

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Grundlagen .....</b>  | <b>13</b> |
| 1.1      | Bauordnungsrechtlicher Anwendungsspielraum .....                       | 13        |
| 1.1.1    | Das Brandschutzkonzept der Musterbauordnung .....                      | 13        |
| 1.1.2    | Brandschutznachweise für Sonderbauten .....                            | 14        |
| 1.1.3    | Leistungsorientierte Brandschutznachweise .....                        | 15        |
| 1.2      | Anwendungsbereiche für Simulationsnachweise .....                      | 15        |
| 1.2.1    | Nachweis des baulichen Brandschutzes .....                             | 15        |
| 1.2.2    | Nachweis von konzeptionellen Abweichungen .....                        | 17        |
| 1.2.3    | Technische Spezifikation .....   | 17        |
| 1.2.4    | Schutzzielorientierter Simulationsnachweis .....                       | 17        |
| 1.3      | Bauordnungsrechtliche Anforderungen an die verwendeten Programme ..... | 18        |
| 1.4      | Zeitaufwand .....  | 19        |
| 1.5      | Hard- und Software .....   | 19        |
| 1.5.1    | Hardware .....   | 19        |
| 1.5.2    | Software .....   | 20        |
| 1.6      | Erforderliche Qualifikation für den Simulationsnachweis .....          | 20        |
| 1.6.1    | Mindestanforderungen .....   | 20        |
| 1.6.2    | Weiterbildung und Expertenrunden .....                                 | 21        |
| 1.7      | Dokumentation von Simulationsnachweisen .....                          | 22        |
| 1.8      | Variantendokumentation .....   | 23        |
| 1.9      | Haftung .....  | 23        |
| 1.9.1    | Produkthaftung .....   | 23        |
| 1.9.2    | Produzentenhaftung .....   | 23        |
| 1.9.3    | Vertragliche Haftung .....   | 23        |
| 1.9.4    | Organisations- und Sorgfaltspflichten .....                            | 23        |
| 1.9.5    | Vertragliche Haftung aufgrund fehlerhafter Simulationssoftware .....   | 24        |
| 1.9.6    | Amtshaftung .....  | 24        |
| 1.10     | Mindestanforderungen an Simulationsgutachten .....                     | 25        |
| 1.11     | Brand- und Rauchversuche .....   | 26        |
| 1.11.1   | Experimente im Brandlabor .....  | 26        |
| 1.11.2   | Brandprüfungen in einer Materialprüfanstalt .....                      | 27        |
| 1.11.3   | Realbrandversuche .....  | 27        |
| 1.11.4   | Originalbrand- bzw. Heißrauchversuche .....                            | 27        |
| 1.11.5   | Kaltrauchversuche .....  | 28        |
| 1.11.6   | Evakuierungstests .....  | 29        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>2</b> | <b>Schutzzielorientierte Risikoanalysen .....</b>                                    | <b>31</b> |
| 2.1      | Risikoanalyse der baulichen Anlage.....  | 31        |
| 2.2      | Risikoanalyse der Computersimulation .....   | 33        |
| 2.3      | Schutzziele .....  | 34        |
| 2.3.1    | Auswahl der Grenzwerte .....   | 34        |
| 2.3.2    | Schutzziele während der Selbstrettungsphase .....                                    | 34        |
| 2.3.3    | Schutzziele in der Rettungsphase .....   | 35        |
| 2.3.4    | Schutzziele für wirksame Löschmaßnahmen .....  | 35        |
| 2.3.5    | Schutzziele zum Nachweis der Tragfähigkeit.....                                      | 36        |
| <b>3</b> | <b>Brandszenarien.....</b>   | <b>37</b> |
| 3.1      | Vorbereitungsphase .....   | 37        |
| 3.2      | Lokalisierung und Identifikation der Brandlasten und möglicher<br>Zündinitiale ..... | 37        |
| 3.3      | Festlegung der Bemessungsbrände .....  | 38        |
| 3.4      | Erstellung eines Bemessungsbrandszenarios .....                                      | 41        |
| 3.4.1    | Aufgabenstellung .....   | 41        |
| 3.4.2    | Ungehinderte Brandausbreitung .....  | 41        |
| 3.4.3    | Bemessungsbrand .....  | 42        |
| 3.4.4    | Zuluft .....   | 42        |
| 3.4.5    | Wärmeabzüge.....   | 42        |
| <b>4</b> | <b>Computersimulation der Brand- und Rauchausbreitung .....</b>                      | <b>43</b> |
| 4.1      | Brand- und Rauchsimulation im Überblick .....  | 43        |
| 4.2      | Handrechenverfahren .....  | 44        |
| 4.2.1    | Anwendung von Handrechenverfahren .....  | 44        |
| 4.2.2    | Anwendung der Plumeformeln „Zukoski mit Übergang zu Thomas<br>und Hinkley“ .....     | 44        |
| 4.2.3    | Analytische Berechnung der Druckverhältnisse .....                                   | 45        |
| 4.2.4    | Einflussgrößen.....  | 47        |
| 4.3      | Zonenmodelle .....   | 47        |
| 4.3.1    | Einführung .....   | 47        |
| 4.3.2    | Plumeformeln.....  | 47        |
