

Wissensbasierte Geometriemodelle zur Strukturanalyse

Von der Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Abteilung Maschinenbau der
Universität Duisburg-Essen
zur Erlangung des akademischen Grades

DOKTOR-INGENIEUR

genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Ing. Sascha Dungs

aus

Duisburg

Referent: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Math. Peter Köhler

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. habil. Ralph Stelzer, TU Dresden

Tag der mündlichen Prüfung: 20. Mai 2008

Berichte aus der Konstruktionstechnik

Sascha Dungs

**Wissensbasierte Geometriemodelle
zur Strukturanalyse**

Shaker Verlag
Aachen 2008

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produkt Engineering der Universität Duisburg-Essen in den Jahren von 2002 bis 2007.

Danken möchte ich meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Math. Peter Köhler, für die persönliche und wissenschaftliche Unterstützung, die zu einem Großteil zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat und weiterhin für die überaus angenehme Zusammenarbeit am Institut.

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Ralph Stelzer danke ich für die Übernahme des Korreferates und das entgegengebrachte Interesse an dieser Arbeit.

Darüber hinaus möchte ich meinen ehemaligen Kollegen am Institut für die kollegiale Zusammenarbeit in den letzten Jahren danken. Mein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Stéphane Danjou und Herrn Dipl.-Ing. Norman Lupa, für die konstruktiven Kritiken und Anmerkungen, die zum Gelingen meiner Arbeit beigetragen haben, sowie für die reichen interessanten fachlichen und persönlichen Diskussionen. Des Weiteren bedanke ich mich bei meinen Studien- und Diplomarbeitern, wobei ich Herrn cand. ing. Marcin Humpa wegen seiner engagierten Mitarbeit hervorheben möchte.

Nicht zuletzt bedanke ich mich bei meiner Frau Elke und meiner Tochter Lena. Meiner Frau danke ich für den Rückhalt, die Unterstützung und das aufgebrachte Verständnis. Meiner Tochter danke ich dafür, dass sie mir in den letzten Monaten immer wieder gezeigt hat, dass es auch wichtigere Dinge als diese Arbeit gibt.

Duisburg, im Juni 2008

Sascha Dungs

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	PROBLEMSCHILDERUNG	2
1.2	ZIELSETZUNG UND GLIEDERUNG DER ARBEIT	4
2	GRUNDLAGEN	7
2.1	DER LÖSUNGSFINDUNGSPROZESS	7
2.1.1	<i>Klären der Aufgabe</i>	8
2.1.2	<i>Suche nach Lösungen</i>	9
2.1.3	<i>Auswahl und Bewertung der Lösungsvarianten</i>	10
2.2	RECHNERGESTÜTZTER PRODUKTENTWURF	11
2.2.1	<i>Grundlagen der Objektrepräsentation</i>	11
2.2.1.1	Topologie vs. Geometrie	11
2.2.1.2	Datenmodelle	12
2.2.1.3	Constructive Solid Geometry (CSG)	14
2.2.1.4	Boundary Representation (B-Rep)	15
2.2.1.5	Hybride Volumenmodelle	17
2.2.2	<i>Parametrische Modellierung</i>	18
2.2.3	<i>Feature-basierte Modellierung</i>	19
2.2.3.1	Begriffliche Einordnung	20
2.2.3.2	Anwendungsgebiete	21
2.2.4	<i>Wissensbasierte Modellierung</i>	22
2.2.4.1	parametrisch-assoziativer, featureorientierter vs. wissensbasierter Ansatz	22
2.2.4.2	Aspekte der Wissensverarbeitung nach VDI-Richtlinie 2209	23
2.2.4.3	Nutzen der wissensbasierten Modellierung	24
2.2.4.4	Übertragung auf die vorliegende Arbeit	24
2.3	BERECHNUNGEN IM KONSTRUKTIONSPROZESS	25
2.3.1	<i>Einordnung der Berechnungen in den Produktentwicklungsprozess</i>	26
2.3.2	<i>Berechnungsverfahren nach dem ABC-Konzept</i>	27
2.3.3	<i>Integrationsstufen von Berechnungen im Produktentwicklungsprozess</i>	29
2.3.4	<i>Übertragung auf die vorliegende Arbeit</i>	30
2.4	EINSATZ DER FEM IM KONSTRUKTIONSPROZESS	31
2.4.1	<i>Mathematische Grundlagen</i>	32
2.4.2	<i>Elementtypen und Elementeigenschaften</i>	35
2.4.3	<i>Einflussmöglichkeiten auf die Netzqualität</i>	37

