

## POTENTIAL VON PROZESSINFORMATIONEN FÜR FRÜHE PHASEN IM PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESS

*Alexander Koch, Veit Rückel*

### Kurzfassung

Der aktuelle Produktentstehungsprozess unterliegt einem immer größer werdenden Zeit- und Kostendruck. Um auch zukünftig konkurrenzfähig bleiben zu können, ist es erforderlich, produkt- und prozessbezogene Daten über den gesamten Produktlebenszyklus zu speichern und weiterzuleiten. Üblicherweise werden produktbezogene Daten in einem gemeinsamen Produktdatenmodell abgelegt. Auch prozessbezogene Daten können – ausgehend von der Konstruktion bis hin zur Montage und dem Vertrieb – in einem entsprechenden Prozessdatenmodell gespeichert und bereitgestellt werden. Eine Rückkopplung von prozessspezifischen Informationen im Sinne von Daten aus real ablaufenden Fertigungs- oder Montageprozessen in zeitlich vorgelagerte Bereiche ist bisher unüblich und nicht automatisiert verfügbar. Dieser Beitrag zeigt sowohl die Notwendigkeit als auch den Nutzen einer solchen Rückkopplung von Prozessdaten am Beispiel der Bereiche Konstruktion und Montage auf. Ebenfalls wird die Umsetzung der datentechnischen Vernetzung mit einem Produktdatenmanagementsystem (PDM-System) erläutert und für die zwei Unternehmensbereiche aufgezeigt.

Im Rahmen des SFB 396 wird die gesamte Prozesskette von der Konstruktion bis hin zur Montage untersucht. Ziel dabei ist es, diese nachhaltig zu verkürzen und robuster zu gestalten. Anhand der Bereiche Konstruktion und Montage wird eine exemplarische Anbindung an das Prozessdatennetz aufgezeigt, um die Zusammenhänge der einzelnen Teilbereiche des Produktentstehungsprozesses näher erkennen zu können. Zu jedem Teilbereich ergeben sich daraus sowohl ein Bedarf an Input und Output sowie ein Nutzen des „Prozesswissens“ für nach- aber auch vorgeschaltete Bereiche.

### 1 Einleitung

Durch eine sinnvolle Planung und den intensiven Austausch von Daten und Informationen jeglicher Art in alle Richtungen kann die benötigte Zeit von der Idee bis zum ersten verkaufsfertigen Produkt (time to market) entscheidend verkürzt werden. Dieser Produktentstehungszyklus ist heutzutage nicht mehr als Aneinanderreihung einzelner Arbeitsschritte zu sehen. Vielmehr muss er als Gesamtprozess über alle Unternehmensbereiche verstanden werden, der in einzelne Arbeitsabschnitte unterteilt ist. Im Sinne von Simultaneous oder Concurrent Engineering greifen diese Abschnitte ineinander.

Hierbei ist es wichtig, beginnend bei der Entwicklung und Konstruktion nicht nur sämtliche Daten und Informationen bezüglich des Produktes in Richtung des Produktentstehungsprozesses weiterzuleiten und zu archivieren. Vielmehr ist es im Sinne einer nachhaltigen Produktentwicklung und erfolgreichen sowie schnellen Produktentstehung notwendig, Wissen und Erfahrungswerte aus Prozessen abzubilden und den zeitlich vorgelagerten Bereichen im Produktentstehungsprozess zur Verfügung zu stellen. Dadurch kann gewährleistet werden, dass im Falle von Neu- oder Änderungskonstruktionen Probleme und Fehler präventiv vermieden werden, was eine eindeutige Verkürzung und Steigerung der Robustheit der Prozesskette „Produktentstehung“ zur Folge hat.

Für die Verwaltung, Weiterleitung und Bereitstellung sämtlicher Produkt- und Prozessdaten wird zwischen den einzelnen Unternehmensbereichen ein PDM-System eingesetzt. Üblicherweise verwalten PDM-Systeme vornehmlich produktbezogene Daten, die wiederum hauptsächlich in Richtung des Produktentstehungsprozesses weitergeleitet und bereitgestellt werden. Der folgende Beitrag stellt ein Konzept und eine exemplarische Implementierung vor, indem ein PDM-System dahingehend erweitert wird, dass neben produkt- auch prozessbezogene Daten vom System verwaltet werden können. Diese Prozessdaten werden in den „späteren“ Phasen des Produktentstehungsprozesses, wie zum Beispiel Fertigung, Qualitätssicherung oder Montage generiert und den „früheren“ Phasen zur Verfügung gestellt. Durch entsprechende Erweiterung der Funktionalität innerhalb des PDM-Systems soll es möglich sein, zum einen den vorgeschalteten Bereichen direkte Einblicke in die Auswirkungen von Entscheidungen und Festlegungen zu geben. Zum anderen soll ermöglicht werden, Prozessdaten zu verdichten und zu Regeln zusammenzuführen, um für zukünftige ähnliche oder gleiche Anforderungen als Wissensbasis für die sichere und erfolgreiche Festlegung von Prozessen zu dienen.

