

**Automatisierte Positionierung von Komponenten in engen Bauräumen
gezeigt am Beispiel von designgetriebenen Gestaltentwürfen**

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN

von der Fakultät für Maschinenbau der
Universität Karlsruhe (TH)
genehmigte

DISSERTATION

von

Dipl.-Ing. Berkun Culha

aus:	Istanbul
Tag der mündlichen Prüfung:	15. Dezember 2006
Hauptreferent:	Prof. em. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr. h.c. Grabowski
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Sándor Vajna

RPK

**Forschungsberichte
aus
dem Institut
für Rechneranwendung
in Planung
und Konstruktion
der
Universität Karlsruhe**

Berkun Çulha

**Automatisierte Positionierung von
Komponenten in engen Bauräumen
gezeigt am Beispiel von designgetriebenen
Gestaltentwürfen**

Herausgeber: o. Prof. em. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr. h.c. H. Grabowski

Band 1/2007

Shaker Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss., 2006

Copyright Shaker Verlag 2007

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-6225-9

ISSN 0945-5787

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort des Herausgebers

Die Anordnung von Komponenten in einem engen, vorgegebenen Bauraum ist insbesondere in designgetriebenen Entwicklungsprozessen eine häufig dominierende Forderung. Bei der Ausarbeitung der Anordnung müssen neben der kompakten Unterbringung von Komponenten zahlreiche Aspekte von Anordnungsbeziehungen und Randbedingungen berücksichtigt werden. Hierzu gehören die Auslegung von Stoff- und Energieflüssen, die Montage- und Demontageabläufe, die Ziele bezüglich der Gewichtsverteilung sowie die gegenseitige physikalische Beeinflussung von Komponenten. Vor dem Hintergrund zunehmender Produktkomplexität und wachsender Variantenvielfalt werden neue Verfahren gebraucht, welche die Vielzahl dieser anordnungsrelevanten Anforderungen methodisch erfassen, automatisiert verarbeiten und die Ingenieure bei der Konzeption von Anordnungen unterstützen.

In der vorliegenden Arbeit wird ein Ansatz vorgestellt, welcher eine durchgängige Unterstützung bei der Erfassung und Verarbeitung von anordnungsbestimmenden Bedingungen bietet. Diese Bedingungen werden über eine Analyse der Komponenten sowie deren möglicher Lagen erfasst. Bestandteile dieser Analyse sind die räumlichen Abhängigkeiten im Gesamtsystem, die Anforderungen einer Komponente an ihre Umgebung und die Anforderungen der Umgebung an eine Komponente. Durch geeignete Abbildungskonzepte wie beispielsweise Positionierungszonen mit definierten Umgebungseigenschaften werden die gesammelten Bedingungen und Vorgaben in der entwickelten Software verarbeitet. Diese bewegt die Komponenten entsprechend bevorzugter Lagen, löst Bauraumkonflikte mittels Kollisionserkennung auf und sucht gegebenenfalls nach passenden Lücken im Bauraum. Nach der Eingabe der geometrischen Repräsentationen der Komponenten und der Bauraumbegrenzung, ist der Ingenieur in der Lage, die den Komponenten zugeordneten Bedingungen und Positionierungsvorgaben zu variieren und somit in kurzer Zeit automatisiert unterschiedliche Anordnungskonzepte zu generieren.

Das vorgestellte Verfahren ermöglicht es, das für die Positionierung erforderliche Wissen in hohem Maße zu formalisieren und in änderungsintensiven Prozessen effizient wiederzuverwenden. Eine Besonderheit des Konzeptes liegt in der anwenderorientierten Integration mit der Gestaltmodellierung. Dies kommt den Anwendern in der Praxis sehr entgegen, da die Anordnungstätigkeit vorwiegend von Ingenieuren mit Konstruktionshintergrund ausgeführt wird. Die Optimierung der Anordnung am Gestaltmodell ohne Konvertierung in ein Berechnungsmodell sowie die Abbildung von unscharfen Positionierungsbedingungen sind weitere innovative Bestandteile der vorliegenden Arbeit.

Hans Grabowski

Danksagung

Die vorliegende Dissertation entstand zum größten Teil während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion (RPK) der Universität Fridericiana Karlsruhe (TH).

Meinem Doktorvater Herrn Prof. em. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr. h.c. Grabowski gilt mein ausdrücklicher Dank für die wissenschaftliche Betreuung und das mir stets entgegengebrachte Zutrauen. Durch seine fachliche Kompetenz und seine konstruktive Kritik hat er positiven Einfluss auf diese Arbeit und meine berufliche Weiterentwicklung genommen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Sándor Vajna vom Lehrstuhl für Maschinenbauinformatik an der Universität Magdeburg danke ich für das mir entgegengebrachte Interesse an der Arbeit und die Übernahme des Korreferats. Herrn Prof. Dr.-Ing. Eckart Schnack vom Institut für Technische Mechanik danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes. Weiterhin danke ich Frau Prof. Dr. Dr.-Ing. Jivka Ovtcharova, die das Institut seit Oktober 2003 leitet und mir die Möglichkeit zur Weiterverfolgung meiner Ideen gegeben hat.

