

Hybride Bauweisen – Detailausführungen Brandschutz

Dr. Dirk Kruse
Fraunhofer-Institut für Holzforschung
Wilhelm-Klauditz-Institut
DE-Braunschweig



Hybride Bauweisen - Detailausführungen Brandschutz

1. Einleitung

Hybride Bauweisen zeichnen sich durch eine Kombination verschiedenster Baustoffe aus. Jeder Baustoff bringt dabei seine spezifischen Vorteile ein, so dass besonders effiziente Bauteile entstehen. Ein besonders interessantes Beispiel für eine Hybridbauweise ist der Neubau der SMA Solar Technology AG an der A7 bei Kassel. Gemäß dem Leitbild des Unternehmens wurde ein nachhaltiger Umgang mit der Umwelt und den Ressourcen bei der Planung des Gebäudes angestrebt und letztendlich auch umgesetzt.

Die Hauptziele bei der Umsetzung der Standorterweiterung waren

- Ein Energiekonzept mit einem Schwerpunkt auf erneuerbaren Energien, die regional erzeugt werden (Potovoltaik, Windkraft)
- Ein großflächiger Einsatz von Baumaterialien aus recycelten und aus nachwachsenden Rohstoffen sowie
- Ein Maximum an Freiheitsgraden für derzeitige und zukünftige Nutzungen durch einen möglichst variablen Entwurf



Abbildung 1: Gebäudeentwurf des Büros HHS, Perspektive von Nord-Osten (Quelle: HHS, Kassel)

Zur Umsetzung der oben genannten Ziele wurde für das Gebäude eine Hybridbauweise gewählt. Dabei wurden die folgenden Baustoffe eingesetzt:

- Stahlbeton gute Brandeigenschaften, hohe Tragfähigkeit (Druckbeanspruchte Bauteile)
- Stahl Hohe Tragfähigkeit (Biegebeanspruchte Bauteile)
- Holz, Zellulose Nachhaltigkeit, gute Wärmedämmeigenschaften (Schubbeanspruchte Bauteile)
- Aluminium Ästhetik (Bekleidungen)

Die Ebene UG des Gebäudes wurde in Stahlbeton erstellt und brandschutztechnisch von den Ebenen EG und OG abgetrennt. Die tragenden Stützen der Halle wurden ebenfalls in Stahlbeton in der Klasse F 30 gemäß DIN 4102 in einem Raster von xxxxxx m errichtet. Für die umlaufenden außenliegenden Galerien in der Ebene OG wurde der gleiche Werkstoff gewählt.

Das Haupttragwerk des Daches wird aufgrund der Spannweiten durch einen Stahlfachwerkbinder realisiert. Dieser sollte ohne Feuerwiderstand ausgeführt werden.

Die Gebäudehülle wurde in Holzrahmenbauweise mit einer brennbaren Zellulosedämmung erstellt. Die Bauweise wurde gewählt, um zum einen recycelte und nachwachsende Rohstoffe einsetzen zu können. Zum anderen sollte durch die Bauweise auch eine ener-

getische Optimierung des Gebäudes mittels einer hochgedämmten Gebäudehülle erreicht werden. Im Ergebnis wurden ca. 25.000 Quadratmeter Dachfläche und etwa 5.000 Quadratmeter Außenwand in Holzrahmenbauweise errichtet.

Die Dachelemente wurden in der Regel mit Abmessungen von 7,50 m x 5,00 m hergestellt und erreichen einen U-Wert von 0,13 W/mK. Die Wandelemente wurden in Abmessungen von 7,50 m x 10,50 m bei einem U-Wert von 0,18 W/mK produziert. Als Dämmung wurde eine 36 Zentimeter dicke Zelluloseeinblasdämmung, Baustoffklasse B2, eingesetzt. Vor der Wandkonstruktion wurde eine Alocubond-Fassade angeordnet (Baustoffklasse B2 gemäß DIN 4102-1), um eine hochmoderne Anmutung zu erhalten.

2. Beschreibung des Gebäudes

Die maximalen Abmessungen des Gebäudes betragen ca. 121 m x 180 m. Die Firsthöhe liegt bei ca. 10,6 m und die Grundfläche beträgt ca. 21.780 m². Diese Grundfläche teilt sich in zwei Brandabschnitte mit Abmessungen von ca. 98 m x 121 m und einer Grundfläche von ca. 11.860 m² sowie Abmessungen von ca. 82 m x 121 m und einer Grundfläche von ca. 9.920 m² auf.

