

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation	3
1.2	Industrielle Problemstellung	9
1.3	Vorläufige Zielsetzung und Forschungsmethode	14
2	Stand der Wissenschaft und Technik	17
2.1	Unsicherheit und Flexibilität in der Produktentwicklung	17
2.1.1	Begriffsdefinition „Unsicherheit“	18
2.1.2	Gliederungsdimensionen von Unsicherheit	19
2.1.3	Begriffsdefinition „Flexibilität“	24
2.1.4	Mathematische Theorien zur Beschreibung von Unsicherheit und Flexibilität	27
2.1.5	Vorgehensmodelle zum Umgang mit Unsicherheit in der Produktentwicklung	32
2.1.6	Methoden zur Entwicklung flexibler Produkte unter externer Unsicherheit	36
2.2	Software- und Hardware-Architecturentwicklung für Personenkraftwagen	40
2.2.1	Komponenten der Software- und Hardware-Architektur	40
2.2.2	Entwicklung der Software- und Hardware-Architektur	43
2.2.3	Modellierung in der Software- und Hardware-Architecturentwicklung	51

2.2.4	Umgang mit Unsicherheit in der Software- und -Hardware-Architekturentwicklung	53
2.2.5	Flexibilität in der Software- und Hardware-Architektur	58
2.3	Implikationen des Stands der Wissenschaft und Technik	60
3	Wissenschaftstheoretische Kontextualisierung und Positionierung	63
3.1	Problemanalyse und wissenschaftliche Herausforderung	63
3.2	Forschungsfragen und wissenschaftliche Zielsetzung	70
3.3	Abgrenzung und wissenschaftstheoretische Positionierung	71
4	Konzeption des Verfahrens	75
4.1	Anforderungen an das Verfahren	75
4.2	Lösungsansatz	79
4.3	Gestaltungsprinzipien	86
4.3.1	Prinzip der modularen Stetigkeit	86
4.3.2	Prinzip des positiven Optionswerts	88
4.3.3	Prinzip des Risikopoolings	90
4.4	Konzeption der Methodik	92
4.5	Konzeption des Softwarewerkzeugs	98
5	Methodik zur Entwicklung flexibler Fahrzeug-Software- und -Hardware-Architekturen unter Unsicherheit	103
5.1	Überblick über die Methodik	103
5.2	Definition des Kontexts und der begleitenden Aktivitäten	107
5.3	Identifikation und Analyse der aleatorischen Unsicherheit	109
5.3.1	Methodisches Vorgehen	109
5.3.2	Beschreibung der Unsicherheit	113
5.4	Gestaltung der probabilistischen Architektur	116
5.4.1	Methodisches Vorgehen	116
5.4.2	Beschreibung der probabilistischen Architektur	118
5.5	Festlegung des Flexibilitätsgrads und der Flexibilitätsmechanismen	120
5.5.1	Methodisches Vorgehen	120
5.5.2	Auslegung von Flexibilitätsmechanismen	123
5.5.3	Berechnung der Wahrscheinlichkeiten und Beschreibung der determinierten Architektur	126

5.6	Gestaltung der determinierten Architektur	128
5.6.1	Methodisches Vorgehen	128
5.6.2	Identifikation und Beschreibung der Risikopooling-Effekte	130
5.7	Absicherung der Flexibilität	131
6	Entwicklung des Softwarewerkzeugs	135
6.1	Architektur des Softwarewerkzeugs	135
6.2	Definition eines Metamodells zur Beschreibung von Unsicherheit	138
6.3	Modellsichten und -operatoren des Werkzeugs	142
6.4	Synthese der probabilistischen Architektur	145
6.5	Effiziente Berechnung kombinierter Realisierungsmaße	147
7	Validierung und Evaluation des Verfahrens	153
7.1	Vorgehen zur Validierung und Evaluation	153
7.2	Validierung am Fallbeispiel „FlexCAR Rolling Chassis“	155
7.2.1	Einführung in das Fallbeispiel	155
7.2.2	Anwendung des Verfahrens	158
7.2.3	Technische Ergebnisanalyse	168
7.2.4	Ergebnisanalyse bezüglich der Behandlung von Unsicherheit	178
7.3	Evaluation bei einem Automobilhersteller	182
7.3.1	Aufbau und Durchführung der Evaluation	182
7.3.2	Ergebnisanalyse	183
7.4	Synthese und Diskussion der Ergebnisse	185
8	Zusammenfassung und Ausblick	189
8.1	Zusammenfassung	189
8.2	Kritische Würdigung	192
8.2.1	Kritische Würdigung des Gestaltungsbereichs der Methodik	192
8.2.2	Kritische Würdigung bezüglich der betrachteten und behandelten Unsicherheiten	194
8.2.3	Kritische Würdigung der Anwendbarkeit im industriellen Bezugsrahmen	194
8.3	Ausblick	196
	Glossar	199
	Literatur	205