

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort	I
Danksagung	II
Zusammenfassung	III
Abstract	IV
Inhaltsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VIII
Tabellenverzeichnis	XI
Abkürzungsverzeichnis	XV
Formelzeichenverzeichnis und Indizes	XVII
Glossar	XIX
Vorveröffentlichungen	XXIV
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung	4
1.3 Gliederung der Arbeit	5
2 Grundlagen der Produktentstehung und immersiven Erlebbarkeit von Produkteigenschaften	8
2.1 Produktentstehung in der Automobilindustrie	8
2.1.1 Produktentstehungs- und Produktentwicklungsprozess	8
2.1.2 Das V-Modell	10
2.2 Integrierte Produktentwicklung	12
2.2.1 Modellbasiertes Systems Engineering und virtuelle Produktentwicklung	12
2.2.2 Smart Hybrid Prototyping	16
2.3 Werkzeuge der integrierten Produktentwicklung	17
2.3.1 Entwicklungswerkzeuge zur Nachbildung der Fahrer-Fahrzeug-Umwelt- Interaktion	17
2.3.2 Virtual Reality zur immersiven Erlebbarkeit von Produkteigenschaften	20
2.3.3 Güte und Validität interaktiver Entwicklungswerkzeuge	21
2.4 User Experience in der integrierten Produktentwicklung	22
2.4.1 Eigenschaften der User Experience	22
2.4.2 Die menschliche Informationswahrnehmung	26
2.4.3 Simulator Sickness	28
2.4.4 Immersion, Präsenz und Situationsbewusstsein	32
3 Subjektive Absicherungen neuer Fahrzeuginterieur-Konzepte	34
3.1 Aktuelle Vorgehensweise	34
3.2 Problembeschreibung	39
3.3 Grobanforderungen an verfügbare Entwicklungswerkzeuge	42

4 Stand der Forschung und Technik – Interaktive Entwicklungswerkzeuge	44
4.1 Sitzkisten und Prüfstände.....	44
4.1.1 Ergonomie- und Design-Sitzkisten	44
4.1.2 Variable Ergonomie-Prüfstände	46
4.1.3 Variable VR-Prüfstände.....	48
4.2 Fahrsimulatoren.....	51
4.2.1 Klassische Fahrsimulatoren.....	53
4.2.2 VR-Fahrsimulatoren	58
4.3 Vehicle in the Loop-Fahrzeuge	61
4.4 Wizard of Oz-Fahrzeuge	62
4.5 Validierungsstudien in interaktiven Entwicklungswerkzeugen.....	64
4.5.1 Validierungsstudien zu subjektiven Kennwerten	65
4.5.2 Validierungsstudien zu objektiven Kennwerten.....	71
4.6 Zwischenfazit	79
5 Vorstellung und Benchmarking des hybriden Simulators	83
5.1 Aufbau des hybriden Simulators	83
5.1.1 Visualisierungssystem.....	84
5.1.2 Bewegungssystem	85
5.1.3 Variable Sitzkiste	86
5.1.4 Softwarearchitektur.....	87
5.2 Potenziale des hybriden Simulators	89
5.2.1 Kurzbeschreibung Forschungsprojekt „Fahrsimulationslandkarte“	89
5.2.2 Multikriterielle Gegenüberstellung der Entwicklungswerkzeuge.....	90
5.3 Ableitung der Forschungsfragen	102
5.4 Herleitung des konzeptuellen Modells zur Validierung	103
6 Validierung des hybriden Simulators.....	109
6.1 Validierungsstudie I: Validität primärer Fahraufgaben (subjektive Kennwerte)....	111
6.1.1 Leithypothesen	111
6.1.2 Versuchskonzept.....	113
6.1.3 Szenarien	115
6.1.4 Stichprobe.....	116
6.1.5 Versuchsfahrzeug-Modell	117
6.1.6 Datenerfassung.....	117
6.1.7 Versuchsablauf	119
6.1.8 Detaillierung der Leithypothesen.....	119
6.1.9 Versuchsergebnisse	121
6.1.10 Zusammenfassung und Diskussion	134
6.2 Validierungsstudie II: Validität primärer Fahraufgaben (objektive Kennwerte)	139
6.2.1 Leithypothesen	140
6.2.2 Versuchskonzept.....	141
6.2.3 Szenarien	142
6.2.4 Stichprobe.....	145
6.2.5 Versuchsfahrzeuge und -modelle	146

6.2.6	Datenerfassung.....	147
6.2.7	Versuchsablauf	149
6.2.8	Detaillierung der Leithypothesen.....	150
6.2.9	Versuchsergebnisse	152
6.2.10	Zusammenfassung und Diskussion	169
6.3	Validierungsstudie III: Validität sekundärer und tertiärer Fahraufgaben	175
6.3.1	Leithypothesen	175
6.3.2	Versuchskonzept.....	178
6.3.3	Szenario	179
6.3.4	Stichprobe.....	180
6.3.5	Versuchsfahrzeug-Modell	181
6.3.6	Datenerfassung.....	182
6.3.7	Versuchsablauf	184
6.3.8	Detaillierung der Leithypothesen.....	185
6.3.9	Versuchsergebnisse	187
6.3.10	Zusammenfassung und Diskussion	200
7	Bewertung der Ergebnisse.....	207
7.1	Eignung des hybriden Simulators für den vorliegenden Anwendungsfall	208
7.1.1	Beantwortung der Forschungsfragen	208
7.1.2	Vor- und Nachteile.....	212
7.2	Handlungsempfehlungen bzw. Weiterentwicklungsmöglichkeiten.....	216
7.3	Eignung für andere Anwendungsfälle	219
8	Zusammenfassung und Ausblick	221
Literaturverzeichnis		225
Anhang	253	
Anhang A1	Fragebogen bei Evaluierungen neuer Fahrzeuginterieur-Konzepte	253
Anhang A2	Simulator-Sickness-Risiken und erreichbare Immersionsgrade.....	254
Anhang A3	Gesamtmodell der Einflussparameter auf die verhaltensbezogene Validität eines interaktiven Entwicklungswerkzeugs.....	257
Anhang A4	Latenz im hybriden Simulator	258
Anhang A5	Aktueller Status der Bewegungssimulation.....	260
Anhang A6	Erweiterte Gestaltungsparameter-Matrix.....	265
Anhang A7	Bewertung des Bewegungssystems	268
Anhang A8	Gestaltungsparameter-Matrizen der Entwicklungswerzeuge.....	272
Anhang A9	Szenarien der ersten Validierungsstudie	279
Anhang A10	Fragebögen der ersten Validierungsstudie.....	284
Anhang A11	Spurwechsel-Abfolgen in der zweiten Validierungsstudie	293
Anhang A12	Fragebögen der dritten Validierungsstudie.....	294
Anhang A13	Vorgehensweise bei der Ermittlung der Spurabweichung	300
Anhang A14	Auswirkungen der Erweiterung des Bewegungssystems	301