genauen Bearbeitungszeiten aufgrund der Verfahrenswege berechnen. Mit dieser Information ist dann die Auslastung

der Maschinen optimierbar beziehungsweise feststellbar, wie viel Maschinenkapazität für die Herstellung der gewünschten Stückzahlen benötigt wird.

Bei diesem Verfahren liegt der Hauptaufwand in der Erstellung beziehungsweise der Anpassung der Methodenbibliothek, wobei dieser Aufwand sich bei entsprechender Massenfertigung und Wiederverwendung von Bearbeitungsverfahren schnell bezahlt macht. Die regelbasierte Fertigungsprozessplanung wurde für die Maschinenbearbeitung bereits sehr weitgehend umgesetzt. Außerdem ist sie ein Leitbild für die Weiterentwicklung dieser Verfahren auch in anderen Bereichen der Prozessplanung. Die Schwerpunkte werden dabei in Bearbeitungsverfahren liegen, die in der Regel automatisiert durchgeführt werden.

Damit die Beschleunigung der Planungsprozesse wirklich zu ei-

nem schnelleren Reagieren auf geänderte Markanforderungen führt, ist es sehr wichtig, die Prozessplanung als Unternehmensprozess mit den anderen Unternehmensprozessen und damit in die entsprechende Systemumgebung zu integrieren.

Die Integration in die Prozesskette

In der frühen Phase wurde bereits die Anbindung an die Produktentwicklung zur aktiven Produktbeeinflussung beschrieben und die Anforderung an die Datenintegration definiert. In den späteren Phasen gewinnt die Anbindung an die Systeme der Produktion eine wichtigere Bedeutung. Diese Anbindung kann auf verschiedenen Ebenen stattfinden. Dies wird in der *Tabelle 1* beschrieben.

Der Reifegrad für diese Bereiche ist hinsichtlich der Systemunterstützung noch sehr unterschiedlich. Die Maschinen- und Anlagenebene ist hierbei am weitesten über Standards abgedeckt. Für die Anlagen-

Tabelle 1: Die Automatisierungsebenen sowie die entsprechenden Anwendungsfälle für den Übergang von der digitalen zu realen Welt sind hier aufgelistet.

Automatisierungsebene	Anwendungsfälle für die Digitale Fabrik
Physikalischer Prozess	in der Regel kein Beitrag
Maschine	Steuerungsprogrammerstellung, Programmverifikation, Programmänderung
Anlage	SPS-Programmerstellung, -verifikation, -änderung
Fertigungslinie	MES-Konfiguration, -Steuerungsverifikation
Fabrikanlage	Übergabe Arbeitspläne, Übernahme Referenzdaten, Planung von Produktionsanläufen und -hochläufen
Produktionsnetzwerk	Übernahme der Logistikabläufe für den operativen Betrieb

ebene ist es möglich, SPS-Programme mit digitalen Modellen zu koppeln, so dass die Funktionsfähigkeit der Steuerungslogik unter Berücksichtigung der genauen Anlagengeometrie und der Position und Funktionsweise der Sensoren überprüft werden kann. Die anderen Automatisierungsebenen wurden auf Basis vorhandener Schnittstellen schon in einigen Projekten im Rahmen der Digitalen Fabrik verifiziert, sind aber zu wenig standardisiert, dass hierfür Standard-Software eingesetzt werden kann.

Die Einbindung der Digitalen Fabrik in die Unternehmensprozesse der Produktentwicklung und Produktion ist umso wichtiger, je mehr ein Unternehmen wert auf Wiederverwendung von Ressourcen und von Fertigungsprozessen fokussiert (Bild 4).

Rückkopplungsschleifen für das Erfahrungswissen in der Fertigung

Dieselbe Bedeutung erhält sie, wenn ein Konzept der Modularisie-

die bewusst verbessert werden sollen, wirklich in die Bestandanlage integriert werden können. Damit die Integrationsfähigkeit sichergestellt werden kann, ist ein ständig aktualisiertes Abbild der realen Fertigung in digitalen Modellen notwendig. Denkbar ist hier eine Vorgehensweise, bei der Reviews und Synchronisationen für die Produkt- und Prozessentwicklung immer auch zusammen mit Spezialisten der Fertigung durchgeführt werden. Diese Vorgehensweise erfordert eine starke Ände-

Bild 4: Rückkopplungen der Produktion mit der Produkt- und Prozessentwicklung (Bild: UGS, Köln).

