

Rekonstruktion von Großbränden mit numerischer Brandsimulation – Bootshallenbrand in De Punt

Am 9. Mai 2008 ereignete sich in dem niederländischen Ort De Punt ein Großbrand in einer Bootshalle, bei dem drei Feuerwehrleute ums Leben kamen. Der Brand entwickelte sich nach dem Eintreffen der Feuerwehr so rasant, dass diese das ebenerdige Gebäude nicht mehr verlassen konnten.

Die Ursache und der Verlauf des Brandes wurden von verschiedenen Stellen untersucht, die übereinstimmend einen als Kfz-Werkstatt genutzten Raum im hinteren Bereich der Bootshalle als Ort der Brandentstehung identifizierten (Bild 1). Hinsichtlich der weiteren Brandentwicklung herrschten dagegen unterschiedliche Meinungen. Einerseits wurde die Auffassung vertreten, dass die plötzliche Brandausbreitung auf die im Hallendach eingebauten Sandwichelemente zurückzuführen sei. Bereits in einer relativ frühen Brandphase habe das Schaumstoff-Kernmaterial große Mengen an Pyrolysegasen freigesetzt, die sich unter dem Dach sammelten und schließlich zündeten. Da der Werkstattraum durch eine Türöffnung mit der Halle verbunden war, wurde andererseits vermutet, dass die am Brandentstehungsort vorhandene Brandlast die primäre Ursache gewesen sei. Insbesondere befand sich dort an den Wänden und unter der Decke eine Sprühschaumdämmung, die (entgegen der üblichen Konstruktionsweise) raumseitig nicht bekleidet und damit thermisch direkt exponiert war.

Vor diesem Hintergrund erfolgte durch die Verfasser dieses Beitrages eine Analyse des Brandverlaufs auf der Basis von numerischen Brandsimulationen. Hierzu wurde die CFD-Software (Computational Fluid Dynamics) Fire Dynamics Simulator (FDS, Version 5) vom National Institute of Standards and Technology (USA) verwendet, die speziell zur Simulation brandbedingter Wärme- und Stofftransportprozesse entwickelt wurde. Mit FDS können zahlreiche, das Brandgeschehen charakterisierende Größen zeit- und ortsabhängig berechnet werden, z. B. Gas-temperaturen und -geschwindigkeiten, Feststofftemperaturen und -pyrolyseraten, Flammenvolumina und Rauch-

gaskomponentenkonzentrationen. Eine detaillierte Beschreibung der Software findet sich in [1] und [2].

Analysierte Brandszenarien

Aus den offiziellen Untersuchungsberichten geht hervor, dass der Brand um ca. 14.08 Uhr von einem Betriebsangehörigen entdeckt wurde, der eine größere Flammenentwicklung an einem Sicherungsschrank in der Kfz-Werkstatt feststellte. Es gelang ihm zu diesem Zeitpunkt nicht mehr, den Brand mit einem Handfeuerlöscher zu löschen. Die ersten Feuerwehrleute trafen um 14.18 Uhr ein, drei von ihnen betraten kurz darauf das Gebäude. Zu der plötzlichen Brandausbreitung in der Halle kam es um ca. 14.20 Uhr. Der Zeitraum zwischen der frühen Brandentwicklungsphase und diesem Ereignis betrug demnach etwa 12 Minuten.

Die Simulationsrechnungen erfolgten mit dem in Bild 1 dargestellten Modell der Bootshalle. Für die einzelnen Hallenkomponenten wurden thermische und brandtechnologische Materialkennwerte (spezifische Wärmekapazität, Zündtemperatur, Wärmefreisetzungsrate u. a.) auf der Basis eigener Versuchsergebnisse und durch ergänzende Literaturrecherchen ermittelt. Die Sprühschaumdämmung und die Holzdecke im Werkstattbereich sowie die Sandwichelemente im Hallendach (nur beim Szenario 3, s. u.) wurden hierbei als brennbar und alle übrigen Bauteile als nichtbrennbar angenommen.

