

BRANDSCHUTZ- FORSCHUNG

DER LÄNDER

DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

BERICHTE

Feuerwehreinsatztaktische Problemstellungen bei der Brandbekämpfung in Gebäuden moderner Bauweise

Teil 1:

- Brände in Gebäuden moderner Bauweise
- Gebäudekonstruktion
- Gebäudetechnik in Gebäuden moderner Bauweise
- Flashover / Rollover / Backdraft
- Mobile Löschsysteme (Auswahl)
- Erkennungsmerkmale für die Feuerwehr

von

Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann
Dipl.-Ing. Dieter Brein

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Forschungsstelle für Brandschutztechnik

154

STÄNDIGE KONFERENZ DER INNENMINISTER UND -SENATOREN DER
LÄNDER, ARBEITSKREIS V, AUSSCHUSS FÜR FEUERWEHR-
ANGELEGENHEITEN, KATASTRÖPHENSCHUTZ UND ZIVILE VERTEIDI-
GUNG

**Ständige Konferenz der Innenminister und -Senatoren der Länder,
Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastro-
phenschutz und Zivile Verteidigung**

Forschungsbericht Nr. 154

**Feuerwehreinsatztaktische Problemstellungen bei der Brandbe-
kämpfung in Gebäuden moderner Bauweise**

Teil 1:

- Brände in Gebäuden moderner Bauweise
- Gebäudekonstruktion
- Gebäudetechnik in Gebäuden moderner Bauweise
- Flashover / Rollover / Backdraft
- Mobile Löschsysteme (Auswahl)
- Erkennungsmerkmale für die Feuerwehr

von
Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann
Dipl.-Ing. Dieter Brein

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Forschungsstelle für Brandschutztechnik

Karlsruhe
November 2010

FA.Nr. 207 (2/2008)

ISSN 0170-0060

Berichtskennblatt

| | | | |
|--|--|-------------------------------|------------------------------|
| Nummer des Berichtes: 154 | Titel des Berichtes: Feuerwehreinsatztaktische Problemstellungen bei der Brandbekämpfung in Gebäuden moderner Bauweise Teil 1: <ul style="list-style-type: none"> • Brände in Gebäuden moderner Bauweise • Gebäudekonstruktion • Gebäudetechnik in Gebäuden moderner Bauweise • Flashover / Rollover / Backdraft • Mobile Löschsysteme (Auswahl) • Erkennungsmerkmale für die Feuerwehr | ISSN: 0170-0060 | |
| Autoren: Dipl.-Ing. Jürgen Kunkelmann Dipl.-Ing. Dieter Brein | durchführende Institution: Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Forschungsstelle für Brandschutztechnik Hertzstrasse 16, D-76187 Karlsruhe | | |
| Nummer des Auftrages: 207 (2/2008) | auftraggebende Institution: Ständige Konferenz der Innenminister und –senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung | | |
| Abschlussdatum: November 2010 | | | |
| Seitenzahl: 103 | Bilder: 48 | Tabellen: 4 | Literaturverweise: 85 |
| Kurzfassung: <p>In dieser Arbeit werden konventionell errichtete Gebäude mit Gebäuden, die hoch wärmegeklämt sind und eine hohe Luftdichtheit aufweisen (Gebäude moderner Bauweise), verglichen. Es wird überprüft, ob sich aus dieser modernen Bauweise Nachteile für den Brandschutz ergeben können.</p> <p>Anhand von Bränden in Gebäuden, die sich mit dieser Bauweise vergleichen lassen, werden Probleme beschrieben, die bei der Brandbekämpfung entstanden. Es werden mögliche Ursachen für diese Probleme identifiziert.</p> <p>Da sich die Gebäudetechnik von Gebäuden moderner Bauweise teilweise stark von der in konventionellen Gebäuden unterscheidet, wird diese ausführlich beschrieben und überprüft, wie sie sich hinsichtlich des Brandschutzes auswirkt. Besonders wird hier auf die Lüftungsanlage und die dazugehörigen Überströmöffnungen eingegangen.</p> <p>Die Brandphänomene Flashover, Rollover und Backdraft werden erläutert, und es wird analysiert, ob die moderne Bauweise diese Phänomene begünstigt. Etwaige Gegenmaßnahmen werden erläutert.</p> <p>Die Löschsysteme Fognail® und CCS-Cobra® werden dargestellt und auf ihre Einsatzmöglichkeiten im Bereich von Bränden in Gebäuden moderner Bauweise überprüft.</p> <p>Um Gebäude moderner Bauweise beim Feuerwehreinsatz schnell identifizieren zu können, wurde ein Merkblatt erarbeitet.</p> | | | |
| Schlagwörter: Brandausbreitung, Flashover, Backdraft, Rollover, Gebäudekonstruktion, Erkennungsmerkmale für die Feuerwehr, Verglasung, Lüftungsanlage, Überströmöffnung, Photovoltaik, Brandmeldung, Fognail®, CCS COBRA® | | | |

