ICS 35.240.10

VDI-RICHTLINIEN

März 2009
March 2009

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

3-D-Produktmodellierung
Technische und organisatorische Voraussetzungen
Verfahren, Werkzeuge und Anwendungen
Wirtschaftlicher Einsatz in der Praxis

3D product modelling
Technical and organizational requirements
Procedures, tools, and applications
Cost-effective practical use

VDI 2209

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Frühere Ausgabe: 06.06 Entwurf, deutsch
Former edition: 06/06 Draft, in German only

Zu beziehen durch / Available at Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin – Alle Rechte vorbehalten / All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2009

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt Seite

Vorbemerkung 4
Einleitung 4
1 Anwendungsbereich 5
1.1 Modellieren im Entwicklungsprozess . . . 8
1.2 Zusammenhang der Modelliermöglichkeiten 13
1.3 Aufbau der vorliegenden Richtlinie 15
1.4 Zusammenhang mit anderen VDI-Richtlinien 16
2 Voraussetzungen 17
2.1 Organisatorisches Umfeld 17
2.1.1 Aufbauorganisation 17
2.1.2 Ablauforganisation 18
2.2 Informationstechnisches Umfeld 19
2.2.1 Hardware 19
2.2.2 Software 20
2.3 Qualifizierung 22
3 Übersicht über die 3-D-Produktmodellierung 22
3.1 Modellarten 23
3.2 Direkte Modellierung mit Geometrieelementen 26
3.3 Parametrische Modellierung (Parametrik) 27
3.4 Featurebasierte Modellierung 29
3.5 Chronologie und Erzeugnisstruktur in der Modellierung 31
3.6 Standardteile aus Katalogen 33
3.7 Simultaneous Engineering und Concurrent Engineering 33
3.8 Aspekte der Wissensverarbeitung 35

Contents Page

Preliminary note 4
Introduction 4
1 Scope 5
1.1 Modelling in the development process . . 8
1.2 Connections between modelling possibilities 13
1.3 Structure of the present guideline 15
1.4 Relation to other VDI guidelines 16
2 Requirements 17
2.1 Organizational environment 17
2.1.1 Organizational structure 17
2.1.2 Operational organization 18
2.2 Information technology environment . . . 19
2.2.1 Hardware 19
2.2.2 Software 20
2.3 Qualifications 22
3 Overview of 3D product modelling 22
3.1 Types of model 23
3.2 Direct modelling with geometric elements 26
3.3 Parametric modelling (parametrics) . . . 27
3.4 Feature-based modelling 29
3.5 Chronology and product structure in modelling 31
3.6 Standard parts from catalogues 33
3.7 Simultaneous engineering and concurrent engineering 33
3.8 Aspects of knowledge processing 35

Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet / Reproduction – even for internal use – not permitted

VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb

VDI-Handbuch Produktentwicklung und Konstruktion

 Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2009

Seite

4 Modellierungsverfahren und -werkzeuge . . 37
4.1 Direkte Modellierung 38
4.2 Parametrische Modellierung 38
4.2.1 Parameterarten 39
4.2.2 Beziehungsarten 41
4.2.3 Arbeitstechniken 41
4.2.4 Wissensbasierte Parametrik 43
4.3 Featurebasierte Modellierung. 44
4.3.1 Modellieren mit Formfeatures . . . 46
4.3.2 Anwendungsspezifische Features (user-defined features) 47
4.3.3 Features mit nicht geometrischen Eigenschaften 49
4.3.4 Erweiterte Konzepte 52
4.4 Chronologiebasierte Modellierung 53
4.5 Standardteile aus Katalogen 56

5 Integration der 3-D-Produktmodellierung in den Konstruktionsprozess 59
5.1 Grundlegende Modellierungsstrategien . 59
5.2 Vorbereitende Arbeiten (Planung der 3-D-Produktmodellierung) . 61
5.3 Bauräume und Beziehungen 63
5.3.1 Funktion von Bauräumen 63
5.3.2 Beziehungen und Referenzen . . . 65
5.4 Erzeugnisorientierte Modellierung (top-down) 65
5.5 Einzelteilorientierte Modellierung (bottom-up) 67
5.5.1 Allgemeine Vorgehensweisen bei der Einzelteilmodellierung. . . 68
5.5.2 Komplexe Einzelteile 71
5.6 Erzeugnisorientierte gegenüber bauteilorientierter Modellierung (top-down vs. bottom-up) 74
5.7 Modellierungstechniken 83
5.7.1 Modellierungsformen bezüglich Konstruktionsarten 84
5.7.2 Erstellen und Aufbereiten des 3-D-Produktmodells für ein einzelnes Bauteil 85
5.7.3 Eingliedern des Bauteils in die Erzeugnisstruktur 86
5.7.4 Parametrische Modellierung 89
5.7.5 Featurebasierte Modellierung . . . 90
5.8 Modellierung von außen nach innen . . . 97
5.9 Modellierung von innen nach außen . . . 98