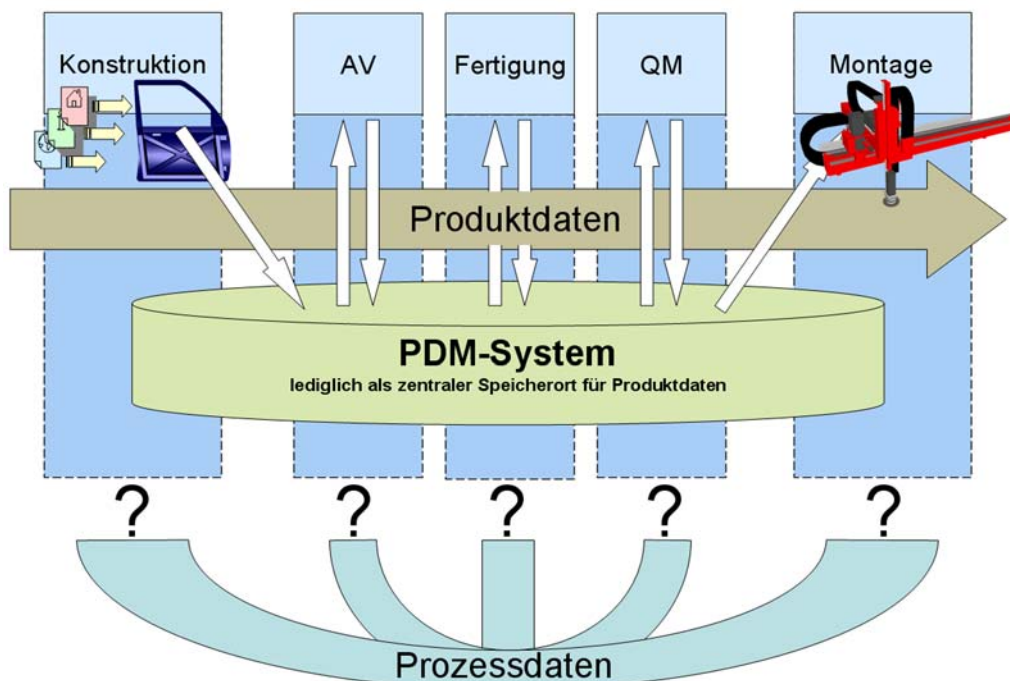


Bild 1: herkömmliche Vernetzung der Unternehmensbereiche mit Hilfe eines PDM-Systems, wobei eine Rückführung der angefallenen Prozessdaten nicht vorgesehen ist

## 2 Prozesskette Produktentstehung – von der Konstruktion bis zur Montage

Der Produktentstehungsprozess beginnt bei der Entwicklung und Konstruktion, erstreckt sich über die Bereiche Arbeitsvorbereitung, Fertigung und Montage bis hin zu Verpackung und Vertrieb. In nahezu allen Bereichen wird er von Controlling und Messtechnik begleitet. Zwischen diesen einzelnen Bereichen müssen intensiv Daten ausgetauscht werden. Für die Darstellung des Datenaustausches werden hier exemplarisch zwei Teilprojekte des SFB herausgegriffen.

Aus klassischer Sichtweise ist die Konstruktion als „Erzeuger“ und die Montage als „Verbraucher“ von Produktdaten zu sehen. In der Konstruktion werden neben Geometrie-

Informationen, Fertigungs-, Montagetoleranzen und Materialangaben unter anderem auch Montagereihenfolgen vorgegeben. Sämtliche Informationen über das Konstruktionsobjekt werden in das Produktdatenmodell eingepflegt. Alle nachgeschalteten Bereiche können auf dieses Datenmodell zugreifen, die für sie relevanten Daten extrahieren, ge- und verbrauchen sowie veränderte oder neue Produktdaten zurückschreiben. Die Hauptflussrichtung der Informationen folgt somit der Richtung des Produktentstehungsprozesses.

Üblicherweise erfolgt eine Benachrichtigung der vorgeschalteten Bereiche nur dann, wenn beim aktuellen Prozessschritt Probleme auftreten. Eine genauere Analyse der Herkunft der Anormalitäten wird auf umständliche Weise durch Ausschlussverfahren oder Eingrenzen der Herkunftsmöglichkeit erreicht. Abhilfe schafft hier eine systematische Vorgehensweise, die über die Prozessdatenrückkopplung in die zeitlich vorgelagerten Bereiche im Produktentstehungsprozess über ein PDM-System realisiert wird.

Im Folgenden werden die beiden Teilbereiche Konstruktion und Montage kurz charakterisiert. In Kapitel 5 wird besonderes Augenmerk auf die Anbindung an das Datennetz des SFBs gelegt. Einerseits wird aufgezeigt, auf welche Weise Daten aus dem Produktdatenmodell ausgelesen, aufbereitet, verbraucht und anschließend in veränderter oder neu generierter Form zurückgeschrieben werden können. Andererseits wird erläutert, welche Informationen aus den jeweils ablaufenden Prozessen gewonnen, wie diese Daten aufbereitet und in das Prozessdatenmodell geschrieben werden und welchen Nutzen die einzelnen Bereiche aus den Prozessinformationen der nachgeschalteten Bereiche ziehen und somit eine robuste und verkürzte Prozesskette entsteht.

