

# Der Brandschutz nach DIN 18009 und die Konsequenzen für die Kooperation von Brandschutz und Standsicherheit

Anstelle des Nachweises einzelner Bauteile wird mit dieser Norm die auf die Schutzziel-Erfüllung ausgerichtete Planung in eine strukturierte Form gebracht

Wenn die Brandsicherheit für bauliche Anlagen mit ingenieurgemäßen, schutzzielorientierten Methoden bestimmt werden soll, dann stehen sich argumentativ-ingenieurgemäße und regelkonform-leistungsbezogene Nachweise gegenüber. Die fachliche Bewertung beider wird von DIN 18009 begünstigt, die dem ingenieurgemäßen Brandschutz mit regelsetzender Struktur fachliche Akzeptanz verschafft hat. Deshalb werden hier ingenieurgemäße Nachweise aus zwei Brandschutzkonzepten vorgestellt, eines für ein historisches Theater und eines für eine Sportarena. Beide haben auf ihre Art die Brandsicherheit nachgewiesen – obwohl die ingenieurgemäße Planung erheblich von den bauordnungsrechtlichen Regelvorgaben abgewichen ist. Als beachtenswert hat sich dabei aber herausgestellt, dass die Ingenieurmethode von einer möglichst frühzeitigen Zusammenarbeit mit der Tragwerksplanung profitiert, weil sie, mit ihrer ingenieurwissenschaftlichen Herangehensweise abseits baurechtlicher Regelanforderungen, auch das ressourcensparende Bauen prägnant befördern kann.

## 1 Einführung

Sowohl bei der Planung von Neubauten als auch bei der Gebäudesanierung oder der Behandlung von Baudenkmalen besteht für den Aufsteller eines Brandschutzkonzeptes die Aufgabe, vielfältige vom geltenden Bauordnungsrecht abweichende Tatbestände zu identifizieren, zu dokumentieren und ausreichend zu begründen. Das kann Atrien, ausgedehnte Gebäudeanlagen, komplexe Industriebauten, im Bestand nicht ausreichend klassifizierte Bauteile, die Beurteilung erforderlicher Räumungsdauern oder auch hölzerne Einrichtungen im Bestand gleichermaßen betreffen. Die Grundlagen dafür sind in den Paragraphen 67 und 51 der Musterbauordnung der Länder (MBO) zu finden [1], mit denen der Gesetzgeber grundsätzlich die Möglichkeit einräumt, von allen materiellen Anforderungen des Bauordnungsrechts abzuweichen [2].

Die Lösung, die man dann anbietet, muss aus juristischer Sicht jedoch genauso geeignet sein, wie die vom Gesetzgeber angebotene Standardvorgabe in der Landesbauordnung beziehungsweise in einer Sonderbauverordnung (vgl. § 3 MBO). Darin kann eine besondere Schwierigkeit liegen, weil den klassischen brandschutztechnischen Anfor-

derungen des Bauordnungsrechts nur wenige wissenschaftliche Erkenntnisse zu Grunde liegen und weil es sich dabei eher um eine Sammlung im Laufe mehrerer Jahrhunderte umfangreich zusammengetragener empirischer Erkenntnisse handelt [3].

Gleichzeitig wird innerhalb eines Prüfungsvorgangs vermehrt die Frage danach gestellt, inwieweit ein in einem Brandschutzkonzept argumentativ erbrachter Nachweis in einem Brandschutzkonzept genügt oder weitere detailliertere Nachweise erforderlich sind. Die Quintessenz ist in leider nicht wenigen Fällen die Anordnung überflüssiger Brandschutzmaßnahmen, was jedoch für den Brandschutzplaner die gleiche juristische Folge haben kann, wie eine nicht ausreichende Forderung des Brandschutzes [4].

Hinzu kommt, dass die immer differenzierter ausformulierten Regelungen für Bauprodukte und Bausätze dazu führen, dass wegen der den An- oder Verwendbarkeitsnachweisen gemäß einzuhaltenden Einbausituationen zunehmend zu begründen ist, warum eine abweichende Einbausituation, vor allem in bestehenden Gebäuden, im Zusammenhang mit einer Abweichung oder Erleichterung im Einzelfall auch akzeptabel sein kann.

Zur Beantwortung derartiger Fragen kann und soll die Anwendung ingenieurgemäßer Nachweise dabei helfen, eine richtige und angemessene Brandschutzmaßnahme zu finden.

Ob das bedeutet, dass zukünftig immer häufiger „gerechnet“ werden soll und ob argumentative Nachweisführungen für Abweichungen nicht mehr ausreichen und welche ingenieurgemäßen Alternativen mittlerweile zur Verfügung stehen, beleuchtet dieser Beitrag, und er zeigt die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten auf, die sich aus der Verwendung der DIN 18009-1 [5] ergeben.

## 2 Grundsätzliche Einsatzmöglichkeiten ingenieurgemäßer Nachweise

Bereits seit längerer Zeit besteht die Möglichkeit, die Dienlichkeit kompensierender Maßnahmen mit Hilfe von Methoden des Brandschutzingenieurwesens nachzuweisen. So können mittels wissenschaftlich



**Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Geburtig**

studierte Architektur an der Hochschule für Architektur und Bauwesen in Weimar und gründete 1993 seine Planungsgruppe Geburtig, Architekten & Ingenieure (Weimar/Riebnitz-Damgarten); 2008 ist er zum Dr.-Ing. promoviert und als Prüfungingenieur für Brandschutz anerkannt, 2020 für vorbeugenden Brandschutz habilitiert und 2023 als außerplanmäßiger Professor für Brandschutz der Bauhaus Universität Weimar bestellt worden; Gerd Geburtig ist Mitglied im VDI-Richtlinienausschuss Baudenkmal und denkmalwerte Gebäude, im CEN-TC Spiegelausschuss Bewahrung des kulturellen Erbes und in den DIN-NABau-Ausschüssen Brandschutzingenieurverfahren und Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen.

anerkannter Verfahren Nachweise erbracht werden, dass für vorgegebene oder erforderliche Zeiträume die vorhandenen Rettungswege (raucharm oder mit zugelassenen Belastungen) ausreichend zu benutzen oder wirksame Löscharbeiten möglich sind beziehungsweise, dass die Standsicherheit ausgewählter Bauteile gewährleistet ist.

Die in den sicherheitstechnisch erforderlichen Zeiträumen einzuhaltenden Sicherheitskriterien, die entweder der Begründung einer Abweichung oder dem Nachweis einer ausgleichenden Brandschutzmaßnahme dienen können, sind aufgrund anerkannter Kriterien des Brandschutzes beziehungsweise anhand bestehender Vorschriften objekt- und schutzzielbezogen festzulegen. Sie können, unter anderem,

- die Einhaltung einer im Brandschutzkonzept vorgegebenen raucharmen Schicht,
- die Tragfähigkeit unter den ermittelten Temperaturbelastungen für einzelne Bauteile oder
- die gesamte Tragkonstruktion respektive die erforderlichen Evakuierungszeiten betreffen.

Als Methoden des Brandschutzingenieurwesens kommen derzeit insbesondere folgende infrage:

- Brandsimulationen (Handformeln, Wärmebilanzberechnungen, physikalische Modelle) als *design fire* (anstelle normgerechter Prüfungen),
- Brand und Rauchversuche (reale Versuche zwecks Überprüfung des Zusammenwirkens aller Komponenten),
- Beurteilung des Brandverhaltens von Bauteilen und Tragwerken (zum Beispiel zur Behandlung nicht klassifizierter Bauteile),
- Personenstromanalysen (beispielsweise die Berechnung von Evakuierungsdauern bei größeren Personenzahlen oder im Bestand reduzierter Ausgangsbreiten).

Diese Methoden werden jeweils für den Nachweis der ausreichenden Brandsicherheit von bestehenden Bauteilen oder des ganzheitlich aufgestellten Brandschutzkonzeptes genutzt.

In **Abb. 1** ist ein Auszug aus einem ingenieurgemäßen Nachweis für eine unter Denkmalschutz stehende Versammlungsstätte zu sehen. Mit diesem Nachweis wurde unter anderem der Einfluss der Rauchgastemperaturen auf die bestehenden Konstruktionen und die Verteilung der Rauchgasschicht während der Räumung überprüft.

Ausgehend von der Identifizierung der jeweiligen Schutzinteressen (bauordnungsrechtlicher und individueller Art) und von den möglichen Brandgefahren sollten bereits während der konzeptionellen Brandschutzplanung anhand der zu bewertenden funktionalen Subsysteme die Wechselwirkungen zwischen den brandschutztechnischen Komponenten ermittelt werden. Dabei sind die Auswahl relevanter Szenarien und die Bestimmung für den jeweiligen Einzelfall zu betreiben und geeignete Ingenieurmethoden für den Nachweis des Brandschutzkonzeptes festzulegen. Damit ergibt sich ein ganzheitlicher brandschutztechnischer Sicherheitsplan, dessen Nachweis mit Hilfe der Anwendung von Methoden des Brandschutzingenieurwesens erfolgte. Seine Ausrichtung ist damit folgerichtig nicht an die Grenzen der bisherigen Anforderungen des Bauordnungsrechts gebunden, was selbstverständlich nicht bedeutet, dass eine derartige, übliche Arbeitsweise anhand des klassischen Bauordnungsrechts weiterhin für einen überwiegenden Teil der Brandschutzplanungen erhalten bleibt.

In eine solche Denkweise sind auch die Auswirkungen auf ein zwingend notwendiges Brandschutzmanagement und auf die laufende Bauunterhaltung einzubeziehen, damit die Wirksamkeit der brandschutztechnischen Komponenten während der gesamten Nutzungsdauer eines Gebäudes gegeben ist.

### 3 Die Normenreihe DIN 18009

#### 3.1 Motivation

Der im September 2016 im Weißdruck veröffentlichte erste Teil der DIN 18009 soll den gebäudekonkreten Nachweis einer ausreichenden Brandsicherheit von baulichen Anlagen unterstützen und zugleich die

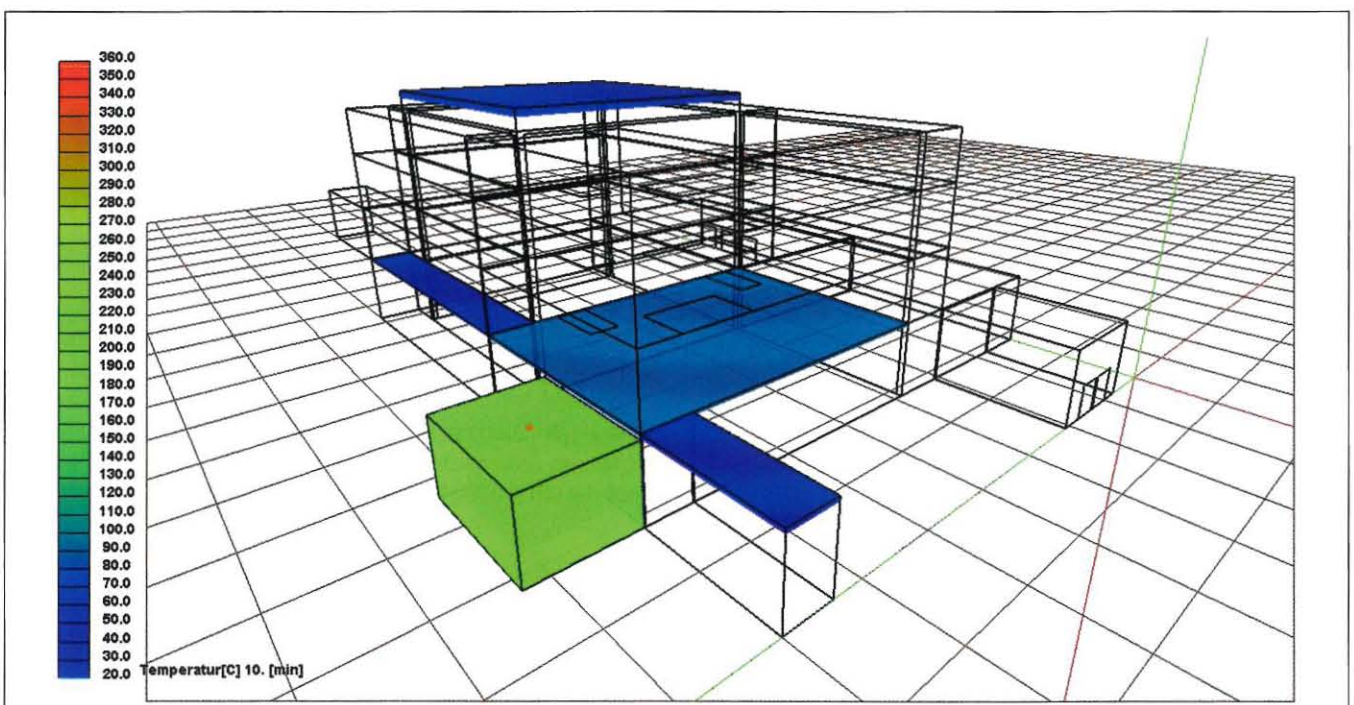


Abb. 1: Auszug aus einer Rauchgassimulation

Anwendung von Methoden des Brandschutzingenieurwesens einem größeren Kreis von Nutzern ermöglichen. Damit wird, anstelle des Nachweises einzelner Bauteile als Abgleich mit der Bauordnung oder gültigen Sonderbauvorschriften, das Planen, das auf die Erfüllung von Schutzziele ausgerichtet wird, in eine geeignete Form gebracht und strukturiert. Zugleich wird beschrieben, in welchem Umfang eine Dokumentation erforderlich ist, damit die Entscheidungsfindung bei der Brandschutzplanung und bei der notwendigen Prüfung einvernehmlich erfolgen kann.

