

## SEMANTISCHE INTERPRETATION VON BAUGRUPPENZEICHNUNGEN

*Hans Grabowski, Harald Kunze, El-Fathi El-Mejbri*

### Kurzfassung

Ziel der Überführung von konventionell dokumentierten Produktinformationen in eine rechnerinterne Beschreibung ist es, das in den technischen Zeichnungen enthaltene Wissen für die Neu- sowie Weiterentwicklung von Produkten durch automatische Rekonstruktionsverfahren zu nutzen. Die automatische Rekonstruktion von Baugruppenzeichnungen ist von besonderem Interesse, weil aus den Baugruppen viele Informationen über technische und technologische Lösungen vergangener Produkte genutzt werden können. In diesem Beitrag wird ein allgemeiner Lösungsansatz zur Gewinnung von 3D-Baugruppen-Modelldaten durch Interpretation von 2D-Baugruppen- und Einzelteilzeichnungen vorgestellt.

### 1 Einleitung

Die Erforschung der automatischen Rekonstruktion von konventionell erstellten Baugruppenzeichnungen ist noch in den Anfängen. Die Rekonstruktion von Baugruppenzeichnungen ist derzeit Gegenstand des Projektes „*Automatische Gewinnung von 3D-Baugruppen-Modelldaten durch Interpretation von Baugruppenzeichnungen*“, das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wird. Dieses Projekt ist die Nachfolge zwei zuvor abgeschlossener Forschungsprojekte, die sich mit der „Entwicklung einer Methode zur automatischen 2D/3D-Produktmodellwandlung“ [1] und mit der „Interpretation technischer Zeichnungen“ [2] beschäftigten.

### 2 Technische Unterlagen einer Baugruppe

Technische Zeichnungen sind die bildliche Darstellung der Konstruktionsdaten und dienen als Grundlage der Tätigkeiten in der Arbeitsvorbereitung, der Fertigung und der Montage. Die Bestandteile einer technischen Zeichnung lassen sich aufteilen in (Bild 1):

- Ansichten: Es sind meistens drei Ansichten abgebildet. Bei Drehteilen sind lediglich eine oder zwei Ansichten dargestellt,
- Schnittdarstellungen,
- Linien zur Darstellung der makroskopischen Gestalt,
- Hilfslinien zur Darstellung der makroskopischen Gestalt wie z.B. Mittellinien und Mittelkreuze,
- Symbole zur ergänzenden Darstellung der makroskopischen Gestalt wie z.B. Bemaßungen, Maßhilfslinien, Hinweispeile, Blickrichtungspfeile,
- Symbole zur Darstellung der mikroskopischen Gestalt wie z.B. Form- und Lagetoleranzen, Oberflächenbeschaffenheit,
- Zeichnungsrahmen und
- Meta-Daten: Sie enthalten Angaben über Erstellungsdatum, Stücklistennummer, Masstab, Zeichnungsnummer, usw.

