

Inhaltsverzeichnis

1 Gesamtfahrzeug	1
1.1 Einsatz virtueller Techniken in der Produktentwicklung	1
1.1.1 Einflüsse auf die Automobilindustrie	1
1.1.1.1 Globale Trends	1
1.1.1.2 Anforderungen aus geänderten Kundenerwartungen	4
1.1.1.3 Neue Wege gehen	6
1.1.2 Der Produktprozess und die Rolle der virtuellen Entwicklung	7
1.1.2.1 Paradigmenwechsel im Produktprozess	7
1.1.2.2 Synchronisation des Entwicklungsprozesses	8
1.1.2.3 Datenlogistik	9
1.1.2.4 Simulation als Prozessintegrator	12
1.1.3 Die Verwendung der virtuellen Techniken zur Komponenten- und Eigenschaftsentwicklung	15
1.1.3.1 Eigenschaftsableitung	15
1.1.3.2 Eigenschaftsverfolgung (-Monitoring)	17
1.1.3.3 Interdisziplinäre Prozessketten im Entwicklungsprozess	18
1.1.3.4 Neue Herausforderungen in der Simulation durch Regelsysteme	20
1.1.3.4.1 Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen	21
1.1.3.4.2 Vehicle in the Loop (VIL)	22
1.1.4 Zusammenfassung und Ausblick	27
1.1.4.1 Geänderter Produktprozess	27
1.1.4.2 Grenzen der virtuellen Entwicklung	28
1.1.4.3 Ausblick	29
1.2 Auslegungstools und Expertenwissen	29
1.2.1 Einleitung	29
1.2.2 Der „Integrierte Entwicklungsablauf“	31
1.2.3 Mit Auslegungstools zur simulationsgestützten Entwicklung in frühen Entwicklungsphasen	35
1.2.4 Verstärkte Nutzung von Wissen im Engineeringprozess	42
1.2.4.1 Wissen – auf dem Weg zur Ressource	42
1.2.4.2 Lösungsansätze für wissensbasiertes Engineering	44
1.2.4.3 Wissensdatenbanken	46
1.2.5 Anwendung von Wissensdatenbanken	50
1.2.5.1 Information	50
1.2.5.2 Technisches Benchmarking	50
1.2.5.3 Bereitstellung Expertenwissen	53
1.2.5.4 Bauteilauslegung	54
1.2.6 Zusammenfassung und Ausblick	56
1.3 Virtuelle Produktentwicklung in der Konzeptphase von Nutzfahrzeugen	58
1.3.1 Konzeptentwicklung, Frontloading	59

1.3.2	Beispiele für Simulationswerkzeuge in der Konzeptphase	60
1.3.2.1	Concept Car (Parametrisches Konzeptmodell)	60
1.3.2.2	Digital Mock-Up (DMU)	62
1.3.2.3	Virtuelle Sitzkiste	63
1.3.2.4	Augmented Reality	64
1.3.2.5	Parametrische Berechnungsverfahren	65
1.3.2.6	Modularer Berechnungsmodell-Aufbau	67
1.3.2.7	Strömungsberechnung (CFD)	68
1.3.2.8	Mehrkörpersimulation (MKS)	71
1.3.2.9	Blattfedergeführte Starrachse	72
1.3.3	Virtuelle Produktentwicklung in der Zukunft	73
1.4	Beschleunigung des Produktprozesses	75
1.4.1	Einleitung	75
1.4.2	Die drei Beschleunigungskomponenten	77
1.4.3	Ausgewählte Beispiele	83
1.4.4	Zusammenfassung und Ausblick	87
1.5	Virtueller verteilter Entwicklungsprozess bei Abgasanlagen und -konzepten	88
1.5.1	Einleitung	88
1.5.2	CAE-Methoden im Entwicklungsprozess Abgasanlage	88
1.5.3	Numerischer Werkzeugkasten für Abgasanlagenberechnungen	91
1.5.3.1	Vernetzungsrichtlinie für Abgasanlagenmodelle	93
1.5.3.2	Nummerierungskonvention für Abgasanlagenmodelle	94
1.5.3.3	Eine hierarchisch angelegte Struktur für Abgasanlagenberechnungen	94
1.5.3.4	Automatisierungsalgorithmus	95
1.5.3.5	Verschiedene kleinere Programme zur Erledigung von Teilaufgaben	95
1.5.4	Beispiele	95
1.5.5	Einführung einer gemeinsamen Methodik bei den Partnern	97
1.5.6	Zusammenfassung	98
2	Elektronik	99
2.1	Elektronik als Schlüsseltechnologie zur unfallfreien und umweltfreundlichen Mobilität der Zukunft	99
2.1.1	Globale Herausforderungen	99
2.1.2	Elektronik und Systemvernetzung	101
2.1.3	Maßnahmen zur Qualitätssicherung bei Elektronik-Systemen	111
2.1.4	Zusammenfassung	113
2.2	AUTOSAR – Der Standard, seine Anwendung und die weitere Entwicklung	114
2.2.1	Einleitung	114
2.2.2	AUTOSAR-Projektorganisation	115
2.2.3	Technisches Konzept von AUTOSAR	116
2.2.3.1	Schichtenmodell der Softwarearchitektur	116
2.2.3.2	Virtueller Funktionaler Bus	118
2.2.3.3	Metamodell und Methodik	120