Bisher haben jene Planer, die Brandschutzingenieurmethoden bereits anwendeten, und auch die Prüfenden – insbesondere die Prüffingenieure für Brandschutz – auf die Fachliteratur, auf akzeptierte Richtlinien (zum Beispiel auf den vfdB-Leitfaden [6]), auf verschiedene deutsche oder internationale Vereine und Institute, aber auch auf etablierte internationale Normungen (zum Beispiel ISO-Normen oder BS 7984 [7]) zurückgegriffen. Das erschwerte allerdings in vielen Fällen die Anwendung, weil die deutsche bauordnungsrechtliche Akzeptanz dieser Regelwerke bisher als eher gering einzuschätzen ist.

Um die bauaufsichtliche Zubilligung ingenieurgemäßer Testate für den Nachweis der Brandsicherheit zu verbessern, hat das Deutsche Institut für Normung (DIN) die Grundsätze für die Aufstellung von Nachweisen mit Methoden des Brandschutzingenieurwesens normativ in der DIN 18009-01:2016-09 definiert.

Mit diesem ersten Teil dieser Norm werden vor allem spezifische und bewährte internationale Regelwerke für die Anwendung von Brandschutzingenieurmethoden in die *deutsche Kleiderordnung* (J. Wiese, [8]) integriert. Damit wird das Brandschutzingenieurwesen in der Bundesrepublik Deutschland an den international bereits erreichten Stand herangeführt.

Explizit gelten diese nun vorliegenden nationalen Regelungen auch für bestehende bauliche Anlagen beziehungsweise Baudenkmale. Ziel ist es, sich vom Erfüllen fest vorgegebener Bauteilanforderungen zu lösen und an dessen Stelle ingenieurgemäße, schutzzielorientierte Nachweise treten zu lassen. Ein besonderes Problem besteht dabei darin, die jeweiligen Schutzziele individuell zu bestimmen und die Akzeptanzkriterien für den jeweiligen Einzelfall festzulegen. Es soll dabei weniger darum gehen, wiederum starre Anforderungen zu definieren, sondern stattdessen die richtige und angemessene Vorgehensweise zu beschreiben und zu regeln, mit der folgerichtig eine vertretbare Brandsicherheit ermittelt und nachgewiesen werden kann.

### 3.2 Grundlegende Festlegungen im Teil 1 und Vereinheitlichung von Fachtermini

Der Teil 1 der Normenreihe beinhaltet alle wesentlichen Grundlagen für die mögliche Anwendung von unterschiedlichen Ingenieurverfahren bei einer Brandschutzplanung, und zwar: (nach [8]):

- Begriffsbestimmungen,
- Merkmale und Schritte einer ingenieurgemäßen Arbeitsweise,
- normative Einbindung von argumentativen ingenieurgemäßen Nachweisführungen,
- Durchführung qualitativer Entwurfsanalysen,
- Identifizierung und Bewertung von Gefahren durch Brandereignisse,
- Vorgehen zur Identifikation und Konkretisierung von Schutzziele über funktionale Anforderungen,
- Erfassen von Leistungskriterien,
- ingenieurgemäße Abschätzung von Brandrisiken,
- Auswahl planungsrelevanter Szenarien,

- Auswahl geeigneter Modelle für die Nachweisführung,
- Aufstellung eines globalen oder Teilsicherheitskonzeptes,
- Inhalte und Struktur notwendiger Dokumentationen,
- Hinweise für die praktische Umsetzung der jeweiligen Brandschutzplanung.

Ein gegenwärtiges Problem bei der Arbeit mit dem Brandschutzingenieurwesen besteht immer noch darin, dass die Beteiligten sich gelegentlich nicht richtig verstehen, weil die jeweils verwendeten Begriffe für unterschiedliche Inhalte verwendet werden. Allein dafür leistet die Norm Pionierarbeit, mit der die notwendige sprachliche Vereinheitlichung hergestellt wird. Diese Konkretisierung umfasst unter anderem die folgenden wesentlichen Begriffe:

- Brandschutzingenieurwesen,
- Bemessung,
- Bemessungsbrand und -szenario,
- Brandrisiko,
- funktionale Anforderungen.

### 3.3 Argumentative und leistungsbezogene ingenieurtechnische Verfahren nach DIN 18009-1

Nach DIN 18009-1 sind argumentative, ingenieurgemäße Nachweisführungen, gegebenenfalls unter Verwendung von Schätzverfahren (zum Beispiel *engineering judgement*) und leistungsbezogene Nachweisführungen als ingenieurtechnische Verfahren möglich.

Während bei der argumentativen, ingenieurgemäßen Nachweisführung das Kriterium einer unmittelbaren Akzeptanzfindung besteht, wird im Rahmen der leistungsbezogenen Nachweisführung die Erfüllung sicherheitstechnischer Leistungskriterien bestätigt. Eine solche Arbeitsweise ist üblicherweise ein iterativer Vorgang, wobei auch die Einbindung von Experimenten in die Nachweisführung durchaus möglich und üblich ist. Zu beachten ist außerdem, dass auch bei der erstgenannten Nachweisführung die Festlegung geeigneter funktionaler Anforderungen und die Auswahl korrekter Szenarien erfolgen müssen.

### 3.4 Bestimmung von Akzeptanzkriterien als Ableitung aus den Schutzinteressen und -zielen

Eine besondere Bedeutung für die Anwendung von Brandschutzingenieurmethoden hat zum einen die Bestimmung der jeweiligen Akzeptanzkriterien, gegen die zu rechnen ist, und zum anderen die korrekte Argumentationsführung bei der Auslegung der Ergebnisse.

Aus den unterschiedlichen Schutzinteressen ergeben sich verschiedene Schutzziele – neben öffentlich-rechtlichen auch zivilrechtliche –, die (nach [5]) unter anderem folgende sein können:

- Vorbeugung gegen Brandentstehung oder Brandausbreitung,
- Ermöglichung der Rettung von Menschen und Tieren,
- Ermöglichung wirksamer Löschmaßnahmen,
- ausreichende Standsicherheit bei einem Brandfall,
- Erhaltung von Kulturdenkmälern,
- Begrenzung eines Sachschadens.

Von diesen Schutzziele abgeleitet sind (nach [5]) die funktionalen Anforderungen zu bestimmen, beispielsweise an

- die Nutzbarkeit der Rettungswege für
  - die Dauer der Selbstrettung,
  - die Dauer der Räumung,
  - die Rettung hilfsbedürftiger Personen durch die Einsatzkräfte,
  - die Einsatzkräfte während der Brandbekämpfung,

- die Bewahrung architektonischer Werte und
- die Erhaltung bauzeitlicher Substanz von Kulturdenkmälern.

Diese Ziele sind für den jeweiligen Einzelfall zu spezifizieren und zu dokumentieren.

Als wesentliche Basis für die quantitative Beurteilung der konkreten Brandschutzplanung dienen die sogenannten Leistungskriterien. Als Beispiele sind unter anderen zu nennen:

- die Höhe raucharmer Schichten in einem bestimmten Rettungsweg für einen festgelegten Zeitraum,
- kritische Temperaturen für ausgewählte Bauteile, zum Beispiel aus Stahl,
- Erträglichkeitsgrenzen für Personen.

Dem folgend sind die Identifizierung und die Bewertung von Brandgefahren vorzunehmen. Die dahingehend erforderliche Arbeitsweise wird im Abschnitt 6 von DIN 18009-1 ausführlich beschrieben.

Die Ergebnisse durchgeführter Berechnungen sind dann abschließend hinsichtlich des Erreichens der ausgewählten Schutzziele zu bewerten und die daraus getroffenen Festlegungen für eine spezifische Brandschutzplanung zu begründen. In DIN 18009-1 wird (in Abschnitt 4.2.4 von DIN 18009-1:2016-09) für die leistungsbezogene Nachweisführung mit Brandschutzingenieurverfahren Folgendes festgelegt:

*Dafür ist der Nachweis über einen Soll-Ist-Vergleich zwischen den Leistungskriterien der Schutzziele (Akzeptanzkriterien) und den ermittelten Analyseergebnissen zu führen, wobei das geforderte Sicherheitsniveau ausreichend zu berücksichtigen ist. Die Nachweise müssen nachvollziehbar zeigen, dass ausreichend konservative Annahmen für die sicherheitsrelevanten Einwirkungen E ausgewählt worden sind (siehe Abschnitt 7). Die festgelegten Leistungskriterien (siehe Abschnitt 5) werden als erforderlicher Widerstand R bzw. als Grenzzustände betrachtet, die das Gesamtsystem diesen entgegensetzt.*

### 3.5 Auswahl von Bemessungsszenarien

Unter einem Bemessungsszenario versteht man gemäß DIN 18009-1 ein bestimmtes Brandszenario, für das eine brandschutztechnische Untersuchung durchgeführt wird. Dabei hat die Auswahl der sicherheitsrelevanten Szenarien für die in Frage stehenden Schutzziele auf der Basis einer systematischen Erkennung und Beschreibung der vorhandenen Brandgefahren in der betrachteten baulichen Anlage zu erfolgen. Damit ist ein wesentlicher Unterschied im Vergleich mit der Behandlung einer baulichen Anlage aus der Sicht des Brandschutzes nach den Anforderungen der Bauordnung beziehungsweise der gegebenenfalls erlassenen Sonderbauverordnung gegeben: Während bei dieser stets ein Vollbrand ohne konkrete Festlegung zu unterstellen ist, wodurch ein Brand bei einer bestimmungsgemäßen Nutzung entstehen kann, geschieht dies bei der Anwendung der DIN 18009-1 anhand einer Auswahl von Szenarien in einem Beurteilungszeitraum. Zugleich wird die jeweilige Nutzungsart berücksichtigt. Bei dieser Arbeitsweise sind selbstverständlich alle realistischen Szenarien zu erfassen.