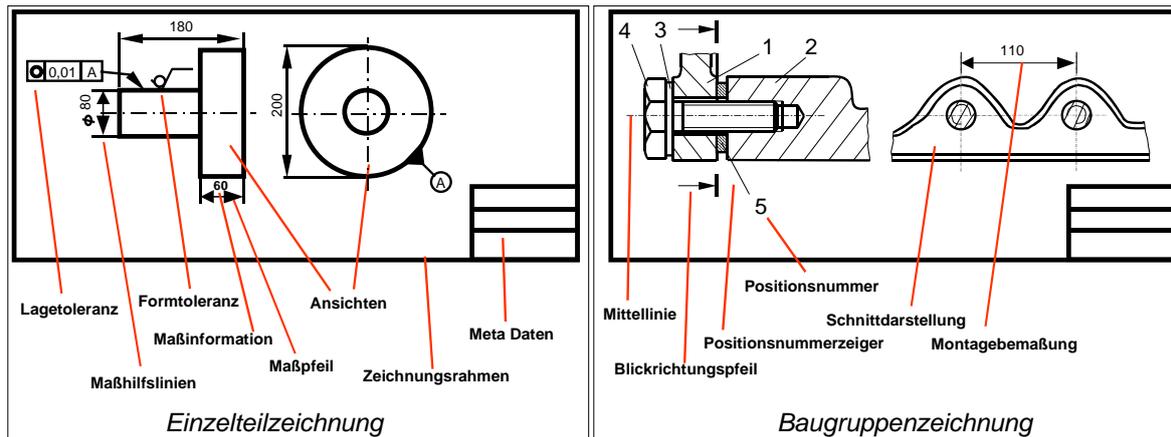


Bild 1: Bestandteile von technischen Zeichnungen

Eine Baugruppe besteht immer aus mehreren Einzelteilen. Die Beschreibung einer Baugruppe umfasst die Baugruppenzeichnung, die Einzelteilzeichnungen und die Stückliste. Die Gestalt einer Baugruppe wird durch die Art, die Zahl und die räumliche Lage und Anordnung der beteiligten Einzelteile bestimmt. Die 2D-Zeichnung der Baugruppe enthält außer den oben genannten Informationen Positionennummer und deren Positionennummerzeiger der Einzelteile.

Die Stückliste ist Bestandteil jeder Konstruktion, damit ein Produkt vollständig beschrieben werden kann. Nach DIN 6771 gibt es mehrere Arten von Stücklisten: Mengenübersichts-Stückliste; Struktur-Stückliste und Baukasten-Stückliste. Für die Rekonstruktion von Baugruppen wird die Mengenübersichts-Stückliste verwendet. Sie enthält in der Reihenfolge von links nach rechts Spalten für Positionennummer, Menge, Einheit der Menge, Benennung der Gruppe oder des Einzelteils (einschliesslich Normteile, Fremdteile und Hilfstoffe), Werkstoffe, Teileart (Zukauf-, Lager- oder Halbzeugteil), Maßstab und Sachnummer und/oder Normkurzbeschreibung zur Identifikation und Bemerkungen.

### 3 Rekonstruktionsprozess von Baugruppenzeichnungen

Der Rekonstruktionsprozess von konventionell erstellten Baugruppenzeichnungen besteht aus vier Phasen: Digitalisierung; Vektorisierung/Interpretation; 2D/3D-Bauteilrekonstruktion und Lageerkennung. In [Bild 2](#) sind die Phasen des Rekonstruktionsprozesses sowie deren Ergebnisse dargestellt.

In der ersten Phase werden alle Dokumente einer Baugruppe mittels eines Scanners digital erfasst. Das Ergebnis des Abtastvorgangs sind Rasterdaten (Pixel). Die Rasterdaten der jeweiligen Dokumente werden in einer zweiten Phase in Vektordaten umgewandelt und anschließend nach ihrer Semantik interpretiert. Die semantische Interpretation umfasst dabei die folgenden Teilschritte: Erkennung von geometrischen Daten (Linien, Kreise, usw.), Erkennung von technologischen Daten (Informationen über Montage, Oberflächenbeschaffenheit, Toleranzen, Maßinformationen, Maßbilder, usw.) und Erkennung von Meta-Daten (Positionennummer, Datum, Benennung, Stückliste, usw.).

Nach der Interpretation wird eine Trennung der Bauteilkontur, Bemaßungen, Hilfslinien, Oberflächenbeschaffenheiten und Zeichnungsrahmen durchgeführt und so 2D-CAD-Geometriemodelle der Einzelteile generiert [2]. In der dritten Phase werden die 2D-CAD-Modelle rekonstruiert und daraus 3D-CAD-Modelle erzeugt. Hierzu sind Verfahren der

orthogonalen Projektionen bekannt [3]. Anschliessend in einer vierten Phase werden die Positionen der Einzelteile der Baugruppe identifiziert und das 3D-Modell der Baugruppe generiert. Die Stückliste wird nach der Digitalisierung und Vektorisierung mittels eines OCR-Systems (Zeichenerkennungssysteme – engl. Optical Character Recognition) interpretiert.

