

Bauhaus-Universität Weimar

Multikriterielle Bewertungsmethode für die Prognosequalität
von komplexen Ingenieurmodellen

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

an der Fakultät Bauingenieurwesen
der Bauhaus Universität Weimar

vorgelegt von

Markus Christian Reuter

geb. am 3. Februar 1979
in Zeulenroda

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Frank Werner
Prof. Dr.-Ing. Karsten Geißler
Prof. Dr.-Ing. László Dunai

Tag der Disputation: 8. Februar 2012

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	xiii
Abbildungsverzeichnis	xvi
Tabellenverzeichnis	xix
1 Einleitung	1
1.1 Einführung in die Problematik	1
1.2 Zielstellung der Arbeit	3
1.3 Abgrenzung der Arbeit	5
1.4 Vorgehensweise	6
2 Stand der Forschung	9
2.1 Vorbetrachtung	9
2.2 Modelle im Konstruktiven Ingenieurbau	9
2.2.1 Allgemeine Betrachtungen	9
2.2.2 Realität	11
2.2.3 Arten von Modelle	11
2.2.4 Modellskalen	13
2.2.5 Partialmodelle	14
2.2.6 Modellklassen	15
2.3 Modellbewertung	17
2.3.1 Grundlagen	17
2.3.2 Verifizierung, Validierung und Evaluierung	18
2.4 Unsicherheit	20
2.5 Modellrobustheit	22
2.6 Modellkomplexität	22
2.7 Bewertungsansätze	23

3	Methodische Grundlagen	27
3.1	Allgemein	27
3.2	Zufallsgrößen	28
3.2.1	Verteilungsfunktion und Verteilungsdichte	28
3.2.2	Stochastische Momente	31
3.2.3	Wichtige Verteilungen	33
3.3	Maximum-Entropie-Verteilung	33
3.4	Statistische Unsicherheit	38
3.4.1	Allgemein	38
3.4.2	Bootstrap-Methode	38
3.5	Modellunsicherheit	40
3.5.1	Allgemein	40
3.5.2	Prognose der Modellunsicherheit	41
3.6	Sensitivitäts- und Unsicherheitsanalyse	45
3.6.1	Allgemeine Betrachtungen	45
3.6.2	Korrelationsanalyse	47
3.6.3	Streudiagramme	49
3.6.4	Regressionsverfahren	50
3.6.4.1	Allgemein	50
3.6.4.2	Einfache lineare Regression	50
3.6.4.3	Multiple lineare Regression	52
3.6.5	Varianzbasierte Methoden	56
3.6.6	Methodenadaption	59
3.7	Antwortflächen	61
3.8	Robustheitsanalyse	63
3.9	Zuverlässigkeitsanalyse	66
3.10	Zusammenfassung	68
4	Methodik der Bewertung	69
4.1	Allgemein	69
4.2	Bewertungsalgorithmus	70
4.3	Qualitative Bewertung	71
4.4	Quantitative Bewertung	73
4.4.1	Allgemein	73
4.4.2	Normierung	75

4.4.3	Struktur	79
4.4.4	Kriterien	81
4.4.4.1	Systemverhalten	81
4.4.4.2	Funktionalität	81
4.4.4.3	Sicherheit	82
4.5	Darstellung der Modellqualität	84
5	Anwendung	87
5.1	Allgemein	87
5.2	Statistische Kenngrößen	88
5.2.1	Vorbetrachtung	88
5.2.2	Materialkenngrößen	88
5.2.3	Ständige Einwirkungen	90
5.2.4	Veränderliche Einwirkungen	92
5.2.4.1	Vorbetrachtung	92
5.2.4.2	Schnee	93
5.2.4.3	Wind	95
5.2.4.4	Nutzlasten im Hochbau	97
5.2.5	Imperfektionen	98
5.2.6	Außergewöhnliche Einwirkungen	100
5.3	Technischer Bewertungsansatz	100
5.3.1	Allgemein	100
5.3.2	Untersuchungsgegenstand	100
5.3.3	Technische Bewertung	101
5.4	Multikriterielle Bewertungsmethode	104
5.4.1	Allgemein	104
5.4.2	Untersuchungsgegenstand	104
5.4.2.1	Realität	104
5.4.2.2	Qualitätsklassen	106
5.4.2.3	Modellierungsaspekte	107
5.4.2.4	Einwirkungen	113
5.4.2.5	Zielfunktion	115
5.4.3	Vorgehensweise	115
5.4.4	Numerische Analysen	117
5.4.4.1	Vorbetrachtung	117

5.4.4.2	Deterministische Untersuchungen	117
5.4.4.3	Probabilistische Untersuchungen	119
5.4.5	Modellbewertung	126
5.4.5.1	Systemverhalten	126
5.4.5.2	Funktionalität	127
5.4.5.3	Sicherheit	129
5.4.5.4	Modellqualität	131
5.5	Modellqualitätsanalyse – MQA	133
5.5.1	Allgemein	133
5.5.2	Untersuchungsgegenstand	134
5.5.3	Qualitative Bewertung	136
5.5.4	Multikriterielle Bewertung	139
5.5.4.1	Systemverhalten	139
5.5.4.2	Funktionalität	140
5.5.4.3	Sicherheit	141
5.5.4.4	Modellqualität	143
5.6	Zusammenfassung	144
6	Resümee	147
6.1	Zusammenfassung	147
6.2	Ausblick	152
	Literaturverzeichnis	155