

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	I
Abstract.....	III
Abbildungsverzeichnis.....	IX
Tabellenverzeichnis.....	XII
Ablaufdiagramme	XIII
Übersicht Algorithmen	XIV
Abkürzungsverzeichnis	XV
Symbolverzeichnis.....	XIX
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Zielsetzung	2
1.2 Aufbau der Arbeit	4
2 Grundlagen.....	7
2.1 Komponenten elektrifizierter Getriebe	9
2.1.1 Stirnradstufe	9
2.1.2 Planetenradsatz	12
2.1.3 Schaltelement	16
2.1.4 Welle	17
2.1.5 Lager.....	18
2.1.6 Antriebsquellen.....	20
2.1.7 Weitere Komponenten	22
2.2 Eigenschaften elektrifizierter Getriebe	24
2.2.1 Klassifizierung Hybridgetriebe.....	24
2.2.2 Ausgeführte Getriebekonzepte.....	28
2.2.3 Ausgewählte Konzepte.....	32
2.3 Optimierung.....	34
2.3.1 Allgemeine Optimierungsprobleme	34
2.3.2 Multikriterielle Optimierungsprobleme	36
2.3.3 Restringierte Optimierungsprobleme	37
2.3.4 Optimierung mit Metamodellen.....	38

2.3.5	Optimierungsverfahren	39
3	Stand der Forschung und Technik	43
3.1	Identifikation Forschungslücke	43
3.2	Modellbildung System Getriebe	48
4	Zielsetzung und methodisches Vorgehen	51
4.1	Zielsetzung der Arbeit	51
4.2	Methodisches Vorgehen	54
5	Getriebemodell	57
5.1	Standardisiertes Eingabeformat	58
5.1.1	Teil 1: Wellenstrukturcodierung	58
5.1.2	Teil 2: Komponentenanzordnung	61
5.2	Detektion Betriebsmodi	63
5.3	Getriebe-Kontaktlayout	65
5.3.1	Klassifizierung	65
5.3.2	Detektion	68
5.4	Wissensbasiertes Getriebemodell	73
5.4.1	Anforderungen	73
5.4.2	Struktur und Aufbau	75
6	Dimensionierung	81
6.1	Belastungsanalyse	83
6.2	Zentralwellen	85
6.3	Entscheidungsorientierte Dimensionierung	90
6.3.1	Schaltelemente	92
6.3.2	Evolventenverzahnungen	94
6.3.3	Planetenradsätze	97
6.3.4	Stirnradsätze	101
6.4	Lager	103
7	Räumlicher Modellaufbau	109
7.1	Axiale Bauraumoptimierung	110
7.1.1	Bausteine des Getriebemodells	112
7.1.2	Analyse	113
7.1.3	Ausführung einfache Verschachtelung	117
7.1.4	Ausführung mehrfache Verschachtelung	119
7.2	Gestaltung außenliegende Hohlwellen	120
7.3	Räumliche Positionierung Wellenpakete	122
7.4	Kollisionen	124

7.4.1	2D-Kollisionsanalyse	125
7.4.2	Klassifizierung	126
7.4.3	Konstellationen mit prädiktiven Abhilfemaßnahmen	127
7.4.4	Konstellationen mit reaktiven Abhilfemaßnahmen	130
7.4.5	Integration in den Gesamtablauf – Präventivmaßnahmen	132
7.4.6	Integration in den Gesamtablauf – Reaktivmaßnahmen	140
7.5	Aufbau und Analyse CAD-Modell	146
8	Anwendung der Methodik	147
8.1	Modellbewertung	147
8.2	Gesamtablauf Optimierung	151
8.3	Geeignete Optimierungsalgorithmen	154
8.4	Anwendungsbeispiele	155
8.4.1	Fallstudie A: Auslegungphilosophie	155
8.4.2	Fallstudie B: Variation E-Maschine	164
9	Zusammenfassung und Ausblick	173
	Literaturverzeichnis	179
	Verzeichnis studentischer Arbeiten	195
	Glossar	197
A	Beispielkonzepte	201
A.1	Konzept A	201
A.1.1	Betriebsmodus	201
A.1.2	Drehzahl-Gleichung	201
A.2	Konzept B	202
A.2.1	Anordnungsskizzen Konzept B1 und B2	202
A.2.2	Betriebsmodi und Schaltmatrix	203
A.2.3	Drehzahl-Gleichung	203
B	Dimensionierung	205
B.1	Analyse Betriebsmodi	205
B.2	Wellen	206
B.2.1	Torsionsbelastung	206
B.2.2	Torsions- und Biegebelastung	206
B.3	Lamellenkupplungen	207
B.3.1	Übertragbares Drehmoment	207
B.3.2	Geometrie	207
B.3.3	Übersicht Parameter	208

B.4	Evolventenverzahnungen.....	209
B.4.1	Geometrie und Zähnezahlen.....	209
B.4.2	Flankentragfähigkeit.....	210
B.4.3	Zahnfußtragfähigkeit.....	213
B.5	Planetengetriebe.....	216
B.5.1	Übersetzung und Zähnezahlen.....	216
B.5.2	Drehmomente.....	216
B.5.3	Drehzahl Planet.....	217
B.5.4	Einbaubedingung: Zähnezahl.....	217
B.6	Wälzlager.....	218
B.6.1	Lager-Außengeometrie.....	218
B.6.2	Lager-Innengeometrie.....	218
B.6.3	Tragzahlen.....	219
B.6.4	Dynamisch äquivalente Lagerbelastung.....	220
B.6.5	Lagerkräfte – Verfahren der Übertragungsmatrizen.....	221
C	Räumlicher Modellaufbau.....	225
C.1	Axiale Bauraumpotentiale.....	225
C.1.1	Einfache Komponenten-Verschachtelung (EKV).....	225
C.1.2	Mehrfache Komponenten-Verschachtelung (MKV).....	229
C.2	Präventivmaßnahme Maximalachsabstand.....	231
C.3	Kollisionsfreiheit getriebeintern.....	233
D	Anwendung der Methodik.....	235
D.1	Übersicht Parameter.....	235
D.2	Fallstudie A.....	237
D.3	Fallstudie B.....	239
E	Algorithmen.....	241
E.1	Optimierung.....	241
E.1.1	Trust-Region-Verfahren.....	241
E.1.2	RBFOpt-Verfahren.....	243
E.2	Skyline-Algorithmus.....	244