2.2.3.4	Konfigurationskonzept	122
2.2.3.5	Fehlerbehandlung	124
2.2.3.6	Anwendungssoftware	125
2.2.4	Status der AUTOSAR-Spezifikationen	125
2.2.4.1	AUTOSAR Release 1.0	125
2.2.4.2	AUTOSAR Release 2.0	126
2.2.4.3	AUTOSAR Release 2.1	127
2.2.5	AUTOSAR Konformitätsprüfung	127
2.2.5.1	Zielsetzung	127
2.2.5.2	Prozess der Konformitätsprüfung	128
2.2.6	AUTOSAR Phase II: 2007 – 2009	129
2.2.6.1	Inhalte der AUTOSAR Phase II	129
2.2.6.2	Start von AUTOSAR Phase II	131
2.2.7	Schlussfolgerung und Ausblick	131
2.3	Virtuelle Systementwicklung – Von der Anforderung zum Steuergerät	133
2.3.1	Einleitung	133
2.3.2	Anforderungsverursachte Komplexitätszunahme im E/E-Entwurfsprozess	135
2.3.3	Konventionelle Architektur- und Steuergeräteentwicklung	138
2.3.4	Integraler Toolverbund zur virtuellen E/E-Entwicklung	140
2.3.4.1	eSCOUT	142
2.3.4.2	CAPEmaster/CAPEopticon	145
2.3.4.3	Virtuelle Hardware	148
2.3.4.4	HW/SW Co-Simulation	149
2.3.5	Schlussbetrachtung	151
3	Motor	154
3.1	Virtuelle Antriebsstrangentwicklung	154
3.1.1	Einleitung	154
3.1.2	Entwicklungsprozess der Antriebsstrangentwicklung	155
3.1.3	Kalibrierung im Fahrzeug, auf der Straße	156
3.1.4	Kalibrierung im Fahrzeug, auf dem Rollenprüfstand	160
3.1.5	Kalibrierung auf Motor-, Getriebe- und Antriebsstrangprüfständen	164
3.1.6	Kalibrierung in der Hardware-in-the-Loop (HiL) und Model-in-the-Loop (MiL) Umgebung	166
3.1.7	Zusammenfassung und Ausblick	170
3.2	Steuertriebsentwicklung mit Simulation und Versuch	172
3.2.1	Einleitung	172
3.2.2	Entwicklungstools: Simulations- und Messtechniken	172
3.2.3	Zähnezahlen	175
3.2.4	Kettenart	177
3.2.5	Dynamikergebnisse	180
3.2.6	Unrunde Kettenräder	181
3.2.7	Aufbau und Ausbau der Simulationstechnik	184
3.2.8	Zusammenfassung	188

