

## **DOKUMENTATION UND GEOMETRISCHE ABSICHERUNG VON VERBINDUNGEN IM AUTOMOBIL-PRODUKTENTSTEHUNGSPROZESS**

*Jens Resch, Thomas Bär*

### **Zusammenfassung**

Das Ziel dieses Beitrags besteht in der Beschreibung einer Methode zur Gleichbehandlung von Verbindungen am Beispiel von festen Verbindungen in der Automobilindustrie, mit dem Ziel diese in automatisierten geometrischen Absicherungen untersuchen zu können.

Verbindungen sind einerseits wesentliche Funktionsträger des Produktes und bestimmen andererseits das Aussehen und die Eigenschaften des Produktionssystems. Aufgrund der komplexen Beziehungen zwischen Produkt und Produktionssystem werden heute bereits in einzelnen Fachbereichen Untersuchungen des Produktes auf seine Produktionstauglichkeit durchgeführt. Grundlage für diese Untersuchungen sind die dokumentierten Verbindungsinformationen. Deren Dokumentation findet heute jedoch noch auf unterschiedliche Arten statt, weshalb automatisierte Absicherungen von Verbindungen nur bedingt möglich sind.

### **1 Einleitung**

Der Kundenwunsch nach individuelleren Produkten und die Notwendigkeit sich von der Konkurrenz abheben zu können, zwingt Hersteller Produkte in einer immer größeren Produktvielfalt anzubieten [1]. Zusätzlich sorgen gesetzliche Rahmenbedingungen und aktuelle Entwicklungen zur Einführung neuer Technologien. Entwicklungsprozesse müssen damit in immer kürzerer Zeit mit immer komplexeren Produkten agieren, ohne dabei die klassischen Faktoren wie Kosten und Qualität zu vernachlässigen.

Untersuchungen der Verteilung von Kostenentstehung und Kostenverantwortung für ein Produkt belegen, dass rund 70% der Herstellkosten bei der Montage von Produkten entstehen, während 75% dieser Kosten von der Konstruktion verantwortet werden [2]. Bei komplexen Produkten und Produktionssystemen wie sie in der Automobilindustrie vorzufinden sind, wird deshalb die Produktionstauglichkeit des Produktes frühzeitig abgesichert, um Fehler rechtzeitig beheben und eine Optimierung des Produktes oder der Produktionsanlagen vornehmen zu können.

### **2 Stand der Wissenschaft und Technik**

Technische Produkte sind aus einer Vielzahl von Einzelteilen zusammengesetzt, deren Aufteilung aus verschiedenen Gründen (z.B. Montage, Fertigung, Funktion) notwendig ist. Um die funktionalen Beziehungen zwischen den Einzelteilen wieder herstellen und gewährleisten zu können, müssen diese durch geeignete Maßnahmen zusammen gebracht werden. Diese Aufgabe wird konstruktiv durch Verbindungen gelöst.

## 2.1 Verbindungsdefinition

Verbindungen bilden einen Zusammenschluss von zwei oder mehreren festen Körpern, der auch unter Betriebsbedingungen bestehen bleibt [3]. Zur Beschreibung einer Verbindung sind verschiedene Informationen notwendig. Bild 1 zeigt am Beispiel einer Schraubenverbindung den Aufbau einer Verbindung aus den zu verbindenden Einzelteilen und einem Verbindungselement.

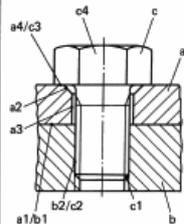
Beispiel Schraubenverbindung	Zuordnung von Elementen zu Verbindungsbegriffen
	<b>Zu verbindende Teile:</b> <i>Verbindungspartner a und b</i>
	<b>Verbindungsmittel:</b> <i>Schraube c</i>
	<b>Verbindungsverfahren:</b> <i>Wirklflächen</i> <i>c4 für Werkzeug zur Montage und Demontage</i> <i>a2, c1 Fase zum leichteren Fügen</i> <i>b2/c2 Bewegungsgewinde bei Montage und Demontage</i>
	<b>Verbindung:</b> <i>Wirklflächenpaare</i> <i>a1/b1 Berührungsflächen der Verbindungspartner</i> <i>b2/c2 Gewindepaar</i> <i>a4/c3 Berührungsflächen Schraubenkopf-Partner</i> <i>Elastische Wirkräume zwischen den Wirklflächenpaaren</i>