Der erdgeschossige Neubau verfügt über drei Ebenen. In der Ebene UG sind zwei Büros sowie Technikräume angeordnet. Die Ebene UG verfügt aufgrund des abfallenden Geländes über zwei direkte Ausgänge ins Freie. Weiterhin besteht über eine Treppe eine Verbindung zur Ebene Erdgeschoß.

In der Ebene Erdgeschoß befinden sich neben der zentralen Hallenfläche Büroräume, offene Teeküchen, Putzmittelräume, Kopierräume, Unterverteilungen sowie die sanitären Anlagen. Alle separaten Räume sind an den Außenwänden angeordnet. Weiterhin sind Ladestationen für Gabelstapler eingerichtet.

In der Ebene OG sind an den Außenwänden der Nord-, Ost- und Südseite Büroräume auf einer offenen Galerieebene geplant. Die Galerieebenen werden über offene Stahlbetontreppen von der Ebene EG aus erschlossen. Darüber hinaus sind Technikbühnen eingebaut worden, die entweder über Stahltreppen aus der Ebene EG oder über Stahlstege von den Galerien aus erschlossen werden.

An der Ostseite befindet sich ein Mitarbeiterzugang über eine Brücke, die aufgrund der Topographie des Geländes ebenerdig vom Mitarbeiterparkplatz aus erschlossen wird.

Mittig im Gebäude ist ein Technikblock vorgesehen, der sich über alle drei Ebenen erstreckt.

3. Baurechtliche Einstufung

Bei dem Neubau handelt es sich um eine bauliche Anlage besonderer Art oder Nutzung nach § 2 HBO Abs. 8, da es sich um ein Gebäude mit einer Grundfläche von mehr als 1.600 m² handelt.

Eine Lagerguthöhe von mehr als 9,0 m wird nicht erreicht. Das Gebäude fällt damit formal in den Geltungsbereich der Industriebaurichtlinie (IndBauRL) und verfügt über drei Ebenen. Die Ebene UG ist unmittelbar von Außen zugänglich bzw. kann durch die Feuerwehr angefahren werden. Zudem wurde diese Ebene feuerbeständig (F90-A) von den Ebenen EG und OG abgetrennt. Flächenmäßig handelt es sich um eine untergeordnete Ebene mit lediglich zwei Aufenthaltsräumen sowie einigen Technik- und Lagerräumen und einem quer zur Gebäudehaupttrichtung angeordneten Versorgungsgang. Die Ebene EG ist aufgrund der Topographie des Geländes (Hanglage) ebenfalls ebenerdig zugänglich und durch die Feuerwehr anfahrbar. Die Büroräume auf den Galerieebenen erhalten großflächige Sichtverbindungen mittels Verglasungen in den jeweiligen Hallenbereich. In Summe erreicht die Grundfläche der Galerien zzgl. der Technikbühnen weniger als 50% der Hallengrundfläche. Gemäß der Ziffern 3.5 und 5.3 IndBauRL wurde das Gebäude als erdgeschossiger Industriebau beurteilt.

Der Brandschutznachweis wurde nach Ziffer 6 der IndBauRL geführt.

4. Brandschutztechnische Details

4.1. Brennbare Dachelemente

Gemäß Ziffer 5.11.1 der IndBauRL müssen Bedachungen mit einer Fläche > 2.500 m² innerhalb eines Brandabschnittes so geplant werden, dass die Brandausbreitung über das Dach behindert wird. Dies gilt als erfüllt bei Dächern

- nach DIN 18234-1 einschließlich Beiblatt 1 (jedoch Dämmstoffe aus A-Baustoffen),
- mit tragender Dachschaale aus mineralischen Baustoffen (wie Beton oder Porenbeton) oder mit Bedachungen aus nichtbrennbaren Baustoffen.

Die geplante Konstruktion ist ein Flachdach/Sheddach in Holzrahmenbauweise, welches den Anforderungen gemäß Ziffer 5.11.1 der IndBauRL nicht genügt.