Da jedoch bei nahezu jeder baulichen Anlage durchaus eine Vielzahl denkbarer Szenarien angenommen werden könnte, ist nach der Norm eine Risikobewertung unter Berücksichtigung von Häufigkeiten und Auswirkungen der Szenarien (risk ranking) [5] zur Auswahl der maßgeblichen Szenarien vorzunehmen. In diesem Zusammenhang sind dann die geplanten Brandschutzmaßnahmen sowohl hinsichtlich ihres planmäßigen Effektes als auch mit Rücksicht auf ihre Zuverlässigkeit zu beurteilen. Entsprechende Aspekte der Zuverlässigkeit der jwei-

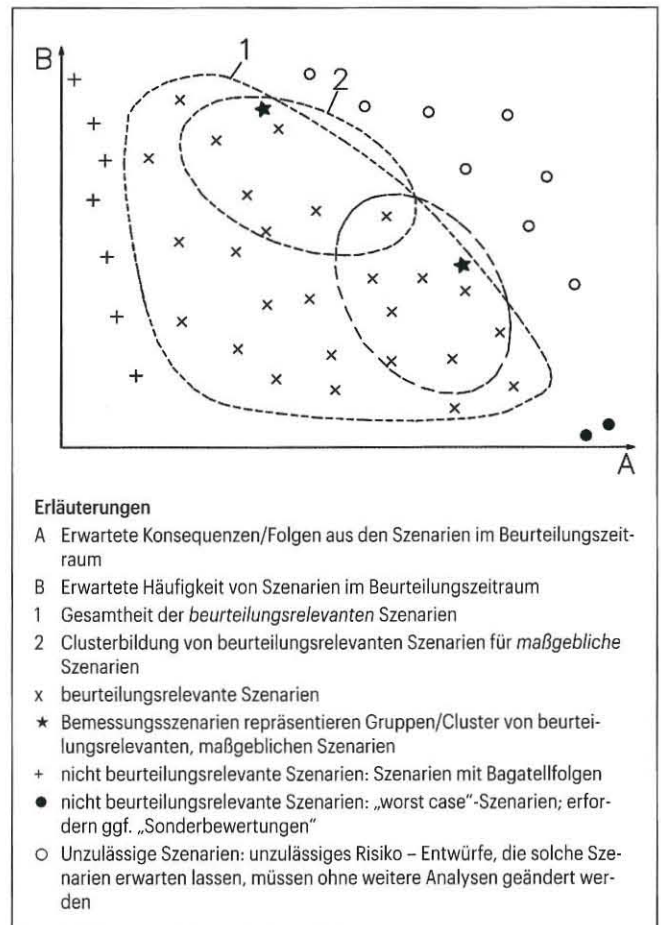


Abb. 2: Auswahl der Bemessungsszenarien (nach [5])

ligen Brandschutzmaßnahmen, die sich in Ausfallwahrscheinlichkeiten widerspiegeln, sind darauffolgend in einem Sicherheitskonzept nach Abschnitt 9 der DIN 18009-1 zu bewerten. Als wichtig muss dabei aber immer beachtet werden, dass lediglich die Bemessungsszenarien als Teilmenge der maßgeblichen Szenarien zu analysieren und zu beurteilen sind.

Bei der Auswahl der Bemessungsszenarien sind diejenigen Szenarien mit besonders großem Risiko zu berücksichtigen. Dabei bleiben in der Regel Szenarien mit geringer Schadenserwartung und Szenarien mit geringer Wahrscheinlichkeit unberücksichtigt (Abb. 2).

### 3.6 Bewertung der Ergebnisse

Je nach Anwendung der gewählten Nachweisführung – argumentativ oder leistungsbezogen – ist die Beherrschung signifikanter beziehungsweise kritischer Szenarien zu belegen, damit im Rahmen der Brandschutzplanung und der Bemessung die Transparenz einzelner Komponenten gefördert wird und die Prüffähigkeit, zum Beispiel innerhalb eines bauordnungsrechtlichen Genehmigungsverfahrens, erreicht wird.

Dabei unterscheiden sich die beiden benannten Nachweisführungen dahingehend, dass beim Gebrauch einer argumentativen Nachweisführung die Akzeptanz der Begründung für eine Planung, beispielsweise mit einer vom geltenden Baurecht abweichenden Lösung, sowohl vom Bauherrn akzeptiert wird als auch von den Planungsbeteiligten und von der prüfenden Stelle, wie dem bestellten Prüfenieur für Brandschutz. Bei der Verwendung einer leistungsbezogenen Nachweisführung dagegen sind die festgelegten Leistungskriterien unter Würdigung des individuellen Sicherheitskonzeptes (siehe Abschnitt 9 in

DIN 18009:2016-09) für die Erfüllung der Schutzziele zu verwenden. Die Ergebnisse der ingenieurgemäßen Berechnungen einschließlich deren Bewertung sind dann mit den vorgenannten Leistungskriterien zu vergleichen. Kann die Erfüllung nachgewiesen werden, entspricht die jeweilige Planung den notwendigen Anforderungen.

Beide Arten der Nachweisführungen bedürfen einer entsprechenden Prüfung, für die aus der Sicht des Autors jedoch eine ausreichende (Aus)Bildung auf dem Gebiet der Ingenieurwissenschaften des Brandschutzes vorhanden sein muss, so, wie das auf dem Gebiet der Standsicherheit bereits seit Jahrzehnten in Deutschland üblich ist.

**3.7 DIN 18009-2: Personensicherheit und Räumungssimulationen**  
2022 wurde mit DIN 18009-2:2022-08 [9] der zweite Teil der Norm im Weißdruck veröffentlicht, der sich mit der Personensicherheit auseinandersetzt, welche mittels Räumungssimulationen nachgewiesen werden kann.

Der Einsatz geeigneter Personenstrommodelle kann für den Nachweis der Personensicherheit bei der Räumung baulicher Anlagen dann herangezogen werden, wenn deskriptive Nachweise nicht möglich sind oder nicht angewendet werden können, Abweichungen oder Erleichterungen von Anforderungen der Landesbauordnung oder von Sonderbauverordnungen begründet oder bauliche Anlagen optimiert werden sollen.

Auf der Systemantik und der Grundlage des Teils 1 von DIN 18009 basierend, werden neben Begriffsdefinitionen die notwendigen Grundzüge der Nachweisführung, der Ermittlung der verfügbaren und der erforderlichen Räumungszeit (ASET und RSET), die Szenarien für den Nachweis der Personensicherheit, die Anforderungen und Leistungskriterien, anwendbare Rechenmodelle und Experimente sowie die erforderliche Dokumentation normativ geregelt (Abb. 3). In umfangreichen informellen Anhängen sind dann auch Angaben für die Ermittlung von Detektions- und Alarmierungszeiten, Vorgaben für die Ermittlung der Reaktionszeit, Hinweise auf Räumungsszenarien, Grunddaten der Personendynamik, makroskopische Modelle zur Berechnung der erforderlichen Räumungszeit (zum Beispiel als Handrechenverfahren) sowie

Angaben zu mikroskopischen Modellen und abschließend zum erforderlichen Umfang einer Dokumentation enthalten.

**3.8 DIN 18009-3 ff.**  
Insgesamt hat der NABau Brandschutzingenieurwesen des DIN geplant, eine ganzheitliche Normenreihe als nationale Alternative zu vergleichbaren internationalen Standards zu erarbeiten und diese auch in die weitere Gestaltung internationaler Normenwerke einzubringen.

Ein an den Teil 2 direkt anschließender Schwerpunkt liegt gegenwärtig auf der Zusammenstellung für die praktische Tätigkeit geeigneter ausgewählter Bemessungsbrände und auf der Erarbeitung einer Systematik für die Brandsimulationen – und das vor dem Hintergrund, dass die Berechnungsergebnisse zur Zeit im Einzelfall durchaus erheblich streuen können, was die Genehmigungsfähigkeit im Einzelfall momentan noch erschwert.

Im Teil 4 ist vorgesehen, ein ganzheitliches Sicherheitskonzept für einen Brandschutznachweis zu entwickeln, der vollständig ingenieurgemäß und nicht mehr im Abgleich mit standardisierten präskriptiven Regeln aufgestellt werden kann, sodass die Akzeptanzkriterien für die Bemessung nicht mehr individuell bestimmt werden müssen, was auf längere Sicht vorerst für den jeweiligen Einzelfall anhand der Bestimmungen der Teile 1 und 2 von DIN 18009 ja noch erforderlich ist.

Über notwendige weitere Teile der Norm soll der Arbeitsausschuss des DIN nach Abschluss der Arbeiten an den Teilen 3 und 4 beraten.

**3.9 Auswirkungen auf die Zusammenarbeit zwischen Brandschutz und Tragwerksplanung**  
Während bei der Bemessung von tragenden und aussteifenden Bauteilen und bei den allgemeinen bauaufsichtlichen An- oder Verwendbarkeitsnachweisen im Allgemeinen der standardisierte Modellbrand der Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) nach DIN 4102-2:1977-09 [10] zugrunde gelegt wird, ist es unter anderem das Ziel einer ingenieurgemäßen brandschutztechnischen Beurteilung eines Entwurfes für einen Neubau oder einer Bestandssituation, einen entsprechend signifikanten Brandverlauf anhand des zuvor bestimmten Bemessungsszenarios

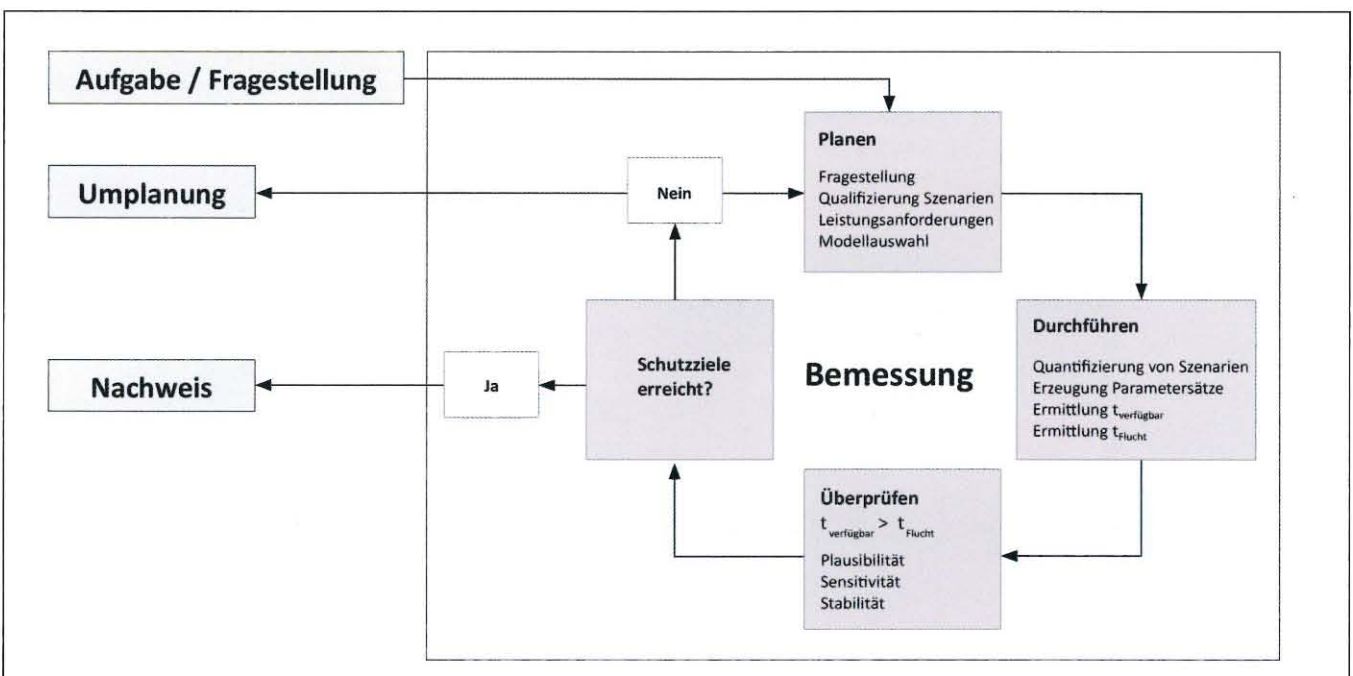


Abb. 3: Planungsprozess Personensicherheit, vereinfacht (nach [9])

zu simulieren. Dieser kann dann die Grundlage für die weitere Tragwerksplanung anstelle einer Bemessung nach dem Vollbrand der ETK bilden.