Der Entstehungsbrand in der Kfz-Werkstatt wurde durch eine 0,5 m × 0,5 m große Brandfläche auf der Oberseite des Sicherungsschranks mit einer Wärmefreisetzungsrate von 100 kW modelliert. Entsprechend der Zeugenaussage dürfte dies zumindest näherungsweise dem Entwicklungsstadium des Brandes zum Zeitpunkt der Entdeckung entsprechen.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass speziell im Werkstattbereich neben der Sprühschaumdämmung und der Holz-

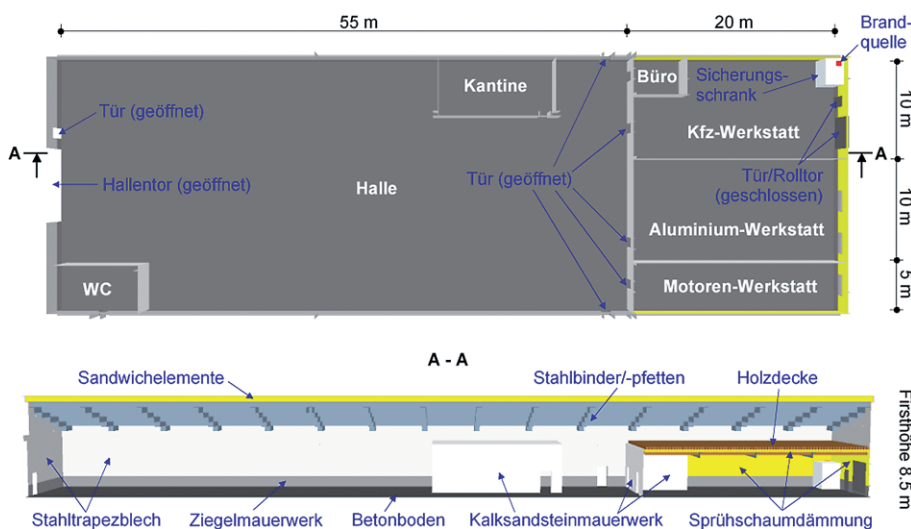


Bild 1. FDS-Modell der Bootshalle

decke noch weitere brennbare Produkte/Objekte vorhanden waren, die sich am Brandgeschehen beteiligten. Da sich dies aber konkret nicht mehr feststellen ließ, wurden drei verschiedene Szenarien unter folgenden Annahmen simuliert:

Szenario 1

Die brennbaren Oberflächen im Werkstattbereich (Sprühschaumdämmung und Holzdecke) erzeugen nach erfolgreicher Zündung große Wärmefreisetzung- bzw. Pyrolyseraten. Die Sandwichelemente im Hallendach brennen bzw. pyrolysieren nicht.

Szenario 2

Werkstattbereich: Die brennbaren Oberflächen erzeugen im Vergleich zum Szenario 1 nur halb so große Wärmefreisetzung- bzw. Pyrolyseraten. Hallendach: wie Szenario 1.

Szenario 3

Werkstattbereich: wie Szenario 2. Hallendach: Die Sandwichelemente beteiligen sich am Brandgeschehen nach Erreichen einer „Versagenstemperatur“. Da Informationen bezüglich des Delaminierungsverhaltens (Ablösung des Stahldeckbleches vom Schaumstoffkern) dieser Elemente nicht verfügbar waren, wurde in der Simulation konservativ eine „Versagenstemperatur“ von 280°C angenommen. Wenn die Stahlblechoberfläche diese Temperatur erreicht, wird davon ausgegangen, dass der Schaumstoffkern aufgrund von Delaminierungseffekten zu brennen bzw. zu pyrolysieren beginnt. Die Zündtemperaturen der Schaumstoffprodukte, die für Sandwichelemente üblicherweise verwendet werden, liegen i. d. R. oberhalb von 280°C.

In Tabelle 1 sind die Wärmefreisetzungsraten aufgeführt, die für die betrachteten Szenarien jeweils vorgegeben wurden. FDS verfügt über ein Gasphasen-Verbrennungsmodell, das die Umsetzung von Pyrolysegasen in die

Verbrennungsprodukte CO₂, H₂O, CO usw. sowie die dabei freigesetzte Wärme lokal berechnet. Auf der Basis der vorgegebenen Wärmefreisetzungsraten und der außerdem zu spezifizierenden chemischen Zusammensetzung des Brennstoffs berechnet FDS zunächst die Rate, mit welcher der betreffende Feststoff nach Erreichen der Zündtemperatur in Pyrolysegase umgewandelt wird. Der Ort der Verbrennung der Pyrolysegase und damit der Wärmefreisetzung hängt von den lokalen Bedingungen in der Gasphase ab, denn in dem Modell ist nur oberhalb einer kritischen, von der Gastemperatur abhängigen Sauerstoffkonzentration eine Verbrennung möglich. Unter schlechten Ventilationsbedingungen erzeugte Pyrolysegase verbrennen demnach erst dort (vollständig), wo ausreichend hohe Sauerstoffkonzentrationen vorhanden sind.

