

Diss. ETH Nr. 12088

# Montagegerechte Produktgestaltung am Beispiel des komplexen Großserienproduktes Automobil

Abhandlung  
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN  
der  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZÜRICH

vorgelegt von

**JAN SPIES**  
Dipl.-Masch.-Ing. ETH  
geboren am 25. Januar 1970  
von Braunschweig, Bundesrepublik Deutschland

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. F. Rehsteiner, Referent  
Dipl. Phys. G. Krekeler, Korreferent  
Prof. F. Huber, Korreferent

Zürich 1997

## Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit leistet einen Beitrag zur montagegerechten Produktgestaltung. Ausgehend von Produkten der Großserienproduktion wird ein Konzept vorgestellt, das es gestattet, die Montage während der gesamten Produktentwicklung zu berücksichtigen. Das Konzept kann an bestehende Entwicklungsabläufe angepaßt werden, ohne daß diese stark verändert werden müssen.

Zu diesem Zweck sind vier für die Montage entscheidende Phasen identifiziert worden, die das Produkt in der Entwicklung durchläuft. Diese Phasen sind im bestehenden Entwicklungsprozeß zu identifizieren, um dort die in der Arbeit empfohlenen Hilfsmittel zur Erzielung einer montagegerechten Produktstruktur anzuwenden.

Die erste Phase, die **Konzeptphase**, gliedert das geplante Produkt in die vorhandenen Strategien und bei Weiterentwicklungen in die Baureihen des Unternehmens ein. Dabei ist hier nicht der Aspekt der Marktpositionierung entscheidend. Ein neues oder überarbeitetes Produkt muß sich an vorhandenen Baugruppen und Fertigungseinrichtungen orientieren oder gezielt Änderungen bewirken. Zu diesem Zweck wird eine systematische Festlegung der Teile und Komponenten vorgeschlagen, die aus anderen Produkten übernommen oder bei anderen Firmen beschafft werden können.

Weiterhin wird die Festlegung auf einen konsequenten Produktaufbau, beispielsweise eine Baukastenstruktur, empfohlen. Diese ist die erste Randbedingung, die eine optimale Montage sicherstellt.

Die zweite Phase ist die **Modularisierung** des Produktes. Weil eine sinnvolle Aufteilung in Module die Voraussetzung für eine gute Montierbarkeit ist und eine Möglichkeit, die Produktkomplexität zu begrenzen, wurde in diesem Bereich der Schwerpunkt der Arbeit gelegt. Unter einer Modulbauweise versteht man in diesem Zusammenhang das Zusammenfassen von Elementen eines Produktes und der dazugehörigen Prozesse zu bestimmten Bau- oder Funktionsgruppen. Die Schwierigkeit ist es, ein Produkt unter Berücksichtigung der verschiedenen Einflüsse der Entwicklung, Produktion, Beschaffung, Instandhaltung und des Recyclings zu modularisieren. Da keine geeignete Methode zur Verfügung stand, die es gestattete, eine Produktmodularisierung durchzuführen, wurde in der Arbeit ein neues Verfahren entwickelt. Dieses hat die Aufgabe, die Modularisierung von Produkten frühzeitig und daher mit relativ wenig Information zu unterstützen. Die erhaltene Produktmodularisierung kann anschließend an die Anforderungen der verschiedenen Bereiche eines Unternehmens angepaßt werden.

Zusätzlich zur Aufteilung des Produktes in Module muß in dieser Phase die Bildung der Entwicklungsteams stattfinden, die sich an der Modulaufteilung des Produktes zu orientieren hat.

Für die dritte Phase, die **Baugruppenentwicklung**, gibt es bereits eine große Zahl von Verfahren, die zur Montageoptimierung eingesetzt werden können. Zur Anwendung kann hier das Design For Manufacture And Assembly (DFMA)

Verfahren von Prof. G. Boothroyd empfohlen werden. Das DFMA-Verfahren ist im Rahmen dieser Arbeit bei der Volkswagen AG eingeführt worden. Es hat sich dabei gezeigt, daß mit dem Verfahren in kurzer Zeit eine große Zahl verwertbarer Ideen zur Optimierung einer Baugruppe entwickelt werden.

In der letzten Phase, der **Detaillierungsphase**, werden die Einzelteile der Baugruppen anhand ihrer Randbedingungen ausgelegt. In dieser Phase kann die Montagegerechtheit des Einzelteils nur noch dort beeinflusst werden, wo keine Vorgaben aus den vorangegangenen Phasen existieren. Trotzdem existieren in der Literatur hierfür die meisten Leitfäden, Handbücher und Checklisten für den Konstrukteur. Eine Auswahl der vorhandenen und der empfohlenen Hilfsmittel wird in der Arbeit vorgestellt.