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------|
| BERICHTSKENNBLATT | III |
| BILDERVERZEICHNIS..... | IX |
| TABELLENVERZEICHNIS | X |
| 1 EINLEITUNG | 1 |
| 1.1 ALLGEMEINES..... | 1 |
| 1.2 FORSCHUNGSZIEL | 2 |
| 2 BRÄNDE IN GEBÄUDEN MODERNER BAUWEISE..... | 3 |
| 2.1 EINLEITUNG..... | 3 |
| 2.2 BRAND EINES NIEDRIGENERGIEHAUSES IN FULDA | 3 |
| 2.2.1 OBJEKTDATEN / KONSTRUKTIONSMERKMALE | 3 |
| 2.2.2 EINSATZABLAUF | 4 |
| 2.2.3 FAZIT / ENTSTANDENE PROBLEME..... | 5 |
| 2.3 BRAND DES BERGHOTELS MUMMELSEE IN SEEBACH | 6 |
| 2.3.1 OBJEKTDATEN / KONSTRUKTIONSMERKMALE | 6 |
| 2.3.2 EINSATZABLAUF | 6 |
| 2.3.3 FAZIT / ENTSTANDENE PROBLEME..... | 6 |
| 2.4 BRAND EINES WÄRMEGEDÄMMTEN FUTTERDACHES IN VILLINGEN | 7 |
| 2.4.1 OBJEKTDATEN / KONSTRUKTIONSMERKMALE | 7 |
| 2.4.2 EINSATZABLAUF | 7 |
| 2.4.3 FAZIT / ENTSTANDENE PROBLEME..... | 8 |
| 2.5 BRAND EINES ÖKOHAUSES IN HECHTHAUSEN | 8 |
| 2.5.1 OBJEKTDATEN / KONSTRUKTIONSMERKMALE | 8 |
| 2.5.2 EINSATZABLAUF | 8 |
| 2.5.3 FAZIT / ENTSTANDENE PROBLEME..... | 9 |
| 2.6 BRAND EINES HOLZHAUSES MIT NATURBEDACHUNG IN BÖSINGFELD..... | 10 |
| 2.6.1 OBJEKTDATEN / KONSTRUKTIONSMERKMALE | 10 |
| 2.6.2 EINSATZABLAUF | 10 |
| 2.6.3 FAZIT / ENTSTANDENE PROBLEME..... | 12 |
| 2.7 ZUSAMMENFASSUNG / FAZIT..... | 12 |
| 3 GEBÄUDEKONSTRUKTION..... | 14 |
| 3.1 KONSTRUKTIONSMERKMALE VON GEBÄUDEN IN MODERNER BAUWEISE | 14 |
| 3.1.2 ALLGEMEINES | 14 |
| 3.1.3 AUßENWÄNDE | 14 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.1.3.1 | <i>Außenwände in Massivbauweise mit Außendämmung</i> | 15 |
| 3.1.3.2 | <i>Außenwände in zweischaliger Bauweise mit Kerndämmung</i> | 16 |
| 3.1.3.3 | <i>Außenwände in Leichtbaukonstruktion</i> | 16 |
| 3.1.4 | DACH..... | 17 |
| 3.1.4.1 | <i>Geneigtes Dach</i> | 17 |
| 3.1.4.2 | <i>Flachdach</i> | 18 |
| 3.1.5 | BODENPLATTE..... | 18 |
| 3.1.6 | FENSTER | 18 |
| 3.1.6.1 | <i>Verglasung</i> | 19 |
| 3.1.6.2 | <i>Rahmen</i> | 20 |
| 3.1.7 | HAUSTÜREN..... | 20 |
| 3.2 | GEBÄUDEKONSTRUKTION IN KONVENTIONELLER BAUWEISE | 20 |
| 3.2.1 | EINLEITUNG..... | 20 |
| 3.2.2 | GEBÄUDEBESTAND IN DEUTSCHLAND | 21 |
| 3.2.3 | WÄRMEDÄMMUNG | 22 |
| 3.2.4 | LUFTDICHTHEIT | 23 |
| 3.3 | FAZIT | 24 |
| 4 | GEBÄUDETECHNIK IN GEBÄUDEN MODERNER BAUWEISE | 25 |
| 4.1 | EINLEITUNG | 25 |
| 4.2 | LÜFTUNGSANLAGE | 26 |
| 4.2.1 | ANFORDERUNG NACH § 41 MUSTERBAUORDNUNG | 26 |
| 4.2.2 | BEGRIFFSBESTIMMUNG | 26 |
| 4.2.3 | NOTWENDIGKEIT EINER LÜFTUNGSANLAGE | 26 |
| 4.3 | LÜFTUNGSSYSTEME | 26 |
| 4.3.1 | ARTEN VON LÜFTUNGSSYSTEMEN | 26 |
| 4.3.1.1 | <i>Abluftsystem</i> | 26 |
| 4.3.1.2 | <i>Zu- und Abluftsystem</i> | 27 |
| 4.4 | LÜFTUNGSGERÄT | 28 |
| 4.4.1 | KOMPONENTEN | 28 |
| 4.4.2 | REGELBARKEIT..... | 28 |
| 4.5 | LÜFTUNGSLEITUNGEN | 28 |
| 4.5.1 | ANFORDERUNG NACH § 41 MUSTERBAUORDNUNG | 28 |
| 4.5.2 | ANORDNUNG DER LÜFTUNGSLEITUNGEN..... | 29 |
| 4.5.3 | AUSFÜHRUNG DER LÜFTUNGSLEITUNGEN | 29 |
| 4.5.4 | ANORDNUNG DER EIN- UND AUSLÄSSE DER LÜFTUNGSLEITUNGEN..... | 29 |
| 4.6 | ÜBERSTRÖMÖFFNUNGEN | 30 |
| 4.6.1 | NOTWENDIGKEIT | 30 |
| 4.6.2 | AUSFÜHRUNG | 30 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 4.6.3 | ÜBERSTRÖMÖFFNUNGEN IN GEBÄUDEN MIT MEHREREN NUTZUNGSEINHEITEN..... | 32 |
| 4.6.4 | AUSBREITUNG VON RAUCH IM VERGLEICH ZU KONVENTIONELLEN GEBÄUDEN..... | 32 |
| 4.6.5 | FAZIT ÜBERSTRÖMÖFFNUNGEN..... | 33 |
| 4.7 | VENTILATOREN..... | 34 |
| 4.8 | WÄRMEÜBERTRAGER | 34 |
| 4.8.1 | ANFORDERUNG NACH MUSTER-LÜFTUNGSANLAGEN-RICHTLINIE..... | 34 |
| 4.8.2 | FUNKTIONSWEISE..... | 34 |
| 4.8.3 | BYPASS | 35 |
| 4.9 | BERECHNUNG DES BRANDRAUCHVOLUMENSTROMS NACH VDI 6019..... | 35 |
| 4.9.1 | EINLEITUNG..... | 35 |
| 4.9.2 | VOLUMENSTRÖME DER LÜFTUNGSANLAGE..... | 36 |
| 4.9.3 | BERECHNUNGSVERFAHREN..... | 36 |
| 4.9.4 | ANWENDUNGSGRENZEN DES VERFAHRENS..... | 36 |
| 4.9.5 | BERECHNUNG | 37 |
| 4.9.6 | AUSGANGSDATEN FÜR EINEN BEISPIELHAFT ZUGRUNDEGELEGTEN BRANDRAUM | 37 |
| 4.9.7 | BRANDENTSTEHUNGSPHASE (PHASE 1)..... | 37 |
| 4.9.8 | FORTENTWICKELTER BRAND (PHASE 2)..... | 40 |
| 4.9.9 | FAZIT ENTRAUCHUNG | 40 |
| 4.10 | PHOTOVOLTAIKANLAGE..... | 41 |
| 4.10.1 | EINLEITUNG..... | 41 |
| 4.10.2 | FUNKTIONSPRINZIP / AUFBAU | 41 |
| 4.10.3 | GEFAHREN FÜR DIE FEUERWEHR | 42 |
| 4.10.4 | LÖSUNGSANSÄTZE | 42 |
| 4.11 | BRANDMELDETECHNIK..... | 43 |
| 4.11.1 | EINLEITUNG..... | 43 |
| 4.11.2 | RAUCHMELDER IN GEBÄUDEN MODERNER BAUWEISE | 43 |
| 4.11.3 | FUNKTIONSPRINZIP VON OPTISCHEN RAUCHMELDERN | 43 |
| 4.11.4 | URSACHEN FÜR FEHLAUSLÖSUNGEN VON OPTISCHEN RAUCHMELDERN | 44 |
| 4.11.5 | LÖSUNGSANSÄTZE | 44 |
| 4.11.6 | ALTERNATIVE ZUM OPTISCHEN RAUCHMELDER..... | 44 |
| 4.11.7 | BRANDMELDUNG NACH AUßEN..... | 45 |
| 4.12 | FAZIT..... | 45 |
| 5 | FLASHOVER / ROLLOVER / BACKDRAFT | 47 |
| 5.1 | EINLEITUNG | 47 |
| 5.2 | BEGRIFFSBESTIMMUNG..... | 47 |
| 5.2.1 | BRANDLASTGESTEUERTE BRÄNDE..... | 47 |
| 5.2.2 | VENTILATIONSGESTEUERTE BRÄNDE | 47 |
| 5.2.3 | ÜBERGANG ZWISCHEN DEN BRANDARTEN..... | 48 |
| 5.2.4 | PYROLYSE | 48 |
| 5.3 | FLASHOVER | 49 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 5.3.1 | ENTSTEHUNG UND ABLAUF | 49 |
| 5.3.2 | BILDICHE DARSTELLUNG EINES ZIMMERBRANDES MIT FLASHOVER | 50 |
| 5.3.3 | REALBRANDVERSUCHE | 53 |
| 5.3.4 | EINFLUSSFAKTOREN | 53 |
| 5.3.5 | ANZEICHEN FÜR EINEN BEVORSTEHENDEN FLASHOVER | 53 |
| 5.3.6 | AUSWIRKUNGEN VON GEBÄUDEN MODERNER BAUWEISE AUF DEN FLASHOVER..... | 54 |
| 5.4 | ROLLOVER..... | 55 |
| 5.4.1 | ENTSTEHUNG UND ABLAUF | 55 |
| 5.4.2 | BILDICHE DARSTELLUNG EINES ROLLOVER..... | 55 |
| 5.4.3 | ANZEICHEN FÜR EINEN BEVORSTEHENDEN ROLLOVER..... | 57 |
| 5.4.4 | AUSWIRKUNGEN VON GEBÄUDEN MODERNER BAUWEISE AUF DEN ROLLOVER | 57 |
| 5.5 | BACKDRAFT | 57 |
| 5.5.1 | ENTSTEHUNG UND ABLAUF | 57 |
| 5.5.2 | ERSCHEINUNGSFORMEN DES BACKDRAFT | 59 |
| 5.5.3 | ANZEICHEN FÜR EINEN BEVORSTEHENDEN BACKDRAFT | 60 |
| 5.5.4 | AUSWIRKUNGEN VON GEBÄUDEN MODERNER BAUWEISE AUF DEN BACKDRAFT..... | 60 |
| 5.5.5 | GEGENMAßNAHMEN BACKDRAFT | 61 |
| 5.6 | FAZIT..... | 62 |
| 6 | MOBILE LÖSCHSYSTEME (AUSWAHL) | 63 |
| 6.1 | EINLEITUNG | 63 |
| 6.2 | FOGNAIL® | 63 |
| 6.2.1 | AUSFÜHRUNG | 63 |
| 6.2.2 | FUNKTIONSWEISE | 64 |
| 6.2.3 | ANWENDUNG BEI BRÄNDEN IN GEBÄUDEN MODERNER BAUWEISE | 65 |
| 6.3 | CCS COBRA® SCHNEID-/LÖSCHSYSTEM | 66 |
| 6.3.1 | AUSFÜHRUNG | 66 |
| 6.3.2 | FUNKTIONSWEISE | 67 |
| 6.3.3 | ANWENDUNG BEI BRÄNDEN IN GEBÄUDEN MODERNER BAUWEISE | 68 |
| 6.4 | VERGLEICH BEIDER SYSTEME..... | 69 |
| 6.5 | FAZIT..... | 70 |
| 7 | ERKENNUNGSMERKMALE FÜR DIE FEUERWEHR..... | 72 |
| 7.1 | ALLGEMEINES..... | 72 |
| 7.2 | GEBÄUDE MODERNER BAUWEISE | 72 |
| 7.3 | ERKENNUNGSMERKMALE | 73 |
| 7.3.1 | FENSTER | 73 |
| 7.3.2 | EIN- UND AUSLÄSSE DER LÜFTUNGSANLAGE..... | 74 |
| 7.3.3 | PHOTOVOLTAIKANLAGEN..... | 75 |
| 7.3.4 | DACHFENSTER | 75 |