### **3 Optimierte Produktentwicklung durch Wissensintegration aus nachgeschalteten Bereichen**

In den vergangenen Jahren wurde am Lehrstuhl für Konstruktionstechnik (KTmfk) ein Konstruktionsassistenzsystem entwickelt, das den Konstrukteur speziell in der Entwurfsphase bei der Auswahl der bestgeeigneten Baustruktur eines Konstruktionsobjektes ganzheitlich unterstützt. Die aktuelle erweiterte Architektur des Assistenzsystems ist schematisch in Bild 2 dargestellt. Dieses System besteht aus zwei großen Einheiten – einem Synthese- und einem Analyse-Modul. Sowohl bei der Synthese als auch bei der Analyse eines Konstruktionsobjektes wird der Konstrukteur wissensbasiert bei der Umsetzung der Konstruktionsaufgabe unterstützt. Im Folgenden werden die beiden Module kurz charakterisiert.

#### **3.1 Wissensbasierte Synthese und Analyse**

##### *3.1.1 Bestehende Synthese- und Analysefunktionalitäten*

Im Konstruktionsassistenzsystem besteht die Möglichkeit, wissensbasiert Gestaltelemente zu erzeugen bzw. ein Konstruktionsobjekt um semantische Informationen zu erweitern. Dies können zum Beispiel Gussaugen zum Anschrauben von Anbauteilen oder Gussrippen zur Versteifung einer Gusskonstruktion sein. Semantische Informationen können die Angussrichtung oder die Werkzeugschließrichtung sein – also Informationen über den Herstellungsprozess des Konstruktionsobjektes. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, nach Abschluss der Konstruktionsaufgabe das Objekt hinsichtlich der gewählten Fertigungsstrategie und Baustruktur wissensbasiert zu analysieren. Als Beispiel kann die Analyse auf Gussgerechtigkeit genannt werden. Hierbei wird das Objekt unter anderem dahingehend untersucht, ob genügend große Aushebeschrägen vorhanden sind, Hinterschneidungen vorliegen oder Anschraubpunkte mit dafür vorgesehenen Gussaugen realisiert wurden. Eine weitere Möglichkeit ist die Analyse auf Schweißgerechtigkeit, bei der beispielsweise untersucht wird, ob die

Zugänglichkeit eines Schweißpunktes mit einer entsprechend der Größe des Schweißpunktes notwendigen Schweißzange gegeben ist.

Sowohl für die Synthese als auch für die Analyse sind prozesstechnische Informationen aus den der Konstruktion nachgeschalteten Bereichen in Wissensbasen hinterlegt. Zum einen handelt es sich hierbei um formalisierbare Informationen. Diese Daten sind in einem Expertensystem als Wenn-Dann-Regeln abgelegt und werden entsprechend der gewählten Synthese- oder Analyse-Funktionalität vom Assistenzsystem aufgerufen und abgearbeitet. Zum anderen ist nicht formalisierbares Wissen in einem Hypermedia-Informationssystem (HYMIS) hinterlegt. Dort können Hinweise über bestimmte Fertigungsverfahren oder Montagestrategien eingesehen werden. Die Ergebnisse der wissensbasierten Analyse werden in einem html-Report ausgegeben. [1]