Bild 1: Zuordnung von Elementen zu Verbindungsbegriffen am Beispiel einer Schraubenverbindung [3]

Die Realisierung von Bauteilverbindungen kann durch eine große Anzahl von unterschiedlichen Verbindungsarten realisiert werden. So werden lösbare Verbindungen beispielsweise häufig dort eingesetzt, wo Baugruppen aus Wartungs- oder Recyclinggründen sachgemäß und leicht demontiert werden müssen [4]. Tabelle 1 zeigt einige Beispiele für feste und bewegliche Verbindungen.

Tabelle 1: Einteilung von Verbindungen nach [5] und [4]

Ausprägung		Beispiele
Feste Verbindungen	demontierbar	Schraubverbindungen
	nicht demontierbar	Nietverbindungen, Schweißverbindungen
Bewegliche Verbindungen	demontierbar	Lager und Achsen, Werkzeugführungen, Federn
	nicht demontierbar	Laufringe und Kugeln von Kugellagern

Aufgrund der Bedeutung der festen Verbindungen in der Automobil-Produktion werden nur diese im Folgenden behandelt.

## 2.2 Anforderungen der Produktion an feste Verbindungen

Neben den funktionalen Anforderungen existieren auch Anforderungen hinsichtlich der zu realisierenden Produktion. Diese werden in Form von Forderungen und Richtlinien dokumentiert. Ihre Anwendung gestaltet sich jedoch schwierig, da für ihre Umsetzung weitere Randbedingungen bekannt sein müssen. Eine Ursache ist darin zu finden, dass in der europäischen Automobilindustrie in der Regel die Entwicklung des Produktes entweder vor oder parallel zur Entwicklung des Produktionssystems stattfindet.

Eine wichtige Frage, die sich dabei stellt ist die Produktionstauglichkeit des Produktes. Dabei wird gefordert, dass zwischen dem Produkt und dem Produktionssystem inkl. den dazugehörigen Werkzeugen keine Kollisionen auftreten dürfen. Dieser Forderung kann erst dann entsprochen werden, wenn Produkt und Produktionssystem in einem gemeinsamen Kontext betrachtet werden.

Zur Überprüfung dieser Forderung besteht entweder die Möglichkeit Produktionssystem und Produkt prototypisch aufzubauen oder digitale Modelle für deren Analyse und Absicherung zu nutzen. Während sich der Aufbau von realen Prototypen äußerst zeit- und kostenintensiv gestaltet, können kommerzielle CAx-Systeme im Bereich Digital Mock-up (DMU) als Stand der Technik angesehen werden [6].

So können das Produkt und die Zugänglichkeit zugehöriger Werkzeuge geometrisch abgesichert werden. Umfang und Qualität der Absicherung hängen dabei vom Dokumentationsstand der Verbindungen ab. Da nicht-lösbare Verbindungen (insbesondere Schweiß- und Klebeverbindungen) aktuell besser dokumentiert werden, können diese automatisiert abgesichert werden. Das trifft grundsätzlich auch auf lösbare Verbindungen zu (siehe Bild 2), erfordert jedoch eine andere Dokumentation der Verbindungselemente, die derzeit nicht vorhanden ist.



Bild 2: Eingangsgrößen bei einer Zugänglichkeitsuntersuchung von Montagewerkzeugen [7]

Aufgrund der Dominanz von nicht-lösbaren Verbindungen im Karosseriebau bzw. von lösbaren Verbindungen in der Montage findet man dort unterschiedliche Dokumentationsmethoden vor.