| | | |
|-------|---|----|
| 7.3.5 | SCHORNSTEINE | 75 |
| 7.4 | FAZIT..... | 75 |
| 8 | ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK..... | 77 |
| 9 | LITERATURVERZEICHNIS | 80 |
| 10 | ANHANG | 87 |
| | ANHANG 1: ZEITLICHER VERLAUF EINES RAUMBRANDES AN DER FFB..... | 87 |
| | ANHANG 2: ZEITLICHER VERLAUF EINES RAUMBRANDES AN DER FFB; THERMISCHE BELASTUNG VON UNGESCHÜTZTEN STAHLTRÄGERN | 87 |
| | ANHANG 3: ZEIT BIS ZUM AUFTRETEN EINES FLASHOVERS | 88 |
| | ANHANG 4: ZEITLICHER VERLAUF EINES RAUMBRANDES AN DER FFB..... | 88 |
| | ANHANG 5: MERKBLATT | 89 |
| | ANHANG 6: VERSUCHSPLANUNG: „EINSATZ VON FOGNAIL BEI BRÄNDEN IN GEBÄUDEN MODERNER BAUWEISE“ | 90 |

Bilderverzeichnis

| | |
|---|----|
| Bild 2-1 Außenangriff durch mehrere Trupps und über die Drehleiter [www.osthessen-news.de] | 4 |
| Bild 2-2 Überreste des Hauses nach dem Abriss durch einen Bagger [www.osthessen-news.de] | 5 |
| Bild 2-3 Zwei Feuerwehrleute unter Atemschutz beim Außenangriff [www.feuerwehr-external.de]..... | 11 |
| Bild 2-4 Bagger versucht die Dachlast des begrünten Daches zu verringern [www.feuerwehr-external.de]..... | 11 |
| | |
| Bild 3-1 Wand in Massivbauweise mit Außendämmung [Kilchenmann et al., 1998] | 15 |
| Bild 3-2 Wand in Zweischaliger Bauweise mit Kerndämmung [Kilchenmann, et al., 1998], redaktionell bearbeitet | 16 |
| Bild 3-3 Aufbau eines Daches in Holzbauweise [Kemper, 2003], redaktionell bearbeitet | 18 |
| Bild 3-4 Aufbau eines Fensters mit Dreifachverglasung [Grobe, 2002] | 19 |
| Bild 3-5 Heizenergiebedarf im Vergleich [Kilchenmann, 1998] | 21 |
| Bild 3-6 Gebäudebestand Deutschland [Diefenbach, 2007] | 21 |
| Bild 3-7 Entwicklung des U-Wertes von Dächern [IWU, 2003] | 22 |
| Bild 3-8 Entwicklung des U-Wertes von Außenwänden [IWU, 2003] | 22 |
| Bild 3-9 Ergebnisse der Blower-Door Messungen [Trauernicht, 2008] | 23 |
| Bild 3-10 Prozentuale Verteilung der Luftwechselraten [Trauernicht, 2008] | 24 |
| | |
| Bild 4-1 Zu- und Abluftsystem in einem Einfamilienhaus [www.westaflex.com] | 27 |
| Bild 4-2 Überströmvorgang [Schuck, 2007], redaktionell bearbeitet | 30 |
| Bild 4-3 Überströmöffnung oberhalb einer Tür [www.zukunft-haus.info] | 31 |
| Bild 4-4 Überströmöffnung im Türblatt [Schulze Darup, 2008] | 31 |
| Bild 4-5 Überströmöffnung in einer Türzarge | 32 |
| Bild 4-6 Funktionsschema Gegenstromwärmeübertrager | 35 |
| Bild 4-7 Funktion des Bypass | 35 |
| Bild 4-81 Verschmutzter Luftauslass an der Zimmerdecke | 44 |
| | |
| Bild 5-1 Temperaturverlauf der Rauchsicht eines Schadenfeuers in einem Raum | 49 |
| Bild 5-2 Brandraum vor der Zündung [FFB] | 50 |
| Bild 5-3 Brandraum ca. 12 Minuten nach der Zündung [FFB] | 51 |
| Bild 5-4 Einsetzender Flashover [FFB] | 51 |
| Bild 5-5 Brandraum nach erfolgtem Flashover [FFB] | 52 |
| Bild 5-6 Brandraum nach dem Löschen [FFB] | 52 |
| Bild 5-7 Rollover Teil 1 [Feuerwehr Karlsruhe] | 55 |

| | |
|--|----|
| Bild 5-8 Rollover Teil 2 [Feuerwehr Karlsruhe] | 56 |
| Bild 5-9 Rollover Teil 3 [Feuerwehr Karlsruhe] | 56 |
| Bild 5-10 Rollover Teil 4 [Feuerwehr Karlsruhe] | 56 |
| Bild 5-11 Auswirkungen eines Backdraft [Riehl, 2003] | 58 |
| Bild 5-12 Auswirkungen eines Backdraft auf eine Fensterfront [Riehl, 2003] | 59 |
| | |
| Bild 6-1 Fognail [http://www.fognail.de/] | 63 |
| Bild 6-2 Feuerwehrmann mit Fognail® (Feuerwehr Karlsruhe) | 64 |
| Bild 6-3 Atemschutztrupp mit CSS Cobra® System [FF Billstedt-Horn, 2008] | 67 |
| Bild 6-4 CCS Cobra® Schneid-/Löschsystem und Fognail® im Vergleich | 70 |
| | |
| Bild 7-1 Passivhaus 1 [www.passivhaus-info.de] | 72 |
| Bild 7-2 Passivhaus 2 [www.passivhaus-info.de] | 72 |
| Bild 7-3 Passivhaus 3 [www.passivhaus-info.de] | 73 |
| Bild 7-4 Passivhaus 4 [www.passivhaus-info.de] | 73 |
| Bild 7-5 Südseite eines Passivhauses [www.passivhaus-info.de]..... | 73 |
| Bild 7-6 Nordseite eines Passivhauses [www.passivhaus-info.de] | 74 |
| Bild 7-7 Auslass einer Lüftungsanlage [www.architec24.de]..... | 74 |
| Bild 7-8 Einlass einer Lüftungsanlage [www.architec24.de]..... | 74 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 4-1 Verhältnis Volumenstrom / Öffnungsfläche nach [DIN 1946-6, 2009]..... | 32 |
| Tabelle 4-2 Mögliche Ursachen für eine Ausbreitung von Rauch im Vergleich | 33 |
| | |
| Tabelle 6-1 Durchdringzeiten des CCS-Cobra Systems durch verschiedene Materialien [Zirulev,2005] | 68 |
| Tabelle 6-2 Vergleich CCS-Cobra Schneid-/Löschsystem mit Fognail | 69 |