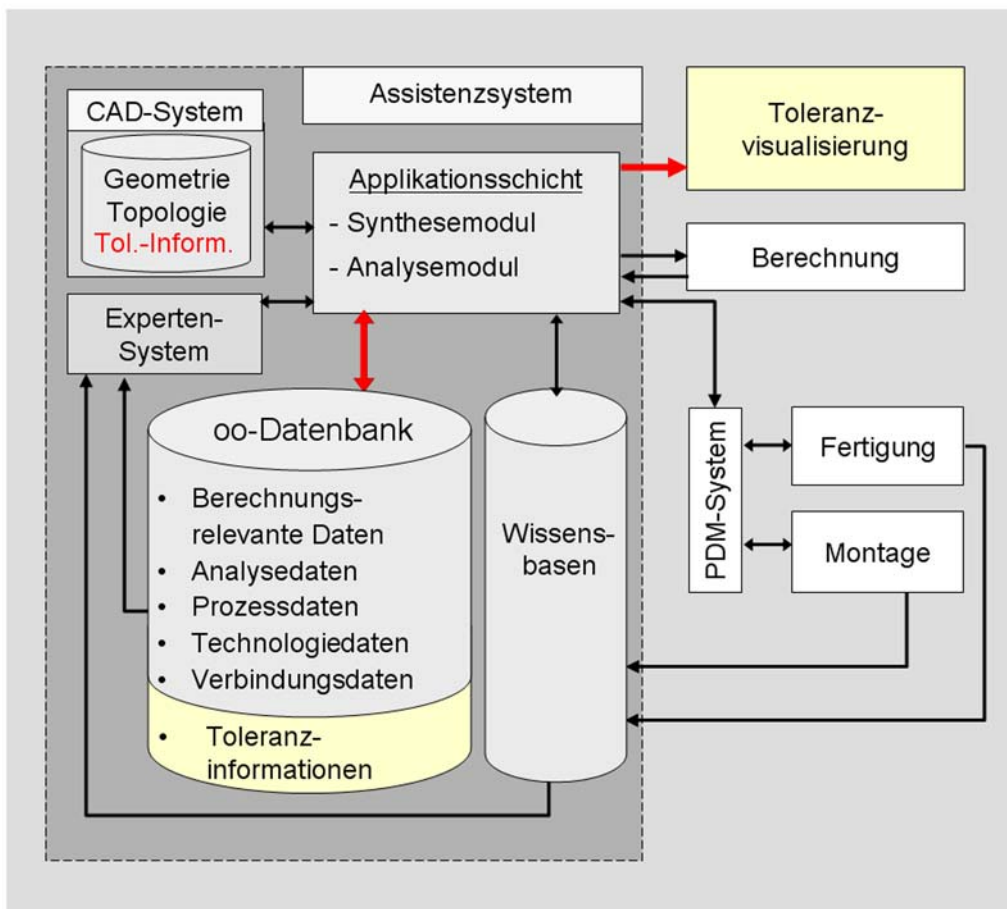


Bild 2: erweiterte Architektur des Konstruktionsassistenzsystems

### 3.1.2 Neu entwickelte Funktionalitäten

Eine weitere Synthese und Analyse-Funktionalität des Assistenzsystems ist die Verarbeitung von Toleranzinformationen. Im aktuellen Projektstadium wird ein Synthese-Modul umgesetzt, mit dem es möglich ist, die Nominalgestalt eines Konstruktionsobjektes um Toleranzinformationen zu erweitern. Es können Maß-, Form- und Lagetoleranzen erzeugt werden. Diese Toleranzinformationen werden zusammen mit der Nominalgestalt über eine neu erstellte Schnittstelle exportiert. In einem weiteren Schritt werden Gestalt- und Toleranzinformationen in ein Toleranzanalysesystem importiert. Dort können nun aufgrund der angegebenen Größen der Toleranzfelder verschiedene Gestaltausprägungen erzeugt werden, die wiederum in ein systemneutrales Format exportiert werden. Gemäß der zuvor zu wählenden Analyseart

können nun diese Gestaltausprägungen auf einer Virtual-Reality-Anlage (VR) visualisiert werden. Ziel dieser Analyse in VR ist es unter anderem, Hüllgeometrien der einzelnen toleranzbehafteten Konstruktionsobjekte, also Formvarianten mit entsprechenden Wahrscheinlichkeiten zu erhalten. In einem zukünftigen Schritt sollen diese Hüllgeometrien aus VR in das Assistenzsystem zurückgeführt werden, um ohne aufwendige manuelle Übertragungsarbeit einen hohen Integrationsgrad des Analysemoduls in den Arbeitsablauf gewährleisten zu können. [2]

### **3.2 Akquisition von produkt- und prozessspezifischem Wissen aus nachgeschalteten Bereichen**

Für die Festlegung der Regeln in den Wissensbasen des Assistenzsystems war es notwendig, produkt- und prozessspezifisches Wissen aus den der Konstruktion nachgeschalteten Bereichen zu akquirieren und abzubilden. Dieses Wissen wurde aus allen Teilprojekten des SFB 396 gesammelt. In Form eines Interviews wurden Produkt- und Prozessdaten sowie Konstruktionshinweise erfragt. Formalisierbare Informationen wurden in einem Expertensystem abgebildet und werden für die wissensbasierte Analyse eines Konstruktionsobjektes herangezogen. Nicht-formalisierbares Wissen ist im HYMIS hinterlegt. Eine ausführliche Beschreibung der Wissensakquisition und -abbildung kann in [3] nachgelesen werden.

Um im Sinne einer verkürzten Prozesskette Produktentstehung in zukünftigen Anwendungsgebieten schnell und erfolgreich reagieren zu können, ist es notwendig, produkt- aber gerade auch prozessspezifisches Wissen schnellstmöglich in die zeitlich vorgelagerten Bereiche rückfließen zu lassen. Beispielsweise ist es sinnvoll, aus dem Bereich Montage Greifergeometrien und zugehörige Prozessparameter bereitzustellen. Somit kann zum Konstruktionszeitpunkt bereits analysiert werden, ob ein problemloses Handhaben des Objektes möglich ist. Ebenfalls ist es sinnvoll, im Bereich der Montage Angaben über den Verlauf einer Montageoperation elektronisch bereitzustellen. Läuft beispielsweise eine Pick-and-Place-Operation zwar erfolgreich ab, müssen jedoch bei jeder Operation Korrekturen aufgrund ungünstig festgelegter Prozessparameter mit berücksichtigt werden, so kann durch eine Rückmeldung in die Wissensbasen der Konstruktion bereits zum Zeitpunkt der Festlegung analysiert werden, ob Probleme auftauchen können. Hieraus ergibt sich ein erhöhter Bedarf an bidirektionaler Vernetzung der einzelnen Unternehmensbereiche in der Prozesskette Produktentstehung, der im folgenden Kapitel 4 weiter aufgezeigt wird.

## **4 Komplettmontage mit kooperierenden Industrierobotern**

Am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS) wurde eine Zelle mit kooperierenden Industrierobotern aufgebaut, um Zusammenhänge bei der verkürzten und robusten Montage näher zu untersuchen und besser verstehen zu können. Damit eine Reduzierung der Montagezeit erzielt wird, ist mit der so genannten „Komplettmontage“ ein innovatives Konzept für die automatisierte Montage entwickelt worden. Bei dieser muss das Bauteil nur ein einziges Mal gespannt werden und verbleibt dann während des gesamten Montagevorgangs in der Montagezelle in einer definierten Lage. Dadurch entfallen zeit- und kostenintensive Zwischentransporte sowie Spannvorgänge, die bei herkömmlichen Montageanlagen notwendig sind.