Es stellte sich dabei jedoch deutlich heraus, daß eine montagegerechte Produktgestaltung im wesentlichen durch eine frühzeitige Festlegung der Produktstruktur erzielt wird.

In den auf die Detaillierungsphase folgenden Schritten der Produktentstehung kann die Montagegerechtheit nur noch durch Änderungen am bestehenden Produkt beeinflusst werden. Dies ist nach Möglichkeit zu vermeiden.

Die Arbeit ist so angelegt, daß das Konzept auch auf Klein- und Mittelserienprodukte angewendet werden kann, auch wenn **komplexe Großserienprodukte** im Vordergrund stehen. Diese verbinden insofern die Schwierigkeiten großer Serien mit denen kleiner, als die zunehmende Komplexität der Produkte ein Merkmal kleinerer Serien ist. Ein Konzept, das sowohl eine hohe Produktvielfalt als auch die für Großserien relevanten Optimierungspotentiale berücksichtigt, kann daher allgemein angewendet werden.

Die Dissertation entstand in Zusammenarbeit mit der Volkswagen AG. Die Erfahrungen, die im Laufe der Arbeit mit dem komplexen Großserienprodukt Automobil gemacht worden sind, fließen daher in die Betrachtungen jeweils mit ein.

## Abstract

The dissertation provides a contribution to design for assembly. Based on products for large scale production a scheme is presented which considers the entire development process. The scheme can be adjusted to an existing development process without changing it.

For this purpose four phases have been identified that are run through by the product during the development and which are important to achieve a product structure for easy assembly. For the installation of the scheme these phases have to be identified in the existing development process. In each phase the recommended tools can be used to achieve good assemblability.

The first phase, the **Conceptual Phase**, integrates the planned product into the existing product line of the company. In this case marketing aspects need not to be considered. It is essential that a new or revised product is still suitable for available assembly groups and facilities. If not, specific changes have to be made. For this purpose a definition of the parts and components is proposed which can be taken over from other products or can be purchased at other firms.

Furthermore the establishment of a consistent product structure is recommended, for instance the assembly of prefabricated machine parts. This is the first boundary condition which ensures an optimal product assembly.

The second phase is the **Modularisation Phase** of the product. A reasonable break-up into modules is essential for a good assemblability and a possibility for managing product complexity. Because of this the main emphasis of the dissertation will be in this field. A modular design in this context is defined as the grouping of elements of a product and the necessary processes to certain components or function groups. The difficulty is to modularise a product while considering the different influences of marketing, development, production, purchasing, maintenance and recycling. Since no suitable method could be found which allowed to accomplish a satisfactory product modularisation, a new process has been developed during the research. Its task is to support the modularisation of products at an early stage of development and thus with relatively little information. The resulting product modularisation can then be adjusted to the requirements of the different departments of a company.

In addition to the modularisation of the product into modules, development teams have to be formed in this phase. The team structure has to be adjusted to the modularisation.

In the third phase, the **Component Design Phase**, the focus is on subassemblies. A large number of methods are available to achieve an optimum assembly in this phase. Here, the use of Professor Boothroyd's Design For Manufacture And Assembly (DFMA) method is recommended. As an offspring of this project the DFMA method could be introduced at Volkswagen as an actively used design tool. It could be proved that a large number of realizable ideas for optimizing an assembly group can be developed with DFMA within a short time.

In the last phase, the **Part Design Phase**, all parts are designed in detail within the cornerstones. For that reason the assemblability of the component at that stage can only be influenced, if no fixed preconditions are given from the previous phases. Nevertheless most manuals and check lists to help designers to be found in literature deal with this phase. Therefore a selection of available and recommended resources is presented in the dissertation.

It turned out clearly that a product structure for easy assembly is achieved essentially by actions taken in the early phases of product development.

In the following steps of the product development the assemblability of the product can only be improved by product changes. This has to be avoided where ever possible.

Although the project is focussing on **complex mass products** the scheme can also be applied to small and medium scale production. This is possible because complex mass products combine the difficulties of large and small scale production due to the fact that increasing complexity of products is a feature of smaller series. A method which considers both, a large number of options as well as the possibilities for optimization that are relevant for mass products, can therefore be used generally.

The dissertation was made in cooperation with Volkswagen AG. The experiences which have been made during the work with the complex mass product „automobile“ are considered for illustration.