

**Jürgen Gausemeier**  
**Joachim Lückel (Hrsg.)**

# ***Entwicklungsumgebungen*** ***Mechatronik***

***Methoden und Werkzeuge zur***  
***Entwicklung mechatronischer Systeme***

# Entwicklungsumgebungen Mechatronik

## Methoden und Werkzeuge zur Entwicklung mechatronischer Produkte

### Inhaltsverzeichnis

Seite

#### Teil A: Einführung in die Mechatronik

<b>1</b>	<b>Herausforderung integrativer Maschinenbau</b>	<b>1</b>
1.1	Potenziale des integrativen Maschinenbaus	3
1.1.1	Prinzipielle Produktstrukturen	4
1.1.2	Intelligente Systeme	9
1.1.3	Systemkomposition mit Lösungselementen	12
1.2	Prozeßstrukturen in der Produktentwicklung	15
1.2.1	Entwicklungssystematiken	16
1.2.2	Die Ordnungsmatrix zur Konstruktionstechnik	18
1.2.3	Integrative Planung und Entwicklung innovativer Maschinenbauerzeugnisse	19
1.3	Literaturverzeichnis	22
<b>2</b>	<b>Entwicklung mechatronischer Systeme</b>	<b>23</b>
2.1	Komponenten mechatronischer Systeme	24
2.1.1	Mechanische Struktur	26
2.1.2	Sensoren	27
2.1.3	Aktoren	30
2.1.4	Informationsverarbeitung	33
2.2	Phasenmodell der Entwicklung mechatronischer Systeme	41
2.2.1	Produktkonzipierung	43
2.2.2	Produktentwurf und -ausarbeitung	48
2.2.3	Integrative Vorgehensweisen	48
• 2.3	Bereitstellung von Entwicklungsumgebungen	53
2.4	Literaturverzeichnis	61

#### Teil B: Querschnittsaufgaben

<b>3</b>	<b>Entwicklungsmethodik Mechatronik</b>	<b>65</b>
3.1	Vorgehen in der Produktentwicklung Mechatronik	66
3.1.1	Zielgrößen und Funktionsstrukturen	69
3.1.2	Systempartitionierung und Lösungsfindung	71
3.1.3	Wirkparameter und Verhaltensmodelle	75
3.1.4	Zielgrößenerfüllung	78
3.1.5	FMEA mit Konzeptmodellen	78
3.1.6	Vision und Realität	82

3.2	Methodische Produktentwicklung Fahrdynamik . . . . .	83
3.2.1	Vorgehen beim Fahrzeughersteller . . . . .	86
3.2.2	Vorgehen beim Zulieferer. . . . .	88
3.2.3	Integration von Verhaltensmodellen in einem kooperativen Entwicklungsprozess. . . . .	90
3.3	Methodische Produktentwicklung Feinwerktechnik. . . . .	92
3.3.1	Aktivitäten bei der Entwicklung von Nadeldruckern. . . . .	93
3.3.2	Funktionsmodellierung mit RODON. . . . .	96
3.3.3	Funktionsmodellierung der Kinematik . . . . .	103
3.3.4	Produktkonzipierung am Beispiel eines Blättermoduls ..	110
3.4	Literaturverzeichnis. . . . .	116
<b>4</b>	<b>Modellbildung . . . . .</b>	<b>119</b>
4.1	Methodik zur Modellbildung. . . . .	119
4.1.1	Problematik . . . . .	119
4.1.2	Entwicklungswerkzeuge in der Modellbildung. . . . .	124
4.1.3	Ansatz zur Modellbildung des Mechatronik Laboratoriums Paderborn. . . . .	127
4.2	Modellaustauschprozess. . . . .	129
4.3	Modellierung eines PKW mit ABS unter Verwendung von CAMEL. . . . .	134
4.4	Fahrzeugsimulation mit CASCaDE. . . . .	147
4.5	Zusammenfassung und Ausblick. . . . .	151
4.6	Literaturverzeichnis. . . . .	152
<b>5</b>	<b>Integrationsplattform. . . . .</b>	<b>155</b>
5.1	Integrationstechniken (Modell-und Systemebene). . . . .	158
5.2	Konzeption einer Integrationsplattform. . . . .	162
5.2.1	Funktionale Systemarchitektur der Integrationsplattform .	163
5.2.2	Systemkomponenten der Integrationsplattform. . . . .	165
5.3	Bereitstellung der Workflow-und PDM-Funktionalität . . . . .	184
5.3.1	Integrationskomponente ASTAI(R). . . . .	185
5.3.2	Produktdatenmanagementsystem Small-PDM. . . . .	190
5.4	Beispielhafte Anwendungen der Konvertierungs- und Kopplungsdienste. . . . .	196
5.4.1	RODON-CAMEL Schnittstelle. . . . .	196
5.4.2	RODON-Java Schnittstelle. . . . .	199
5.4.3	MatrixX-RODON Schnittstelle. . . . .	201
5.4.4	Simpack-Amesim Schnittstelle. . . . .	205
5.5	Literaturverzeichnis. . . . .	209

<b>6</b>	<b>Mechatronische Lösungselemente</b>	<b>211</b>
6.1	Grundlagen und Anforderungen	212
6.1.1	Definition eines mechatronischen Lösungselements	212
6.1.2	Informationsbedarf im Entwicklungsprozess	214
6.1.3	Anforderungen an die Informationsbereitstellung	216
6.2	Stand der Technik	220
6.2.1	Sachmerkmal-Leisten	220
6.2.2	Merkmal-Lexika	221
6.2.3	Konstruktionskataloge	222
6.2.4	STEP (ISO 10303)-MechaSTEP	224
6.2.5	Gegenüberstellung existierender Ansätze/ Handlungsbedarf	226
6.3	Informationsbereitstellung	227
6.3.1	Zusammenspiel intern und extern verwalteter Lösungselemente	227
6.3.2	Suche nach Lösungselementen	228
6.3.3	Informationsgehalt von Lösungselementen	242
6.3.4	Unterstützende Mehrwertdienstleistungen	247
6.4	Prototyphafte Realisierung	248
6.4.1	Anwendungsszenario	248
6.4.2	Systemaufbau	250
6.4.3	Grobarchitektur des Systems	253
6.5	Literaturverzeichnis	255