Die Dachelemente wurden daher zur Kompensation mit einer unterseitigen K 30 Bekleidung gemäß DIN EN 13501 (1 x 18 mm Fermacell) versehen. Dadurch ist sichergestellt, dass das Brandverhalten des Bauteils auch bei einem sehr unwahrscheinlichen Versagen der geplanten Sprinkleranlage für 30 Minuten bei einer Brandbeanspruchung von unten gleichwertig einem nicht-brennbaren Bauteil ist. Eine Brandbeanspruchung von oben ist in Teilen nur bei einem Brand aus einem Shed bzw. einem Rauchwärmeabzug zu erwarten. Aus diesem Grund wurde ein 1 m breiter Streifen bestehend aus Grobkies oder massiven Gehwegplatten vor den Sheds angeordnet. Die restliche Begrünung ist als extensive Begrünung geplant. Die Substratschicht darf einen maximalen Anteil an organischen Materialien von 20-Gew% haben. Durch diese Maßnahme ist auch bei einer Brandbeaufschlagung aus einem Shed mit keinem vorzeitigen Brand der Konstruktion zu rechnen. Das Schutzziel gemäß Ziffer 5.11.1 der IndbauRL, nämlich großflächige Brände im Dachbereich zu vermeiden, wurde damit in vollem Umfang erreicht.

Dachaufbau:

4 cm Substrat/ Bekiesung

Abdichtung

25 mm OSB

BSH 8/36 / Zelluloseeinblasdämmung

Dampfbremse

30 mm Sparschalung

18 mm Gipsfaser-Platte

25 mm Akustikplatte

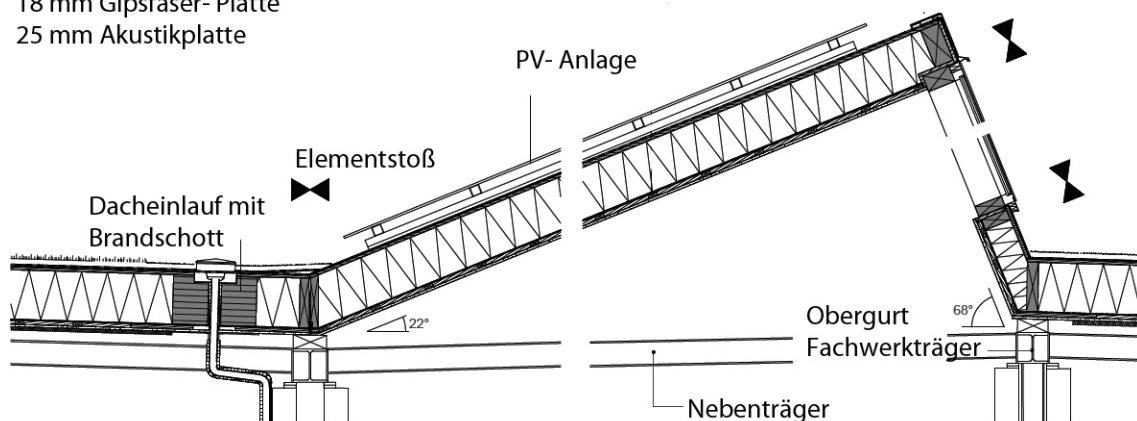


Abbildung 2: Prinzipieller Dachaufbau (Quelle: HHS, Kassel)

Alle brandschutztechnischen Ausführungsdetails zur Ausbildung des Daches, hier insbesondere die Ausbildung der Elementstöße wurden durch die IBB GmbH, Groß Schwülper geprüft. Die Kapselkonstruktion selber wurde in Brandversuchen an der MFPA Leipzig geprüft.

4.2. Ungeschützter Stahlfachwerkträger

Das Dachtragwerk wurde aus ungeschützten Stahlfachwerkträgern hergestellt. Stahl versagt bekanntermaßen sobald im Brandfall die kritische Stahltemperatur von ca. 560°C (statisch voll ausgenutztes Stahlbauteil) erreicht wird. Der aus baurechtlicher Anforderung

rung und auch aus Schutzzielorientierter Sicht geforderte Feuerwiderstand von 30 Minuten konnte daher zunächst nicht mit der geplanten Konstruktion erreicht werden. Grundsätzlich wäre es denkbar gewesen, den Stahlfachwerkträger mit gipsgebundenen Werkstoffen zu bekleiden oder eine Stahlbrandschutzbeschichtung der Klasse R 30 einzusetzen. Beide Lösungsansätze sind vielfach erprobt und umgesetzt; sind aber mit einer Reihe von Nachteilen verbunden.

