

**Versagenswahrscheinlichkeit
unbewehrter Wand-Decken-Verbindungen
bei Gasexplosionen im Fertigteilbau**

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

DISSERTATION

von
Dipl.-Ing. Holger Schmidt
aus Dreieich / Hessen

D 17

Darmstadt 2003

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung und Zielsetzung | 1 |
| 2 | Ausgangssituation und Stand der Technik | 5 |
| 2.1 | Einführung | 5 |
| 2.2 | Historischer Hintergrund | 6 |
| 2.3 | Gasexplosionen in Wohngebäuden | 7 |
| 2.3.1 | Entwicklungstendenzen | 7 |
| 2.3.2 | Schadens- und Unfallstatistik | 9 |
| 2.3.3 | Normative Regelungen | 11 |
| 2.4 | Schubtragverhalten von Verbundfugen | 13 |
| 2.4.1 | Kohäsion und Reibung | 13 |
| 2.4.2 | Schubreibungshypothese | 14 |
| 2.4.3 | Normative Regelungen | 16 |
| 2.5 | Konstruktive Regelungen | 24 |
| 2.6 | Zusammenfassung | 27 |
| 3 | Grundlagen der Statistik und Tragwerkszuverlässigkeit..... | 29 |
| 3.1 | Einführung | 29 |
| 3.2 | Zufallsvariablen | 31 |
| 3.2.1 | Allgemeine Definitionen | 31 |
| 3.2.2 | Mittelwert und Erwartungswert | 32 |
| 3.2.3 | Standardabweichung und Varianz | 33 |
| 3.2.4 | Variationskoeffizient | 35 |
| 3.2.5 | Verteilungsdichte und Verteilungsfunktion..... | 35 |
| 3.2.6 | Kolmogoroff-Smirnoff-Anpassungstest | 36 |
| 3.3 | Wahrscheinlichkeitsverteilungen..... | 38 |
| 3.3.1 | Normalverteilung..... | 38 |
| 3.3.2 | Logarithmische Normalverteilung..... | 40 |
| 3.3.3 | Gammaverteilung..... | 41 |
| 3.3.4 | Exponentialverteilung..... | 42 |
| 3.3.5 | Binomialverteilung | 43 |
| 3.3.6 | Poisson-Verteilung | 44 |
| 3.4 | Multivariate Zufallsvariablen | 45 |
| 3.4.1 | Allgemeines | 45 |
| 3.4.2 | Erwartungswert und Varianz | 47 |
| 3.4.3 | Regressionsanalyse | 49 |
| 3.5 | Tragwerkszuverlässigkeit | 53 |
| 3.5.1 | Das R-S Modell | 53 |
| 3.5.2 | Zuverlässigkeitstheoretische Methoden..... | 58 |
| 3.5.3 | Systemzuverlässigkeit..... | 62 |
| 3.6 | Zusammenfassung | 66 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4 | Einwirkungen infolge von Gasexplosionen | 68 |
| 4.1 | Einführung..... | 68 |
| 4.2 | Grundlagen der Explosionstheorie..... | 70 |
| 4.2.1 | Explosionsgrenzen..... | 70 |
| 4.2.2 | Entzündung..... | 71 |
| 4.2.3 | Druckentwicklung in geschlossenen Behältern..... | 71 |
| 4.2.4 | Druckentlastete Deflagrationen..... | 79 |
| 4.3 | Stochastische Verteilung des Ersatzdruckes..... | 82 |
| 4.3.1 | Vorbemerkungen..... | 82 |
| 4.3.2 | Grundlagen der numerischen Simulation..... | 84 |
| 4.3.3 | Statischer Ersatzdruck..... | 86 |
| 4.3.4 | Definition der Randbedingungen..... | 95 |
| 4.3.5 | Statistische Momente der Explosionsdruckbeanspruchung..... | 101 |
| 4.4 | Zusammenfassung..... | 106 |
| 5 | Simulation der intermittierenden Einwirkungen | 109 |
| 5.1 | Einführung..... | 109 |
| 5.2 | Modellierung von Nutzlasten..... | 111 |
| 5.2.1 | Nutzlastmodelle..... | 111 |
| 5.2.2 | Extremwerte der Nutzlasten..... | 114 |
| 5.2.3 | Nutzlasten nach E DIN 1055-3..... | 115 |
| 5.3 | Numerische Simulation..... | 118 |
| 5.3.1 | Grundlagen..... | 118 |
| 5.3.2 | Programmstruktur..... | 118 |
| 5.3.3 | Simulationsumfang..... | 122 |
| 5.3.4 | Kalibrierung der Basisvariablen..... | 124 |
| 5.4 | Statistische Parameter der Extremwerte..... | 129 |
| 5.5 | Zusammenfassung..... | 135 |
| 6 | Experimentelle Ermittlung des Tragwiderstandes | 136 |
| 6.1 | Einführung..... | 136 |
| 6.2 | Prüfeinrichtung und Versuchsdurchführung..... | 137 |
| 6.3 | Versuchsergebnisse..... | 140 |
| 6.3.1 | Allgemeines..... | 140 |
| 6.3.2 | Einfluss der Normalspannungen und der Kontaktflächenbildung..... | 140 |
| 6.3.3 | Einfluss der Fugendicke und der Mörtelart..... | 145 |
| 6.4 | Verifizierung der Versuchsergebnisse..... | 147 |
| 6.4.1 | Vorbemerkung..... | 147 |
| 6.4.2 | Ergebnisse externer Prüfanstalten..... | 147 |
| 6.4.3 | Vergleich mit der Normung..... | 151 |
| 6.5 | Tragfähigkeit unbewehrter Wand-Decken-Verbindungen..... | 153 |
| 6.6 | Zusammenfassung..... | 157 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 7 | Bemessungsvorschlag auf stochastischer Basis | 158 |
| 7.1 | Einführung | 158 |
| 7.2 | Zulässige Versagenswahrscheinlichkeit | 159 |
| 7.3 | Entwicklung eines Nachweismodells | 163 |
| 7.4 | Untersuchung der Einflussparameter | 173 |
| 7.4.1 | Abgrenzung des Untersuchungsbereichs | 173 |
| 7.4.2 | Festlegung des Fraktilenfaktors | 174 |
| 7.4.3 | Einfluss der Nutzlasten | 176 |
| 7.4.4 | Einfluss der Oberflächenrauigkeit | 181 |
| 7.4.5 | Einfluss der Wandhöhe | 183 |
| 7.4.6 | Einfluss der Einzugtiefe | 185 |
| 7.4.7 | Einfluss der Bauteildicke | 187 |
| 7.4.8 | Einfluss der Aussparung | 189 |
| 7.5 | Vereinfachtes Bemessungsmodell | 191 |
| 7.6 | Baupraktische Anwendbarkeit | 196 |
| 8 | Zusammenfassung und Ausblick | 199 |
| | Literaturverzeichnis | 203 |
| | Anhang | 210 |