### **4.1 Anlagenkonzept**

Bei der Komplettmontage erfolgt die gesamte Montage in lediglich einer Aufspannung. Daher ist es zwingend notwendig, alle Einzelkomponenten in der Zelle bereitzustellen, was allerdings einen erheblichen Platzbedarf bedingt. Um diesen auf ein Minimum zu reduzieren, erfolgt eine so genannte auftragsspezifische Vorkommissionierung. Darunter ist zu verstehen, dass Serienteile wie zum Beispiel Schrauben, Clipse usw., die in großen Stückzahlen

Verwendung finden, über Fördereinrichtungen unmittelbar in der Zelle vereinzelt und zugeführt werden. Alle anderen Teile, die Sonderteile, werden hingegen je nach Auftrag vorkommissioniert und auf einem gesonderten Werkstückträger in die Zelle eingebracht [5].

Als Handhabungsgeräte kommen in der am Lehrstuhl FAPS aufgebauten Zelle zwei Linearroboter zum Einsatz, da sich auf Grund ihrer Kinematik ein sehr großer gemeinsamer Arbeitsraum von ca. 2m<sup>3</sup> realisieren lässt. Allerdings verfügen sie lediglich über drei translatorische (x-, y-, z-Achse) und einen rotatorischen (Drehung um die z-Achse) Freiheitsgrad. Die Hauptbewegungen ereignen sich in der x-y-Ebene - lediglich die Fügebewegung erfolgt in z-Richtung. Allerdings kommt es sehr häufig vor, dass Bauteile auf schrägen Flächen montiert werden müssen, was auf Grund der zwei fehlenden Freiheitsgrade nicht möglich ist. Deshalb wurde ein am Lehrstuhl eigens entwickelter Hexapod mit in die Zelle integriert, der es ermöglicht, das Basisteil normal zur gewünschten Fügerichtung auszurichten.

Durch die Verwendung von zwei identischen und kooperierenden Industrierobotern, die einen gemeinsamen Arbeitsraum besitzen, wird eine Minimierung der Ausfallwahrscheinlichkeit erreicht. Dies ist dadurch zu begründen, dass die gestellte Montageaufgabe selbst bei Ausfall eines Handhabungsgerätes dennoch erfolgreich beendet werden kann und somit der kostenintensive Stillstand der Anlage auf ein Minimum reduziert wird.

## 4.2 Programmierung von kooperierenden Industrierobotern

Der Einsatz einer derart aufgebauten Komplettmontagezelle lässt sich nur dann realisieren, wenn der Anwender bei der Planung und Programmierung der Anlage durch ein integriertes Steuerungskonzept umfassend unterstützt und gleichzeitig entlastet wird, welches in Bild 3 dargestellt ist.

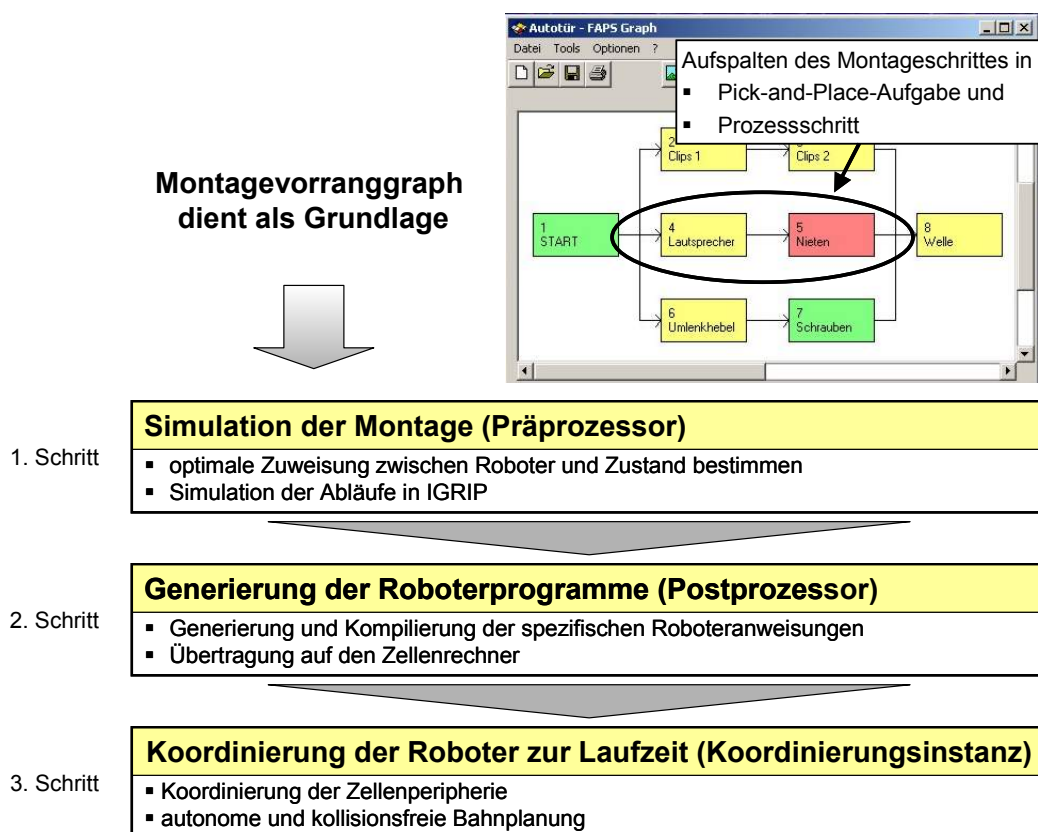


Bild 3: Darstellung des Steuerungskonzeptes der Komplettmontagezelle, dessen Grundlage der Montagevorranggraph bildet