Auch für die Bewertung von Räumungszeiten ist eine interdisziplinäre Abstimmung von Bedeutung, beispielsweise dann, wenn ein vorhandenes Tragwerk nicht ohne weiteres ertüchtigt werden kann oder nur – aus denkmalpflegerischer Sicht – unter Inkaufnahme erheblicher Verluste, wie am folgenden Beispiel näher erörtert wird. In derartigen Fällen ist es notwendig, gemeinsam die Randbedingungen für eine ingenieurgemäße brandschutztechnische Betrachtung abzuklären. Weil es sich dabei zumeist um einen iterativen Vorgang handelt, ist hinzunehmen, dass bei einem zunächst nicht erfüllten Nachweis die anfangs angestrebten Parameter zu ändern sind. Das kann im Einzelfall eine maximal zulässige Personenzahl, gewünschte Ausgangsbreiten oder die konkrete Feuerwiderstandsfähigkeit sein.

#### 4 Anwendung einer ingenieurgemäß, argumentativen Nachweisführung ...

##### 4.1 ... bei der Brandschutzplanung für das Goethe-Theater in Bad Lauchstädt

###### 4.1.1 Planungsanlass

Das Bad Lauchstädter Sommertheater ist das einzige im Wesentlichen erhaltene Theater, in dem Johann Wolfgang von Goethe persönlich gewirkt hat. Für den Zuschauerraum des 1802 innerhalb weniger Monate nach Plänen des Berliner Architekten Heinrich Gentz (1766–1811) errich-

teten Gebäudes (Abb. 4) gab der Dichter exakte Vorgaben, denn dieser wurde nach Goethes Farbenlehre in gelb, rot und grau gehalten und ist von einer zeltartigen, bemalten Leinwanddecke überwölbt. Insbesondere das Dach als Bogen-Bohlenkonstruktion (Abb. 5) ist das technisch hervorsteckende Element [11], welches auch für die Zuschauer zu erleben ist, jedoch die beteiligten Planer vor außerordentliche Herausforderungen stellte.

In den Jahren 2015 bis 2022 erfolgte unter der Leitung der *Thomas Müller Ivan Reimann Gesellschaft von Architekten mbh* (Berlin) die bisher umfangreichste denkmalpflegerische Behandlung des unter anderem weiträumig von Echtem Hausschwamm befallenen Gebäudes. Das Dach des Theaters wurde neu mit Kupferschindeln gedeckt, die gesamte Haustechnik erneuert und der Brandschutz ganzheitlich überprüft. Abb. 6 zeigt das Theater nach der Instandsetzung von außen. Als architektonische Krönung des Vorhabens wurden die Farbgestaltung und die Bemalung der historischen Textildecke aus Jutebahnen über dem Zuschauerraum auf die Fassung zurückgeführt, die durch restauratorische Befunde aus der Errichtungszeit 1802 ermittelt werden konnte (Abb. 7) [11].

###### 4.1.2 Ausgewählte brandschutztechnische Fragen

Auch wenn dem Theaterbau der Bestandsschutz zweifelsfrei attestiert werden konnte, der auch durch archivalische Untersuchungen zu belegen war, hatte die brandschutztechnische Planung aufzuzeigen, dass trotz der gegenüber den heutigen bauordnungsrechtlichen Anforderungen eine ausreichende Sicherheit für die etwa 480 Besucher und Mitwirkende gegeben ist.

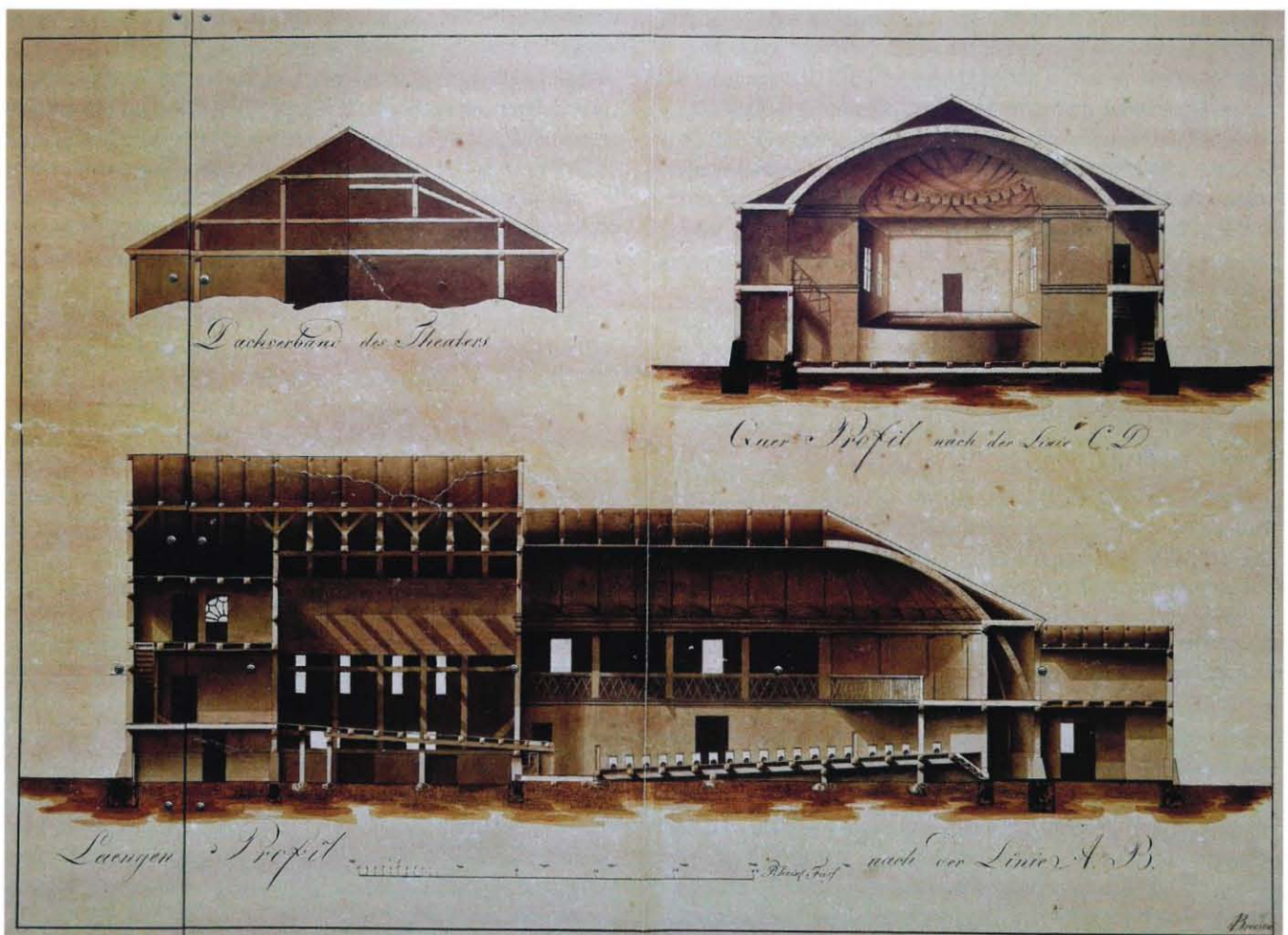


Abb. 4: Bauzeichnung der Errichtungszeit für das Bad Lauchstädter Sommertheater [12]

Als besondere Herausforderungen sind in dieser Hinsicht der gegenüber der gültigen Muster-Versammlungsstättenverordnung (MVStättVO, [13]) im Bestand vorhandene, erheblich reduzierte Feuerwiderstand der tragenden und aussteifenden Bauteile und die in diesem Zusammenhang nicht möglichen Nachweise der An- oder Verwendbarkeit für die zum Einsatz vorgesehenen Bauprodukte und Bauarten für die statische Verbesserung des Tragsystems zu nennen. Da auch eine dringend notwendige energetische Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes angestrebt wurde – der Theaterraum erhitze sich im Verlauf der Sommermonate immer wieder zu stark und der Einbau einer Klimaanlage war ohne eine zu starke denkmalpflegerische Beeinträchtigung nicht möglich – galt der Bestandsschutz teilweise wegen der zusätzlich eingebrachten Belastungen für das Tragwerk nicht mehr. Die Tragwerksplanung hat der Konstruktion deswegen auch keinen nachzuweisenden Feuerwiderstand im Brandfall unterstellt.

Deswegen entschied sich die beauftragte Brandschutzplanung, argumentative, ingenieurgemäße Nachweise zu führen, mit denen die ausreichende Sicherheit gemäß den Paragraphen 3 und 14 (1) der Bauordnung des Landes Sachsen-Anhalt (BauO LSA, [14]) ermittelt werden konnte.

#### 4.1.3 Abweichung vom Feuerwiderstand nach Muster-Versammlungsstättenverordnung

Gemäß § 3 (1) MVStättVO müssen für die betrachtete Versammlungsstätte die tragenden und aussteifenden Bauteile wie Wände, Pfeiler, Stützen und Decken feuerbeständig sein, was bereits wegen der bestehenden hölzernen Bauteile nicht möglich war (Abb. 8). Selbst mit denkmalunverträglichen Bekleidungen oder Beschichtungen wäre Feuerbeständigkeit nicht zu erreichen gewesen, weil die wesentlichen Bauteile aus Holz bestehen und somit brennbar sind. Darüber hinaus war auch ohne die zusätzlich geplanten energetischen Belastungen keinesfalls an einen 90-minütigen Feuerwiderstand zu denken. Somit musste mit Augenmaß eine der Personensicherheit verpflichtete Festlegung getroffen werden, die dazu führt, dass gemäß der ersten brandschutztechnischen Vorplanung [15] für die tragenden aussteifenden Bauteile unter Würdigung des Bestandsschutzes zumindest ein annähernder Feuerwiderstand von 30 Minuten gefordert wurde.

Diese Forderung stellte sich seitens der Tragwerksplanung als nicht realisierbar heraus, was eine iterative Abstimmung der beiden beteiligten Fachplanungen nach sich zog. Nach einer längeren Abstimmungsprozedur zwischen der Brandschutz- und der Tragwerksplanung wurde unter Einbeziehung der beauftragten Prüfungingenieurin für Standsicherheit ermittelt, dass dem Gesamtragwerk unter Einsatz spezifischer statischer Ertüchtigungen in Form von Mineralfaserplatten und reaktiver Beschichtungen für stählerne Verbindungsmittel ein konkreter Feuerwiderstand von 25 Minuten zugesprochen werden kann, allerdings mit dem Einwand, dass es für die vorgeschlagenen Bauprodukte für Verstärkung der Dachsparren und der stählernen Verbindungsmittel (Abb. 9 und Abb. 10) wegen der bei dem Baudenkmal abweichenden Randbedingungen keine allgemeinen bauaufsichtlichen An- oder Verwendbarkeitsnachweise gäbe und somit wiederum von einem Feuerwiderstand von „F 0“ auszugehen wäre.

#### 4.1.4 Gutachterliche Stellungnahmen und ingenieurgemäße Argumentation

Diese nicht zu akzeptierende Aussage wurde schlussendlich mittels gutachterlicher Stellungnahmen für den konkreten Einzelfall ([16] und [17]) überwunden, mit denen belegt werden konnte, dass die Annahme eines zumindest 25-minütigen Feuerwiderstandes realistisch ist, wenn auch ohne normative Klassifikation nach DIN 4102. Diese Annahme wurde in die finale brandschutztechnische Bewertung des Gebäudes



Abb. 5: Die sichtbare Bogen-Bohlenkonstruktion im 1. Obergeschoss stellte die Planer vor besondere Aufgaben.