## 2.3 Ansätze zur Dokumentation von Verbindungsinformationen

In der Literatur finden sich verschiedene Ansätze, die sich mit der Dokumentation, Verwaltung und Nutzung von Verbindungsinformationen befassen. Die darin beschriebenen Konzepte werden entweder zur Optimierung von Rohbau- oder Montageprozessen eingesetzt. Nachfolgend werden einige Beispiele erläutert.

### 2.3.1 *Assembly-Features zur Integration von Produktentwicklung und Montageplanung*

In [8] wird ein Ansatz zur Verbesserung der Integration von Produktentwicklung und Montageplanung beschrieben. Dabei wird der Konstruktion ein Konzept zugrunde gelegt, welches redundante Arbeiten reduzieren und gleichzeitig eine datentechnische Konsistenz bewirken soll. Dabei werden Verbindungsinformationen in so genannten Assembly-Features gespeichert. Diese enthalten zusätzlich Informationen über den zugehörigen Montageprozess, wodurch in der Montageplanung auf Basis dieser Informationen Prozesse und Werkzeuge definiert werden können. Gleichzeitig kann der Produktentwicklung eine Rückmeldung über Beherrschbarkeit und Qualität der Fügeprozesse gegeben werden.

### 2.3.2 *Assembly Oriented Design im Karosseriebau*

Der Ansatz des Assembly Oriented Design befasst sich mit dem zusammenbauorientierten Arbeiten im Produktentstehungsprozess der Automobilindustrie. Hier herrschen einzelteilorientierte Vorgehensweisen vor. Beziehungswissen wird entweder nicht oder als Einzelteilinformation abgebildet, verwaltet und verwendet. [9] stellt ein Konzept, basierend auf einer zusammenbauorientierten Informationsmodellierung vor. Dazu werden so genannte Generic Assembly Objects eingeführt, die als allgemeingültige Repräsentation von Zusammenbauinformationen zu verstehen sind. Das Konzept setzt dabei hauptsächlich bei der Modellierung von Rohbauverbindungen an und soll auf der einen Seite die zusammenbauorientierte Arbeitsweise fördern und auf der anderen Seite eine Parallelisierung von Produktstrukturierung und Erzeugung von Einzelteilen und Zusammenbauinformationen bewirken.

### 2.3.3 *Verbindungsdocumentation aus Sicht Montage und Logistik*

Mitte der neunziger Jahre hat sich die DaimlerChrysler AG mit den methodischen Integrationsmöglichkeiten von Produkt- und Prozessdaten befasst. Dabei wurde aus den Anforderungen der Logistik heraus ein methodischer Ansatz entwickelt, der unabhängig vom jeweiligen Schritt innerhalb des Produktentstehungsprozesses alle entstehenden Informationen in einem Datenmodell disziplinenübergreifend zur Verfügung stellen kann. Die daraus entstandene Verbindungsdokumentation bedient sich einer anderen Sichtweise auf das Produkt und die Prozesse, die für dessen Aufbau benötigt werden und stellt die Verbindung von Einzelteilen sowie die Prozess beschreibenden Informationen in den Vordergrund. Auf Basis der Dokumentation von Einzelteilen und Verbindungen lassen sich die einzelnen Herstellprozesse modellieren und abbilden. Damit lassen sich die relevanten Informationen mit Hilfe einer Struktur aus Einzelteilen und Verbindungen vollständig dokumentieren [10]

### 3 Handlungsbedarf

Wachsende Rohstoffpreise und die Einführung neuer Technologien führen zu Veränderungen in der Automobilindustrie. Die Ablösung von Stahlbauteilen durch neue und leichtere Werkstoffe im Karosseriebau zieht die Einführung neuer Fügetechnologien nach sich [11]. Dadurch verliert die historisch gewachsene Dominanz der klassischen Verbindungselemente in Karosseriebau und Montage zunehmend an Bedeutung.

Der Einsatz neuer Antriebstechnologien verlangt neue Konzepte in der Fahrzeuggestaltung. Der alternative Einbau von Verbrennungs-, Hybrid- und Elektromotor in einem Fahrzeug stellt eine Herausforderung an die zugrunde liegenden Fahrzeugkonzepte dar. In Kombination mit der zunehmenden Vielfalt der eingesetzten Fügetechnologien ist daher auch mit einer deutlich steigenden Anzahl von Varianten im Karosseriebau zu rechnen [12].