6 Modellverwendung 99
6.1 Voraussetzungen 99
6.2 Toleranzsimulation 101
6.3 Ableiten von Fertigungsunterlagen 102
6.4 Animation und Visualisierung 106
6.5 Berechnung und Simulation 106
6.5.1 Analytische Berechnungen 108

Page

4 Modelling procedures and tools 37
4.1 Direct modelling 38
4.2 Parametric modelling. 38
4.2.1 Types of parameter 39
4.2.2 Types of relation. 41
4.2.3 Working techniques 41
4.2.4 Knowledge-based parametrics . . 43
4.3 Feature-based modelling 44
4.3.1 Modelling with form features . . . 46
4.3.2 User-defined features 47
4.3.3 Features with non-geometric properties 49
4.3.4 Extended concepts. 52
4.4 Chronology-based modelling 53
4.5 Standard parts from catalogues 56

5 Integration of 3D product modelling into the design process 59
5.1 Basic modelling strategies 59
5.2 Preparatory work (planning the 3D product modelling) . . 61
5.3 Installation spaces and relations 63
5.3.1 Function of installation spaces . . 63
5.3.2 Relations and references. 65
5.4 Product-oriented modelling (top-down) 65
5.5 Individual-part-oriented modelling (bottom-up). 67
5.5.1 General procedures in individual-part modelling 68
5.5.2 Complex individual parts 71
5.6 Product-oriented vs. component-oriented modelling (top-down vs. bottom-up). . . 74
5.7 Modelling techniques 83
5.7.1 Modelling forms as relating to design types 84
5.7.2 Creating and preparing the 3D product model for an individual component 85
5.7.3 Incorporating the component into the product structure 86
5.7.4 Parametric modelling 89
5.7.5 Feature-based modelling 90
5.8 Modelling from the outside in 97
5.9 Modelling from the inside out 98

6 Making use of models 99
6.1 Requirements. 99
6.2 Tolerance simulation 101
6.3 Derivation of production documents . . . 102
6.4 Animation and visualization 106
6.5 Calculation and simulation. 106
6.5.1 Analytic calculations 108

All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2009

Seite

6.5.2 FEM-Berechnungen 108
6.5.3 Kinematik und Kinetik. 112
6.5.4 Digital Mock-Up (DMU) 114
6.6 Prototyping 115
6.6.1 Rapid Prototyping 115
6.6.2 Rapid Tooling 116
6.7 Virtuelle Realität 116
6.8 Datenaustausch 119

7 Dokumentation 121
7.1 Produkt-/Modelldokumentation 121
7.2 Dokumentation des Modellierungsprozesses 122
7.3 Datenverwaltung 123

8 Nutzenbetrachtung 126
8.1 Grundlagen 127
8.1.1 Zeiteinsparungen. 127
8.1.2 Direkt beeinflussbare Kosten in der Konstruktion 127
8.1.3 Auslastungsgrad des 3-D-CAD-Systems. 128
8.1.4 Durchdringungsgrad einer 3-D-CAD-Anwendung. 129
8.2 Ermittlung der direkt quantifizierbaren Nutzen 129
8.2.1 Einsparung durch Verkürzung der Durchlaufzeit 129
8.2.2 Einsparung durch Verringerung von Schnittstellenfehlern. 129
8.2.3 Einsparung durch Verringerung von Fehlleistungen in Fertigung und Montage 130
8.3 Schwer quantifizierbare Nutzen 131
8.4 Nicht quantifizierbare Nutzen 132
8.5 Praxisbeispiele 132
8.5.1 Einsparung durch Verringerung von Fehlleistungen in der Produktentwicklung 132
8.5.2 Einsparung von Entwicklungszeit bei einer Gusskonstruktion 133
8.5.3 Vorteile bei der Gusskonstruktion im Änderungsfall 133
8.5.4 Einsparungen in der Prozesskette Modellbau 134
8.5.5 Einsparungen in der Prozesskette FEM 135
8.5.6 Einsparungen im Gesamtprozess Konstruktion – Modellbauer – FEM-Analyse 137
8.5.7 Einsparungen durch Rapid Prototyping. 137
8.5.8 Einsparungen bei der Gusssimulation. 138