Der Nachweis wurde daher über einen ingenieurgemäßen Ansatz einer Temperaturberechnung für das maßgebende Brandszenario geführt. Die Berechnung der Temperaturen erfolgte in einer CFD-Simulation. Für die Berechnung wurde das FDS 5 (Fire Dynamics Simulator) [14] vom National Institute of Standards and Technology (NIST) verwendet. Hierbei handelt es sich um ein Computational Fluid Dynamics (CFD)- Programm, welches neben den für Feldmodelle üblichen Navier-Stokes-Gleichungen zusätzlich noch eine Energieerhaltungsgleichung für die Bestimmung des Temperaturfeldes sowie Gleichungen für die Beschreibung der Turbulenzen beinhaltet.

Das Modell enthält ein Verbrennungsmodell, das eine Beschreibung des Sauerstoffverbrauches und der Entstehung von Verbrennungsprodukten ermöglicht. Der Algorithmus für die Beschreibung des strahlungsbedingten Wärmeaustauschs berücksichtigt neben dem Energieaustausch zwischen der Flamme und der Festkörperoberfläche auch die Absorption und Emission von Strahlung im Gasvolumen.

Aufgrund notwendiger Idealisierungen innerhalb der CFD-Simulationsmodelle sind Abweichungen zwischen den rechnerisch ermittelten und experimentell Werten unvermeidbar.

Im vorliegenden Fall kann bei dem verwendeten CFD-Modell eine Modellunsicherheit von ca. 10 % angenommen werden. Die Unsicherheiten beim Nachweis bezüglich der Streuung der Brandlasten und der naturgemäß stets vorhandenen Abweichungen des Modells zur Realität wurden durch die konservative Ermittlung der Wärmefreisetzungsraten hinreichend abgedeckt. Während des in den Simulationen betrachteten Zeitraums ab Brandbeginn von 30 Minuten ist zudem ein Löschangriff der Feuerwehr sehr wahrscheinlich, da das Auslösen eines Sprinklers über die Brandmeldeanlage eine unmittelbare externe Alarmierung hervorruft. Konservativ wurden Löscharbeiten bei der Festlegung des Wärmefreisetzungsratenverlaufes jedoch nicht in Ansatz gebracht.

Folgende Sicherheiten wurden in der Simulation berücksichtigt:

- konservativer Ansatz des Wärmefreisetzungsratenverlaufes (schnelle Brandausbreitung angenommen).
- Der Wärmefreisetzungsratenverlauf wurde nach Erreichen des Maximums auf diesem Wert belassen, obwohl in der Regel nach Auslösen des Sprinklers eine Abnahme der Brandbeanspruchung zu verzeichnen ist. Löscharbeiten der Feuerwehr wurden nicht in Ansatz gebracht.
- Eine in der Realität oft auftretende Schwelbrandphase wurde bei der Festlegung der Wärmefreisetzungsratenkurve außer Acht gelassen, es wird ab Brandbeginn von einem quadratisch anwachsenden Brandverlauf ausgegangen.

Wesentliche Ergebnisse der CFD-Berechnungen sind in den folgenden Abbildungen 3 und 4 dargestellt. Demnach wird oberhalb des Brandes nach 10 Minuten eine Temperatur von ca. 300°C erreicht. Nach 30 Minuten liegt die Temperatur bei 350°C und damit signifikant unterhalb der kritischen Stahltemperatur.