Aufgrund dieser wachsenden Produktvarianz spielen auch Standardisierungs- und Modularisierungsbemühungen eine immer bedeutendere Rolle. Die Anwendung dieser großen Bandbreite an zur Verfügung stehenden Verbindungstechnologien ist nur in dem Maße sinnvoll, wie daraus unter wirtschaftlichen Randbedingungen ein Produkt hergestellt werden kann. Um dies gewährleisten zu können ist somit eine sinnvolle Eingrenzung der eingesetzten Verbindungselemente und Fügeverfahren erforderlich. Durch die Verwendung gleichartiger Verbindungselemente lässt sich somit auch die Anzahl der unterschiedlichen Betriebsmittel reduzieren.

Unter diesen Randbedingungen ist abzusehen, dass heutige Dokumentationsmethoden an ihre Grenzen stoßen werden. Unterschiedliche Vorgehensweisen in Konstruktion und Verwaltung von Verbindungselementen können für eine Unterstützung und Optimierung der heutigen Prozesse nicht mehr als Grundlage herangezogen werden. Daher wird eine einheitliche Dokumentation aller festen Verbindungen angestrebt. Diese bildet die Basis für Planungs- und Absicherungsaktivitäten während der Produktentstehung. Um das Zusammenspiel von Produkt und Produktionssystem bereits in frühen Phasen der Produktentwicklung überprüfen zu können, soll die einheitliche Dokumentation von Verbindungselementen auch dazu beitragen eine automatisierte Absicherung der Verbindungen zu ermöglichen.

### 4 Lösungskonzept

Nachfolgend wird ein Konzept vorgestellt, welches eine einheitliche Dokumentation von Verbindungen im Produktentstehungsprozess vorsieht. Aufgrund der großen Bedeutung von festen Verbindungen in der Automobilindustrie wird der Schwerpunkt auf deren Dokumentation und automatisierte Absicherung gelegt. Im Gegensatz zu anderen Ansätzen wird nicht zwischen lösbaren und nicht-lösbaren Verbindungen unterschieden. Das Ziel besteht darin, Verbindungsinformationen frühzeitig zu erfassen und über den Entwicklungsprozess hinweg einheitlich zu verwalten. Damit soll eine Möglichkeit geschaffen werden die gesamte Vielfalt der möglichen Verbindungsarten in automatisierten Absicherungen überprüfen zu können.

Die Erzeugung von Verbindungen erfolgt dabei an generischen Verbindungsobjekten. Diese bestehen zunächst aus Grundinformationen wie Lage, Orientierung, zu verbindende Bauteile sowie einer eindeutigen Kennzeichnung der Verbindung. So kann eine Verbindung in einer frühen Phase zunächst als allgemeingültige Bauteilbeziehung angelegt werden. Im späteren Verlauf des Konstruktionsprozesses kann diese dann um eine bestimmte Verbindungsart (z.B. Schrauben-, Klebe- oder Schweißverbindung) vervollständigt werden. Wichtige Prozessparameter sollen dabei an der Verbindung dokumentiert werden können. Somit bringt jede Verbindung alle Informationen mit, die während der Produktionsplanung für die Festlegung von Prozessen und Produktionsanlagen benötigt werden.

Vorteile der Modellierung in generischen Verbindungen liegen insbesondere darin, dass diese bereits Grundinformationen für automatisierte geometrische Absicherungen mit sich bringen. Lage und Orientierung jeder Verbindung können zur Positionierung von Werkzeugen genutzt werden, während die eindeutige Kennzeichnung immer eine genaue Zuordnung von Absicherungsergebnissen und Verbindung ermöglichen. Da die unterschiedlichen Verbindungsarten jeweils nur mit bestimmten Werkzeugen gefügt werden können, können die dokumentierten Prozessparameter gleichzeitig dazu herangezogen werden, eine Auswahl zu untersuchender Werkzeuge je Verbindung vorzunehmen.