Abb. 6: Das Theater nach der Instandsetzung von außen

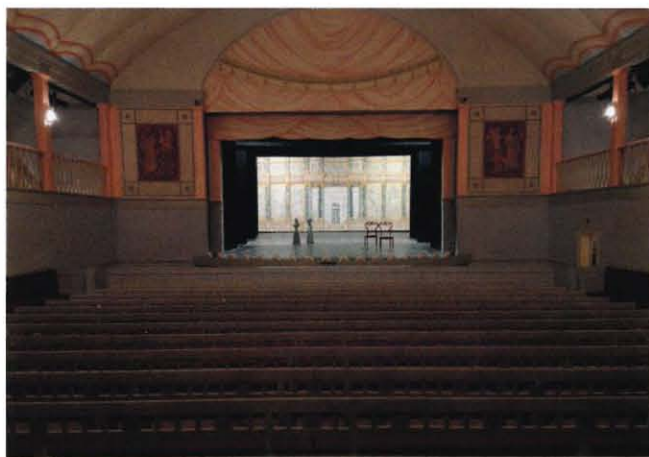


Abb. 7: Der authentisch restaurierte Theaterraum



Abb. 8: Bestehendes hölzernes Tragwerk



Abb. 9: Mit Mineralfaserplatten verstärkte Dachsparren



Abb. 10: Ertüchtigte Holz-Stahlverbindungen

in Form eines Brandschutzkonzeptes [18] durch die Fachplanung eingeführt und der abschließende argumentative, ingenieurmäßige Nachweis der ausreichenden Personensicherheit in dem Baudenkmal geführt.

#### 4.2 Leistungsbezogene Nachweisführung für eine Arena in Jena

##### 4.2.1 Aufgabe und Schutzziele

Das Ziel der im Folgenden vorgestellten Simulationen war – im Rahmen der bauaufsichtlichen Prüfung des Brandschutzkonzeptes durch die zuständige Bauaufsichtsbehörde – die Begründung für die abweichenden Tatbestände eines Dachtragwerks ohne Feuerwiderstand einer neu zu errichtenden Versammlungsstätte (der Sparkassen-Basketball-Arena in Jena, Abb. 11) und die Ermittlung der zu erwartenden Räumungszeiten für die angenommene Personenzahl für unterschiedliche Nutzungsszenarien unter Beachtung der entwurfsbedingten Breiten der Rettungswege.

Die der Untersuchung zu Grunde gelegten gebäudekonkreten Schutzziele waren die trotz des nicht geplanten Feuerwiderstandes des Dachtragwerks ausreichende Personensicherheit und das Ermöglichen wirksamer Löscharbeiten gemäß Paragraf 14 der Thüringer Bauordnung (ThürBO [19]).

In Anlehnung an § 16 (3) MVStättVO wurde dazu für den konkreten Bearbeitungsfall gefordert, dass

*für die Entrauchung von Versammlungsräumen und sonstigen Aufenthaltsräumen mit mehr als 1000 m<sup>2</sup> Grundfläche sowie von Bühnen Rauchabzugsanlagen vorhanden sein [müssen], die so bemessen sind, dass sie eine raucharme Schicht von mindestens 2,50 m auf allen zu entrauchenden Ebenen, bei Bühnen jedoch mindestens eine raucharme Schicht von der Höhe der Bühnenöffnung, ermöglichen [14].*

Die Benennung der 2,50 Meter ist gemäß der MVStättVO zeitlich unabhängig. Aus Sicht des Sachverständigen war dazu nachzuweisen, dass bei einem Brand in der Sporthalle eine raucharme Schicht von 2,50 Meter auf den Tribünen während des Evakuierungszeitraums und mit einem Sicherheitszuschlag aufrechterhalten wird. Zwecks Ermittlung der erforderlichen Räumungsdauer wurde vereinbart, einen gesonderten leistungsbezogenen Nachweis zur Ermittlung der notwendigen Räumungszeiten durchzuführen, anhand dessen die Überprüfung der Rauchausbreitung auf Rettungswegen im Verlauf der Räumung für mehrere geplante Nutzungen möglich ist.

##### 4.2.2 Verwendetes Rechenprogramm für die Rauchgassimulation

Die Situation wurde von einem EDV-gestützten Brandsimulationsmodell untersucht, mit dessen Hilfe die komplexen Brandphänomene beschrieben werden konnten. Zur Untersuchung von Brandphänomenen und Verrauchungszuständen gibt es zwei wesentlich unterschiedliche rechnerische Ansätze: das Zonenmodell und das Feld- beziehungsweise CFD-Modell (*Computational Fluid Dynamics* = numerische Methoden zur näherungsweise Lösung strömungsmechanischer Probleme).

Die Anwendung von Zonenmodellen setzt die idealisierte Annahme von homogenen Zonen voraus, wobei insbesondere die untere kalte rauchfreie Zone und die obere heiße Rauchsicht zu unterscheiden sind. Für die jeweiligen Zonen wird von einheitlichen Werten für die verschiedenen Brandraumparameter, wie zum Beispiel Temperatur oder Rauchgaskonzentration, ausgegangen. Da im vorliegenden Fall die Temperaturverläufe einzelnen Schichten zugeordnet werden konnten, war ein Zonenmodell mit den zuvor genannten Homogenitätsannahmen zur Betrachtung der vorgegebenen Fragestellung ausreichend. Zur Unter-





Abb. 11: Blick in die mittels leistungsbezogener Nachweise bemessene Basketball-Arena

suchung der erforderlichen Maßnahmen für die Rauchableitung wurde das Rechenprogramm MRFC (*Multi-Room-Fire-Code*) in der Version 3.3.3 angewendet. Dieses Programm ist vom Ingenieurbüro für Brandsicherheit AGB (Bruchsal) und der TU Wien für die Simulation natürlicher Brände als Mehrraum-Mehrzonen-Modell entwickelt worden, sodass die das Brandgeschehen beschreibenden Größen (Temperatur, Brandrauchmenge, Brandrauchschichtdicken usw.) in komplexen Gebäuden berechnet werden können.

**4.2.3 Geometrie, Definition der Parameter und des Brandszenariums**  
 Für die Berechnungen wurde die Halle mit Abmessungen von circa 55 x 51 Metern in fünfzehn virtuelle Modellräume unterteilt. Die Querunterteilungen liegen auf den Achsen der Fachwerkbinder und berücksichtigen diese teilweise. Die offenen Verbindungen zwischen den einzelnen Modellräumen führen zu keinen Einschränkungen bei der Rauchausbreitung. Die Deckenform wird durch die Raumhöhen von 14,90, 10,90 und 10,30 Metern berücksichtigt (Abb. 12).

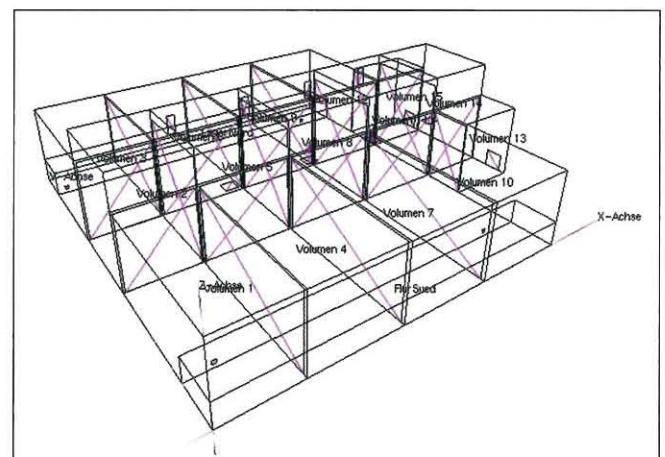


Abb. 12: Raummodell mit der Sicht aus Südwesten [20]

Innerhalb des Simulationsnachweises wurden verschiedene ausreichend konservative Brandszenarien definiert, welche die Risiken der objekttypischen Nutzungen abdecken. Die Brandszenarien bestimmen dabei die Rahmenbedingungen für die zu simulierenden Brandereignisse. Die wesentlichen Brandparameter für ein Brandszenario sind der Brandort, die Energiefreisetzungsrate, die zeitabhängige Brandausbreitungsrate und die chemische Zusammensetzung der Brandprodukte. Die folgenden Sachverhalte haben weiterhin einen großen Einfluss auf den Brandverlauf:

- geometrische Rahmenbedingungen,
- Art und Menge der Brandlasten,
- Einrichtungen des anlagentechnischen Brandschutzes,
- Zeitpunkt des Löschangriffs durch die Feuerwehr.

**Anmerkung 1:** Im Rahmen von Brandsimulationsrechnungen müssen bestimmte Annahmen von der zeitlichen Entwicklung des zu erwartenden Abbrandes getroffen werden. Diese Annahmen betreffen üblicherweise entweder die Abbrandrate, das heißt, die pro Zeiteinheit verbren-

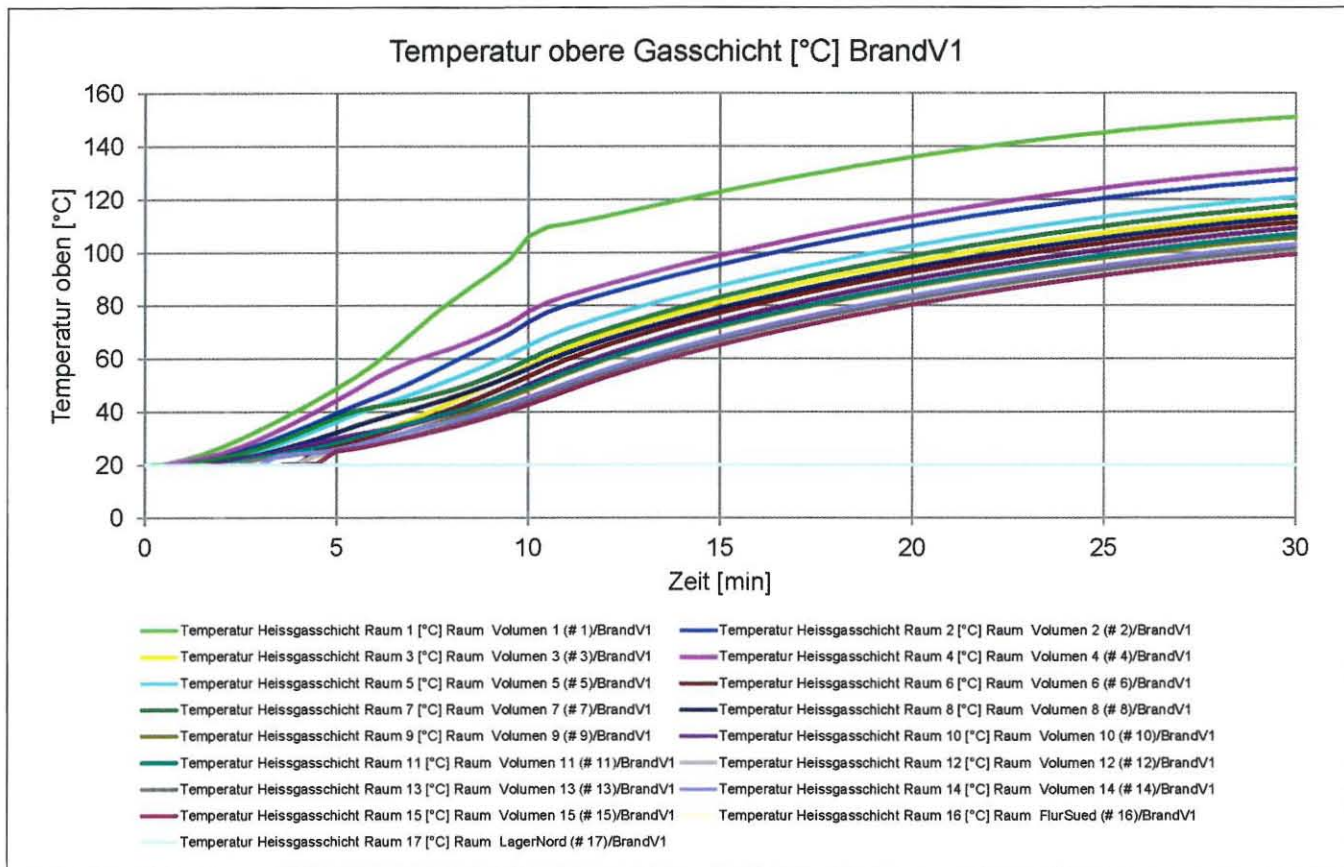


Abb. 13: Temperaturen in der oberen Heißgasschicht des Brandraums [20]

nende Masse brennbarer Stoffe, oder die Energiefreisetzung beziehungsweise die dabei auftretende Brandleistung. Bei Vorgabe der Abbrandraten können auch Aussagen über die Rauchgaszusammensetzung gemacht werden, wenn die Brandgutzusammensetzung bekannt ist. Dazu müssen die einzelnen Stoffe in ihrer Menge und Zusammensetzung bekannt und festzulegen sein.