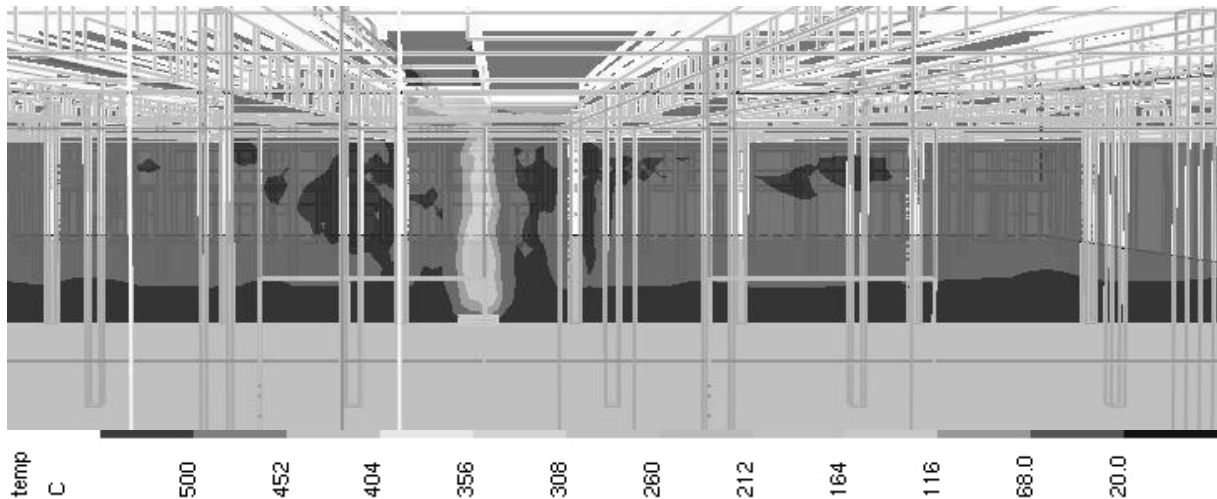


Abbildung 3: Temperatur zum Zeitpunkt $t = 300$ Sekunden im Vertikalschnitt in Hallenmitte im Brandabschnitt 1. Die Temperatur liegt bei maximal ca. 300 °C.

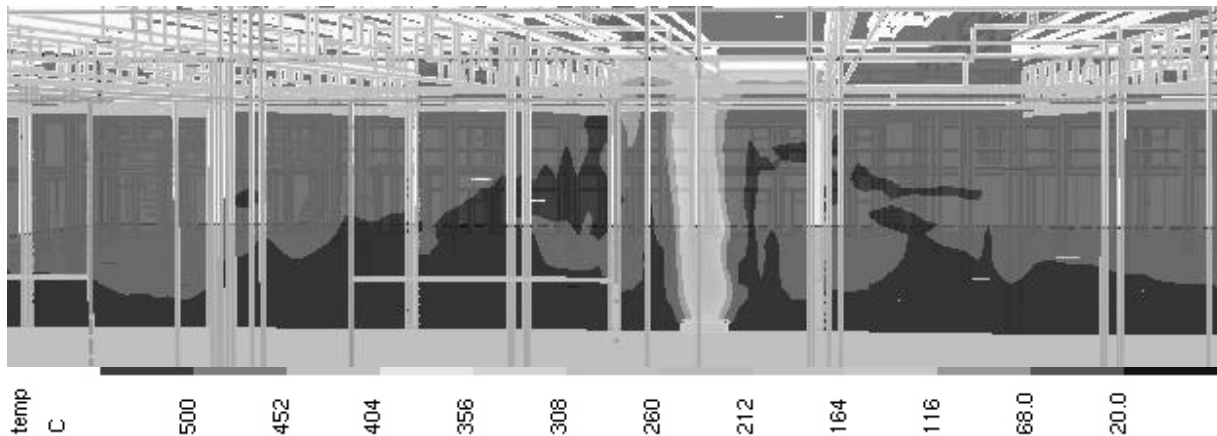


Abbildung 4: Temperatur zum Zeitpunkt $t = 1.200$ Sekunden im Vertikalschnitt in Hallenmitte im Brandabschnitt 1. Die Temperatur liegt bei maximal ca. 350 °C.

Zur Validierung der mittels CFD-Brandsimulation berechneten Temperaturen erfolgt eine Vergleichsrechnung mit einem Plumemodell. Ein Plumemodell ist ein geschlossenes Gleichungssystem, welches die Temperatur im Bereich über dem Brandherd in Abhängigkeit von der Höhe über dem Brandherd und der Wärmefreisetzung bzw. dem Brandherdumfang angibt. Diese empirischen Gleichungen basieren auf experimentellen Untersuchungen (Naturbrandversuche).

Auf Grundlage von Vergleichsrechnungen wurde ein in [13] beschriebener Ansatz ausgewählt, der konservative Plumetemperaturen liefert.

$$\Delta T_{P,K} = 78,4 \cdot \frac{Q^{2/5}}{z} \quad [\text{K}] \quad \text{für } 0,08 \cdot Q^{2/5} \leq z < 0,2 \cdot Q^{2/5}$$

$$\Delta T_{P,K} = 23,9 \cdot \left(\frac{Q^{2/5}}{z^{5/3}} \right) \quad [\text{K}] \quad \text{für } 0,20 \cdot Q^{2/5} \leq z < z_{I,1}$$

$$T_{P,m} = T_K + \Delta T_{P,K} \leq 1100^\circ\text{C}$$

mit

$\Delta T_{P,K}$ Differenz zwischen mittlerer Plumetemperatur und Kaltgastemperatur [K]

$T_{P,m}$ mittlere Plumetemperatur [°C]

T_K	mittlere Kaltgastemperatur [°C]
Q	Wärmefreisetzungsrate [kW]
z	Abstand zwischen Brandherd und betrachteter Höhe [m]
$z_{I,1}$	Unterkante der Rauchschiicht (Dicke der raucharmen Schicht) [m]

Im Ergebnis wurde mittels der Plumerechnung eine Temperatur von 333°C ermittelt. Es besteht somit eine gute Übereinstimmung zwischen CFD-Simulation (350°C) und Plume-Formel.