Simulationsergebnisse

In der Simulation führt der Primärbrand in der Kfz-Werkstatt (100-kW-Brandquelle auf dem Sicherungsschrank) bei allen drei Szenarien innerhalb von 30 Sekunden zur Zündung der Sprühschaumdämmung im Bereich der angrenzenden Wandecke. Die Flammen breiten sich daraufhin über die Deckenunterseite aus. In der Folge entwickelt sich der Brand in den analysierten Szenarien qualitativ identisch, aber mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten (Tab. 2). Bilder 2 bis 5 visualisieren den Brandverlauf exemplarisch für das Szenario 3.

Auf der Basis der Simulationsergebnisse lässt sich das Brandgeschehen grundsätzlich wie folgt rekonstruieren. Die Kfz-Werkstatt besaß außer der zur Halle geöffneten Tür keine weiteren Raumöffnungen (das Rolltor und die Tür an der Hallenrückwand waren geschlossen). Der sich schnell entwickelnde Brand der Sprühschaumdämmung verursachte dort innerhalb kurzer Zeit eine deutliche Abnahme der Sauerstoffkonzentration. Unter diesen Bedingungen wurden große Mengen an Pyrolysegasen freigesetzt, die zu-

Tabelle 1: Flächenspezifische Wärmefreisetzungsraten der als brennbar angenommenen Hallenkomponenten

Bauteil	Wärmefreisetzungsraten (kW/m ²)		
	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Sprühschaumdämmung im Werkstattbereich	1000	500	500
Holzdecke im Werkstattbereich	250	125	125
Sandwichelemente im Hallendach	0	0	100

Tabelle 2: Zeitliche Entwicklung des simulierten Hallenbrandes

Ereignis	Dauer bis zum Ereignisbeginn (s)		
	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Zündung der Sprühschaumdämmung an der Deckenunterseite in der Kfz-Werkstatt	40	40	40
Flammenentwicklung an der Türöffnung der Kfz-Werkstatt zur Halle	60	80	80
Zündung der Holzdecke über der Kfz-Werkstatt (hallenseitig)	90	130	130
Zündung der Sandwichelemente	-	-	300
Durchbrand der Holzdecke über der Kfz-Werkstatt	350	640	640
schnelle Brandausbreitung in der Halle	320	740	640
Flammen treten durch das geöffnete Hallentor nach außen	350	770	670

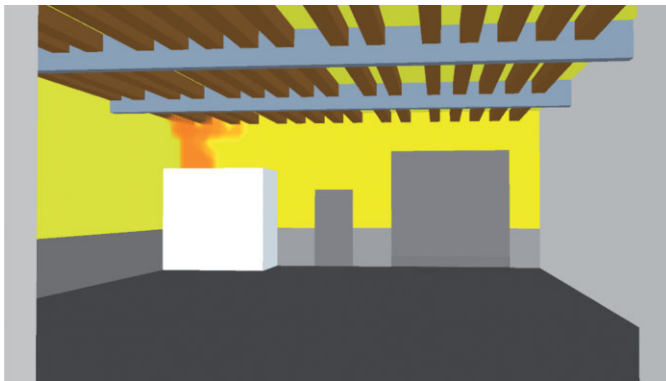


Bild 2. Flammentwicklung in der Kfz-Werkstatt nach $t = 40$ s (Szenario 3)

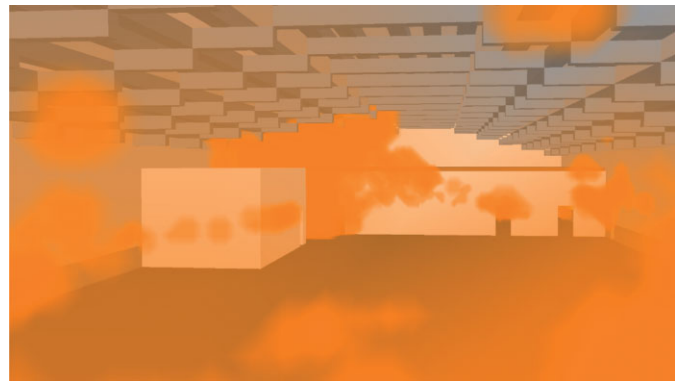


Bild 4. Flammentwicklung in der Halle nach $t = 670$ s (Szenario 3)

