
Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	ix
1 Einleitung	1
2 Einführendes Beispiel	7
2.1 Deterministische Optimierung	9
2.2 Neuer Ansatz zur robusten Optimierung mit Quantilen	11
2.3 Robuste Optimierung mit den Standardmaßen	14
2.4 Fazit	15
I Methodik	17
3 Grundlagen	19
3.1 Grundlagen aus Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik	19
3.1.1 Grundlagen aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung	19
3.1.2 Grundlagen aus der Statistik	21
3.1.3 Funktionen von Zufallsvariablen	21
3.1.4 Eigenschaften der übertragenen Verteilung	23
3.2 Versuchspläne	23
3.2.1 Monte Carlo-Verfahren	25
3.2.2 Latin Hypercube Sampling	25
3.2.3 Stratified Sampling	26
3.2.4 Centered Stratified Sampling	27
3.2.5 Haltonfolge	27
3.2.6 Andere Versuchspläne	28
3.2.7 Diskussion	28
3.3 Nichtparametrische Quantilschätzer	32
3.3.1 Empirischer Schätzer	32
3.3.2 Kerndichteschätzer	34
3.3.3 Umkehrung der Kerndichteverteilungsfunktion	35
3.3.4 Glättung des empirischen Schätzers mit Kerndichtefunktionen	36
3.3.5 Wahl der Bandweite	37

3.3.6	Harrell-Davis-Schätzer	38
3.3.7	Sfakianikis-Verginis-Schätzer	39
3.3.8	P^2 -Algorithmus	40
3.3.9	Schätzer für extreme Quantile	41
3.3.10	Diskussion	41
3.4	Weitere Methoden zur Schätzung von Quantilen	43
3.4.1	Taylor-Entwicklung	43
3.4.2	Konfidenzintervalle für den Standardschätzer	44
3.5	Metamodelle	45
3.5.1	Radiale-Basisfunktionen-Modell mit polynomielltem Anteil	45
3.5.2	Validierung eines Metamodells	46
3.6	Schnelle Multipolverfahren für RBF-Metamodelle	47
3.6.1	Erstellung der Baumstruktur	48
3.6.2	Multipole Acceptance Criterion	49
3.6.3	Approximation der RBF-Summe	49
3.6.4	Rekursionsformel für Taylor-Koeffizienten	51
3.6.5	Aufwand des Algorithmus	51
3.7	Multikriterielle Optimierung	51
3.7.1	Lösung einer multikriteriellen Optimierungsaufgabe	52
3.7.2	Visualisierung der Paretofront	54
3.7.3	Multikriterielle Optimierung auf Metamodellen	55
3.8	Clusteranalyse	55
3.8.1	Partionierende Verfahren	55
3.8.2	Hierarchische Verfahren	56
4	Robuste Optimierung	57
4.1	Begriff der Robustheit	57
4.2	Ablauf einer robusten Optimierung	59
4.3	Klassifizierung von Unsicherheiten	61
4.4	Formulierung der robusten Optimierungsaufgabe	62
4.4.1	Bei einkriteriellen Robustheitsmaßen	62
4.4.2	Bei multikriteriellen Robustheitsmaßen	62
4.5	Einkriterielle Robustheitsmaße	63
4.5.1	Worst-Case-Maß	63
4.5.2	Einseitiges Quantil-Maß	64
4.5.3	Quantildifferenz-Maß	65
4.5.4	Wahrscheinlichkeitsschwellen-Maß	66
4.5.5	Erwartungswert-Nutzenfunktion-Maße	66
4.5.6	Erwartungswert-Maß	67
4.5.7	Standardabweichung-Maß	67
4.5.8	Gewichtete Zielfunktion aus Lage- und Streuungsmaß	69
4.5.9	Taguchis Signal-Rausch-Verhältnis	70
4.5.10	Entropie	71
4.6	Multikriterielle Robustheitsmaße	72
4.6.1	Erwartungswert und Standardabweichung	72
4.6.2	Median und Quantildifferenz	73
4.7	Diskussion der Robustheitsmaße	75