Einschließlich der Varianten und Voruntersuchungen wurden mehrere Brandsimulationsrechnungen durchgeführt. Für das Bemessungsszenario wurde ein Bemessungsbrand der Bemessungsgruppe 3 nach DIN 18232-2 [21] als Brandszenarium festgelegt, die Brandausbreitungsgeschwindigkeit als *mittel* beurteilt und als Brennstoff Holz unterstellt. Als maßgebliche Brandstellen wurden die Hallenmitte (Volumen 8) sowie der Hallenrand (Volumen 1) angenommen (Abb. 12). Für den rech-

nerischen Nachweis wurden die natürlichen Zuluftöffnungen und Rauchabzüge gemäß den Vorgaben des Gebäudeentwurfs berücksichtigt, die im Ergebnis der Berechnungen zu konkretisieren waren.

Hinsichtlich der Zeit für einen zu erwartenden Löschangriff konnte aufgrund des Vorhandenseins einer leistungsfähigen Berufsfeuerwehr in Jena eine Frist von maximal zehn Minuten angenommen werden.

4.2.4 Ergebnisse der Brandsimulationsrechnung

Einschließlich der Varianten und Voruntersuchungen wurden mehrere Brandsimulationsrechnungen durchgeführt. Die Ergebnisse für die betrachteten Brandszenarien wurden durch den Sachverständigen entsprechend nachvollziehbar für die bauaufsichtliche Prüfung dokumentiert (siehe beispielhaft Abb. 13 und Abb. 14).

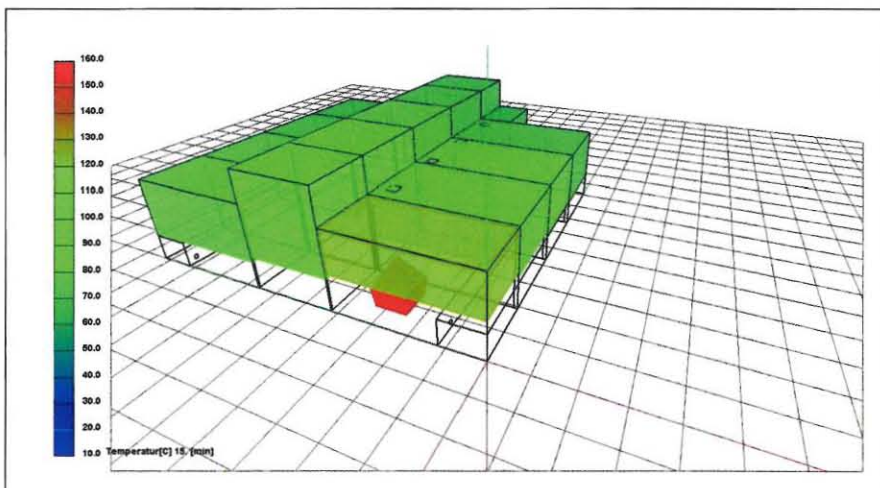


Abb. 14: Darstellung der Temperatur der oberen Gasschicht nach 15 Minuten [20]

Mit der Hilfe dieser Simulation konnte nachgewiesen werden, dass für die Räumung der baulichen Anlage auf den obersten Stellen der Osttribüne in einem Zeitraum von fünf Minuten und auf den Nord- und Südtribünen bis sechs Minuten eine raucharme Schicht mit einer Höhe von mindestens 2,50 Meter angenommen werden kann. Zudem beträgt die mittlere Temperatur in der Heißgasschicht erheblich weniger als 500 Grad Celsius; das trifft auch für die anzunehmenden lokalen Temperaturen in der Höhe des Untergurtes des Dachträgers zu.

Aus den Ergebnissen resultierte, dass alle angesetzten Öffnungen und natürliche Ab- und Zuluftvorrichtungen zu den in der Simulation angegebenen Zeiten zum Öffnen durch die vorgesehene Brandmeldeanlage anzusteuern sind, eine Evakuierung der oberen Tribüne in den angegebenen Zeiten abgeschlossen sein muss und eine dem Sachverhalt entsprechende Brandschutzordnung aufzustellen ist. Aufgrund des hinreichend konservativen Ergebnisses konnten lokale Effekte (argumentativ) weitgehend vernachlässigt werden (Abb. 15). Wegen einer nachträglichen geometrischen Änderung der Raumhöhe für das Gebäude war das Ergebnis im Rahmen einer Ergänzung jedoch erneut zu überprüfen, was positiv durch den Nachweisesteller bestätigt werden konnte.

Die Simulationsrechnung wurde durch die zuständige Bauaufsichtsbehörde in Abstimmung mit der autorisierten Brandschutzdienststelle geprüft und entsprechend bestätigt. Die Ausführungsart des Tragwerks ohne klassifizierten Feuerwiderstand war somit möglich (Abb. 16).

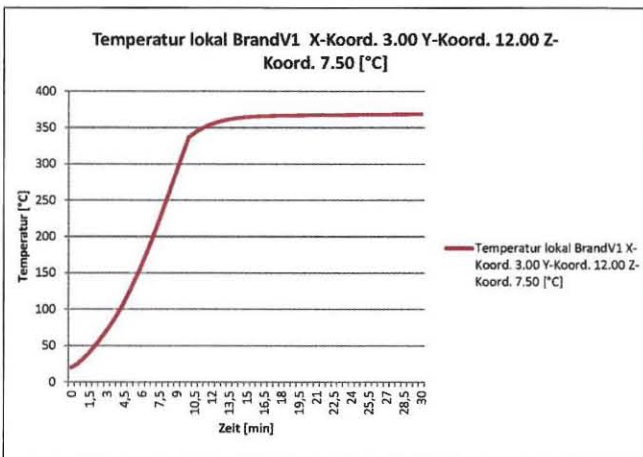


Abb. 15: Lokale Temperatur am Untergurt der Dachkonstruktion



Abb. 16: Dachtragwerk ohne Brandschutzbeschichtung

4.2.5 Räumungsberechnung und verwendetes Programm

Um die Ergebnisse der oben erläuterten Brandgassimulationsberechnung im Zusammenhang mit der zu erwartenden Räumungszeit im Zusammenhang auswerten zu können, wurde eine Evakuierungssimulation mit dem Programm *PedGo* [22] durchgeführt. Die verwendeten Algorithmen basieren auf einem vereinfachten Modell, welches nicht alle Einflüsse der Realität berücksichtigen kann. Im Wesentlichen wird die Realitätsnähe aber durch ein realistisches Fundamentaldiagramm (Abhängigkeit von der Laufgeschwindigkeit gegenüber der Personendichte) erzielt. Psychologische Aspekte, die zum Beispiel die Routenwahl und das Verhalten der Person beeinflussen, sind bisher noch nicht wissenschaftlich fundiert untersucht worden und können nur durch statistische Verhaltensweisen implementiert werden. Da jedoch das Verhalten in der Realität durch den Einfluss von psychologischen Aspekten stark und unvorhersehbar variieren kann, können solche Effekte in der Simulation nicht berücksichtigt werden. Somit stellt eine solche Simulation stets einen idealisierten Fall (*Modellwelt*) dar, bei dem sich die Personen gemäß den Parametern und Routenvorgaben des Benutzers bewegen.

Zur statistischen Analyse des Objekts wurde eine sogenannte Mittelwertrechnung als statistische Analyse durchgeführt und statistisch ausgewertet, die aus 500 Simulationsdurchläufen besteht, da jede reale Räumung immer etwas anders abläuft. Zur Auswertung und Visualisierung von Stauungen wird eine Simulation wiederholt, deren Räumungsdauer länger als 95 Prozent der ermittelten Fälle beträgt. Die Dauer, die mehr als 95 Prozent beinhaltet und damit länger als 95 Prozent der ermittelten Räumungsdauern ist, gilt als 95-Prozent-Fraktilwert und ist als signifikante Größe bestimmend. Neben der Visualisierung werden auch Daten ausgewertet, die einzelne Personen betreffen.

Der zeitliche Ablauf der Räumung inklusive der Bildung und Auflösung von Staus ist anhand der Abbildungen zu erkennen, die in der Dokumentation der Berechnung abgebildet worden sind (Abb. 18 und Abb. 19). Während die Evakuierungskurve angibt, wie viele Personen zur betreffenden Zeit das Gebäude verlassen haben, werden Staus deutlich durch sogenannte Dichteplots dargestellt (Abb. 20), die eine Zusammenfassung des gesamten Räumungsablaufs für den jeweils betrachteten Fall wiedergeben.

4.2.6 Parameter und Akzeptanzkriterien

Der Betreiber der hier betrachteten Arena brachte in einem zeitlichen Abstand von drei Jahren fünf sich wesentlich unterscheidende Szenarien zur Beurteilung vor: (1.) Die Normalnutzung bei einem Bundesliga-Basketballspiel, (2.) Veranstaltungen mit großer Bühne und (3.) mit Sitzplätzen und jeweils mit zwei unterschiedlichen Personenzahlen und (4.) Veranstaltungen mit großer Bühne und (5.) einer Mischung von Steh- und Sitzplätzen, ebenfalls mit unterschiedlichen maximalen Personenzahlen [23]. Während die mit Fall (1.) und Fall (2.) bezeichneten Szenarien ein wesentlicher Bestandteil der Baugenehmigung für die ursprüngliche Errichtung der Arena waren, wurden die Fälle (3.) bis (5.) erst zu einem späteren Zeitpunkt zur Erweiterung der baulichen Anlage betrachtet.

Die Personenzahlen wurden vom Nutzer verbindlich angegeben, sie bildeten die Grundlage für die bauordnungsrechtliche Genehmigung der Arena. Bei der Festlegung der maximalen Personenzahlen wurden auch besondere Plätze für Menschen mit starker Mobilitätseinschränkung (Rollstuhlfahrer) ausgewiesen.

Die Eigenschaften der Personen wurden anhand einer erwarteten statistischen Normalverteilung zugewiesen, die einen durchschnittlichen Bevölkerungsquerschnitt abbilden.

Als grundlegendes Akzeptanzkriterium wurde mit der zuständigen Bauaufsichtsbehörde eine maximal zulässige Gesamtentleerungszeit in Anlehnung an [24] von maximal 15 Minuten vereinbart, wobei die zuständige Brandschutzdienststelle eine Zeit von maximal zehn Minuten anstrebte, damit die innerhalb dieser Zeit anrückenden Hilfskräfte der Feuerwehr nicht durch einen noch im Abbau befindlichen Personenstrom aus dem Gebäude beim ersten Löschangriff behindert werden.

Durch den Sachverständigen wurde zudem eine individuelle Stauzeit von maximal 60 Sekunden als zusätzliches Akzeptanzkriterium in die Bewertung der Ergebnisse eingeführt, um eine ausreichende Personensicherheit bestätigen zu können.

**Anmerkung 2:** Bei einer Bemessung der ausreichenden Breite von Rettungswegen nach der geltenden MVStättVO erfolgt grundsätzlich keine Bewertung der Stauungen.

#### 4.2.7 Darstellung und Bewertung der Ergebnisse

Die Simulationen für die benannten fünf erfassten Szenarien sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Beim Vergleich von beiden Szenarien ist festzustellen, dass es sich beim Fall (4.) um den ungünstigsten Fall (*worst case*) handelt. Nach Auswertung der Ergebnisse im Fall (4.) war festgestellt worden, dass

eine Erhöhung der Personen in dem Gebäude von 3000 auf maximal 3560 Personen bei Rockkonzerten mit Sperrung der drei Rettungswege in östlicher Richtung hinter der Bühne nicht möglich ist. Aus diesem Grund wurde der Fall (4.) in Varianten (4. a und 4. b) erneut untersucht und dabei angenommen, dass mindestens ein (im Fall 4. a) beziehungsweise zwei (im Fall 4. b) der gesperrten Rettungswege in östlicher Richtung rechts und links neben der Bühne benutzt werden können (Abb. 17).