3.3	Virtuelle Motorentwicklung	189
3.3.1	Einleitung	189
3.3.2	Entwicklungsplan	189
3.3.3	CAE-Unterstützung und virtuelle Produktfreigabe	191
3.3.4	Festigkeit und Kühlung	193
3.3.5	Ladungswechsel und Thermodynamik	194
3.3.6	Kosten und Gewicht	195
3.3.7	NVH und Gewicht	196
3.3.8	Dokumentation und Projektmanagement	299
3.3.9	Motormanagement, Software und Applikation	299
3.3.10	Zusammenfassung	200
3.3.11	Fazit	201
3.4	Zuverlässigkeitsmethoden in der Motorentwicklung	202
3.4.1	Einleitung	202
3.4.2	Der Zuverlässigkeitsprozess	202
3.4.2.1	Statistische Analysen	204
3.4.2.2	Projekt-Risikomanagement	204
3.4.2.3	FMEA – Fehler-Möglichkeiten- und Einflussanalyse	205
3.4.2.4	Concern-System	205
3.4.2.5	Design of Experiments (DoE) und Robustheit	206
3.4.2.6	Zuverlässigkeitsblockdiagramme (Reliability Allocation)	206
3.4.2.7	Intelligente Validierung – Die Load Matrix Methodik	206
3.4.2.7.1	Prozess der Load Matrix Erstellung	207
3.4.2.7.2	Maßnahmen zur Verbesserung der Validierung	208
3.4.2.7.3	Nutzen der Load Matrix	208
3.4.2.7.4	.....	208
3.4.2.7.5	.....	208
3.4.2.7.6	.....	208
3.4.2.7.7	.....	208
3.4.2.7.8	.....	208
3.4.2.7.9	.....	208
3.4.2.7.10	.....	208
3.4.2.7.11	.....	208
3.4.2.7.12	.....	208
3.4.2.7.13	.....	208
3.4.2.7.14	.....	208
3.4.2.7.15	.....	208
3.4.2.7.16	.....	208
3.4.2.7.17	.....	208
3.4.2.7.18	.....	208
3.4.2.7.19	.....	208
3.4.2.7.20	.....	208
3.4.2.7.21	.....	208
3.4.2.7.22	.....	208
3.4.2.7.23	.....	208
3.4.2.7.24	.....	208
3.4.2.7.25	.....	208
3.4.2.7.26	.....	208
3.4.2.7.27	.....	208
3.4.2.7.28	.....	208
3.4.2.7.29	.....	208
3.4.2.7.30	.....	208
3.4.2.7.31	.....	208
3.4.2.7.32	.....	208
3.4.2.7.33	.....	208
3.4.2.7.34	.....	208
3.4.2.7.35	.....	208
3.4.2.7.36	.....	208
3.4.2.7.37	.....	208
3.4.2.7.38	.....	208
3.4.2.7.39	.....	208
3.4.2.7.40	.....	208
3.4.2.7.41	.....	208
3.4.2.7.42	.....	208
3.4.2.7.43	.....	208
3.4.2.7.44	.....	208
3.4.2.7.45	.....	208
3.4.2.7.46	.....	208
3.4.2.7.47	.....	208
3.4.2.7.48	.....	208
3.4.2.7.49	.....	208
3.4.2.7.50	.....	208
3.4.2.7.51	.....	208
3.4.2.7.52	.....	208
3.4.2.7.53	.....	208
3.4.2.7.54	.....	208
3.4.2.7.55	.....	208
3.4.2.7.56	.....	208
3.4.2.7.57	.....	208
3.4.2.7.58	.....	208
3.4.2.7.59	.....	208
3.4.2.7.60	.....	208
3.4.2.7.61	.....	208
3.4.2.7.62	.....	208
3.4.2.7.63	.....	208
3.4.2.7.64	.....	208
3.4.2.7.65	.....	208
3.4.2.7.66	.....	208
3.4.2.7.67	.....	208
3.4.2.7.68	.....	208
3.4.2.7.69	.....	208
3.4.2.7.70	.....	208
3.4.2.7.71	.....	208
3.4.2.7.72	.....	208
3.4.2.7.73	.....	208
3.4.2.7.74	.....	208
3.4.2.7.75	.....	208
3.4.2.7.76	.....	208
3.4.2.7.77	.....	208
3.4.2.7.78	.....	208
3.4.2.7.79	.....	208
3.4.2.7.80	.....	208
3.4.2.7.81	.....	208
3.4.2.7.82	.....	208
3.4.2.7.83	.....	208
3.4.2.7.84	.....	208
3.4.2.7.85	.....	208
3.4.2.7.86	.....	208
3.4.2.7.87	.....	208
3.4.2.7.88	.....	208
3.4.2.7.89	.....	208
3.4.2.7.90	.....	208
3.4.2.7.91	.....	208
3.4.2.7.92	.....	208
3.4.2.7.93	.....	208
3.4.2.7.94	.....	208
3.4.2.7.95	.....	208
3.4.2.7.96	.....	208
3.4.2.7.97	.....	208
3.4.2.7.98	.....	208
3.4.2.7.99	.....	208
3.4.2.7.100	.....	208
3.4.3	Zusammenfassung	212
3.5	3D-Simulation der Kolbengruppe	213
3.5.1	Einleitung	213
3.5.2	Simulation der Kolbengruppe in Bausteinen	214
3.5.2.1	Thermische Strukturanalyse des Kolbens	214
3.5.2.2	Simulation der Kolbensekundärbewegung	216
3.5.2.3	Simulation der Kolbenringdynamik	220
3.5.3	Anwendungsbeispiel: Reibungsanalyse	223
3.5.4	Zusammenfassung	225
3.6	Einsatz der Prozess- und Ladungswechselsimulation zur Bedatung von Motorsteuergeräten	227
3.6.1	Einleitung	227
3.6.2	Motivation	227
3.6.3	Grundlagen zur Einbeziehung der Vorausberechnung in den Applikationsprozess	228
3.6.4	Werkzeuge zur effektiven Grundbedatung mit Vorausberechnung	230
3.6.5	Anwendung für Füllungserfassung, Momentenstruktur und Zündwinkelvorgabe	232