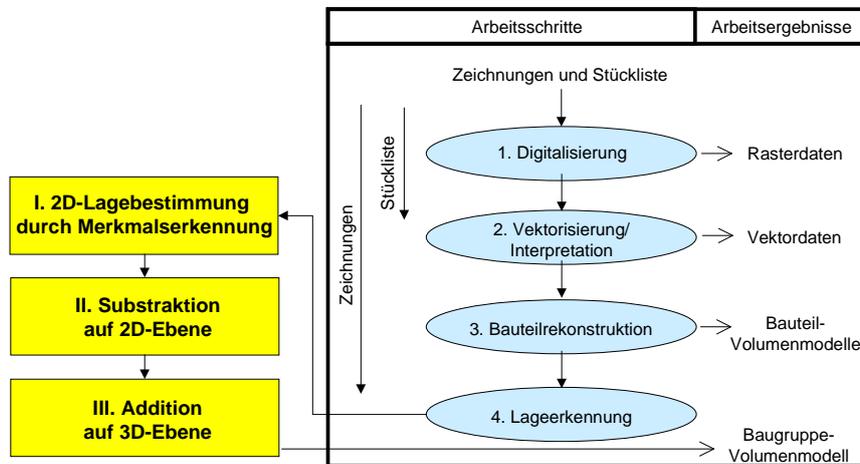


Bild 2: Phasen und Ziele des Rekonstruktionsprozesses

Die einzelnen Ergebnisse, 2D-CAD sowie 3D-CAD-Modelle der Einzelteile, die Meta-Daten der Stückliste und das 2D-CAD-Modell der Baugruppe, werden in eine Datenbank gespeichert. In der Datenbank stehen dann alle für die 3D-Rekonstruktion der Baugruppe relevanten Informationen zur Verfügung.

## 4 Teilaufgaben der Lageerkennung

In diesem Kapitel wird auf die vierte Phase des Rekonstruktionsprozesses die Lageerkennung näher eingegangen. Diese Phase besteht aus drei Teilaufgaben: die 2D-Lagebestimmung durch Merkmalerkennung, die Substraktion auf 2D-Ebene und die Addition auf 3D-Ebene (Bild 2).

### 4.1 2D-Lagebestimmung durch Merkmalerkennung

Die Grundidee bei der Lagebestimmung ist es, die Positionen der 2D-Geometrie der Einzelteile in der 2D-Zeichnung der Baugruppe zu erkennen. Als wichtigstes Merkmal zählt dabei die Positionsnummer und deren Positionsnummerzeiger. Sie geben ungefähr an, in welchem Bereich der Baugruppe sich ein Einzelteil befindet<sup>1</sup>. D.h. die Suche nach einem Einzelteil muss in dem Bereich gestartet werden, wo sich die dazugehörige Positionsnummer befindet, damit eine schnelle Detektion zustande kommt. Wird dieser Bereich definiert, müssen andere Merkmale herangezogen werden, um die Position eines Einzelteils zu bestimmen. Die Voraussetzung für den Einsatz von Merkmalen zur Lagebestimmung erfordert alle sechs Ansichten (Vorder-, Rück-, beide Seitenansichten, Drauf- und Untersicht) jedes Einzelteils, wobei in der Regel die Vorderansichten der Einzelteile in der Baugruppe (Vorderansicht) dargestellt sind. Die weiteren Ansichten sind dann nützlich, wenn ein Einzelteil nur in einer Schnittdarstellung oder auf einer Seitenansicht der Baugruppe zu finden ist. Alle Ansichten eines Einzelteils können z.B. mit einem CAD-System aus dem 3D-Modell generiert werden. Es wird auch vorausgesetzt, dass die 3D-Gestaltungsdaten von

<sup>1</sup> Ein Einzelteil kann auch mehrmals vorkommen, dementsprechend oft tritt die Positionsnummer auf.

Norm- und Werknormteilen aufgrund ihrer ISO- und DIN-Bezeichnung zur Verfügung gestellt werden können.