Page

6.5.2 FEM calculations 108
6.5.3 Kinematics and kinetics 112
6.5.4 Digital mock-up (DMU). 114
6.6 Prototyping 115
6.6.1 Rapid prototyping 115
6.6.2 Rapid tooling 116
6.7 Virtual reality. 116
6.8 Data exchange 119

7 Documentation 121
7.1 Product/model documentation 121
7.2 Documentation of the modelling process 122
7.3 Data management 123

8 Consideration of benefits 126
8.1 Basic principles 127
8.1.1 Time savings. 127
8.1.2 Directly influenceable costs in design 127
8.1.3 Percentage utilization of the 3D CAD system 128
8.1.4 Degree of penetration of a 3D CAD application. 129
8.2 Determination of the directly quantifiable benefits 129
8.2.1 Savings from reducing the lead time 129
8.2.2 Savings due to reductions in interface errors. 129
8.2.3 Savings by reduction of malperformance in production and assembly 130
8.3 Benefits which are hard to quantify . . . 131
8.4 Non-quantifiable benefits 132
8.5 Practical examples 132
8.5.1 Savings by reduction of malperformance in production and assembly 132
8.5.2 Savings in development time for a casting design 133
8.5.3 Advantages in casting design in the case of modifications 133
8.5.4 Savings in the model-construction process chain 134
8.5.5 Savings in the process chain FEM 135
8.5.6 Savings in the complete design – model-maker – FEM analysis process. 137
8.5.7 Savings due to rapid prototyping . 137
8.5.8 Savings in casting simulation . . . 138

 Alle Rechte vorbehalten © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2009

Seite

9 Empfehlungen für die Praxis 139
9.1 3-D-CAD-Einführung und -Organisation 139
9.2 Modellierungsstrategien 140
9.2.1 Vorbereitende Arbeiten 140
9.2.2 Zusammenhang der Modelliermöglichkeiten und -techniken . . . 142
9.2.3 Strukturierungsmöglichkeiten . . . 144
9.3 Verwendung parametrischer und featurebasierter 3-D-CAD-Modelle . . . 145
9.4 Checklisten für die Überprüfung der Modellkonsistenz 148
9.5 Unterstützungsmöglichkeiten. 150

Glossar 151

Schrifttum 165

Page

9 Practical recommendations 139
9.1 3D CAD introduction and organization . 139
9.2 Modelling strategies 140
9.2.1 Preparatory work 140
9.2.2 Relationship between modelling possibilities and techniques 142
9.2.3 Structuring possibilities 144
9.3 Use of parametric and feature-based 3D CAD models 145
9.4 Checklists for checking model consistency 148
9.5 Support possibilities 150

Glossary 151

Bibliography 165

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser VDI-Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi-richtlinien.de), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser VDI-Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Einleitung

Das Werkzeug CAD (**C**omputer-**A**ided **D**esign, rechnerunterstützte Konstruktion) war Mitte der Siebzigerjahre des zwanzigsten Jahrhunderts erstmals in Europa verfügbar. Zunächst – in Deutschland etwa bis in die Mitte der Neunzigerjahre – waren die 2-D-CAD-Anwendungen gegenüber den 3-D-Anwendungen statistisch deutlich in der Mehrheit (etwa 85 % zu 15 % [66]).

Nur auf verschiedenen Spezialgebieten wurde, wenn überhaupt, mit 3-D-CAD gearbeitet – vor allem in solchen Anwendungsgebieten, die mit geometrisch und/oder strukturell komplexen Produkten und den zu ihrer Herstellung benötigten Technologien zu tun haben (z.B. Karosseriebau, Flugzeugbau, Anlagenbau, Formen- und Werkzeugbau).

Im letzten Jahrzehnt des zwanzigsten Jahrhunderts kam dann eine breite Bewegung des Umstiegs von

Preliminary note

The content of this guideline has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the guideline VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this guideline without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions specified in the VDI notices (www.vdi-richtlinien.de).

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this guideline.

Introduction

CAD (**c**omputer-**a**ided **d**esign) first became available in Europe during the mid-1970s. Initially – in Germany roughly up until the mid-1990s – 2D CAD applications were considerably more widespread than 3D applications (by 85 % to 15 % [66]).

Designers only worked with 3D CAD, if at all, in a number of specialized fields – primarily in areas of application involving geometrically and/or structurally complex products and the technologies required for manufacturing these products (for example, vehicle body construction, aircraft construction, plant and equipment manufacturing, tool- and die-making).