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Aufgrund der Energieeinsparverordnung und steigender Energiekosten werden zunehmend Gebäude in Deutschland mit erhöhtem Energieeinsparungspotential neu errichtet oder vorhandene Gebäude entsprechend modernisiert. Die Entwicklung geht von Niedrigenergiehäusern über Passivhäuser hin zu Nullenergiehäusern und mittlerweile sogar bis zu Plusenergiehäusern. Diese Gebäudetypen werden im vorliegenden Bericht zusammenfassend als „Gebäude moderner Bauweise“ bezeichnet.

Kenngrößen dieser Gebäude sind:

- Niedrigenergiehaus:
Primärenergiebedarf geringer als $121 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$
- Passivhaus:
Primärenergiebedarf inklusive aller elektrischer Verbraucher von weniger als $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$
- Nullenergiehaus:
In der Jahresbilanz keine externe Zuführung von Energie
- Plusenergiehaus:
Gebäude „erzeugt“ mehr Energie, als es selbst benötigt

Bei allen Gebäudetypen werden die Energieverluste durch hohe Luftdichtheit und gute Wärmedämmung reduziert. Im Laufe der Jahre ist es gelungen, durch viele innovative Konstruktionen die Energieverluste stark zu reduzieren. So führte auch die konsequente Verbesserung der Verglasungen dazu, dass die Energieverluste durch die Fenster geringer wurden und gleichzeitig solare Gewinne durch Sonneneinstrahlung ermöglicht wurden.

Im Jahr 2008 gab es in Deutschland ca. 5000 Passivhäuser. Diese Anzahl ist im Vergleich zu konventionell errichteten Gebäuden sehr gering. Da die Zahl der Gebäude in moderner Bauweise aber in den nächsten Jahren stark ansteigen wird, besteht zu diesem frühen Zeitpunkt noch die Chance, positiv auf die Entwicklung im Bereich Brandschutz einzuwirken.

1.2 Forschungsziel

Da es für den Bereich „Brandschutz in Gebäuden moderner Bauweise“ noch keine der Forschungsstelle für Brandschutztechnik bekannte hinreichend umfangreiche und detaillierte veröffentlichte Grundlage für die brandschutztechnische Bewertung dieser Gebäude insbesondere im Hinblick auf den Feuerwehreinsatz gibt, soll im vorliegenden Bericht zusammen mit den bereits in Bearbeitung befindlichen Folgeuntersuchungen dazu beigetragen werden, erkennbare Probleme zu beschreiben und mögliche Lösungen aufzuzeigen.

Es soll also überprüft werden, welche Besonderheiten Gebäude moderner Bauweise im Vergleich zu konventionell errichteten Gebäuden aufweisen, etwaige Gefahren, die bei Bränden durch diese Besonderheiten entstehen können, sollen herausgearbeitet werden und auf der Grundlage der Bewertung der Besonderheiten und Gefahren, die von Gebäuden moderner Bauweise ausgehen, sollen Lösungsvorschläge für eine sichere Brandbekämpfung gemacht werden.

2 Brände in Gebäuden moderner Bauweise

2.1 Einleitung

In diesem Kapitel werden Brände und die daraus folgenden Feuerwehreinsätze beschrieben. Es handelt sich um Brände in Gebäuden moderner Bauweise aber auch um Brände in anderen Gebäuden, wobei sich Erkenntnisse aus dem Ablauf des Brandes und der Brandbekämpfung teilweise auf die Gebäude moderner Bauweise übertragen lässt. Die Probleme, die den Einsatzkräften bei der Brandbekämpfung durch die Umstände und Gegebenheiten seitens der Gebäudekonstruktion entstanden, werden dargestellt. Brände im Zusammenhang mit Photovoltaikanlagen, die häufig zur anlagentechnischen Ergänzung des Gebäudes im Sinne einer verbesserten Energiebilanz die Außenhülle ergänzen, werden in Abschnitt 4.10 behandelt.

2.2 Brand eines Niedrigenergiehauses in Fulda

Am 26.12.2007 kam es in Fulda im Stadtteil Oberrode in einem aus Osteuropa stammenden als Niedrigenergiehaus beworbenen Fertighaus zu einem Brand [Hinz, 2008] [Rossig, 2008].

2.2.1 Objektdaten / Konstruktionsmerkmale

Es handelte sich bei dem Brandobjekt um ein zweigeschossiges Einfamilienhaus mit einer Grundfläche von neun mal zehn Metern. Zum Zeitpunkt des Brandes war das in Holzbauweise errichtete Gebäude weniger als sechs Monate alt und der Ausbau des Dachgeschosses noch nicht komplett fertig gestellt.

Die Außenwände bestanden aus einer Holzbalkenlage mit den Abmessungen 7 cm x 20 cm, auf der eine 15 cm starke Dämmung und eine Dampfsperre aufgebracht waren. Die Verkleidung bestand überwiegend aus Holz, hätte aber laut Baugenehmigung aus Gipskartonplatten ausgeführt werden müssen. Die Wände im Inneren des Gebäudes bestanden aus 12 cm dicken Holzbalken und einer Gipskarton- bzw. hölzernen Beplankung. Die Aufteilung der Räume war in offener Bauweise gestaltet. Die Deckung des um 45° geneigten Daches erfolgte durch kunststoffbeschichtete Metalldachpfannenprofile, die mit der Holzkonstruktion verschraubt waren. Die Baugenehmigung sah für die Eindeckung des Daches Betonziegel vor. Die Dachkonstruktion wurde ohne Fenster ausgeführt.

2.2.2 Einsatzablauf

Beim Eintreffen der ersten Einsatzkräfte der Feuerwehr, sieben Minuten nach der Alarmierung, standen bereits das Erdgeschoss auf der Rückseite des Gebäudes und Teile des Obergeschosses im Vollbrand. Die Feuerwehr geht aufgrund der großen Brandintensität von einer langen, unbemerkten Vorbranddauer aus. Mehrere Versuche zweier Trupps unter Atemschutz einen Innenangriff vorzunehmen mussten aus Sicherheitsgründen abgebrochen werden. *„Aufgrund der Gebäudekonstruktion, verbunden mit einer Vielzahl von Isolationsschichten und bauseitigen Verbindungen in den Zwischenwänden, war es im Verlauf des Innenangriffs zu gefährlichen Rückzündungen gekommen, (...).“* [Hinz, 2008]. Auch der in Bild 2-1 dargestellte Wassereinsatz, unter anderem von der Drehleiter aus, konnte einen Vollbrand des Dachgeschosses nicht mehr verhindern.



Bild 2-1 Außenangriff durch mehrere Trupps und über die Drehleiter [www.osthessen-news.de]

In Folge der erheblichen Wärmeentwicklung im Dachraum und der daraus resultierenden Wärmestrahlung nach dem Durchbrennen des Daches kam es bei einem in einigem Abstand stehenden Nachbarhaus zum Zerplatzen der Dachziegel. Der Versuch, über die Drehleiter einen Rauch- und Wärmeabzug im Dach zu schaffen, scheiterte, da es bei der Annäherung an die Dachhaut durch die starke Hitze zu Verschmelzungen an den Kunststoffteilen des Rettungskorbes kam. Eine immer stärkere Aufheizung des Innenbereiches war die Folge der fehlenden Ableitung von Brandrauch.