Das Konzept beinhaltet damit die folgenden Aspekte:

- Erzeugung von generischen Verbindungen für lösbare **und** nicht-lösbare Verbindungen
- Gleichartige Dokumentation **aller** festen Verbindungen
- Dokumentation von Fügeprozessparametern **jeder** Verbindung

Die Modellierung von Verbindungen in generischen Verbindungen und die damit verbundene einheitliche Dokumentation von Verbindungsinformationen trägt somit zu einer Vereinheitlichung von Methoden im Entwicklungsprozess bei. Zusätzlich wird dadurch die Möglichkeit geschaffen automatische Absicherungen von lösbaren und nicht-lösbaren Verbindungen durchzuführen (siehe Bild 3).

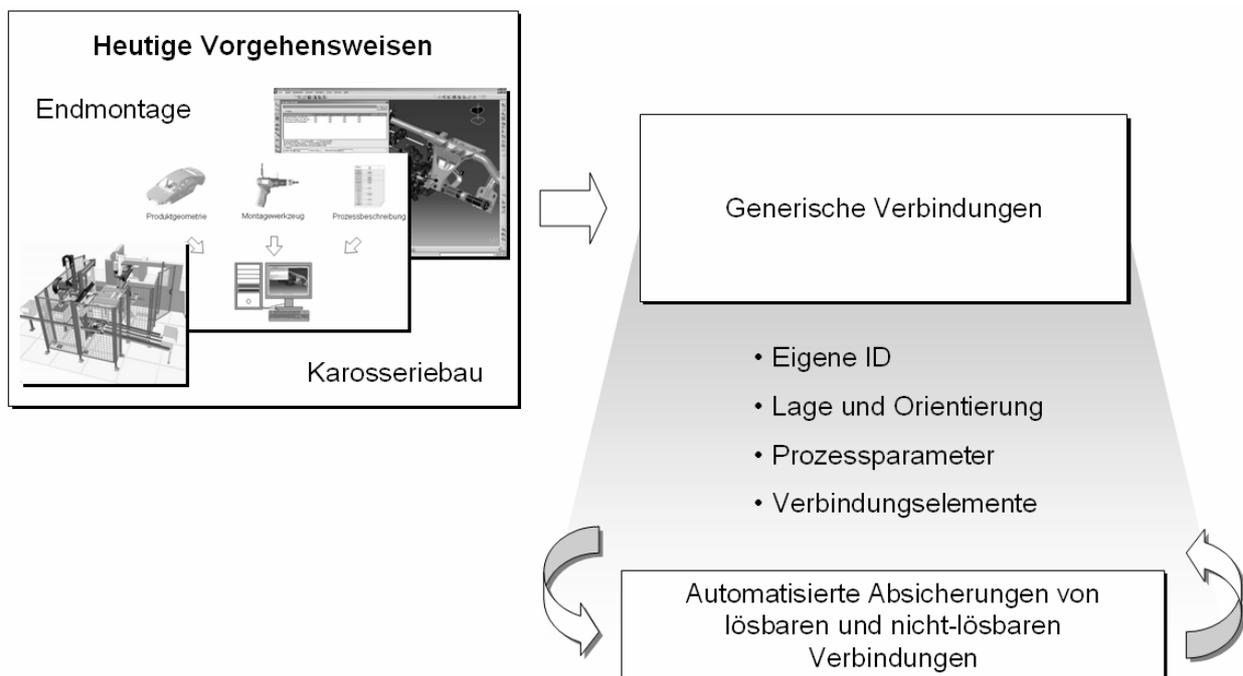


Bild 3: Generische Verbindungen als Basis für automatisierte Absicherung fester Verbindungen