3.6.6	Weitere Einsatzmöglichkeiten der Simulation im Applikationsprozess	245
3.6.7	Fazit	247
4	Getriebe	249
4.1	Optimierungsverfahren in der Antriebstechnik	249
4.1.1	Einleitung.....	249
4.1.2	Gliederung der Optimierungsverfahren	250
4.1.3	Topologieoptimierung: Begriffsklärung und Analogie	252
4.1.4	Prinzipielle Vorgehensweise bei einer Topologieoptimierung	253
4.1.5	Grundlegende Erfahrungen bei der Topologieoptimierung eines Differenzialdeckels	254
4.1.6	Topografieoptimierung einer Ölwanne.....	267
4.1.7	Topologieoptimierung eines Getriebegehäuses	272
4.1.8	Optimierung eines Halblechs.....	279
4.1.9	Einbindung in den Produktentwicklungsprozess	284
5	Antriebsstrang/Hybrid	286
5.1	Modellbasierte Antriebsstrangentwicklung	286
5.1.1	Einleitung	286
5.1.2	Werkzeuge im modellbasierten Entwicklungsprozess	288
5.1.2.1	Systemmodell	288
5.1.2.2	Regelbasierte Modelltransformation	290
5.1.2.3	Physikalische und signalflossorientierte Modelle	291
5.1.2.4	Optimierungswerkzeuge	294
5.1.2.5	Modellbasierte Validierung	294
5.1.3	Zusammenfassung	296
5.2	Hybridfahrzeug in seiner Verkehrsumgebung	298
5.2.1	Einleitung	298
5.2.2	Simulationsumgebung	298
5.2.2.1	Längsdynamiksimulation	299
5.2.2.2	Verkehrsszenarien	303
5.2.3	Simulationsergebnisse	305
5.2.3.1	Hybridantrieb	305
5.2.4	Zusammenfassung	309
5.3	Einfluss des Strömungssiedens auf den kühlmittelseitigen Wärmeübergang in Verbrennungsmotoren	310
5.3.1	Einleitung	310
5.3.2	Sieden	311
5.3.2.1	Beschreibung des Siede-Phänomens	311
5.3.2.2	Einflüsse.....	312
5.3.2.2.1	Kühlmittelzusammensetzung	313
5.3.2.2.2	Rauigkeit	314
5.3.2.2.3	Orientierung	314
5.3.2.2.4	Druckgradient	315
5.3.2.2.5	Vibration	315

5.3.3	Modellbildung und Berechnungsmethodik	316
5.3.3.1	Boiling-Departure-Liftoff (BDL)-Modell	316
5.3.3.2	Gekoppelte Berechnungsmethodik	318
5.3.4	Anwendungsbeispiel	320
5.3.5	Zusammenfassung	322
5.4	Simulation des NVH-Verhaltens im Antriebsstrang	323
5.4.1	Einleitung	323
5.4.2	Modellkomplexität	324
5.4.3	Softwareprogramme und Modellierungsansätze	327
5.4.4	Untersuchung an einem Front-Querantriebsstrang	332
5.4.4.1	1D-Torsionsansatz	333
5.4.4.2	3D-MKS (Starrkörper)	334
5.4.4.3	3D-MKS (flexible Körper)	338
5.4.5	Zusammenfassung	343
6	Nebenaggregate	345
6.1	Simulation in der Produktentwicklung	345
6.1.1	Einführung	345
6.1.2	Dynamikanalyse von Kühlmodulen	345
6.1.3	Temperaturwechselbeanspruchung von Ladeluftkühlern	347
6.1.4	Motorraumdurchströmung	348
6.1.5	Auslegung von Hybridquerträgern für Thermostrukturmodule©	350
6.1.6	Komfortbewertung mit dem virtuellen thermischen Dummy	352
6.1.7	Dynamische Berechnung der Ladeluftkühlung mit BISS	354
6.1.8	Füllungsoptimierung eines R744 Kältekreislaufs	355
6.2	Integrierte Virtuelle Gesamtfahrzeugsimulation ausgeführt am Beispiel des Thermischen Managements	358
6.2.1	Einleitung	358
6.2.2	Motivation und Problemstellung	359
6.2.3	Technologien, Methoden und Werkzeuge für Integriertes Engineering	360
6.2.4	Rolle der Co-Simulation für das Thermische Management	364
6.2.5	Design einer unabhängigen Co-Simulationsplattform-Erstellung eines Gesamtfahrzeugmodells am Beispiel des Thermischen Managements	366
6.2.5.1	Aufteilung des Gesamtsystems in Teilmodelle	367
6.2.5.2	Kopplung der Teilmodelle zu einem Gesamtmodell	367
6.2.5.3	Synchronisierung der Teilmodelle innerhalb des Gesamtmodells	369
6.2.6	Betrachtung der Energieströme innerhalb eines gekoppelten thermischen Gesamtfahrzeugmodells	372
6.2.7	Zusammenfassung und Ausblick	376
Ausblick	.....	380
Sachwortverzeichnis	.....	381