Im Verlauf des Einsatzes gaben teilweise tragende Bauteile des Hauses unter der Brandeinwirkung nach. Ungefähr 50 Minuten nach Einsatzbeginn fällt der Einsatzleiter nach Rücksprache mit der Bauaufsichtsbehörde die Entscheidung, das Gebäu-

de abreißen zu lassen (siehe Bild 2-2). Diese Entscheidung begründete sich auch durch die Aussage des Statikers, der den Zustand des Gebäudes als Totalverlust einstufte. Selbst wenn es gelungen wäre unter hoher Eigengefährdung durch einen Innenangriff das Feuer unter Kontrolle zu bringen, hätten alle Zwischenwände und Wandverkleidungen unter enormem Zeitaufwand geöffnet werden müssen, um an die Brandherde heranzukommen.



Bild 2-2 Überreste des Hauses nach dem Abriss durch einen Bagger [www.osthessen-news.de]

2.2.3 Fazit / Entstandene Probleme

Obwohl das Gebäude in den Punkten Bedachung und Verkleidung der Außenwände zum Zeitpunkt des Brandes nicht der Baugenehmigung entsprach, sind folgende Punkte festzuhalten.

- Durch die gute Dämmung bzw. Luftdichtheit des Gebäudes kam es wahrscheinlich dazu, dass das Feuer lange Zeit brennen konnte, ohne von außen entdeckt zu werden.
- Aufgrund der Dachkonstruktion war es nicht möglich, einen Rauch- und Wärmeabzug zu schaffen.
- Ohne eine Rauch- und Wärmeabführung im Dach heizte sich das Gebäude immer stärker auf.
- Ein Innenangriff wäre aufgrund mehrfacher Durchzündungen nur unter hohem Eigenrisiko möglich gewesen.
- Es kam teilweise zu Einstürzen der tragenden Konstruktion.
- Ein Totalschaden am Gebäude war nicht zu verhindern.
- Nachlöscharbeiten wären sehr zeitaufwendig geworden, da man alle Wände hätte öffnen müssen.

2.3 Brand des Berghotels Mummelsee in Seebach

Am 05.05.2008 kam es in Seebach an der Schwarzwaldhochstraße zu einem Brand im Dach des Berghotel-Mummelsee [Donath, 2008].

2.3.1 Objektdaten / Konstruktionsmerkmale

Das auf 1036 Meter Höhe liegende dreigeschossige Gebäude wurde vor 100 Jahren in Holzbauweise errichtet. Das Gebäude hat eine Grundfläche von ca. 35 m x 17 m. Die Dachdeckung wurde mit Holzschindeln ausgeführt und der Dachstuhl mit einer 30 cm dicken Dämmschicht ausgestattet.

2.3.2 Einsatzablauf

Gegen 11:30 Uhr meldeten Passanten das Feuer. Sie hatten Rauch aus einer Dachgaube des Hotels dringen sehen. Ungefähr 25 Minuten nach der Brandmeldung trafen die ersten Einsatzkräfte der Feuerwehr an der Einsatzstelle ein. Insgesamt waren mit der Brandbekämpfung sieben Feuerwehren mit ca. 140 Einsatzkräften beschäftigt. Es wurden drei Drehleitern und eine Teleskopmastbühne in Stellung gebracht. Ein Innenangriff musste aus Sicherheitsgründen abgebrochen werden. Infolge der 30 cm dicken Dämmschicht gelang es den Einsatzkräften lange Zeit nicht, an das Feuer zu gelangen. Gegen 19 Uhr, rund siebeneinhalb Stunden nach der Brandmeldung, konnte das Feuer gelöscht werden. Das Gebäude war auch aufgrund der Löschwassermassen ein Totalschaden. Das Hotelgebäude ist anschließend wieder neu errichtet worden.

2.3.3 Fazit / Entstandene Probleme

Es handelte sich bei diesem Gebäude nicht um ein Gebäude moderner Bauweise, lediglich die Dämmdicke im Dach von 30 cm ist mit derjenigen moderner Gebäude zu vergleichen. Folgende Punkte sind bei diesem Einsatz festzuhalten.

- Der Brand konnte sich von der Entdeckung bis zum Eintreffen der Feuerwehr mindestens 25 Minuten entwickeln.
- Ein Innenangriff musste aus Sicherheitsgründen abgebrochen werden.
- Es war lange Zeit nicht möglich, den Brand durch die 30 cm starke Dämmung im Dach zu bekämpfen.
- Es entstand Totalschaden am Gebäude.

2.4 Brand eines wärme gedämmten Futterdaches in Villingen

Am 13.03.1986 kam es in Villingen im Schwarzwald zu einem Dachstuhlbrand. Bei dem Dach handelte es sich um ein wärme gedämmtes Futterdach [Hogel, 1987].

2.4.1 Objektdaten / Konstruktionsmerkmale

Das dreigeschossige Wohnhaus in der Alemannenstraße wurde zum Zeitpunkt des Brandes von sechs Familien mit insgesamt 19 Personen bewohnt. Das Dach war mit Ziegeln gedeckt und hatte mehrere Giebelfenster.

2.4.2 Einsatzablauf

Beim Eintreffen der Feuerwehr schlugen aus dem Dach keine Flammen, es quoll lediglich Rauch unter den Dachziegeln und aus einem geborstenen Giebelfenster hervor. Ein Trupp unter Atemschutz ging zur Erkundung vor und meldete, dass etwa die Hälfte des Daches brenne. Hitze und Rauch könnten aufgrund der Isolierung des Daches nicht entweichen. Die Drehleiter wurde an der Längsseite des Gebäudes in Stellung gebracht. Zwei weitere Trupps unter Atemschutz drangen unter Vornahme eines C-Rohres in das Gebäude ein. Durch das Öffnen der Dachfenster konnte der Rauch teilweise entweichen und die Sicht für die eingesetzten Atemschutztrupps verbessert werden.

Durch die erhebliche Wärmeentwicklung war ein Vorankommen der Atemschutztrupps nur sehr schwierig möglich. Durch die Bauweise des Futterdaches konnte sich das Feuer in der Dämmung weiter ausbreiten. Mit Unterstützung von zwei weiteren Drehleitern wurde begonnen das Dach zu öffnen, um einen Rauch- und Wärmeabzug zu schaffen. Diese Maßnahme ermöglichte es den Atemschutztrupps das Feuer zu löschen. Der Umstand, dass die Deckenkonstruktion des Hauses aus Beton bestand, ermöglichte es, das Löschwasser mittels Tauchpumpe aus dem Dachgeschoss zu befördern und somit den Wasserschaden zu begrenzen. Es wurden 72 Atemschutzgeräte eingesetzt. Dies kann auch als Hinweis auf eine hohe, durch schlechte Rauchabführung bedingte, Schadstoffkonzentration gewertet werden.

2.4.3 Fazit / Entstandene Probleme

Dieses Gebäude ist bezüglich seiner wärmegeprägten Dachkonstruktion mit Gebäuden moderner Bauweise vergleichbar. Aus diesem Ereignis sind folgende Punkte festzuhalten.

- Aus einem bereits geborstenen Giebelfenster und unter den Dachziegeln quoll Rauch hervor.
- Es war möglich, durch das Öffnen von Dachfenstern und des Daches einen Rauch- und Wärmeabzug zu schaffen und das Feuer durch einen Innenangriff zu löschen.
- Der Wasserschaden konnte durch rechtzeitigen Pumpeneinsatz und die vorliegende Bauweise auf ein Minimum reduziert werden.