4.8	Lösung der robusten Optimierungsaufgabe	76
4.9	Formulierungen für Nebenbedingungen	77
4.10	Abgrenzung zu anderen Forschungsgebieten	78
4.10.1	Zuverlässigkeitstheorie	78
4.10.2	Design for Six Sigma	78
4.10.3	Robustheit von Schätzverfahren	79
5	Berechnung von übertragenen Quantilen	81
5.1	Vorüberlegungen	81
5.2	Stichprobengröße	82
5.3	Versuchsplan und Quantilschätzer	85
5.4	Algorithmus für die Schätzung des Quantilmaßes	86
6	Robuste Optimierung mit Metamodellen	89
6.1	Ablauf der entwickelten Methodik	90
6.1.1	Schritt 1: Metamodell für f	91
6.1.2	Schritt 2: Metamodelle für das Quantilmaß	91
6.1.3	Schritt 3: Bestimmung der robusten Optima	92
6.1.4	Schritt 4: Visualisierung der Paretofront und Entscheidung	92
6.2	Einfluss der Metamodelltoleranz auf die Quantilschätzung	94
6.3	Diskussion	96
7	Aufwand des schnellen Multipolverfahrens	99
7.1	Erstellung des Baumes	99
7.1.1	Aufwandsabschätzung für den günstigsten Fall	101
7.1.2	Aufwandsabschätzung für den schlechtesten Fall	103
7.2	Cluster-Partikel-Algorithmus	103
7.2.1	Aufwandsabschätzung für den günstigsten Fall	105
7.2.2	Aufwandsabschätzung für den schlechtesten Fall	108
7.3	Aufwandsabschätzung für die direkte Summation	109
7.4	Vergleich	110
7.5	Diskussion	111
II Numerische Untersuchungen		113
8	Übertragene Verteilung für einen Punkt	115
8.1	Schätzung der Normalverteilung	115
8.2	Testfälle	117
8.2.1	Eindimensionale Testfälle	118
8.2.2	Zweidimensionale Testfälle	119
8.2.3	Anwendungsbeispiel Zweistab-Fachwerk	121
8.2.4	Crashverhalten der B-Säule eines Pkw	122
8.2.5	Anwendungsbeispiel pars10crits19	123
8.3	Ermittlung der Bandweite des Kerndichteschätzers	123
8.3.1	Vorüberlegungen	124
8.3.2	Numerische Simulation	125
8.4	Vergleich der Quantilschätzer und Versuchspläne	128

8.4.1	Vergleich der Versuchspläne	129
8.4.2	Vergleich der Quantilschätzer bzgl. der Haltonfolge	132
8.4.3	Vergleich von Harrel-Davis-Schätzer und Haltonfolge zu Standardschätzer und Monte-Carlo-Verfahren	136
8.5	Test des iterativen Algorithmus	138
9	Anwendungen der globalen Methodik	141
9.1	Optimierung der B-Säule eines Pkw	141
9.2	Optimierung von pars10crits19	147
10	Toleranzmaß für die Quantilmetamodelle	151
11	Zusammenfassung und Ausblick	157
III	Anhang	159
12	Grafiken zu Kapitel 8	161
12.1	Grafiken zur Bestimmung der Bandweite	161
12.1.1	Stichprobengröße $n = 100$	161
12.1.2	Stichprobengröße $n = 1000$ und $n = 10000$	163
12.2	Vergleich der Quantilschätzer	164
12.2.1	Stichprobengröße $n = 100$	164
12.2.2	Stichprobengröße $n = 1000$	166
12.2.3	Stichprobengröße $n = 10000$	168
	Abkürzungsverzeichnis	171
	Abbildungsverzeichnis	173
	Tabellenverzeichnis	178
	Literaturverzeichnis	179