| 4.3.3    | Beispiele für Zonenmodelle .....   | 48        |
| 4.3.4    | Modellaufbau mit Zonenmodellen .....   | 48        |
| 4.3.5    | Grenzen von Zonenmodellen .....  | 49        |
| 4.4      | Feldmodelle .....  | 49        |
| 4.4.1    | Grundlagen von Feldmodellen .....  | 49        |
| 4.4.2    | Ablauf einer Simulation .....  | 52        |
| 4.4.3    | Grenzen der Simulation.....  | 55        |
| 4.4.4    | Hinweise zur Prüfung von Simulationen mit Feldmodellen .....                         | 56        |
| 4.5      | Probabilistische Simulation, Sensitivitätsanalyse und Optimierung .....              | 58        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>5</b> | <b>Thermische Simulationen in der Tragwerksbemessung .....</b>                             | <b>61</b> |
| 5.1      | Nachweiskonzept .....  | 61        |
| 5.2      | FEM-Simulation .....   | 62        |
| 5.3      | Softwareprogramme .....  | 62        |
| <b>6</b> | <b>Evakuierungssimulation .....</b>  | <b>65</b> |
| 6.1      | Grundlagen .....   | 65        |
| 6.2      | Handrechenverfahren (makroskopische Modelle) .....   | 65        |
| 6.2.1    | Grundannahmen der Handrechenverfahren .....  | 65        |
| 6.2.2    | Kapazitätsanalysen .....   | 66        |
| 6.2.3    | Hydraulisches Modell (Predtetschenski und Milinski) –<br>empirisches Strömungsmodell ..... | 66        |
| 6.2.4    | Netzwerkmodelle .....  | 67        |
| 6.3      | Simulationsverfahren (mikroskopische Modelle) .....  | 67        |
| 6.3.1    | Diskrete Simulationsmodelle .....  | 68        |
| 6.3.2    | Kontinuierliche Simulationsmodelle .....   | 68        |
| 6.4      | Dauer der Entfluchtung .....   | 68        |
| 6.4.1    | Einflussfaktoren .....   | 68        |
| 6.4.2    | Zeit bis zur Brandentdeckung .....   | 69        |
| 6.4.3    | Zeit bis zur Alarmierung .....   | 69        |
| 6.4.4    | Zeit bis zur Reaktion .....  | 69        |
| 6.5      | Abschätzung der Fluchtfähigkeit .....  | 70        |
| 6.6      | Panik .....  | 71        |
| 6.7      | Sicherheitskonzept .....   | 72        |
| 6.7.1    | ASET und RSET .....  | 72        |
| 6.7.2    | Versammlungsstättenverordnung .....  | 72        |
| 6.7.3    | Sicherheitsfaktoren .....  | 72        |
| 6.8      | Plausibilitätsprüfung der Evakuierungssimulation .....                                     | 73        |
| <b>7</b> | <b>Beispiele .....</b>   | <b>75</b> |
| 7.1      | Modellierung eines einfachen Raumes mit dem Feldmodell FDS –<br>ein „Minimalmodell“ .....  | 75        |
| 7.2      | Simulation mit unterschiedlichen Netzdichten .....   | 78        |
| 7.2.1    | Modellbeschreibung .....   | 78        |
| 7.2.2    | Netzdichte und Genauigkeit .....   | 78        |
| 7.3      | Modellierung eines Ventilators .....   | 82        |
| 7.4      | Submodelltechnik .....   | 83        |
| 7.5      | Simulation von Sichtweiten .....   | 83        |
| 7.5.1    | Beurteilung der Verrauchung .....  | 83        |
| 7.5.2    | Redundanz von Notausgängen .....   | 86        |

|       |  |            |
|-------|--|------------|
| 7.6   | Simulation von Bauteiltemperaturen .....                         | 88         |
| 7.6.1 | Stahltragwerk .....  | 88         |
| 7.6.2 | Verglasung .....   | 89         |
| 7.6.3 | Blechwand.....   | 91         |
| 7.7   | Überschlägige Überprüfung der Ergebnisse von Zonenmodellen ..... | 91         |
| 7.7.1 | Ermittlung der Randbedingungen .....                             | 91         |
| 7.7.2 | Modellaufbau in einem Zonenmodell .....                          | 92         |
| 7.7.3 | Simulationsergebnisse .....                                      | 93         |
| 7.7.4 | Kontrolle des Ergebnisses .....                                  | 93         |
| 7.8   | Berechnung der raucharmen Schicht mit einem Zonenmodell.....     | 94         |
| 7.8.1 | Modellgeometrie.....   | 94         |
| 7.8.2 | Ventilationsbedingungen.....                                     | 95         |
| 7.8.3 | Stöchiometrie .....  | 96         |
| 7.8.4 | Brandszenario .....  | 96         |
| 7.8.5 | Auswertung.....  | 97         |
| 7.9   | Beispiel für die Evakuierungssimulation .....                    | 97         |
| 7.9.1 | Projektbeschreibung.....   | 97         |
| 7.9.2 | Vorgehensweise .....   | 98         |
| 7.9.3 | Vorabschätzung nach Roitman .....                                | 98         |
| 7.9.4 | Berechnung nach Predtetschenski und Milinski.....                | 100        |
| 7.9.5 | Simulation mit einem diskreten Modell (Pathfinder).....          | 101        |
| 7.9.6 | Zusammenfassung.....   | 102        |
|       | <b>Literatur- und Quellenverzeichnis .....</b>                   | <b>103</b> |
|       | <b>Stichwortverzeichnis.....</b>                                 | <b>109</b> |