## Teil C: Anwendungsklassen

<b>7</b>	<b>Entwicklungsumgebung Feinwerktechnik</b>	<b>259</b>
7.1	Entwicklungsprozess	259
7.1.1	Entwicklung mechatronischer Produkte unter Berücksichtigung des akustischen Verhaltens	260
7.1.2	Reverse Engineering	262
7.2	Eingesetzte Methoden und Werkzeuge	264
7.2.1	Einteilung der Methoden und Werkzeuge	265
7.2.2	Ergebnisse der akustischen Voruntersuchung	266
7.2.3	Festlegung der Methoden und Auswahl geeigneter IT-Werkzeuge	277
7.3	Einsatz der Entwicklungsumgebung	282
7.3.1	Erprobung der Werkzeuge am Beispiel Spurbuchdrucker	282
7.3.2	Erstellen einer Entwicklungsumgebung zur Optimierung des akustischen Verhaltens feinwerktechnischer Geräte	314
7.3.3	Veränderungen in der Methodik durch den Einsatz der erweiterten Entwicklungsumgebung	318

7.3.4	Einarbeitung der Entwickler bei der Einführung einer erweiterten Entwicklungsumgebung . . . . .	318
7.4	Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	319
7.5	Literaturverzeichnis . . . . .	321
<b>8</b>	<b>Entwicklungsumgebung Hochleistungshydraulik</b> —————	<b>323</b>
8.1	Produktentwicklung Fahrdynamikregelung BMW/Bosch ..	323
8.1.1	Entwicklungsprozess Fahrdynamikregelung . . . . .	324
8.1.2	Eingesetzte Methoden und Werkzeuge . . . . .	333
8.1.3	Einsatz der Entwicklungsumgebung . . . . .	348
8.2	Simulation von Fehlverhalten und FMEA mittels RODON .	353
8.2.1	Struktur des Gesamtmodells . . . . .	354
8.2.2	Modellierung der ABS-Logik . . . . .	357
8.2.3	Regelungsvorgang im Nominalfall . . . . .	358
8.2.4	Regelungsvorgang bei Fehlverhalten . . . . .	359
8.2.5	Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) . . . . .	362
8.2.6	Ergebnisse . . . . .	364
8.3	Validierung Fahrsimulator . . . . .	366
8.3.1	Entwicklungsaufgaben ..	366
8.3.2	Eingesetzte Methoden und Werkzeuge . . . . .	368
8.3.3	Entwicklungsaktivitäten . . . . .	369
8.3.4	Ergebnisse beim Einsatz der Entwicklungsumgebung ..	373
8.4	Simulation eines ABS-Bremsvorgangs unter Verwendung mehrerer Modellierungs- und Simulationswerkzeuge ....	374
8.4.1	Modellbildung . . . . .	375
8.4.2	Ergebnisse . . . . .	380
8.5	Literaturverzeichnis . . . . .	381
<b>9</b>	<b>Entwicklungsumgebung</b>	
	<b>Servohydraulische Prüfeinrichtungen . . . . .</b>	<b>383</b>
9.1.	Produktklasse Servohydraulische Prüfeinrichtungen . . . .	383
9.1.1	Auswahl eines geeigneten Produktes . . . . .	384
9.1.2	Analyse des Entwicklungsprozesses . . . . .	386
9.2	Eingesetzte Methoden und Werkzeuge . . . . .	386
9.2.1	CAD-Werkzeuge . . . . .	387
9.2.2	Mess- und Analysewerkzeuge der Mechanik . . . . .	388
9.2.3	Simulationswerkzeuge für Hydraulik und Regelungstechnik . . . . .	390
9.2.4	Datenaustausch und Werkzeugkoppelung . . . . .	390
9.3	Ergebnisse des Reverse Engineering . . . . .	393
9.4	Einsatz der Entwicklungsumgebung . . . . .	401
9.4.1	Einsatzszenario Rütteltisch . . . . .	401
9.4.2	Installation der ausgewählten Werkzeuge . . . . .	402

9.4.3	Datenverwaltung und Einbindung der IT-Werkzeuge in eine globale Entwicklungsumgebung . . . . .	416
9.4.4	Einsatz der Entwicklungsumgebung SHP. . . . .	422
9.4.5	Einarbeitung der Entwickler bei der Einführung einer erweiterten Entwicklungsumgebung. . . . .	424
9.5	Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	425
9.6	Literaturverzeichnis . . . . .	426

## **Teil D: Schlussfolgerungen**

<b>10</b>	<b>Resümee</b> . . . . .	<b>427</b>
10.1	Erfahrungen aus den Querschnittprojekten. . . . .	427
10.2	Erfahrungen aus den Anwendungsklassen. . . . .	430
10.3	Multiplikation der Ergebnisse. . . . .	432
<b>11</b>	<b>Forschungsbedarf</b> . . . . .	<b>433</b>
11.1	Unternehmensbefragung. . . . .	433
11.2	Abgleich mit der vordringlichen Aktion Kooperatives Produktengineering . . . . .	438
	<b>Stichwortverzeichnis</b> . . . . .	<b>443</b>