

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	viii
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Problemstellung	1
1.2 Verknüpfung der LTS-Schätzung mit FEM in nichtlinearen Modellen	4
1.3 Mathematische Basis zur Bearbeitung der Fragestellung	8
1.4 Gliederung der Arbeit	16
2 Lineares und nichtlineares Regressionsmodell und LTS-Schätzungen	19
2.1 Lineares Regressionsmodell	19
2.1.1 Schätzungen im linearen Regressionsmodell	20
2.1.2 Ausreißer-Robustheit im linearen Regressionsmodell	24
2.2 Nichtlineares Regressionsmodell	29
2.2.1 Nichtlineare Modelle im realen System	29
2.2.2 Schätzungen im nichtlinearen Regressionsmodell	35
2.2.3 Ausreißer-Robustheit im nichtlinearen Regressionsmodell	38
3 Identifizierbarkeit und d-Fülle in nichtlinearen Regressionsmodellen	47
3.1 Multiplikatives nichtlineares Regressionsmodell	51
3.2 Additives nichtlineares Regressionsmodell	56
4 Software für die Versuchsplanerstellung und Regressionsanalyse	91
4.1 Vergleich ausgewählter Software-Tools	91
4.1.1 Software-Kriterien	91
4.1.2 RS/1 und Cornerstone	92
4.1.3 Software-Tool R	94

4.1.4	Weitere Software-Tools	105
4.1.5	Fazit	105
4.2	Berechnung der LTS-Schätzung	107
4.3	Genetischer Algorithmus der LTS-Schätzung in NoRA	108
4.4	Anwendung der LTS-Schätzung mit NoRA	110
4.4.1	Lineare Funktion	110
4.4.2	Nichtlineare Funktion	113
5	Bauteilauswahl und dazugehöriger Versuchsplan	121
5.1	Allgemeines zur Versuchsplanung	121
5.2	Bauteilauswahl	122
5.3	Festlegung der Einflussgrößen	125
5.4	Versuchsplan	128
5.5	Festlegung der Zielgrößen	129
6	Simulationsmodell des Stahlrades	131
6.1	Grundprinzip der FEM	131
6.2	FEM-Modell	135
6.3	Diskretisierung	137
6.4	Randbedingungen und Lasten	140
6.5	Berechnung	142
7	Anwendung der Regressionsmodelle auf das Stahlrad	145
7.1	Aufbau der Regressionsmodelle	145
7.2	Nichtlineares Regressionsmodell für ein Rad	146
7.2.1	Herleitung des nichtlinearen Regressionsmodells	146
7.2.2	Anwendung der LTS-Schätzung auf das Rad	154
7.2.3	Übertragung der hergeleiteten Funktionen auf das Radmodell	158
7.3	Lineares Regressionsmodell für das Rad	159
7.4	Vergleich der untersuchten Regressionsmodelle	160
7.5	Fazit	165
8	Optimierung eines Rades	167
8.1	Optimierung bei der Bauteilauslegung	167
8.2	Vorgehensweise bei der Optimierung	169
8.3	Vergleich der optimierten Spannungsverläufe	171

8.3.1	Variation der Regressionsfunktion	171
8.3.2	Variation der Optimierungs-Software	173
8.3.3	Variation der Zielgrößen	175
8.3.4	Variation der Berechnung der Spannungen	178
8.4	Vergleich der optimierten Modelle mit dem Referenzrad	183
9	Zusammenfassung und Ausblick	187
	Literaturverzeichnis	191
	Symbolverzeichnis	204
	Anhang	
A	Versuchsplan	207
B	Spannungsauswertungen der FEM-Simulationen	211
C	Verwendete Regressionsmodelle	217
C.1	Spannungsverläufe aus der FEM und den Regressionsmodellen	217
C.2	Nichtlineare Regressionsmodelle	222
C.3	Lineare Regressionsmodelle	224
D	Das Programmpaket NoRA	227
D.1	NoRA im Überblick	227
D.2	Aufbau der Programmbibliotheken	229
D.2.1	Allgemeine Hinweise zur Ausführung von NoRA	229
D.2.2	Beschreibung der Programmbibliotheken	230
D.2.3	Initialisierungsdatei	232
D.3	Programmablauf in NoRA	234
D.3.1	Eingabemaske in NoRA	234
D.3.2	Ausgabedatei	240
D.3.3	Behandlung der Ausreißer	242