

1	Einleitung	1
1.1	Problematik.....	1
1.2	Zielsetzung	4
1.3	Vorgehensweise	5
2	Problemanalyse	7
2.1	Begriffsbestimmungen	7
2.1.1	Begriffe der Produktentstehung.....	7
2.1.2	Begriffe der Elektronik	10
2.2	Mechatronische Systeme	12
2.2.1	Grundstruktur mechatronischer Systeme	13
2.2.2	Klassen mechatronischer Systeme	14
2.2.3	Differential- und Integralbauweise	15
2.3	Technologie MID	16
2.3.1	MID-Herstellverfahren	17
2.3.2	Potentiale und Herausforderungen der Technologie MID	23
2.4	Entwicklung mechanisch-elektronischer Baugruppen	25
2.4.1	Zyklusmodell der Produktentstehung	25
2.4.2	Machbarkeit mechatronischer Systeme	27
2.4.3	Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme.....	27
2.4.4	Konzipieren mechatronischer Systeme	30
2.4.5	Produktfunktionen und Lösungen.....	34
2.4.6	Einsatz von Lösungsmustern	35
2.4.7	Konstruktionskataloge	36
2.5	Prototypen	37
2.5.1	Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing.....	37
2.5.2	Verfahren zur Herstellung des Grundkörpers.....	39
2.5.2.1	Generative Fertigungsverfahren.....	39

2.5.2.2	Halbzeug-Fräsen.....	43
2.5.2.3	Spritzguss	43
2.5.2.4	MID-spezifische Verfahren	44
2.5.3	Verfahren zur Strukturierung des Grundkörpers	46
2.5.3.1	Laserdirektstrukturierung.....	46
2.5.3.2	Druckverfahren.....	47
2.6	Problemabgrenzung	47
2.7	Anforderungen an die Systematik.....	50
3	Stand der Technik.....	53
3.1	Prototypen im Produktentstehungsprozess	53
3.1.1	Verifikationsmodelle im multidisz. Design nach KONDOH ET AL.....	53
3.1.2	Integration von Rapid Prototyping in den PEP nach KRAUSE	54
3.1.3	Klassifikation von Prototypen nach VDI 3404/3405.....	55
3.1.4	MID-spezifische Prototypen-Klassifikationen nach KÜCK	57
3.2	Frühzeitige Abschätzung der Machbarkeit.....	59
3.2.1	Technologieentwicklungsprozess nach SCHUH	60
3.2.2	Integrations- und Umsetzungsstrategien nach GOTH	62
3.2.3	Wirtschaftlichkeitsanalysen zur Abschätzung der Machbarkeit.....	65
3.2.4	Prozessübergangskosten nach Franke	68
3.3	Entwicklung mechatronischer Systeme	68
3.3.1	VDI-Richtlinie 2221.....	69
3.3.2	VDI-Richtlinie 2206.....	70
3.3.3	Suche und Informationsbereitstellung nach AVENARIUS.....	72
3.3.4	Produktoptimierung nach PEITZ.....	73
3.3.5	Entwicklung mechatronischer Systeme nach KAISER	76
3.3.6	Produktentwicklung in der Mikrosystemtechnik nach WATTY.....	79
3.3.7	Entwicklungsleitfäden.....	80
3.3.8	Produktentwicklung generativer Produkte nach BREUNINGER.....	82
3.4	Integrative Entwicklung von Produkt und Produktionssystem.....	84
3.4.1	Generieren alternativer Technologieketten nach FALLBÖHMER	85
3.4.2	Produktionsalternativen nach MÜLLER	88
3.4.3	Auswahl von Fertigungstechnologien nach ASHBY	90
3.4.4	Konzipierung von Produktionssystemen nach NORDSIEK	93
3.4.5	Integrierte Planung von Fertigungssystemen nach STEIMER	96
3.5	Handlungsbedarf	97

4	Systematik	101
4.1	Die Systematik im Überblick.....	102
4.2	MID-Prototypen.....	103
4.2.1	Erweiterter Referenzprozess.....	103
4.2.2	Entwicklungsbegleitende Prototypen.....	104
4.2.3	MID-Prototypenklassen.....	106
4.2.3.1	Geometriemuster.....	107
4.2.3.2	Konzeptmuster.....	109
4.2.3.3	Funktionsmuster.....	111
4.2.3.4	Serienmuster.....	112
4.2.3.5	Branchenspezifische Erweiterung.....	113
4.3	Vorgehen und MID-Methodenset.....	116
4.3.1	Stufe 1: Machbarkeit analysieren.....	118
4.3.2	Stufe 2: Prozessketten konzipieren.....	123
4.3.3	Stufe 3: Eigenschaften absichern.....	138
4.4	Software-Tool MID-Planer.....	143
5	Anwendung der Systematik	145
5.1	Anwendungsbeispiel MIDster.....	145
5.1.1	Stufe 1: Machbarkeit analysieren.....	146
5.1.2	Stufe 2: Prozessketten konzipieren.....	154
5.1.3	Stufe 3: Eigenschaften absichern.....	159
5.2	Bewertung der Anforderungserfüllung der Systematik.....	164
6	Zusammenfassung und Ausblick	167

Anhang

A1	Erweiterter Stand der Technik	173
A1.1	Produktstrukturierung nach DAHL.....	173
A1.2	Alternative Fertigungsfolgen nach TROMMER.....	174

A2	Frühzeitige Analyse der Machbarkeit	177
A2.1	MID-Produktkonzeptspezifikation	177
A2.2	MID-Profil.....	179
A3	Integrative Konzipierung von Prozessketten	181
A3.1	Erweiterter MID-Konstruktionskatalog	181
A3.2	Lösungselemente-Kompatibilitätsmatrix	183
A3.3	Prozess-Kompatibilitätsmatrix	184
A3.4	Lösungselemente-Prozess-Kompatibilitätsmatrix	185
A3.5	Kompatibilität erweiterter Prozess-Anforderungen	186
A4	Frühzeitige Eigenschaftsabsicherung mit Prototypen.....	187
A4.1	Prototypenklassen	187
A4.2	Branchenspezifische Erweiterungen	196