

Lebensdauer von Bauteilen und Bauelementen

Modellierung
und praxisnahe Prognose

Vom Fachbereich Bauingenieurwesen und Geodäsie
der Technischen Universität Darmstadt
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

DISSERTATION

von

Dipl.-Ing. Frank Ritter

aus
Bessenbach / Unterfranken

D 17

Darmstadt 2011

Referent:	Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht
Tag der Einreichung:	26. Januar 2011
Tag der mündlichen Prüfung:	10. Juni 2011

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Formelzeichen, Variablen und Abkürzungen	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Motivation.....	1
1.2 Zielsetzung.....	3
1.3 Vorgehensweise	3
2 Grundlagen der Zuverlässigkeitstheorie im Bauwesen	7
2.1 Vorbemerkung	7
2.2 Einführung	7
2.3 Definition von Grenzzuständen	7
2.4 Zufallsgrößen und ihre Verteilungen	10
2.4.1 Allgemeines.....	10
2.4.2 Normalverteilung	11
2.4.3 Logarithmische Normalverteilung	12
2.4.4 Weibull-Verteilung.....	12
2.4.5 Mehrdimensionale Zufallsgrößen und Verteilungen.....	14
2.4.6 Transformation von Verteilungen	15
2.5 Anpassung von Daten an Verteilungsfunktionen auf statistischer Basis.....	16
2.5.1 Allgemeines.....	16
2.5.2 Wahrscheinlichkeitspapier und Lebensdauernetz	17
2.5.3 Methode der Minimierung der Fehlerquadrate	18
2.6 Parameterschätzung anhand von Basisdaten	18
2.6.1 Allgemeines.....	18
2.6.2 Momentenmethode.....	19
2.6.3 Maximum-Likelihood-Prinzip	20
2.6.4 Data Updating nach Bayes	22
2.7 Lösungsverfahren der Zuverlässigkeitstheorie	27
2.7.1 Allgemeines.....	27

2.7.2	Momentenmethode (FOSM)	27
2.7.3	Monte-Carlo-Simulation	28
2.8	Zusammenfassung.....	29
3	Grundlagen der Lebensdaueranalyse.....	31
3.1	Einführung	31
3.2	Aktuelle Bestrebungen im Bereich der Lebensdauerermittlung.....	35
3.3	Grundlagen der Lebensdauerermittlung nach DIN ISO 15686	36
3.4	Abnutzung, Wertverlust und Alterungsverhalten	41
3.5	Unterhaltungs- und Instandhaltungsstrategien.....	45
3.6	Zusammenfassung.....	47
4	Kritische Analyse ausgewählter Verfahren zur Lebensdauerermittlung..	49
4.1	Einführung	49
4.2	Kennwertemethode	49
4.3	Referenzfaktorenmethode von Tomm, Rentmeister und Finke	51
4.4	Faktorenmethode nach DIN ISO 15686.....	51
4.5	Wahrscheinlichkeitstheoretische Methoden	55
4.5.1	Einführung.....	55
4.5.2	Alterungsmodell nach Markov	55
4.5.3	Weitere probabilistische Ansätze	57
4.6	Softwaremodelle zur Lebensdauervorhersage	58
4.7	Zusammenfassung.....	59
5	Auswahl und Gruppierung der Bauteile	61
5.1	Einführung	61
5.2	Detaillierung und Gliederung der Bauelemente.....	61
5.3	Sammlung von Lebensdauerdaten	62
5.4	Identifikation maßgebender Einflussgrößen	65
5.4.1	Allgemeines.....	65
5.4.2	Lebensdauern mit statistischer Auswertung.....	65
5.4.3	Erstinvestitions- und Folgekosten	66
5.4.4	Risikobasierte Kenngrößen	67

5.4.5	Robustheit und Fehleranfälligkeit	68
5.5	Auswahl und Gruppierung der maßgebenden Bauteile	70
5.6	Modellbildung und Detaillierung.....	71
5.7	Lösbarkeit von Schichten.....	72
5.8	Zusammenfassung.....	74
6	Einflussfaktoren auf die Lebensdauer.....	75
6.1	Einführung	75
6.2	Materielle Einflussfaktoren nach DIN ISO 15686.....	75
6.2.1	Allgemeines.....	75
6.2.2	Komponentenqualität (Faktor A)	76
6.2.2.1	Allgemeines	76
6.2.2.2	Produktqualität.....	76
6.2.2.3	Erfahrungswerte und Testberichte	77
6.2.2.4	Komplexität des Bauteils	77
6.2.2.5	Verfügbarkeit von Komponenten	77
6.2.3	Entwurfsqualität (Faktor B)	78
6.2.3.1	Allgemeines	78
6.2.3.2	Eingliederung in die Konstruktion.....	78
6.2.3.3	Qualität des Planungsteams	78
6.2.3.4	Komplexität des Entwurfs.....	79
6.2.3.5	Qualitätssicherung in der Planung	79
6.2.4	Ausführungsqualität (Faktor C)	79
6.2.4.1	Allgemeines	79
6.2.4.2	Qualität der Ausführung	79
6.2.4.3	Qualität des Projektmanagements.....	80
6.2.4.4	Klimatische Verhältnisse auf der Baustelle	80
6.2.4.5	Komplexität der Ausführung	80
6.2.4.6	Qualitätssicherung in der Ausführungsphase.....	80
6.2.5	Innenräumliche Umgebungsbedingungen (Faktor D).....	80