5. Zusammenfassung

Der bei Kassel entstandene Neubau der SMA Solar Technology AG ist ein beispielgebendes Projekt für hybride Bauweisen mit einem Schwerpunkt auf dem nachhaltigen Bauen. Durch konstruktive Maßnahmen und eine angepasste Anlagentechnik ist es gelungen, einen Industriebau mit einer Grundfläche von über 20.000 m² in Holzrahmenbauweise zu errichten.

Die Sicherheit des Gebäudes steht dabei der Sicherheit von konventionellen Gebäuden in keiner Weise nach. Durch den Einsatz der Kapselbauweise in Verbindung mit den einzelnen Rahmenelementen ist selbst bei einem unwahrscheinlichen Ausfall der mit erhöhter Sicherheit ausgelegten Sprinkleranlage ein großflächiger Brand der Konstruktion nicht zu erwarten.

6. Dank

Der Autor möchte sich für die Unterstützung zu diesem Beitrag und für die außerordentliche gute Zusammenarbeit beim gesamten Planungsteam bedanken. Besonderer Dank gilt dem Bauherren, der SMA Solartechnology AG, dem Architekturbüro HHS, Kassel, der Arge Emeluth und Dechant, EGS-plan, Stuttgart, der Imtech AG, der IBB GmbH sowie der Isofloc GmbH.

7. Literatur

- [1] Hessische Bauordnung (HBO) in der Fassung vom 18. Juni 2002, zuletzt geändert zuletzt geändert durch Gesetz vom 10. Dezember 2009 (GVBl. I S. 631) und 15. Dezember 2009 (GVBl. I S. 716)
- [2] Handlungsempfehlungen (HE-HBO) zum Vollzug der HBO 2002 vom 22. Januar 2004 (StAnz. S. 746), aktualisierter Stand: 1. Oktober 2008
- [3] Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau (Industriebaurichtlinie – IndBauRL) Stand März 2000, veröffentlicht und eingeführt als techn. Baubestimmung am 18.01.2005 (StAnz. Nr. 5, 2005, S. 529)
- [4] DIN EN 14135: Brandschutzbekleidungen – Bestimmung der Brandschutzwirkung; Ausgabe November 2004
- [5] McGrattan, K. B. a. o.: Fire Dynamics Simulator (Version 5) – User’s Guide. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg
- [6] vfdb-Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes. Erarbeitet vom vfdb-Referat 4, herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser. Fassung Mai 2009
- [7] VDI-Richtlinie 6019 Blatt 1 Ingenieurverfahren zur Bemessung der Rauchableitung aus Gebäuden, Ausgabe Mai 2006
- [8] Kampmeier, B.: Verwendbarkeit von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen im Holztafelbau. In: Braunschweiger Brandschutz-Tage '07, Tagungsband. Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, Heft 199, Braunschweig 2007, ISBN 978-3-89288-181-0.

- [9] DIN EN 13501-2: Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten – Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen; Ausgabe Januar 2008
- [10] Nause, P.: Ergänzende gutachtliche Stellungnahme einer Holzbalkendachkonstruktion. Groß-Schwülper, 08. Juli 2011
- [11] Kruse, D.: Brandschutzkonzept 10G084-1 zum Bauvorhaben SMA 70. Gifhorn, 19. Juli 2010
- [12] Dehne, M.: Rauchschutznachweis und Temperaturberechnung 10G084-2 zum Bauvorhaben SMA 70. Gifhorn, 12. Dezember 2010
- [13] British Standards, Draft for Development DD 240, Fire Safety Engineering in Buildings; Part 1: "Guide to the Application of Fire Safety Engineering Principles", 1997
- [14] Jin, Z.: Visibility and Human Behavior in Fire Smoke, in SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association, Quincy, Massachusetts, 3rd Ed. 2002