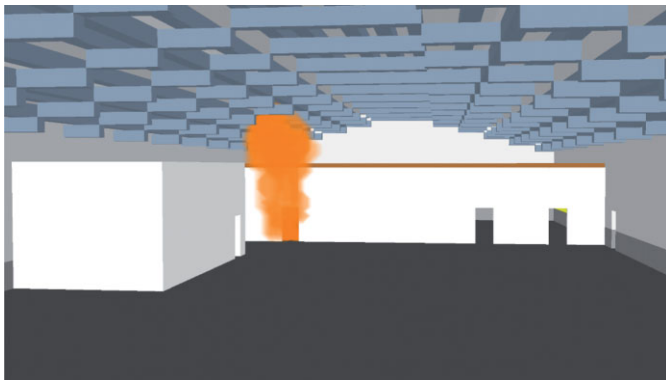


Bild 3. Flammentwicklung in der Halle nach $t = 110$ s (Szenario 3)

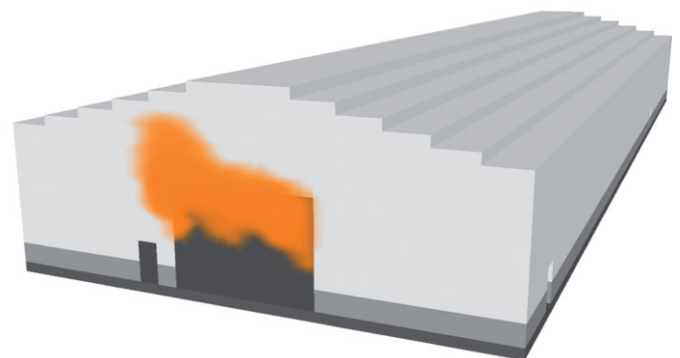


Bild 5. Flammentwicklung im Hallenaußenbereich nach $t = 720$ s (Szenario 3)

nächst (zumindest teilweise) in der Halle verbrannt. Im weiteren Verlauf entwickelte sich auch unter der Hallendecke eine zunehmend sauerstoffreduzierte Brandatmosphäre, deren Temperatur kontinuierlich anstieg. Nachdem die Heißgasschicht bis auf die Höhe des Hallentores abgesunken war, kam es infolge des Ausströmens der Heißgase zu einem Zustrom von (sauerstoffreicher) Umgebungsluft in das Gebäude. Die Vermischung von Sauerstoff und (heißen) Pyrolysegasen, maßgeblich verursacht durch Turbulenzen an der Grenzschicht zwischen beiden Gasströmungen, führte dann zu der als rasant beschriebenen Brandausbreitung in der Halle. Dieses Phänomen wird gelegentlich als Rauchgasdurchzündung oder (weniger zutreffend) als Rauchgasexplosion bezeichnet.

Der Zeitraum bis zum Eintritt dieses Ereignisses variiert bei den untersuchten Szenarien zwischen ca. 5,5 Minuten (Szenario 1, große Pyrolyseraten in der Kfz-Werk-

statt) und ca. 12,5 Minuten (Szenario 2, Pyrolyseraten um 50 % reduziert). Im Szenario 3, in welchem der Einfluss der im Hallendach eingebauten Sandwichelemente analysiert wurde, entwickelt sich der Brand zunächst analog zum Szenario 2 (das Verhalten der Werkstattkomponenten wurde mit identischen Eingabeparametern modelliert). Nach ungefähr 5 Minuten erreichen die Sandwichelemente im Dachbereich oberhalb der Kfz-Werkstatttür ihre angenommene „Versagenstemperatur“ von 280°C und beginnen auf einer allmählich größer werdenden Fläche zu pyrolysieren. Die schnelle Brandausbreitung in der Halle setzt hierdurch bereits nach ca. 10,5 Minuten ein, ca. 2 Minuten früher als im Szenario 2. Auf der Basis der berechneten Oberflächentemperaturen ist davon auszugehen, dass sich bis zu diesem Zeitpunkt ein nur relativ kleiner Anteil der Sandwichelemente an dem Brand beteiligte (Bild 6).