Um die Montageaufgabe zu planen, wird sich eines Montagevorranggraphen bedient, in dem der hierarchische und zeitliche Ablauf der Montagesequenz festgehalten ist, wobei zwischen Pick-and-Place- und Prozessschritten unterschieden wird (Bild 3) [6], [7]. Im Graphen sind die Vorrangbeziehungen zwischen den einzelnen Montage- und Prozessschritten dargestellt. Die so generierte Datenbasis dient dem Prä- und Postprozessor als Grundlage für die Erstellung der jeweiligen Roboterprogramme. Der Benutzer hat bisher nur die Reihenfolge der Montageschritte festgelegt, jedoch nicht das Handhabungsgerät ausgewählt. Durch verschiedene vorgegebene Optimierungskriterien teilt der Präprozessor die einzelnen Schritte auf die beiden Industrieroboter auf und generiert gleichzeitig die entsprechende Bewegungsanweisung. Im Anschluss daran erstellt ein Postprozessor ein einziges Roboterprogramm, in dem sämtliche Montagesequenzen mit allen notwendigen Informationen enthalten sind. Die beiden Roboter erhalten dann dieses Programm und eine Koordinierungsinstanz weist jedem Roboter zur Laufzeit die optimale Sequenz zu. Mit Hilfe dieser Strategie können bei der Programmausführung, solange kein Fehler vorliegt, die im Voraus berechneten optimierten Bewegungsbahnen abgefahren werden.

Tritt allerdings eine Störung eines Handhabungsgerätes auf, terminiert die Montagesequenz nicht mit einem Abbruch. Vielmehr sind die beiden Roboter, von denen der eine zum Beispiel gestört ist, mit Hilfe der Koordinierungsinstanz in der Lage, eine Ausweichbewegung zu planen und durchzuführen. Die Besonderheit liegt darin, dass der Kontrolleinheit ein rechnerinternes Abbild der realen Zelle vorliegt und dort die aktuelle Position der beiden Roboter sowie deren Zielpunkte eines jeden Montageschrittes eingetragen werden. Zur Laufzeit erfolgt eine Berechnung aller einzelnen Bahnsegmente und deswegen besteht die Möglichkeit, den Fahrkurs der neuen Situation anzupassen und die gestellte Montageaufgabe dennoch erfolgreich zu terminieren [6].

## 5 Bidirektionaler Datenfluss im PDM-System

In Kapitel 3 und 4 wurde gezeigt, welche Daten in den jeweiligen Bereichen generiert und bereitgestellt werden können und welche Informationen benötigt und verarbeitet werden müssen. Diese beiden Unternehmensbereiche stehen stellvertretend für alle am Produktentstehungsprozess beteiligten Abteilungen. In [4] wurde die Notwendigkeit einer Prozessdatenrückkopplung zwischen den Bereichen Arbeitsvorbereitung und Fertigung aufgezeigt. In dem hier vorgestellten Projekt wird dieser Bedarf aufgegriffen, weiterentwickelt und für die gesamte Prozesskette Produktentstehung umgesetzt.

Im Bereich der Konstruktion werden zusätzlich zu den reinen Geometriedaten des Konstruktionsobjektes auch semantische Informationen an das speziell für diese Anwendung erweiterte PDM-System übergeben. Neben den in Kapitel 3.1.2 erwähnten Toleranzinformationen sind dies sämtliche im Assistenzsystem erzeugten Prozessinformationen. Somit stehen für die Weiterbearbeitung des Produktes alle relevanten Angaben in elektronischer Form in einem einheitlichen Datenbanksystem zur Verfügung. Durch die PDM-interne Zugriffssteuerung wird gewährleistet, dass vom jeweiligen „Verbraucher“ nur aktuelle und freigegebene Daten verwendet werden können. Es werden demzufolge in jedem Unternehmensbereich alle für den dort durchgeführten Bearbeitungsschritt relevanten Daten ausgelesen und nach der Bearbeitung modifiziert und erweitert zurückgeschrieben.

Im Gegenzug hierzu werden nach jedem einzelnen Bearbeitungsschritt nicht nur die modifizierten und erweiterten Daten für die nächsten Prozessschritte in das PDM-System eingepflegt. Es werden zusätzlich noch alle neu erzeugten prozessrelevanten Parameter gespeichert. Durch Vergleich mit den Vorgaben kann nun über die Güte des Prozesses entschieden werden und entsprechend der Strategie ein Melde- bzw. Benachrichtigungsautomatismus angestoßen werden. In einem weiteren Schritt sollen diese „realen“ Parameter verdichtet und nach noch zu definierenden Regeln ausgewertet werden. Anhand dieser Auswertun-

gen kann dann in der Konstruktion bereits zum Zeitpunkt der Erstellung eines Konstruktionsobjektes anhand wissensbasierter Analysen das Objekt optimiert und die Fehlerwahrscheinlichkeit minimiert werden.