2.5 Brand eines Ökohauses in Hechthausen

Am 14.05.1996 kam es in Hechthausen im Landkreis Cuxhaven zu mehreren Bränden in einem zum Zeitpunkt des Brandes fast fertig renovierten, aber noch nicht bewohnten Öko-Haus [Tödt, 1997].

2.5.1 Objektdaten / Konstruktionsmerkmale

Bei dem Brandobjekt handelte es sich um ein einstöckiges Wohnhaus mit einem ausgebauten Dachgeschoss. Die Grundfläche des Gebäudes betrug etwa 10 m x 14 m. Die Bedachung war mit Ziegeln ausgeführt. Die in Leichtbauweise errichteten Wände waren mit einer Dämmung aus Zellulose verfüllt.

2.5.2 Einsatzablauf

Beim Eintreffen der Feuerwehr war starke Rauchentwicklung im Dachbereich des Hauses wahrnehmbar, Flammen waren von außen jedoch nicht zu erkennen. Drei Trupps unter Atemschutz mit jeweils einem C-Rohr konnten die Brandstelle im Obergeschoss schnell lokalisieren und das Feuer ohne Wasserschaden löschen. Es hatten eineinhalb Quadratmeter des Holzfußbodens gebrannt. Ein mit Leinöl getränkter Lappen hatte durch Selbstentzündung Bauschutt entzündet. Alle angebrannten Gegenstände und der verkohlte Teil des Fußbodens wurden entfernt. Der Hohlraum zwischen Fußboden des Obergeschosses und der Decke des Erdgeschosses war mit Sand gefüllt, weshalb von der Einsatzleitung keine weitere Brandausbreitung er-

wartet wurde und eine Stunde nach der Alarmierung die Einsatzstelle verlassen wurde. Eine Brandwache blieb jedoch weitere vier Stunden vor Ort.

Rund siebeneinhalb Stunden nach dem ersten Brand musste die Feuerwehr zur gleichen Einsatzstelle ausrücken. Dieses Mal schlugen bereits Flammen aus dem Dach, als die ersten Einsatzkräfte eintrafen. Mehrere Trupps wurden unter Atemschutz im Innenangriff eingesetzt. Nach etwa einer halben Stunde war das Feuer unter Kontrolle.

Für Nachlöscharbeiten war es nötig, das Dach des Hauses teilweise abzudecken. Bei einer routinemäßigen Kontrolle des Gebäudes am Abend wurde austretender Rauch aus den Leichtbauwänden festgestellt. Die Feuerwehr öffnete Teile dieser Leichtbauwände und stellte Glutnester in der Zellulosedämmung fest. Die Feuerwehr musste noch mehrfach bis zum folgenden Tag zur Einsatzstelle ausrücken, um Glutnester in den Leichtbauwänden zu löschen. Glutnester befanden sich zum Teil mitten in einer Leichtbauwand, die nicht direkt dem Feuer ausgesetzt war. Diese Glutnester waren von nicht schwelendem Material umgeben. Die Feuerwehr vermutete eine Entzündung durch heißen Brandrauch, der sich in der Wand gesammelt hatte. Beim Löschen der Glutnester war zu beobachten, dass ein Löscherfolg nur mit Vollstrahl eintrat, was aber eine Aufwirbelung des trockenen Materials um das Glutnest zur Folge hatte.

2.5.3 Fazit / Entstandene Probleme

Wärmedämmung aus Zellulose wird, wie auch andere Naturfaser-Dämmstoffe, in heutigen Gebäuden verwendet. Aus diesem Einsatz ist nicht grundsätzlich die Verallgemeinerung zulässig, dass bei Verwendung von Naturfaser-Dämmstoffen immer den Beobachtungen gleichende Erscheinungen auftreten, da die in der Baupraxis für Dämmzwecke verwendeten Naturfasern durch flammhemmende Zusätze unterschiedliche brandschutztechnische Eigenschaften aufweisen können, wie etwa hinsichtlich unterschiedlich ausgeprägter Glimmneigung. Aus dem hier beschriebenen Einsatz sollen dennoch folgende allgemeine Punkte festgehalten werden.

- Das vordergründig gelöschte Feuer konnte infolge von über Stunden hinweg unerkannten Glutnestern in den Leichtbauwänden wieder zum offenen Flammenbrand übergehen.

- Das Feuer entzündete sich auch an Stellen, die nicht direkt vom Brand betroffen waren.
- Eine Bekämpfung der Glutnester war nur mit Vollstrahl möglich.
- Es kam beim Löschen mit Vollstrahl zu Aufwirbelungen des Dämmstoffes.

2.6 Brand eines Holzhauses mit Naturbedachung in Bösingfeld

Am 16.02.2008 kam es in Bösingfeld in der Gemeinde Extertal zu einem Brand in einem Holzhaus, dessen Dach als Naturdach ausgeführt war (siehe Beschreibung in 2.6.1 und Bild 2-4). Zum Zeitpunkt des Brandes befanden sich keine Personen in dem Gebäude [www.feuerwehr-extertal.de].

2.6.1 Objektdaten / Konstruktionsmerkmale

Bei dem in Holzbauweise ausgeführten Einfamilienhaus handelte es sich um ein eingeschossiges Gebäude mit ausgebautem Dachgeschoss. Die Bedachung wurde als begrüntes Dach mit folgendem Dachaufbau ausgeführt:

Auf den Sparren waren über die gesamte Dachfläche ca. 20 mm starke Holzbohlen befestigt. Auf diese Holzbohlen folgte eine Kunststoffolie über der wiederum eine Schicht aus Vlies aufgebracht war. Als Drainageschicht diente eine Schüttung aus Kies, die durch ein darüber liegendes Metallgewebe gehalten wurde. Den Abschluss des Daches bildete eine ca. 25 cm – 30 cm starke Mutterbodenschicht mit einem Bewuchs aus Gras und Pflanzen.

2.6.2 Einsatzablauf

Beim Eintreffen der Feuerwehr drang bereits Rauch aus dem Gebäude. Als ein Trupp unter Atemschutz versuchte durch die Eingangstür in das Gebäude einzudringen, schlug ihm dichter Qualm entgegen, was ein weiteres Vorgehen verhinderte. Das Erdgeschoss stand zu diesem Zeitpunkt nahezu im Vollbrand. Bedingt durch die Dachkonstruktion, die sich als vollkommen dicht herausstellte, konnten der Rauch und die Wärme nicht nach oben abziehen. Die Wärme war so groß, dass Steckleiterteile aus Aluminium, die an die Fenster im Obergeschoss angelegt waren, im oberen Bereich zu schmelzen begannen. Es war den Einsatzkräften aufgrund der Dicke des Dachaufbaus nicht möglich über die Drehleiter eine Dachöffnung zu schaffen. Da kein Innenangriff mehr möglich war blieb der Feuerwehr, wie Bild 2-3 zeigt, nur ein Außenangriff der aber nur begrenzt zielgerichtet erfolgen konnte. Nach Aussage der Feuerwehr war die Rauchentwicklung erheblich. Diese wurde durch die Wärme-

dämmung und eine Vielzahl brennbarer Einrichtungsgegenstände, auch solcher aus Kunststoffen, begünstigt (siehe Bild 2-3). Aufgrund der starken Rauchentwicklung musste lange Zeit im Bereich der Einsatzstelle unter Atemschutz gearbeitet werden. Es wurden im gesamten Einsatz etwa 130 Atemluftflaschen benötigt.



Bild 2-3 Zwei Feuerwehrleute unter Atemschutz beim Außenangriff [www.feuerwehr-extertal.de]

Zeitweise wurde das Feuer aus einem Wenderohr der Drehleiter, einem Ringmonitor, zwei bis drei B-Strahlrohren und zehn bis zwölf C-Strahlrohren bekämpft. Dies ergab eine zeitweise Wasserleistung von ca. 4200 l/min. Erst nach dem Durchbrennen der Firstpfette an einigen Stellen konnte genügend Rauch und Wärme abziehen und ein gezielter Löschangriff über die Drehleiter vorgenommen werden.