6.3.3	Modische Obsoleszenz	93
6.3.4	Baurechtliche Obsoleszenz	94
6.3.5	Ökologische Überalterung.....	94
6.3.6	Ökonomische Obsoleszenz	94
6.3.7	Technische Überalterung.....	94
6.3.8	Sonstige immaterielle Einflüsse	94
6.4	Materialspezifische Einflüsse	95
6.4.1	Allgemeines.....	95
6.4.2	Einflüsse auf bewehrten und unbewehrten Beton	95
6.4.3	Einflüsse auf mineralische Bindemittel in Mörtel, Putz und Estrich	96
6.4.4	Einflüsse auf keramische Werkstoffe.....	97
6.4.5	Einflüsse auf Naturstein	99
6.4.6	Einflüsse auf Glas.....	99
6.4.7	Einflüsse auf Holz	100
6.4.8	Einflüsse auf Metalle.....	101
6.4.9	Einflüsse auf Kunststoff.....	103
6.5	Zusammenfassung.....	103
7	Erweiterung der Datengrundlage	105
7.1	Einführung	105
7.2	Entwicklung von Fragebögen und Interviewleitfaden	105
7.3	Durchführung und Ergebnisse der Erhebung.....	107
7.4	Datenqualität nach DIN ISO 15686-8 (2008).....	111
7.5	Datenupdate nach Bayes	114
7.6	Zusammenfassung.....	116
8	Vorhersage objektspezifischer Lebensdauern.....	119
8.1	Einführung	119
8.2	Entwicklung des Einflussgrößenmodells.....	120
8.3	Ergebnisse in den einzelnen Bauteilgruppen	129
8.4	Darstellung maßgebender Bauteile in vereinfachter Übersicht	132

8.5	Erweiterung des Modells durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen.....	135
8.6	Modellverifikation in der Praxis	139
8.6.1	Allgemeines.....	139
8.6.2	Büro- und Geschäftshaus in innerstädtischer Lage	139
8.6.3	Verwaltungsgebäude im stadtnahen Randgebiet in Süddeutschland	142
8.7	Modellvergleich und Sensitivität	143
8.8	Zusammenfassung.....	149
9	Anwendung im Bereich Lebenszyklusanalyse	153
9.1	Einführung	153
9.2	Grundlagen der Ökobilanzierung nach DIN EN ISO 14040 und 14044	153
9.3	Einführung in die Lebenszyklusanalyse hybrider Innenbauteile	155
9.4	Ökologische Bewertung von hybriden Innenbauteilen.....	157
9.5	Ökonomische Bewertung von hybriden Innenbauteilen.....	160
9.6	Zusammenfassung.....	164
10	Resümee und Ausblick.....	167
11	Literaturverzeichnis	173
Anhang	185
A	Bauelemente der Kostengruppe 300 nach DIN 276-1	187
B	Lebensdauerquellen	188
C	Liste der massgebenden Key-Komponenten.....	195
D	Beschreibung der Bauteilgruppen mit Schädigungsmechanismen.....	197
D.1	Fenster.....	197
D.2	Türen	198
D.3	Außenwandbekleidung, außen	199
D.4	Sonnenschutz	201
D.5	Innenwandbekleidung	202
D.6	Bodenaufbauten und -beläge.....	203
D.7	Deckenbekleidungen	204
D.8	Dachfenster und -öffnungen.....	205
D.9	Dachbeläge.....	206

D.10	Dachentwässerung und Schutzanlagen	208
E	Aggregations- und Schichtmodelle zusammengesetzter Bauteile	209
E.1	Fenster	209
E.2	Türen	211
E.3	Außenwandbekleidung, außen	213
F	Kartierungen der aussenräumlichen Umgebungsbedingungen	215
F.1	Allgemeines	215
F.2	Klimaübersicht für Mitteleuropa	215
F.3	Mittlere jährliche Sonnenscheindauer in Deutschland	216
F.4	Mittlere jährliche Niederschlagshöhe in Deutschland	217
F.5	Hagelschlagrisiko nach Schadenssätzen	218
F.6	Schneelastzonen nach DIN 1055-5 (2005)	219
F.7	Erdbebenzonen nach DIN 4149 (2005)	220
F.8	Windlastzonen nach DIN 1055-4 (2005)	221
G	Fragebogen der Datenerhebung	222
G.1	Musterfragebogen der Bauteilgruppe Fenster	222
H	Gesamtliste der untersuchten Bauteile	225
I	Umweltwirkungen von Wandbekleidungen und Bodenbelägen	235
H.1	Wandbekleidungen	235
H.2	Bodenbeläge	242