In Kapitel 4.2 konnte gezeigt werden, dass die Programmierung der Montagezelle auf Basis eines Montagevorranggraphen erfolgt. Bereits in der Konstruktion erfolgt die Festlegung des hierarchischen und zeitlichen Ablaufs der Montagesequenz. Diese Vorgänger- und Nachfolger-Beziehungen der einzelnen Schritte können demzufolge bereits in den frühen Phasen der Produktentstehung festgehalten und im PDM-System gespeichert werden (Bild 4). Darüber hinaus können ebenfalls in der Konstruktion bereits Daten über zu benutzende Greifer oder Objektmaße definiert werden, die ebenfalls bei der Erstellung der Montagesequenz zu berücksichtigen sind und automatisiert im PDM-System mit ausgewertet werden können.

The screenshot shows a software interface for a process form. The title bar reads 'Prozess-Formular'. The form contains several sections:

- Header:** 'Prefix (3-stellig)' with value 'SFB', 'Prozess-Typ' with value 'Pick & Place', and 'Prozess-Nummer (automatisch)' with value 'SFB-PROZ-002'.
- Status Section:** 'Status' with value '115', 'Angelegt' (checked), 'Prüfablauf' with value 'SFB PROZ', 'Gültig ab', 'Gültig bis', and 'Aktuell' (checked).
- Articles Section:** 'Aktiver Artikel' with value 'Lautsprecher' and 'Passiver Artikel' with value 'Türblech'.
- Process Type Information:** 'Zusatzinformationen zum Prozess-Typ' containing 'Vorgänger-Zustände' (V1: 1, V2: 0, V3: 0) and 'Nachfolge-Zustände' (N1: 3, N2: 0, N3: 0).
- Robot and Gripper Data:** 'Roboternr. (0-2)' with value 0 and 'Greifernr. (1-5)' with value 1.
- Positioning Data:** 'Abholposition Robot (mm)' (Hx: 1785, Hy: 655, Hz: -62, HAchse 4: 270) and 'Ablegeposition Robot (mm)' (Lx: 478, Ly: 399.5, Lz: -55.8, LAchse 4: 270). Similar fields for 'Hexapod' are also present.
- Object Dimensions:** 'Objektmaße maximal (mm)' (x: 50, y: 100, z: 20).

Annotations with arrows point to specific fields: 'Prozess-Typ' points to the 'Prozess-Typ' dropdown; 'Status' points to the 'Status' field; 'beteiligte Artikel' points to the 'Aktiver Artikel' and 'Passiver Artikel' fields; 'Vorgänger und Nachfolger' points to the 'Vorgänger-Zustände' and 'Nachfolge-Zustände' tables; 'Roboter' points to the 'Roboternr.' field; 'Greifer' points to the 'Greifernr.' field; and 'Prozessinformationen' points to the 'Objektmaße maximal' section.

Bild 4: Formular zur Darstellung aller relevanter Prozessdaten und -informationen

Darüber hinaus können ebenfalls in der Konstruktion bereits Daten über zu benutzende Greifer oder Objektmaße definiert werden, die ebenfalls bei der Erstellung der Montagesequenz zu berücksichtigen sind und automatisiert im PDM-System mit ausgewertet werden können.



Im Umkehrschluss besteht die Möglichkeit einer Protokollierung aller relevanten Daten während der Montage, die wiederum im PDM-System gespeichert und anderen Abteilung zugänglich gemacht werden können. Viel wichtiger ist jedoch die schnelle Beseitigung von plötzlich auftretenden Störungen. Unter Verwendung eines PDM-Systems besteht die Möglichkeit noch während der Montage, wenn es zu einem Fehler gekommen ist, die Ursache zu eruieren und den Verantwortlichen schnellstmöglich per Email oder SMS zu informieren.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieses Projektes ist es, eine bidirektionale Vernetzung auf produkt- und prozessdatentechnischer Ebene zwischen allen Bereichen des Produktentstehungsprozesses zu konzipieren und exemplarisch zu implementieren. In den Kapiteln 3 und 4 wurden die zwei Bereiche Konstruktion und Montage anhand zweier Projekte im Sonderforschungsbereich 396 kurz dargestellt. Für diese beiden Teilbereiche des Produktentstehungsprozesses wurde in Kapitel 5 erläutert, welche Produkt- und Prozessdaten jeweils generiert, verbraucht, erweitert und zurückgeliefert werden können und müssen. Weiterhin wurde gezeigt, dass in beiden Bereichen nicht nur mit den direkten „Nachbarn“ im Produktentstehungsprozess ein Datenaustausch stattfindet, sondern dieser Informationsfluss den gesamten Prozess von der Quelle bis zur Senke überspannt. In diesem Sinne können auch die Bereiche zwischen Konstruktion und Montage – zum Beispiel Arbeitsvorbereitung, Fertigung oder Qualitätssicherung – direkt in die Architektur eingebunden und über das verwendete PDM-System vernetzt werden. Eine solche ganzheitliche Vernetzung ist symbolisch in Bild 5 dargestellt.