#### 4.2.8 Bewertung der Ergebnisse

Während die Detektionszeit vernachlässigt werden konnte, weil eine automatische Brandmeldeanlage vorgesehen war, wurde die Alarmierungszeit (Zeit von der Brandentdeckung bis Warnung der Personen) zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung wegen des Vorhandenseins einer automatischen Sprachdurchsage auf der Grundlage von [24] (mangels einer damals vorliegenden Normung) mit maximal zwei Minuten angenommen. Diese Zeit war zur berechneten Gehzeit hinzuzurechnen.

**Anmerkung 3:** Entsprechende Regelungen enthält nunmehr DIN 18009-2:2022-08.

Somit ergab sich, dass eine Überschreitung der vereinbarten Akzeptanzkriterien mit Ausnahme des Falls (4.) nicht zu attestieren war.

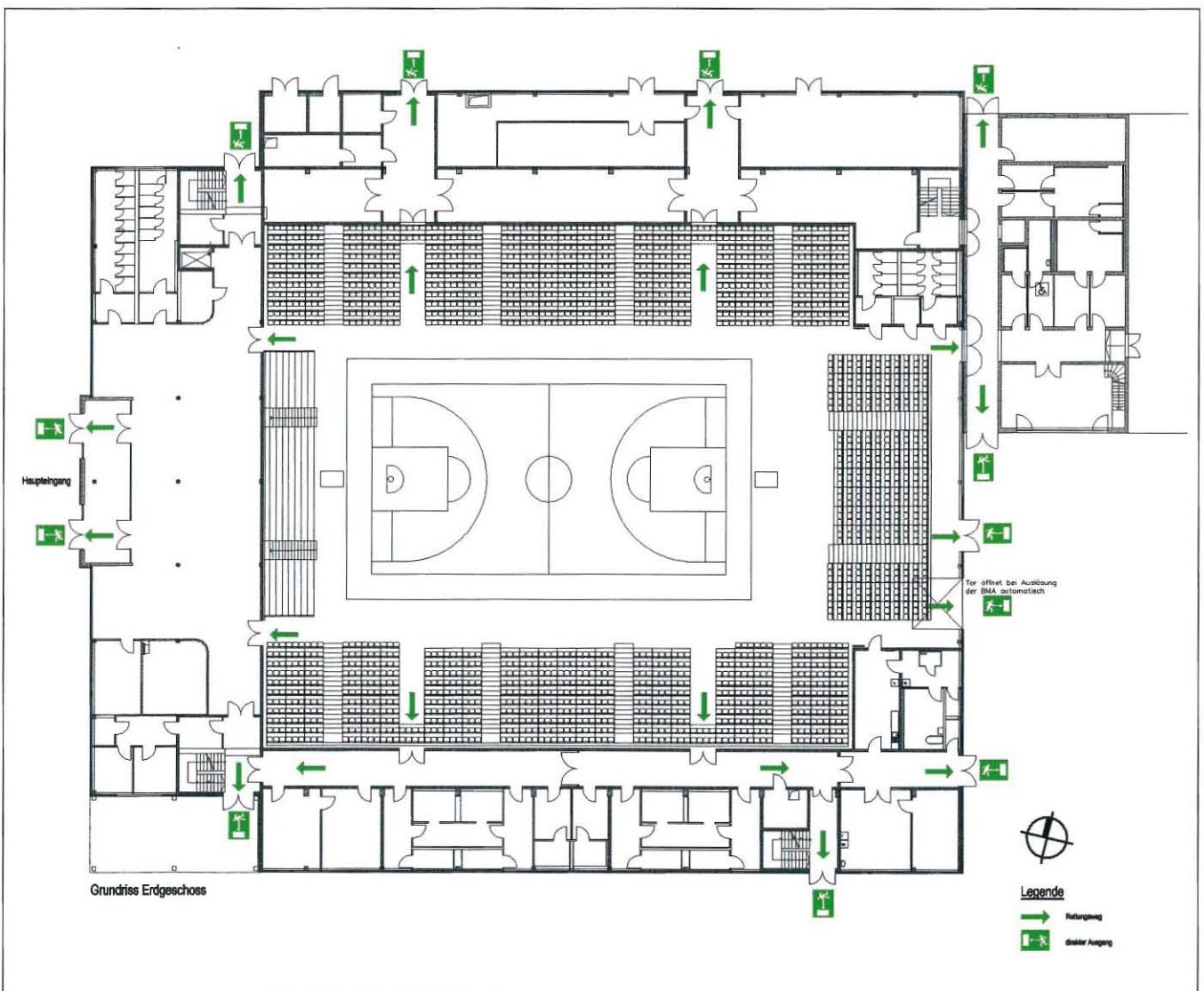


Abb. 17: Rettungswegsituation im Erdgeschoss [23]

Fall	(1.)	(2.)	(3.)	(4.)	(4. a)	(4. b)	(5.)
Personenzahl gesamt:	3.000	3.000	3.274	3.560	3.560	3.560	2.785
Mittelwert [min:s]:	4:54	5:20	6:26	9:55	8:28	7:13	7:46
Standardabweichung [min:s]:	0:09	0:10	0:14	0:22	0:15	0:20	0:21
95% Fraktilwert [min:s]:	5:11	5:35	6:50	10:33	8:55	7:45	8:23
Zeit, in der alle Personen die Tribünen verlassen haben (detaillierte Auswertung des 95%-Fraktilwertes) [min:s]:	3:45	4:00	5:15	6:45	4:45	4:30	5:00
signifikante Stauzeit (detaillierte Auswertung des 95%-Fraktilwertes) [min:s]:	0:31	0:33	0:41	0:63	0:53	0:46	0:50

Tab. 1: Gegenüberstellung der Ergebnisse für die einzelnen Szenarien

Die Rettungswege sind in ausreichender Anzahl und Größe für die geplante Erhöhung der Personenzahlen vorhanden. Durch die natürlichen Maßnahmen zur Rauchableitung und Luftzuführung ist eine rauchfreie Schicht von 2,50 Meter für etwa fünf Minuten im oberen Tribünenbereich gewährleistet (siehe die Rauchsimulationsberechnung in [20]). Alle Tribünen und die Empore sind in den obersten Rei-

hen bis zu dieser Zeit entleert, die geringfügige Überschreitung im Fall (3.) war aus Sachverständigensicht nach der Detailauswertung der Ergebnisse als unkritisch zu beurteilen. Deswegen konnte bei Einhaltung der im Sachverständigengutachten aufgeführten Mindestanforderungen, der Anforderungen des gebäudespezifischen Brandschutzkonzeptes und des Sachverständigengutachtens über die Rauchsimu-

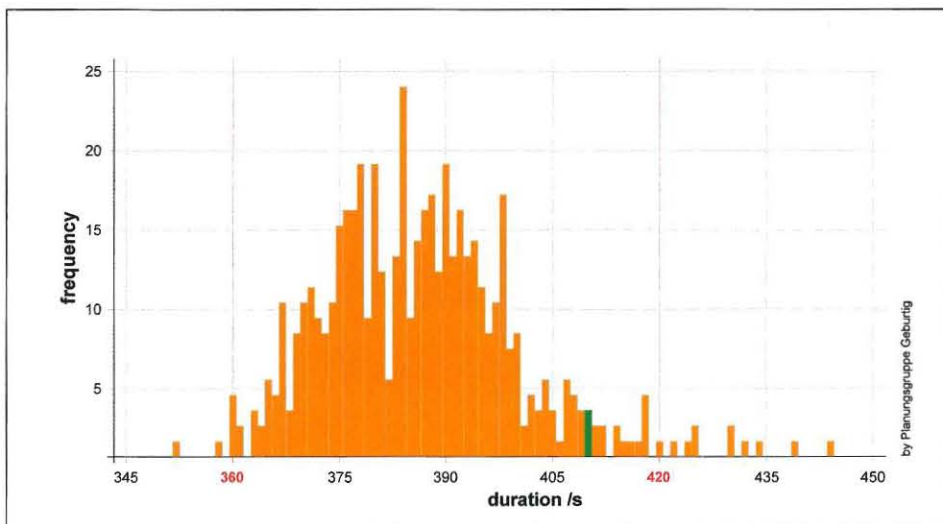


Abb. 18: Häufigkeitsverteilung der Simulationsdurchläufe für den Fall (3.) mit 95-Prozent-Fraktilwert [23]

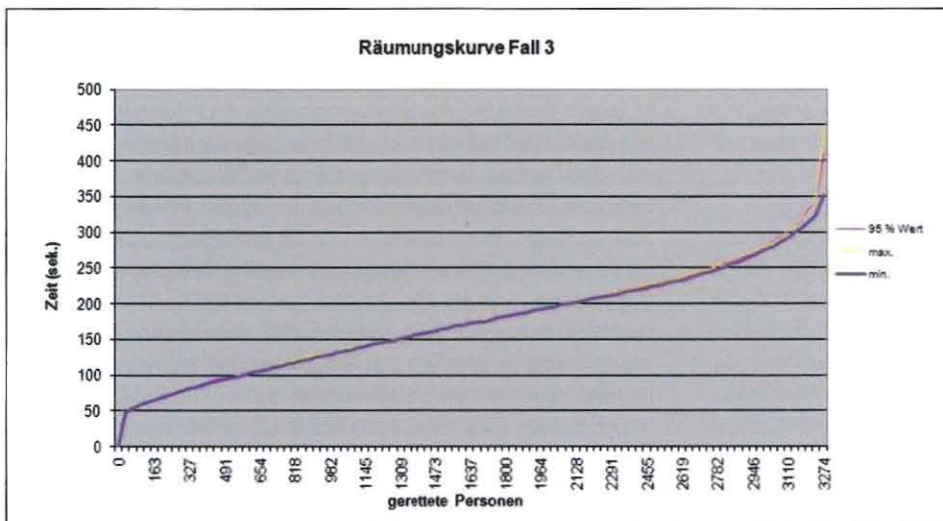


Abb. 19: Evakuierungskurve für den Fall (3.) [23]

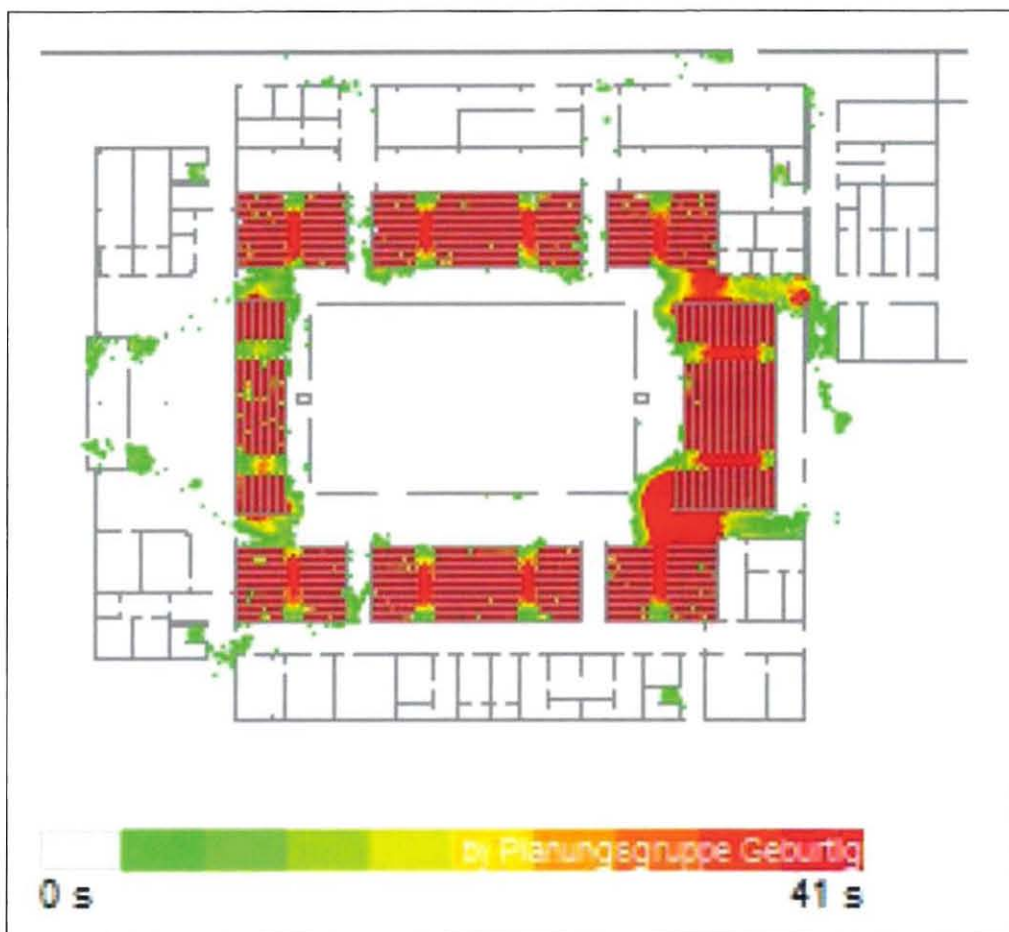


Abb. 20: Dichteplot für das Erdgeschoss beim Fall (3.) [23]

lation den in Frage stehenden Nutzungsszenarien abschließend zugestimmt werden.