## 5 Fazit

Verbindungen spielen in der Automobilindustrie eine große Rolle. Sie dienen auf der einen Seite zur Erfüllung funktionaler Anforderungen und tragen zur Qualität des Produktes bei. Auf der anderen Seite hat ihre Verwendung auch Einfluss auf die Gestaltung des Produktionssystems. Um Probleme während der Produktion frühzeitig aufdecken und beheben zu können wird daher in der Automobilindustrie bereits in frühen Phasen des Produktentstehungsprozesses eine Überprüfung der Produktionstauglichkeit des Produktes vorgenommen. Aufgrund der Dominanz der klassischen Verbindungsarten haben sich in der Vergangenheit unterschiedliche Arten der Dokumentation, Verwaltung und Nutzung von Verbindungsinformationen herausgebildet. Aufgrund der erwarteten Zunahme neuer Fügetechnologien und dem Anstieg der Produktvarianz, der sich beispielsweise durch die Einführung neuer Technologien und Antriebskonzepte ergibt, werden diese Dokumentationsmethoden an ihre Grenzen stoßen. Daher wird in diesem Beitrag das Konzept der generischen Verbindungen als Lösung dieses Problems vorgestellt. Diese Art der Dokumentation soll zum einen dazu beitragen die verschiedenen lösbaren und nicht-lösbaren Verbindungen einheitlich über den Produktentstehungsprozess zu behandeln und zum andern eine Möglichkeit schaffen, wie eine automatisierte Absicherung aller Verbindungen in einem Produkt durchgeführt werden kann.

## 6 Literatur

- [1] Burr, H.; Deubel, T.; Vielhaber, M.; Hasis, S.; Weber, C.: Challenges for CAx and EDM in an International Automotive Company, International Conference on Engineering Design, 2003
- [2] Gairola, A.: Montagegerechtes Konstruieren. Ein Beitrag zur Konstruktionsmethodik. Dissertation, TH Darmstadt, 1981
- [3] VDI 2232: Methodische Auswahl fester Verbindungen – Systematik, Konstruktionskataloge, Arbeitshilfen, Beuth Verlag, Berlin, 2004
- [4] Roth, K.: Konstruieren mit Konstruktionskatalogen, Band 3: Verbindungen und Verschlüsse, Lösungsfindung, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1996
- [5] Akagi, F.: The Method of Analysis of Assembly Work Based on the Fastener Method, Bulletin of the JSME, Vol. 23, No. 184, 1980
- [6] Krause, F.-L.; Franke, H.-J., Gausemeier, J.: Innovationspotentiale in der Produktentwicklung, Car Hanser Verlag, München Wien, 2007
- [7] Meißner, R.: Proaktive geometrieorientierte Montageabsicherung, 19. Symposium for X, Neukirchen, 2008
- [8] Franke, C.: Feature-basierte Prozesskettenplanung in der Montage als Basis für die Integration von Simulationswerkzeugen in der Digitalen Fabrik, Dissertation, Saarbrücken 2003
- [9] Vielhaber, M.: Assembly Oriented Design – Zusammenbauorientiertes Konstruieren im Produktentstehungsprozess der Automobilindustrie am besonderen Beispiel des Karosserierohbaus, Dissertation, Saarbrücken, 2005
- [10] Jania, T.: Änderungsmanagement auf Basis eines integrierten Prozess- und Produktdatenmodells mit dem Ziel einer durchgängigen Komplexitätsbewertung, Dissertation, Paderborn, 2005
- [11] Köhler, K.-U.: Stahl-Innovationen für die Automobilindustrie der Zukunft, Tagungsband zur Innovationskonferenz „Automobilproduktion der Zukunft“, Berlin, 2008

- [12] Bär, T.: Flexibility Demands on Automotive Production and their Effects on Virtual Production Planning, 2nd CIRP Conference on Assembly Technologies & Systems (CATS 2008), Toronto, Kanada, 2008

Dipl.-Ing. Jens Resch  
Fachgebiet Konstruktionstechnik  
Technische Universität Ilmenau  
Max-Planck-Ring 12 (Haus F), D-98693 Ilmenau  
Tel: +49-731-505-4846  
Fax: +49-711-30552186642  
Email: [jens.resch@tu-ilmenau.de](mailto:jens.resch@tu-ilmenau.de)  
URL: <http://www.tu-ilmenau.de/konstruktionstechnik>