3	BETRACHTUNG DER FRÜHEN PHASE DER PRODUKTENTWICKLUNG	39
3.1	SIMULTANEOUS ENGINEERING	39
3.2	KONSTRUKTION UND BERECHNUNG	40
3.3	INFORMATIONSTRANSFER ZWISCHEN KONSTRUKTION UND BERECHNUNG	45
3.4	FESTIGUNG DES GEOMETRIEMASTERS IN DER FRÜHEN PHASE	46
3.4.1	<i>Berücksichtigung der Sichtweise des Berechnungsingenieurs</i>	<i>49</i>
3.4.2	<i>Berücksichtigung der Sichtweise des Konstruktionsingenieurs</i>	<i>49</i>
3.4.3	<i>Einsatz von KBE-Methoden</i>	<i>50</i>
3.5	GEOMETRISCHE INSTABILITÄT VON MODELLEN	51
3.6	ÜBERTRAGUNG AUF DIE VORLIEGENDE ARBEIT	53
4	GEOMETRISCHE REPRÄSENTATION VON TRAGSTRUKTUREN	55
4.1	PROBLEMANALYSE	55
4.1.1	<i>Grundelemente von Tragstrukturen</i>	<i>55</i>
4.1.2	<i>Anforderungen an Flexibilität und Stabilität</i>	<i>56</i>
4.1.3	<i>Resultat der Problemanalyse</i>	<i>58</i>
4.2	GRUNDKONZEPT	60
4.3	GEOMETRIERZEUGUNG	62
4.3.1	<i>Skelettmodellierung</i>	<i>62</i>
4.3.2	<i>Querschnittsmodellierung</i>	<i>63</i>
4.3.3	<i>Flächenmodellierung</i>	<i>64</i>
4.4	GEOMETRIEMANIPULATION	66
4.4.1	<i>Allgemeine Vorgehensweise</i>	<i>67</i>
4.4.2	<i>Manipulation von Trägern</i>	<i>68</i>
4.4.2.1	<i>Hinzufügen von Querschnitten</i>	<i>69</i>
4.4.2.2	<i>Querschnittsänderungen</i>	<i>70</i>
4.4.2.3	<i>Auswirkung von Querschnittsänderungen auf verwandte Objekte</i>	<i>72</i>
4.4.2.4	<i>Auftrennen von Trägern</i>	<i>74</i>
4.4.3	<i>Manipulation von Übergangsverbindungen</i>	<i>76</i>
4.4.3.1	<i>Hinzufügen einer Trägeranbindung</i>	<i>76</i>
4.4.3.2	<i>Entfernen einer Trägeranbindung</i>	<i>76</i>
4.5	MÖGLICHER GRAD DER AUTOMATISIERUNG	78
5	ANREICHERUNG DES PRODUKTMODELLS UM SEMANTISCHE INFORMATIONEN	81
5.1	VERWALTUNG PRODUKTSPEZIFISCHER INFORMATIONEN	81
5.2	VERWALTUNG VON BERECHNUNGSINFORMATIONEN	83
5.3	ABLEITUNG DER MODELLDISKRETISIERUNGEN	85

5.3.1	<i>Diskretisierung durch Schalenelemente</i>	85
5.3.2	<i>Diskretisierung durch Volumenelemente</i>	87
5.3.3	<i>Diskretisierung durch Balkenelemente</i>	88
5.4	ABSCHLIEßENDE BETRACHTUNG DER ERARBEITETEN KONZEPTE	90
6	BEISPIELHAFTE UMSETZUNG DER ERARBEITETEN KONZEPTE	93
6.1	GEWÄHLTE KONFIGURATION	93
6.1.1	<i>Wahl des Geometrie-Kernel</i>	93
6.1.2	<i>Wahl der Schnittstelle</i>	94
6.1.3	<i>Wahl des CAx-Systems</i>	94
6.2	ANPASSUNG DER KONZEPTE AN DEN LEISTUNGSUMFANG DES CAX-SYSTEMS	95
6.2.1	<i>Hierarchischer Aufbau des Modellbaums</i>	95
6.2.2	<i>Hierarchische Parameterverwaltung</i>	98
6.3	GESTALTUNG UND FUNKTIONSUMFANG DER GUI	98
6.3.1	<i>Module zur Verwaltung geometrischer Informationen</i>	99
6.3.2	<i>Module zur Verwaltung semantischer Informationen</i>	104
6.3.3	<i>Zusatzmodule</i>	106
6.3.4	<i>Ansatz zur Integration in die Prozesskette</i>	107
6.4	APPLIKATIONS-AUFBAU UND -ABLAUF	108
6.5	GRENZEN DER UMSETZBARKEIT	110
6.6	ÜBERTRAGBARKEIT DER KONZEPTE AUF ANDERE SYSTEME	113
6.7	SCHLIEßUNG DER PROZESSKETTE	116
7	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	119
8	LITERATUR	123
9	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	131

Nomenklatur

Formelzeichen	Einheit	Bedeutung
γ	[-]	Gleitungen
ε	[-]	Dehnungen
$\underline{\varepsilon}$	[-]	Verzerrungsvektor
ν	[-]	Querkontraktionszahl
σ	[N/mm ²]	Normalspannungen
$\underline{\sigma}$	[N/mm ²]	Spannungstensor
τ	[N/mm ²]	Schubspannungen
a_i	n.n.	Multiplikatoren
\underline{d}	[mm]	Knotenverschiebungen
$D(u)$	n.n.	Differentialoperator
\underline{D}	n.n.	Differentialoperatorenmatrix
E	[-]	Anzahl der Kanten (edge)
E	[N/mm ²]	Elastizitätsmodul
\underline{E}	[N/mm ²]	Elastizitätsmatrix
F	[-]	Anzahl der Flächen (face)
\underline{F}	[N]	Vektor der äußeren Einzelkräfte
g_i	n.n.	Formfunktionen
G	[-]	Anzahl der Löcher (genus)
\underline{G}	n.n.	Formfunktionsmatrix
\underline{k}	[N/mm ²]	Elementsteifigkeitsmatrix
\underline{p}	[N]	Vektor der äußeren Volumenkräfte
\hat{p}	[N]	Elementlastvektor
\underline{q}	[N]	Vektor der äußeren Flächenkräfte
R	[-]	Anzahl der inneren Zyklen (ring)
R	n.n.	Rand
S	[-]	Anzahl der Komponenten (shell)
\underline{u}	[mm]	Elementverschiebungsvektor
V	[-]	Anzahl der Ecken (vertex)
W_a	[N·mm]	Äußere Arbeit
W_i	[N·mm]	innere Arbeit
W_R	n.n.	Restwert