Den Mitarbeitern des RPK danke ich für die freundliche und kollegiale Zusammenarbeit und die angenehme Arbeitsatmosphäre. Besonders hervorheben möchte ich:

- Matthias Gebauer und Christian Klimesch, die mir den Weg ins RPK ermöglichten,
- Arno Michelis, Gunter Storz und Thomas Paral, die mir zu Beginn meiner Assistentenzeit den Weg erleichterten,
- Robert Krikler für die harmonische Zusammenarbeit im gemeinsamen Projekt,
- Alexander Mahl für seinen Beitrag zum positiven Betriebsklima und die Durchsicht des Manuskriptes in Fragen der IT,
- Hardy Krappe für die unzähligen interessanten Diskussionen, den Zusammenhalt sowie für das Korrekturlesen des Manuskriptes,
- Tobias Gerbracht, Herve Grauss, Joachim Hirth, Maria Maleshkova, Markus Mast, Christian Pfeiffer und Thomas Schneider, die mich als Studenten mit überdurchschnittlichem Engagement unterstützten.

Meinen Eltern Pesent und Ahmet Culha danke ich für ihre beständige Förderung, die mir diesen Bildungs- und Lebensweg überhaupt erst möglich gemacht haben.

Bei meiner Freundin Sandra möchte ich mich für das Verständnis sowie insbesondere für die in den letzten Monaten entgegengebrachte Geduld und Unterstützung bedanken.

1	Einleitung	1
1.1	Anwendung in designgetriebenen Gestaltdentwürfen	1
1.2	Ausgangssituation der Produktentwicklung bei OEMs	3
1.3	Zielsetzung der Arbeit	3
2	Grundlagen und Analyse bestehender Ansätze	5
2.1	Einordnung der Aufgabenstellung in den Konstruktionsprozess	5
2.2	Variation von Gestaltlösungen in der Konstruktionsmethodik	8
2.3	Methoden zur Ausarbeitung von Anforderungen	15
2.4	Gegenseitige Beeinflussung von Komponenten	17
2.5	Konstruktionsarbeitsräume als Abbildungskonzept für vage Gestaltmodelle	18
2.6	Ansätze zur Positionierung von Komponenten in engen Bauräumen	19
2.6.1	Anordnungsmethoden in der Automobilindustrie	20
2.6.2	Der Package-Prozess	22
2.6.3	Package-Optimierungen in Forschungsprojekten	23
2.6.4	Das Digital-Mock-Up (DMU)	28
2.6.5	Layout-Werkzeuge in der Fahrzeugentwicklung	31
2.7	Ansätze zur Rechnerunterstützung der Anordnungsoptimierung	32
2.8	Bewertung der Ansätze und Restimee	36
3	Anforderungen an ein Verfahren zur Positionierung von Komponenten in engen Bauräumen	39
3.1	Ausarbeitung von anordnungsbestimmenden Bedingungen	39
3.2	Anforderungen an die Formalisierung von anordnungsbestimmenden Bedingungen	39
3.3	Anforderungen an die automatisierte Generierung von Anordnungen	40
3.4	Anforderungen an die Implementierung des Konzepts	41
3.5	Prozessseitige Anforderungen	41
4	Entwicklung eines Konzeptes zur automatisierten Generierung von Anordnungen in engen Bauräumen	44
4.1	Bestimmung der anordnungsbestimmenden Bedingungen und Analyse der gegenseitigen physikalischen Beeinflussungen von Komponenten	44
4.1.1	Die positionsabhängige Beschreibung von Komponenten	44

4.1.2	Anordnungsbestimmende Bedingungen	51
4.2	Abbildungskonzepte für anordnungsbestimmende Bedingungen	57
4.2.1	Abbildung von räumlichen Positionierungsbedingungen	58
4.2.2	Abhängigkeiten von Komponenten in einer Systemumgebung	59
4.2.3	Anforderungen der Komponente an die Umgebung, Anforderungen der Umgebung an die Komponente	61
4.3	Konzepte zur Auflösung von räumlichen Konflikten für die automatisierte Generierung von Anordnungen	65
4.3.1	Erstpositionierung/Erstrotation	66
4.3.2	Optimierung der Gesamtverteilung	67
4.3.3	Kollisionserkennung	68
4.3.4	Bestimmung der Prioritätsreihenfolge bezüglich des Optimierungsziels	69
4.3.5	Auflösen von räumlichen Konflikten über paarweise Betrachtungen	70
4.3.6	Auflösen von räumlichen Konflikten mit Rotation	74
4.3.7	Auflösen von räumlichen Konflikten mittels „Karussell-Effekt“	74
4.3.8	Auflösen von räumlichen Konflikten mit Lückensuche	77
4.3.9	Kombination der Auflösungsmechanismen	78
4.3.10	Abbildung der Modifizierbarkeit	79
5	Beschreibung der Rechnerunterstützung und Informationsmodelle	81
5.1	Konzeption eines Anwenderszenarios	81
5.2	Beschreibung der Klassen	83
5.3	Beschreibung der Ablaufs mit Sequenzdiagrammen	86
6	Validierung	91
6.1	Anwendungsszenarien	91
6.1.1	Beispielszenario Motorraum 1	92
6.1.2	Beispielszenario Motorraum 2	112
7	Zusammenfassung und Ausblick	116
8	Literaturverzeichnis	123