Nach etwa achteinhalb Stunden war das Feuer gelöscht. Da das Gebäude als einsturzgefährdet eingestuft wurde, versuchte man mit einem Bagger die Dachlast von ca. 30 t zu verringern was aber, wie Bild 2-4 zeigt, nur zum Teil gelang, da die Dachkonstruktion durch den Bagger zerstört wurde.



Bild 2-4 Bagger versucht die Dachlast des begrüntes Daches zu verringern [www.feuerwehr-extertal.de]

2.6.3 Fazit / Entstandene Probleme

Folgende Punkte sollten aus diesem Einsatz festgehalten werden.

- Ein Innenangriff war aufgrund der starken Wärme- und Rauchentwicklung nicht möglich.
- Die Bedachung war absolut dicht und somit undurchlässig für Wärme und Rauch.
- Es war nicht möglich einen Rauch- und Wärmeabzug im Dach zu schaffen.
- Trotz massiven Außenangriffs mit hohem Material und Wassereinsatz von bis zu ca. 4200 l/min war das Feuer nicht zu löschen.
- Erst nach dem Durchbrennen der Firstpfette war es möglich, den Brand unter Kontrolle zu bringen.

2.7 Zusammenfassung / Fazit

Alle beschriebenen Einsätze waren sehr personal- und zeitaufwendig. Bemerkenswert ist die hohe Anzahl eingesetzter Atemschutzgeräte. Dies lässt darauf schließen, dass die Belastung durch Brandrauch und somit die Belastung für die Einsatzkräfte auch wegen des Vorgehens unter Atemschutz sehr hoch gewesen sein muss.

Die Schäden an den Gebäuden waren teils erheblich; in einigen Fällen konnte sogar ein Totalverlust des Gebäudes nicht verhindert werden. Ausgehend von diesen Einsätzen ergibt sich die Erkenntnis, dass es durch die dichte Gebäudehülle zu langen Vorbrennzeiten kommen kann. Die dichte Gebäudehülle in Verbindung mit Mehrfachverglasungen fördert vermutlich die Entstehung von Rauchgasdurchzündungen, da die langen Standzeiten der Verglasungen zu lang anhaltendem Raumabschluss führen. Aufgrund des guten Raumabschlusses kommt es zu einer schlechten Ventilation und dadurch zur Bildung von erheblichen Mengen an brennbaren Schwelgasen und weiteren Produkten unvollständiger Verbrennung wie Kohlenstoffmonoxid CO₂ kommen. Weil aus dem Gebäude kein oder nur wenig Rauch nach außen dringt, kann sich die Branderkennung und somit auch die Brandbekämpfung verzögern.

Die Schaffung von Rauch- und Wärmeabzug in Dächern ohne Fenster und mit einer starken Dämmung war für die Feuerwehren mit den ihnen im Normalfall zur Verfügung stehenden Werkzeugen nicht möglich. Der fehlende Rauch- und Wärmeabzug

hatte zur Folge, dass sich die Gebäude immer weiter aufheizten und sich die Sicht verschlechterte. Hierdurch wird das Vorgehen eines Atemschutztrupps zur Rettung von Personen oder zur Brandbekämpfung erheblich erschwert, weil dies nur unter erhöhtem Eigenrisiko bei Vorsehen geeigneter Schutzmaßnahmen im Bereich der PSA möglich ist. Wenn ein Innenangriff nicht mehr durchführbar ist, bleibt den Einsatzkräften nur ein Außenangriff. Da dieser nicht vergleichbar zielgerichtet wie ein Innenangriff durchgeführt werden kann, wird sowohl der Schaden durch Löschwasser erheblich werden und ggfs. ein Totalverlust des Gebäudes nicht zu vermeiden sein.

Nach dem Löschen des offenen Flammenbrandes sowie dem Ablöschen der erkennbarer Glut in noch im Raum vorhandenen nicht verdeckten glutbildenden Feststoffen können unentdeckte Schwelbrände in der Dämmung ein weiteres Problem darstellen. Diese Schwelbrände ziehen aufwendige Nachlöscharbeiten nach sich, da zum Ablöschen meist die Wände geöffnet werden müssen.

Die oben beschriebenen Probleme, die bei den Einsätzen entstanden sind, dienen als Anhaltspunkte für mögliche Risiken, die bei Bränden in Gebäuden moderner Bauweise auftreten können und von den Einsatzkräften in der Ausbildung und in Einsätzen berücksichtigt werden müssen.

Die wesentlichen Probleme, die bei Bränden in Gebäuden moderner Bauweise auftreten, scheinen durch die folgenden Faktoren zu entstehen.

- Luftdichtheit (nach außen)
- Wärmedämmung

Im Weiteren wird geprüft, inwieweit sich Gebäude moderner Bauweise und konventionell errichtete Gebäude in diesen Faktoren unterscheiden und ob es möglich ist, durch konstruktive Maßnahmen eine Reduktion des Risikos herbeizuführen.

3 Gebäudekonstruktion

3.1 Konstruktionsmerkmale von Gebäuden in moderner Bauweise

3.1.2 Allgemeines

Bei einem Gebäude moderner Bauweise kommt in energetischer Hinsicht der Gebäudehülle die größte Bedeutung zu. Die Gebäudehülle setzt sich aus den Bauteilen Außenwand, Dach und Bodenplatte zusammen, an die hohe Anforderungen in Bezug auf Luft- und Winddichtheit, Wärmedämmung und Wärmebrückenfreiheit gestellt werden [Grobe, 2002.]. Ein kleiner Verhältniswert Oberfläche zu Volumen (A/V-Wert) der Gebäudehülle gilt aus energetischer Sicht als günstig [Endhardt, 2002.]. Für Fenster und Haustüren in der Gebäudehülle müssen die gleichen hohen Anforderungen gelten [Baffia, 1998].

Da der Luftaustausch im Gegensatz zu Gebäuden in konventioneller Bauweise grundsätzlich über eine Lüftungsanlage gesteuert wird, kommt der Luftdichtheit der Gebäudehülle eine besondere Bedeutung zu [Endhardt, 2002]. Die Luftdichtheit von Gebäuden kann durch eine „Blower-Door“- Messung ermittelt werden. Gebäude moderner Bauweise erreichen eine Luftwechselrate von höchstens 0,6/h [Endhardt, 2002]. Die Luftwechselrate gibt an, welche Luftmenge im Verhältnis zum Volumen des Gebäudes, in einer Stunde, bei 50 Pa Druck, ausgetauscht wird. Eine Restluftwechselrate zwischen 0,01/h und 0,15/h wird in der Praxis durchaus erreicht [Kilchenmann, 1998]. Die Restluftwechselrate ist ein Maß für die Luftmenge die im Verhältnis zum Volumen des Hauses durch Undichtigkeiten pro Zeiteinheit bei geschlossener Lüftungsanlage nachströmt. Für einen Raum mit 25 m² Grundfläche und einer Raumhöhe von 2,5 m würde dies, bezogen auf die Restluftwechselrate bedeuten, dass der stündliche Luftaustausch zwischen 0,625 m³ und 9,375 m³ liegen kann.

3.1.3 Außenwände

Die Außenwände eines Gebäudes bilden meist den größten Anteil an der Gebäudehülle. Um den bei Gebäuden moderner Bauweise angestrebten Wärmedurchgangskoeffizienten U (früher k-Wert) von 0,15 W/(m²K) zu erreichen, müssten im konventionellen Bau verwendete einschalige Massivwände aus zum Beispiel porosierten Leichtziegeln eine Dicke von ca. 1 m aufweisen [Grobe, 2002]. Da diese Konstruktion

die Wohnfläche verkleinern würde, gibt es auf dem Markt mittlerweile viele Wandkonstruktionen, die auch bei erheblich geringeren Wanddicken die angestrebten U-Werte erreichen [Enz, 2006].