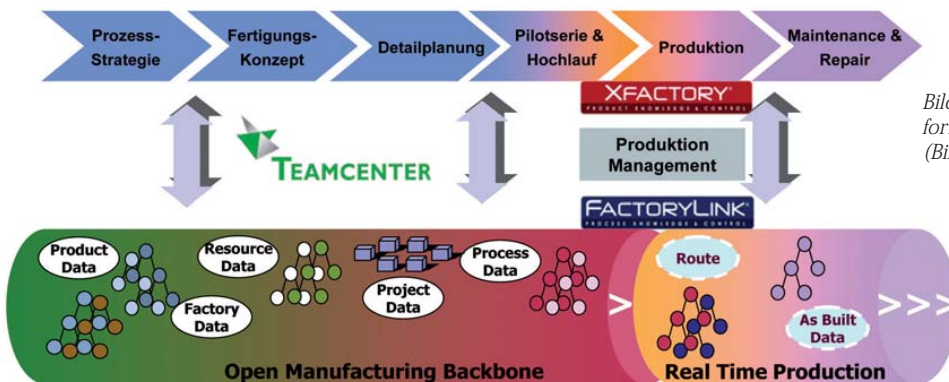
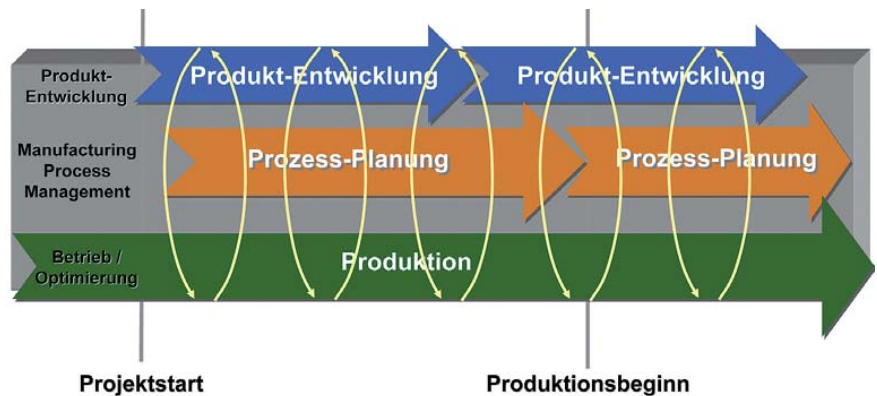


Bild 5: Durchgängige Datenplattform für die Planung und Produktion (Bild: UGS, Köln).

Die Tatsache, dass sehr häufig keine Neuplanung sondern eine Integrationsplanung durchzuführen ist, bei der ein großer Teil der Anlage wieder verwendet werden soll, führt dazu, dass über alle Planungsphasen hinweg die reale Produktion in der Planung zu berücksichtigen ist. Das heißt, dass am Ende der Planung nicht ein einmaliger Übergang von der digitalen in die reale Welt zu bewältigen ist, sondern die reale Welt fortlaufend als Referenz berücksichtigt werden muss. Voraussetzung dafür ist es, die relevanten Daten der realen Welt ständig als digitales Modell verfügbar zu haben.

Die Einbindung der Digitalen Fabrik in die Unternehmensprozesse der Produktentwicklung und Produktion ist umso wichtiger, je mehr ein Unternehmen wert auf Wiederverwendung von Ressourcen und von Fertigungsprozessen fokussiert. Die Tatsache, dass sehr häufig keine Neuplanung sondern eine Integrationsplanung durchzuführen ist, bei der ein großer Teil der Anlage wieder verwendet werden soll, führt dazu, dass über alle Planungsphasen hinweg die reale Produktion in der Planung zu berücksichtigen ist. Das heißt, dass am Ende der Planung nicht ein einmaliger Übergang von der digitalen in die reale Welt zu bewältigen ist, sondern die reale Welt fortlaufend als Referenz berücksichtigt werden muss. Voraussetzung dafür ist es, die relevanten Daten der realen Welt ständig als digitales Modell verfügbar zu haben.

Die Einbindung der Digitalen Fabrik in die Unternehmensprozesse der Produktentwicklung und Produktion ist umso wichtiger, je mehr ein Unternehmen wert auf Wiederverwendung von Ressourcen und von Fertigungsprozessen fokussiert. Die Tatsache, dass sehr häufig keine Neuplanung sondern eine Integrationsplanung durchzuführen ist, bei der ein großer Teil der Anlage wieder verwendet werden soll, führt dazu, dass über alle Planungsphasen hinweg die reale Produktion in der Planung zu berücksichtigen ist. Das heißt, dass am Ende der Planung nicht ein einmaliger Übergang von der digitalen in die reale Welt zu bewältigen ist, sondern die reale Welt fortlaufend als Referenz berücksichtigt werden muss. Voraussetzung dafür ist es, die relevanten Daten der realen Welt ständig als digitales Modell verfügbar zu haben.