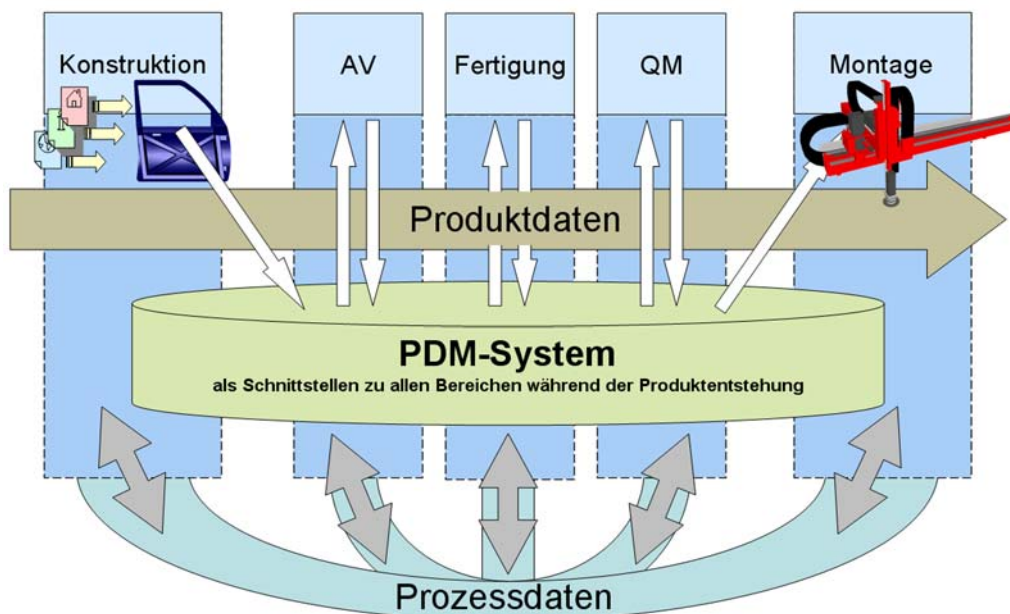


Bild 5: bidirektionale Kopplung von produkt- und prozessbezogenen Daten über alle Bereiche des Produktentstehungsprozesses

Somit entsteht eine vollständig bidirektionale Durchgängigkeit der Vernetzung und es können alle relevanten Daten ohne zeitliche Verluste verwaltet und bereitgestellt werden. Dies trägt in einem großen Maße dazu bei, die Prozesskette Produktentstehung deutlich zu verkürzen. Durch dieses Vorgehen werden zusätzlich noch Fehler beim manuellen Übertragen von Parametern durch den Menschen vermieden. Hieraus ergibt sich neben der Verkürzung auch eine deutliche Steigerung der Robustheit der Prozesskette Produktentstehung.

## 7 Literatur

- [1] Wartzack, S.: Predictive Engineering – Assistenzsystem zur multikriteriellen Analyse alternativer Produktkonzepte, Fortschritt-Bereichte VDI, Nr. 336, Erlangen, 2000
- [2] Koch, A.: Konzept zur Toleranzvisualisierung in Virtual Reality. In: Design for X – Beiträge zum 13. Symposium, (Hrsg. Meerkamm, H.), Neukirchen, 10./11. Oktober 2002
- [3] Wagner, F.: Akquisition von produkt- und prozessspezifischem Konstruktionswissen aus dem SFB 396 und Integration in das Assistenzsystem. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Konstruktionstechnik KTmfk, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 2000
- [4] Spath, D.; Burghardt, J.; Walter, W.: Aus Erfahrung gut – die Rückführung von Erfahrungsdaten verbessert die NC-Programmierung. In: Rechnerunterstützte Produktentwicklung und -herstellung, H. Grabowski (Hrsg.), Shaker Verlag, Aachen, 2002
- [5] Licha, A.: Flexible Montageautomatisierung zur Komplettmontage flächenhafter Produktstrukturen durch kooperierende Industrieroboter. Bamberg: Meisenbach, 2003
- [6] Kugelmann, D.: Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern. München: Herbert Utz Verlag, 1999
- [7] Cuiper, R.: Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen. München: Herbert Utz Verlag, 2000

Dipl.-Ing. Alexander Koch  
Lehrstuhl für Konstruktionstechnik  
FAU Erlangen-Nürnberg  
Martensstraße 9, D-91058 Erlangen  
Tel: +49-9131-85-23218  
Fax: +49-9131-85-23223  
Email: [koch@mfk.uni-erlangen.de](mailto:koch@mfk.uni-erlangen.de)  
URL: <http://www.mfk.uni-erlangen.de>

Dipl.-Ing. Veit Rückel  
Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik  
FAU Erlangen-Nürnberg  
Egerlandstraße 9, D-91058 Erlangen  
Tel: +49-9131-85-27176  
Fax: +49-9131-302528  
Email: [rueckel@faps.uni-erlangen.de](mailto:rueckel@faps.uni-erlangen.de)  
URL: <http://www.faps.uni-erlangen.de>