

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung	3
1.3	Übersicht	5
1.4	Abgrenzung	7
2	Bauwerke im Bestand	9
2.1	Stand der Norm SIA 269	9
2.1.1	Anforderung an die Tragsicherheit	10
2.1.2	Bestimmung der Überprüfungswerte	11
2.1.3	Probabilistische Vorgehensweise bei bestehenden Bauten	14
2.2	Bestimmung der Zuverlässigkeit von bestehenden Bauwerken	15
2.3	Ziel-Zuverlässigkeit	17
2.4	Verformungsbasierte Tragwerksanalyse für bestehende Bauten	23
2.4.1	AD-RS-Spektrum	25
3	Grundlagen der Zuverlässigkeitstheorie	27
3.1	Begriffe	27
3.2	Typen von Basisvariablen	29
3.3	Zufallsgrößen und statistische Grundlagen	30
3.4	Mehrdimensionale Zufallsgrößen	33
3.4.1	Copula	37

3.4.2	Korrelierte Basisvariablen	40
3.5	Parameterschätzung basierend auf Versuchsdaten	40
3.5.1	Momentenmethode	40
3.5.2	Maximum-Likelihood Methode	41
3.5.3	Ausreisser und Boxplot	42
3.5.4	Quantile und Wiederkehrperiode	43
3.5.5	Aktualisierung nach Bayes	45
3.6	Zuverlässigkeit von Systemen	47
4	Zuverlässigkeitstheorie im Ingenieurbauwesen	49
4.1	Begriffe und Definitionen	50
4.1.1	Zuverlässigkeitsniveau nach Eurocode	50
4.1.2	Grenzzustandsfunktion (Limit-State-Function)	51
4.1.3	Versagenswahrscheinlichkeit	52
4.1.4	Standardnormalraum	54
4.1.5	Transformation des Standards-Normalraums	55
4.2	Sensitivität der Basisvariablen	56
4.2.1	Sobol Indices (ANOVA)	58
4.3	Sicherheitsproblem	60
4.3.1	Methode Hasofer-Lind	64
4.3.2	Partialsicherheitsfaktoren	66
4.4	Methoden der Zuverlässigkeitstheorie	67
4.4.1	Momentenmethode	69
4.4.2	Zuverlässigkeit 1.Ordnung (FORM)	69
4.4.3	Zuverlässigkeit 2.Ordnung (SORM)	73
4.4.4	Monte Carlo-Simulation	74
4.4.5	Importance Sampling (IS)	76
4.4.6	Varianzmindernde Verfahren: LHS	77
4.4.7	Surrogate Modelling	79
4.5	Probabilistische Bemessung von Brücken	82
4.5.1	Modellierung der Verkehrseinwirkungen	83
4.5.2	Modellierung des Widerstandes unter Berücksichtigung von Schäden	95

4.5.3	Modellierung von Schäden	95
4.5.4	Modellunsicherheiten – Widerstand	96
4.5.5	Modellunsicherheiten - Einwirkung	96
4.5.6	Nachweisstufen	97
4.5.7	Teilsicherheitsbeiwerte	98
4.5.8	Zuverlässigkeit vs. Restnutzungsdauer	99
5	Stochastische Finite Elemente	104
5.1	Diskrete Tragwerksmodelle	104
5.2	Lösungsalgorithmus	106
5.3	Verlinkung mit UQ-Lab (UQ-Link)	108
5.3.1	UQLab – Deformationsmethode	111
5.3.2	UQLink – ABAQUS + UQ Lab	115
6	Anwendung I: Schwimmend gelagerte Brücke unter Erdbeben (UQLab – Deformationsmethode)	119
6.1	Geometrie	119
6.2	Volle Einspannung am Stützenfuss	121
6.2.1	Traglastberechnung	122
6.2.1	Berechnung mit <i>SeismoStruct</i>	123
6.2.2	Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit	126
6.3	Modellierung mit Abaqus	129
6.4	Diskussion	131
7	Anwendung II: Strassenbrücke (UQLab – Abaqus)	133
7.1	Grundlagen + Geometrie	135
7.2	Bestehende Bewehrung	136
7.3	Massgebende Einwirkungen - GZT	137
7.4	Zusammenstellung der Basisvariablen	140

7.5	Untersuchte Nachweise	141
7.6	Modellierung mit Abaqus	144
7.6.1	Modellierung der Lasten	145
7.6.2	Diskussion	147
7.6.3	Nicht-lineare Modellierung	147
7.6.4	Diskussion	151
7.6.5	Biegung in Längsrichtung - Feldmoment	152
7.6.6	Schubtragfähigkeit in Längsrichtung	166
7.6.7	Schubtragfähigkeit in Querrichtung	169
7.6.8	Spannungen in Stahlträger	172
7.6.9	Ermüdungsverhalten Stahlbeton	177
7.6.10	Biegung in Querrichtung - Feldmoment	178
7.6.11	Biegung in Querrichtung – Stützmoment	183
7.6.12	Ermittlung Restnutzungsdauer	185
7.7	Verstärkte Brücke: UHFB	187
7.7.1	Probabilistische Modellierung	188
7.7.2	Maximales Moment vs. Biegewiderstand	190
7.7.3	Nachweis Schubtragfähigkeit	193
7.7.4	Ermittlung Restnutzungsdauer	194
8	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	196
8.1	Zusammenfassung	196
8.2	Folgerung	198
8.3	Ausblick	199
9	Verzeichnisse	202
9.1	Literaturverzeichnis	202
9.2	Abbildungsverzeichnis	207
9.3	Tabellenverzeichnis	216
	Bezeichnungen	221

Anhang	226
A.1 Brücke unter Erdbebeneinwirkung – freie Lagerung	228
A.1.1 Push-Over-Berechnung + ADRS Format Für die einfach gelagerte Brücke werden folgende Steifigkeiten angesetzt:	228
A.1.2 Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit	230
A.1.3 Lösungsalgorithmus Deformationsmethode	235
A.2 Brücke unter Erdbebeneinwirkung – Teileinspannung	238
A.2.1 Push-Over-Berechnungen + ADRS Format	239
A.2.2 Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit	241
A.3 Excel AD-RS-Format Für das ADRS-Format wurde ein Excel-File programmiert. Die wichtigsten Auszüge daraus sind hier kurz aufgeführt.	245
C.1 Plangrundlagen	247
C.2 Konstruktive Durchbildung	248
C.3 Ausgewählte Schnittgrößen – Linear-elastisch	251
D.1 Matlab Codes	265