Ein mögliches Merkmal besteht darin, einen Punkt eines Einzelteils auszuwählen. Von diesem Punkt aus werden zwei Vektoren definiert, die jeweils einer Kante des Einzelteils entsprechen. Die beiden Vektoren sind durch ihre Längen charakterisiert. In diesem Fall ist die Suche nach den Kanten des Einzelteils nur möglich, wenn diese Kanten in der Baugruppenzeichnung sichtbar sind, d.h. Sichtkanten (Bild 3-a). Für den Fall, dass der Winkel zwischen den beiden Vektoren ungleich  $90^\circ$  ist, wird ein weiteres Merkmal eingesetzt, in dem nach diesem Winkel an einem bestimmten Punkt in der Baugruppenzeichnung gesucht wird (Bild 3-b). Es ist auch möglich nach Teilflächen eines Einzelteils zu suchen. Dieses Merkmal ist nur einsetzbar, wenn ein Einzelteil auch als Schnittdarstellung zur Verfügung steht. Die Teilflächen sind durch die Schraffur und ihre umschlossenen Konturlinien charakterisiert. Die verschiedenen Linienbreiten der Schraffur- und Konturlinien erlauben es, eine Teilfläche zu berechnen (Bild 3-c). Lange Teile, wie z.B. Wellen, Gehäuse, usw. können durch einen langen Vektor erkannt werden (Bild 3-d). Ein wichtiges Merkmal bei mehrfach vorkommenden Einzelteilen ist die Stückzahl, wie z.B. es der Fall bei Normteilen (z.B. Schrauben) sein kann.