Die bei den Räumungssimulationen angenommenen Randbedingungen beziehungsweise die maximalen Personenzahlen sind während des Betriebes der Arena einzuhalten. Durch organisatorischen Brandschutz ist sicherzustellen, dass die Rettungswege während des Betriebes nicht ausfallen und diese in voller Breite freizuhalten sind.

## 5 Fazit und Ausblick

Mit der Anwendung von Brandschutzingenieurmethoden wird das Führen individueller deskriptiver Brandschutznachweise abseits der präskriptiven Planungsangebote der Musterbauordnung oder der Muster-Sonderbauverordnungen beziehungsweise -richtlinien erheblich gestärkt. Die bauaufsichtliche Akzeptanz dieser ingenieurgemäßen Nachweise zur Ermittlung einer ausreichenden Brandsicherheit wird durch die konsequente Anwendung der DIN 18009 zudem verbessert.

Ausgehend von der individuellen oder bauordnungsrechtlichen Identifizierung der gebäudekonkreten Schutzinteressen sowie den realistischen Brandgefahren können, sowohl bei der konzeptionellen Brandschutzplanung eines Neubaus als auch bei der Überprüfung bestehender Situationen eines Gebäudebestandes oder eines Baudenkmals, anhand der zu bewertenden funktionalen Subsysteme die Wechselwirkungen zwischen den brandschutztechnischen Komponenten ausreichend konservativ und damit genügend sicher ermittelt werden. Der Auswahl relevanter Szenarien, der Bestimmung der für den jeweiligen Einzelfall geeigneten Ingenieurmethoden und der Festlegung ausrei-

chender Akzeptanzkriterien kommt eine besondere Bedeutung zu. Damit ergibt sich ein ganzheitliches brandschutztechnisches Sicherheitskonzept, dessen Nachweis mit Hilfe der Anwendung von Methoden des Brandschutzingenieurwesens, anstelle des Nachweises einzelner Bauteile als Abgleich zur Bauordnung oder zu gültigen Sonderbauvorschriften, möglich ist. Es stehen dafür auf der einen Seite die argumentative, ingenieurgemäße und auf der anderen Seite die leistungsbezogene Nachweisführung zur Verfügung.

An zwei Beispielen wurden sowohl die Anwendung einer argumentativ-ingenieurgemäßen Nachweisführung als auch einer leistungsbezogenen dargestellt. Dabei wurde zum einen unter Zuhilfenahme des *engineering judgements* und zum anderen mittels einer Brand- und einer Räumungssimulation die jeweils ausreichende Sicherheit der betreffenden Gebäude trotz erheblicher Abweichungen von den bauordnungsrechtlichen Regelvorgaben nachgewiesen.

Es konnte zugleich aufgezeigt werden, dass die ingenieurgemäße Arbeitsweise beim Brandschutz eine frühzeitige interdisziplinäre Zusammenarbeit mit der Tragwerksplanung erfordert, um die zutreffenden Bemessungsszenarien zu bestimmen, die Ergebnisse von Simulationen zur Rauch- und Wärmeausbreitung in Räumen oder baulichen Anlagen für die weitere Berücksichtigung bei der statischen Bemessung einfließen zu lassen, oder um den Einfluss einer ermittelten Räumungsdauer beurteilen zu können. Es ist damit möglich, abweichende Tatbestände von geltenden Vorschriften und Technischen Baubestimmungen zu begründen (Nachweis der Gleichwertigkeit gemäß Paragraf 85 a der Musterbauordnung (MBO), das ausreichende Sicherheitsniveau alternativ nachzuweisen und auch aus ökologischer Sicht bei bestehenden Bauwerken überflüssige Nachrüstungen zu vermeiden. Das rechtzeitige Einbeziehen der Brandschutz-Ingenieurmethoden in die Tragwerkspla-

nung ermöglicht somit, neben individuellen Entwürfen abseits der bestehenden Regelanforderungen des Bauordnungsrechts, ein ressourcensparendes Bauen.

Sowohl bei der Erarbeitung der ersten beiden Normteile von DIN 18009 als auch bei den momentan laufenden Normungsarbeiten an den Teilen 3 und 4 stellte sich ein Forschungsbedarf hinsichtlich des notwendigen Überprüfens der zumeist auf empirische Art und Weise bestimmten Akzeptanzkriterien des Bauordnungsrechts heraus, welche in der Musterbauordnung beziehungsweise in den Sonderbauverordnungen ent-

halten sind und das bauordnungsrechtliche Standardkonzept als Planungsangebot für Standardgebäude prägen. Beispielsweise sind weder in der Muster-Schulbauordnung noch in der Muster-Versammlungsstättenverordnung konkrete, belastbare numerische Grenzen enthalten.

Abschließend sei angemerkt, dass im Einzelfall auch ein scheinbar schlechtes Ergebnis ein wichtiges ist, denn es besteht dann Klarheit darüber, was gegebenenfalls nicht zur Ausführung gelangen darf, weil keine genügende Sicherheit prognostiziert werden kann.

## 6 Literatur

- [1] Musterbauordnung (MBO) vom November 2002, zuletzt geändert durch Beschluss der Bauministerkonferenz vom 25.09.2020
- [2] Oberverwaltungsgericht für das Land Mecklenburg Vorpommern, 3. Senat: Beschluss vom 12.09.2008, Az.: 3 L 18/02
- [3] Heilmann, S.: *Entwicklung des Brandschutzes in Deutschland vom Späten Mittelalter bis zur Moderne (13. bis 20. Jahrhundert); an der Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) vorgelegte Dissertation; Dresden 2015*
- [4] Bundesgerichtshof: Beschluss vom 10.02.2011, Az.: VII ZR 156/08 (siehe auch OLG Frankfurt, Urteil vom 02.07.2008, Az.: 1 U 28/07)
- [5] DIN 18009-1:2016-09 – Brandschutzingenieurwesen, Teil 1: Grundsätze und Regeln für die Anwendung, September 2016
- [6] Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes (vfdB): *Technischer Bericht, Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes; vfdB TB 0401, Braunschweig November 2013*
- [7] BS 79841 *Stand Keyholding and response services; General recommendations for keyholding and response services, 2016*
- [8] Wiese, J.: *Weichenstellung für das Brandschutzingenieurwesen, Teil 2, in: Feuertrutz 3.2017, Köln Mai 2017, S. 38–41*
- [9] DIN 18009-2:2022-08 – Brandschutzingenieurwesen, Teil 2: Räumungssimulation und Personensicherheit
- [10] DIN 4102-2:1977-09 – Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen, Teil 2: Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen
- [11] Brinkmann, U.: *Goethe-Theater Bad Lauchstädt, in: Bauwelt Ein Blick - Zwei Theater; Berlin 2022, S. 4–9*
- [12] Landesarchiv Sachsen-Anhalt: *Lith.K. Nr. 36*
- [13] *Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (Muster-Versammlungsstättenverordnung, MVStättVO) vom Juni 2005, zuletzt geändert durch Beschluss der Fachkommission Bauaufsicht der ARGEBAU vom Juli 2014*
- [14] *Bauordnung des Landes Sachsen-Anhalt (BauO LSA) in der Neufassung vom 19.09.2013, zuletzt geändert am 18.11.2020*
- [15] *Planungsgruppe Geburtig: Brandschutztechnische Vorplanung für das Goethe-Theater Bad Lauchstädt; Weimar 11.05.2015, unveröffentlicht*
- [16] *Ingenieurbüro für Brandschutz von Bauarten IBB GmbH: Gutachterliche Stellungnahme zu brandschutztechnischen Ertüchtigungsmaßnahmen der Doppelsparren-Bohlenbinder mit Conlit-Steelprotect Board-Mineralfaserplatten in Anlehnung an das allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnis P-SAC-02 III-664 der MFPA Leipzig sowie der vorhandenen beziehungsweise neu anzuordnenden Stahlzugbänder aus Flachstahl im Drempelbereich der Dachkonstruktion des Zuschauersaals mit einer reaktiven Brandschutzbeschichtung im Hinblick auf eine Mindestfeuerwiderstandsdauer von 25 Minuten; Groß Schwülper 09.10.2017, unveröffentlicht*
- [17] *Ingenieurbüro für Brandschutz von Bauarten IBB GmbH: Ergänzende gutachterliche Stellungnahme zum Schreiben 328/20217 der IBB GmbH vom 09.10.2017 bezüglich brandschutztechnischer Ertüchtigungsmaßnahmen der Doppelsparren-Bohlenbinder mit Conlit-Steelprotect Board-Mineralfaserplatten in Anlehnung an das allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnis P-SA-CO2 III-664 der MFPA Leipzig sowie der vorhandenen bzw. neu anzuordnenden Stahlzugbänder aus Flachstahl im Drempelbereich der Dachkonstruktion des Zuschauersaals mit einer reaktiven Brandschutzbeschichtung im Hinblick auf eine Mindestfeuerwiderstandsdauer von 25 Minuten; hier brandschutztechnische Beschichtungsmaßnahmen im Bereich der außenliegenden Stahl-Holzverbindungen mit der reaktiven Brandschutzbeschichtung HENSOTHERM 310 KS in Anlehnung an die ETA 11/0456 oder gleichwertig; Groß Schwülper 09.02.2021, unveröffentlicht*
- [18] *Planungsgruppe Geburtig: Brandschutzkonzept für das Goethe-Theater in Bad Lauchstädt; Weimar 17.11.2022, unveröffentlicht*
- [19] *Thüringer Bauordnung (ThürBO) vom 13. März 2014, zuletzt geändert am 29. Juli 2022*
- [20] *Planungsgruppe Geburtig: Sachverständigengutachten zur Rauchs simulationsberechnung und 1. Ergänzung für den Neubau der Basketball-Solararena in Jena; Weimar 18.12.2012/ 20.04.2013, unveröffentlicht*
- [21] *DIN 18232-2:2007-11 – Rauch und Wärmefreihaltung, Teil 2: Natürliche Rauchabzugsanlagen (NRA); Bemessung, Anforderungen und Einbau*
- [22] *Pedgo: Software zur Simulation von Personenströmen in Gebäuden oder Fahrzeugen; <https://www.traffgoht.com/de/pedestrians/products/pedgo/index.html>; 26.03.2023, 19:45 Uhr*
- [23] *Planungsgruppe Geburtig: Sachverständigengutachten zur Beurteilung der Rettungswegesituation (Räumungsberechnung mit Simulationssoftware) für den Neubau der Basketball-Solararena in Jena und 1. Ergänzung zum Sachverständigengutachten vom 03.07.2013 zur Beurteilung der Rettungswegesituation (Räumungsberechnung mit Simulationssoftware) für den Neubau eines Verbindungsbaus an der Basketball-Solararena; Weimar 03.07.2013/06.12.2016, unveröffentlicht*
- [24] *Mehl, F.: Bautechnische Nachweise zum Brandschutz nach Bauordnungsrecht der Länder; in: Bauphysik Kalender; Berlin 2006, S. 13–35*