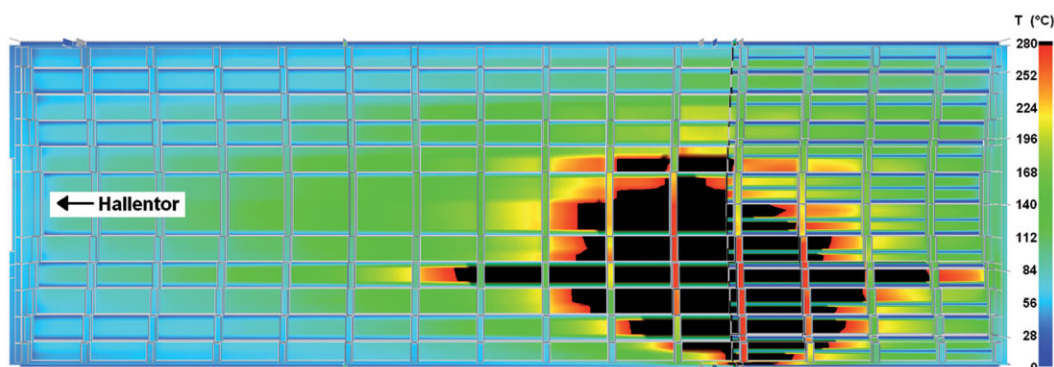


Bild 6. Oberflächentemperaturen der Sandwichelemente nach $t = 640$ s (Szenario 3, Dachansicht von unten, der Bereich mit Temperaturen $\geq 280^{\circ}\text{C}$ ist schwarz dargestellt) (Grafiken: Autoren)

Zusammenfassung

Die CFD-Simulationen prognostizieren eine Brandentwicklung in der Bootshalle, die mit den dokumentierten Beobachtungen gut übereinstimmt. Zwar lässt sich der zeitliche Verlauf aufgrund der lückenhaften Datenlage nur näherungsweise rekonstruieren. Die Simulationsergebnisse legen jedoch den Schluss nahe, dass die plötzliche Brandausbreitung in der Halle, die zum Tod von drei Feuerwehrleuten führte, maßgeblich verursacht wurde durch die Pyrolyse der am Brandentstehungsort vorhandenen Brandlast. Für die Hallendecke wurde ein vergleichsweise geringes thermisches Beanspruchungsniveau festgestellt, so dass die Sandwichelemente – entgegen einer ursprünglich vertretenen Auffassung – hierbei eine nur untergeordnete Rolle gespielt haben dürften.

Die vorgestellten Untersuchungsergebnisse verdeutlichen, dass moderne Brandsimulationsmethoden einen wertvollen Beitrag bei der Rekonstruktion von Brandfällen leisten können. Auch wenn solche Analysen grundsätzlich auf mehr oder weniger abgesicherten Annahmen basieren, können die primären Brandentstehungs- und -ausbreitungsmechanismen hiermit nachträglich erklärbar gemacht werden. Die Erkenntnisse aus dem Bootshallenbrand in De Punt führten dazu, dass in den Niederlanden neue Lehrinhalte und Einsatztaktiken für die Feuerwehr entwickelt wurden.

Literatur

- [1] McGrattan, K.; McDermott, R.; Hostikka, S.; Floyd, J.: Fire Dynamics Simulator (Version 5), User's Guide, NIST Special Publication 1019-5, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, 2010.
- [2] McGrattan, K. et al.: Fire Dynamics Simulator (Version 5), Technical Reference Guide, NIST Special Publication 1018-5, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, 2010.

Weitere Informationen:

Dr.-Ing. Björn Bansemer,
 IBW Institut für Brandtechnologie GmbH,
 Kaiser-Wilhelm-Allee, Gebäude B 411, 51373 Leverkusen,
 Tel. (0214) 304 34 46, Fax (0214) 303 11 35,
 bansemer@brandtechnologie.de,
 www.brandtechnologie.de

Dipl.-Ing. Michael Grünewald,
 Bergische Universität Wuppertal,
 Fachgebiet Brand- und Explosionsschutz

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Friedrich-Wilhelm Wittbecker,
 Bergische Universität Wuppertal,
 Fachgebiet Brand- und Explosionsschutz