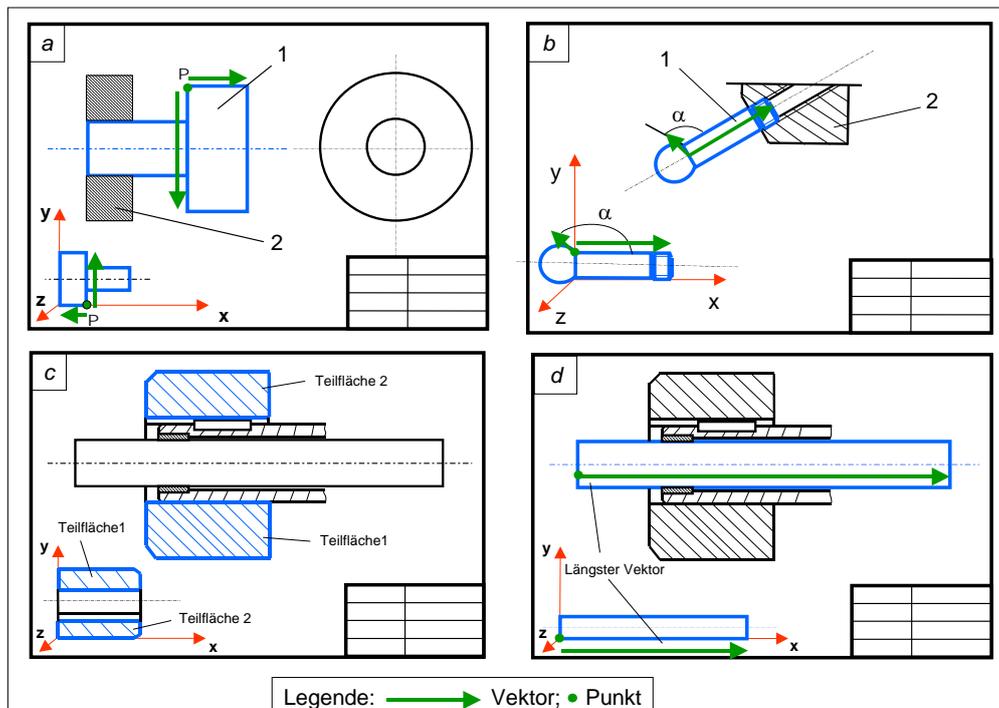


Bild 3: Einige Merkmale zur 2D-Lagebestimmung von Einzelteilen in der Baugruppe

Jedes Merkmal liefert einen Wahrscheinlichkeitswert. Dieser Wahrscheinlichkeitswert ist ein Index dafür, zu wieviel Prozent die Kanten eines Einzelteils in der Baugruppenzeichnung erkannt wurden. Unvollständige Erkennung von Einzelteilen ist zum Einen auf die unsichtbaren Kanten und zum Anderen auf lokale Ähnlichkeiten mancher Einzelteile zurückzuführen. Die Merkmale müssen sequenziell für alle Einzelteile überprüft werden. Das Ergebnis ist dann die sogenannte Detektionsmatrix, deren Abszisse die Merkmale und Ordinate die Einzelteile bilden. Jedem Kreuzungsfeld einer Abszisse mit einer Ordinate wird ein Wahrscheinlichkeitswert zugeordnet. Die erfolgreichste Erkennung eines Einzelteils wird durch den höchsten Wahrscheinlichkeitswert angenommen (Bild 4).

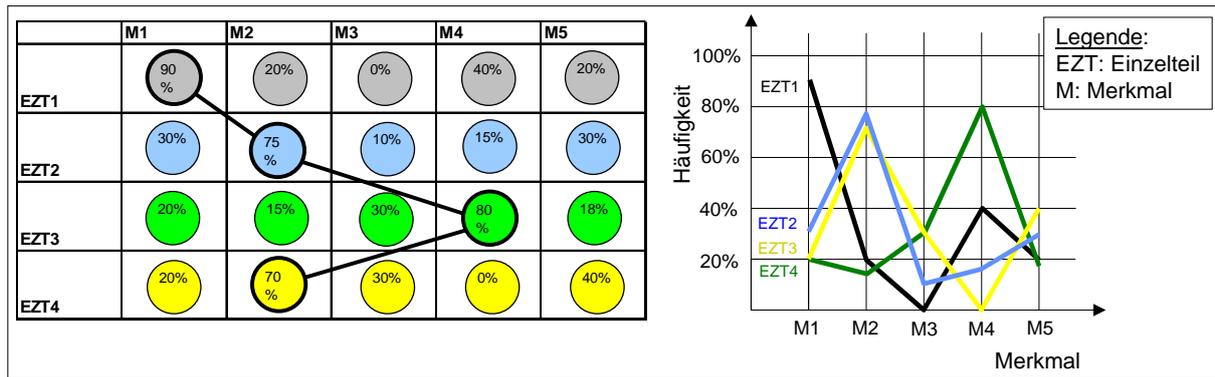


Bild 4: Detektionsmatrix der Einzelteile in der Baugruppe

Aus Bild 3 ist ersichtlich, dass durch die Erkennung der Einzelteile die folgenden Transformationen notwendig sind: Translation in x-Richtung, Translation in y-Richtung und Rotation um die z-Achse. Ferner werden nach der Erkennung ebenfalls die Rotationen um die x- und die y-Achse ermittelt.

#### 4.2 Substraktion auf 2D-Ebene

Ziel dieser zweiten Teilaufgabe ist, zu verifizieren, ob alle Einzelteile der Baugruppe richtig erkannt worden sind. Die Verifikation erfolgt jedesmal, wenn die Lage eines Einzelteils bestimmt ist. Nach der erfolgreichen Lagebestimmung werden die Kanten des Einzelteils aus der Baugruppe ausgeblendet so lange, bis alle Kanten der Baugruppenzeichnung aus der Zeichenfläche verschwinden.