In the 1990s a changeover from 2D to 3D CAD got underway [72; 73; 75] across all industries and fields

All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2009

2-D- auf 3-D-CAD-Systeme in Gang [72; 73; 75], die noch heute anhält – quer durch alle Branchen und Anwendungsgebiete. In einer Umfrage des VDMA im Jahr 2002 wurde festgestellt, dass 79 % der Befragten bereits 3-D-CAD zur Produktmodellierung einsetzten. Bei 77 % wurden parallel noch 2-D-Systeme verwendet. Ebenfalls 77 % der Befragten setzten CAD-Teilebibliotheken ein, 44 % FEM-Systeme. EDM/PDM-Systeme zur Verwaltung der Produktdaten kamen bei 33 % zum Einsatz, Systeme des Projektmanagements bei 35 %. Eigene Umfragen der Verfasser dieser Richtlinie im Jahr 1999 ergaben, dass bereits 25 % der befragten (meist mittelständischen) Unternehmen ausschließlich 3-D-CAD einsetzten, weitere 35 % zum Teil mit einem 3-D-Werkzeug arbeiteten und nur noch 32 % sich ausschließlich auf den zweidimensionalen Bereich beschränkten.

Auf der einen Seite hängt dies mit den Fortschritten der CAD-Technologie selbst zusammen: Die Systeme werden immer leistungsfähiger (z.B. Möglichkeit der Volumenmodellierung praktisch als Standard) und sind einfacher zu bedienen bei tendenziell immer noch sinkenden Preisen.

Auf der anderen Seite sind 3-D-CAD-Systeme Voraussetzung für die Nutzung einer Reihe von neuen Funktionen und Technologien und für die Umsetzung weitergehender Maßnahmen zur Daten- und Funktionsintegration im Produktentstehungsprozess insgesamt.

of application – and is still in progress today. In a survey conducted by the VDMA in 2002 it emerged that 79 % of those asked were already using 3D CAD for product modelling while with 77 % 2D systems were still being used in parallel. 77 % of those asked were using CAD parts libraries, 44 % FEM systems. EDM/PDM systems for managing the product data were in service with 33 % and project management systems with 35 %. Polls conducted in 1999 by the authors of the present guideline indicated that as many as 25 % of the companies questioned (in most cases medium-sized) used 3D CAD exclusively, another 35 % used a 3D tool in some cases and only 32 % were still working exclusively in two dimensions.

On the one hand this has to do with the advances in CAD technology itself. Systems are becoming more and more powerful (for example, solid modelling is virtually a standard feature) and are easier to use while the trend in prices is still downward.

On the other hand, 3D CAD systems are a requirement for using a series of new functions and techniques and for implementing further measures in data and functional integration in the product creation process as a whole.

1 Anwendungsbereich

Immer mehr (häufig größere) Kunden verlangen von ihren Zulieferern nicht mehr Produktzeichnungen oder 2-D-CAD-Dateien, sondern 3-D-Produktmodelle, die in den eigenen (3-D-)Systemen weiterverarbeitet werden können. In solchen Fällen ist der Einsatz eines 3-D-CAD-Systems zur Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit unerlässlich.

Die wichtigsten Vorteile eines 3-D-CAD-Systems gegenüber einem 2-D-System sind:

- vollständigere Produktmodelle
- weniger einzeln zu erstellende und zu verwaltende Dokumente, da aus den 3-D-Produktmodellen viele Unterlagen (teil-)automatisch abgeleitet werden können (Zeichnungen, Stücklisten, Arbeitspläne, Montage- und Bedienungsanleitungen, Ersatzteilkataloge)
- frühes Erkennen und Vermeiden von funktionalen, fertigungstechnischen und anderen Problemen, dadurch weniger Optimierungszyklen im Produktentwicklungsprozess

1 Scope

More and more customers (and frequently relatively major customers) are no longer demanding product drawings or 2D CAD files from their suppliers but rather 3D product models which they can then work on further in their own (3D) systems. In such cases the use of a 3D CAD system can be essential if competitiveness is to be retained.

The most important advantages a 3D CAD system can offer over a 2D system are:

- more complete product models
- fewer documents which need to be created and managed individually, because a large number of documents can be generated (semi-)automatically from the 3D product models (such as drawings, bills of material, operation sheets, assembly and operating instructions, spare parts catalogues)
- early detection and prevention of functional, manufacturing and other problems, resulting in fewer optimization cycles in the product development process