#### 4.3 Addition auf 3D-Ebene

Ausgangspunkt dieser dritten Teilaufgabe sind die bisher erkannten Orientierungen der verschiedenen Einzelteile. Ziel der Addition ist die Erzeugung des 3D-Modells der Baugruppe. Die Grundidee bei der Addition ist, basierend auf gewonnenen Daten der ersten beiden Teilaufgaben das 3D-Modell der Baugruppe durch die Montage der 3D-Modelle der Einzelteile zu generieren. Dabei wird ein Einzelteil ausgewählt und dessen 3D-Modell aus der Datenbank geladen. Die Auswahl kann willkürlich stattfinden, wobei die äußeren Einzelteile, wie z.B. Gehäuse, den Vorteil haben, die meisten Kontaktflächen mit anderen Einzelteilen zu bilden. Auf Basis dieses ausgewählten 3D-Einzelteilmodells werden die verschiedenen 3D-Modelle der weiteren Einzelteile sukzessiv montiert. Hierfür sind alle Koordinaten der Einzelteile im Raum notwendig. Es gilt also den sechsten Freiheitsgrad, die Translation in z-Richtung, zu bestimmen. Wenn die Baugruppe nicht symmetrisch ist, d.h. nicht alle Einzelteile liegen auf einer Ebene, dann müssen weitere Ansichten oder Schnittdarstellungen der Baugruppe zu Hilfe genommen werden. Für die Ermittlung der Koordinaten in z-Richtung stehen die Bemaßungsdaten der Makrogestalt zur Verfügung. Bemaßungsdaten können Funktions-, Fertigungs-, Prüf- oder Montagebemaßungen sein. Die Montagebemaßung gibt die Abmessungen zwischen Einzelteilen an, die bei der Montage eingestellt werden müssen. Während des Additionsprozesses können Seitenansichten und Schnittdarstellungen der Baugruppe abgeleitet werden und mit denen der Baugruppenzeichnung zwecks der Verifikation verglichen werden.

## 5 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde ein allgemeiner Lösungsansatz zur 3D-Rekonstruktion von Baugruppen vorgestellt. Als Voraussetzung für die Rekonstruktion müssen die Einzelteilzeichnungen, die 3D-Geometriedaten der Einzelteile, die Baugruppenzeichnung sowie die Stückliste vorhanden sein. Die Hauptaufgabe der Baugruppenrekonstruktion besteht in der Bestimmung der räumlichen Lage und Orientierung der Einzelteile. Es wurde eine Vorgehensweise präsentiert, wie zunächst eine 2D-Lagebestimmung durch Merkmalerkennung stattfindet, danach eine Verifikation durch Substraktion im 2D durchgeführt wird und schließlich die endgültige Orientierung durch Addition im 3D bestimmt werden kann. Dadurch wird ein Verfahren zur automatischen Rekonstruktion von konventionell erstellten Baugruppenzeichnungen definiert.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Liu, B., Entwicklung einer Methode zur automatischen 2D/3D-Produktmodellwandlung, Dissertation TU Karlsruhe, Aachen, Shaker Verlag, 1994.
- [2] Liu, C., Ein Beitrag zur Interpretation technischer Zeichnungen mittels Graphentheorie und Statistik, Dissertation TU Karlsruhe, Aachen, Shaker Verlag, 2000.
- [3] Grabowski, H., Rude, S., Liu, C., Interpretation und Rekonstruktion von Produktdaten aus technischen Zeichnungen. PDJ Anwendungen Produkten Standards in der Produktdatentechnologie, Nr. 1, Heidelberg, Dressler Verlag, 1997.

Professor Dr.-Ing. Dr. h.c. Hans Grabowski;  
Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion;  
Universität Karlsruhe;  
Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe, Germany;  
Tel: ++49 (0) 721 608-2129  
Fax: ++49 (0) 721 66 11 38  
E-mail: [gr@rpk.mach.uni-karlsruhe.de](mailto:gr@rpk.mach.uni-karlsruhe.de) ;

Dipl.-Inform. Harald Kunze;  
Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion;  
Universität Karlsruhe;  
Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe, Germany;  
Tel: ++49 (0) 721 608-6625  
Fax: ++49 (0) 721 66 11 38  
E-mail: [kunze@rpk.mach.uni-karlsruhe.de](mailto:kunze@rpk.mach.uni-karlsruhe.de)

Dipl.-Ing. El-Fathi El-Mejbri;  
Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion;  
Universität Karlsruhe;  
Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe, Germany;  
Tel: ++49 (0) 721 608-6637  
Fax: ++49 (0) 721 66 11 38  
E-mail: [mejibri@rpk.mach.uni-karlsruhe.de](mailto:mejibri@rpk.mach.uni-karlsruhe.de)