Eine grundsätzliche Unterscheidung kann bei den Konstruktionen in solche in Leicht- und in Massivbauweise gemacht werden. Nachstehend werden beispielhaft Außenwände in Massivbauweise mit Außendämmung (Wärmedämmverbundsystem), solche in zweischaliger Bauweise mit Kerndämmung und Leichtbaukonstruktionen beschrieben. Im Bereich der Wandkonstruktionen wird zunehmend Holz verwendet, auch aus ökologischen Beweggründen. [Enz, 2006]

3.1.3.1 Außenwände in Massivbauweise mit Außendämmung

Bei dieser Konstruktion werden die Wärmeverluste durch Dämmstoff an der Außenseite der Wand reduziert. Das Mauerwerk kann somit auf ein statisch erforderliches Maß reduziert werden. Bild 3-1 zeigt den schematischen Aufbau einer Wand in Massivbauweise mit Außendämmung.

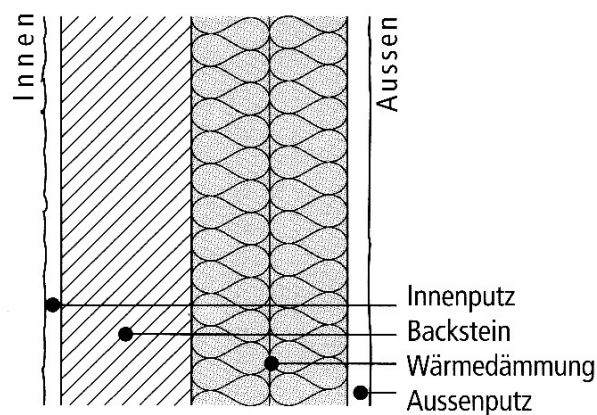


Bild 3-1 Wand in Massivbauweise mit Außendämmung [Kilchenmann et al., 1998]

Durch die im Mauerwerk verwendeten Baustoffe wie Back- oder Kalksandstein, Normal- oder Stahlbeton wird durch die hohe Rohdichte ($2,0 \text{ kg/dm}^3 - 2,5 \text{ kg/dm}^3$) eine sehr gute Wärmespeicherung und eine geringe Schalldicke erreicht [Grobe, 2002]. Die Luftdichtheit der Außenwand ist durch Mauerwerk, welches nach DIN 1053-1 [1996] ausgeführt wurde, nicht alleine zu erreichen [DIN 4108-3, 2001]. Durch nicht vollflächig ausgeführte Mauerfugen und spannungsbedingte Risse entstehen Undichtigkeiten [Grobe, 2002]. Die Luftdichtheit wird durch das Auftragen einer Putzschicht nach DIN V 18550 [2005], die auf der gesamten Außenwand und auf der Innenwand

vom Rohfußboden bis zur Rohdecke geführt wird, erreicht [Grobe, 2002] [DIN 4108-3, 2001]. Grundsätzlich kann eine fachgerecht ausgeführte Betonwand als luftdicht angesehen werden [Pregizer, 2007]. Es werden Wanddicken (inkl. Dämmung) von mehr als 30 cm verwendet [Simon, 2004].

3.1.3.2 Außenwände in zweischaliger Bauweise mit Kerndämmung

Bei diesem Wandaufbau befindet sich, wie Bild 3-2 zeigt, zwischen der innenliegenden Tragschale aus Backstein und dem außen liegenden Vormauerwerk ein Dämmstoff von maximal 15 cm Dicke. Die Luftdichtheit wird nur durch das Auftragen von Innen- und Außenputz erreicht. Die Wanddicken (inkl. Dämmung) liegen im Bereich von mehr als 40 cm [Pech; Kolbitsch, 2005].

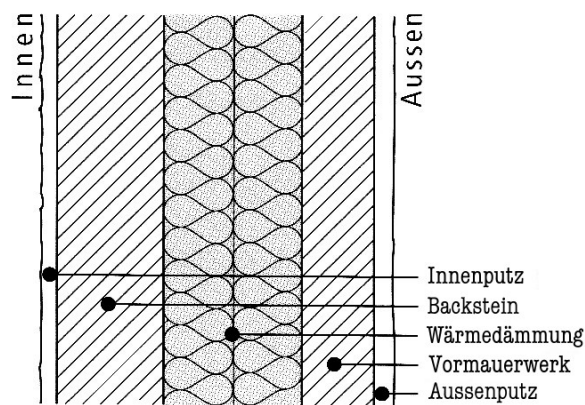


Bild 3-2 Wand in Zweischaliger Bauweise mit Kerndämmung
[Kilchenmann, et al., 1998], redaktionell bearbeitet

3.1.3.3 Außenwände in Leichtbaukonstruktion

Bei der typischen Leichtbaukonstruktion besteht der Aufbau der Wand aus einem Holzrahmen, der die tragende Funktion übernimmt und einer beidseitigen Beplankung aus Spanplatten oder Sperrholzplatten [Grobe, 2002] [Simon, 2004]. Es werden keine Streben wie im Fachwerkbau benötigt [Simon, 2004]. Der zwischen den Holzbauplatten entstehende Hohlraum wird mit Klemmfalzplatten oder durch das Einbringen von Einblas- bzw. Schüttdämmung befüllt. Auf der Außenseite der Konstruktion ist als Witterungsschutz eine hinterlüftete Fassadenbekleidung vorgesehen. Die Luftdichtheit wird durch innenseitig verklebte Baupappen sichergestellt. Eine weitere Möglichkeit zur Gewährleistung der Luftdichtheit ist eine Beplankung mit genuteten OSB-Platten (Oriented Strand Board, Grobspanplatte). Raumseitig ist auf die Luftdichtigkeitsebene eine weitere Ebene mit einer Dämmung von 5 cm Dicke mit ab-

schließender Beplankung aufgebracht. Diese Ebene wird als Installationsebene bezeichnet. Sie dient dem Verlegen von Installationsleitungen, ohne die Luftdichtheit der Wandkonstruktion zu gefährden. In Bezug auf die Wärmespeicherung ist die Leichtbaukonstruktion aufgrund ihrer geringeren Masse gegenüber einer Massivwand schlechter zu bewerten. Im Hinblick auf die Luftdichtheit haben sich über die Jahre hinweg die vielen Bauteilanschlüsse als Problem herausgestellt [Grobe, 2002]. Die Wanddicken (incl. Dämmung) liegen im Bereich von mehr als 40 cm [Simon, 2004].

3.1.4 Dach

Bei der Konstruktion des Daches wurden bei Gebäuden moderner Bauweise bereits viele Dachformen realisiert [Grobe, 2002]. Eine Unterscheidung wird in dieser Arbeit hinsichtlich ihrer Neigung gemacht. Es wird unterteilt in Flachdach (bis 5° Neigung) und geneigtes Dach [Häger, 1998]. Im Gegensatz zu den Wänden eines Gebäudes ist die Dämmdicke des Daches nicht aus räumlichen Gründen begrenzt sondern eher durch die Wirtschaftlichkeit. Aus diesem Grund wird die Dämmung des Daches so dick gewählt, wie es aus wirtschaftlichen Gründen noch vertretbar ist [Feist, 2005]. Liegt die Dämmdicke der Wand im Bereich von 30 cm, so erhöht sich diese im Dachbereich auf 40 cm [Grobe, 2002]. Dämmschichten von 32 cm im Dachbereich stellen für Gebäude moderner Bauweise ein Minimum dar [Feist, 2005]. Die Dämmung der Außenwand geht nahtlos in die Dämmung des Daches über [Simon, 2004].

3.1.4.1 Geneigtes Dach

Geneigte Dächer werden meist in Holzleichtbauweise erstellt [Simon, 2004]. Den grundsätzlichen Aufbau eines geneigten Daches zeigt Bild 3-3.

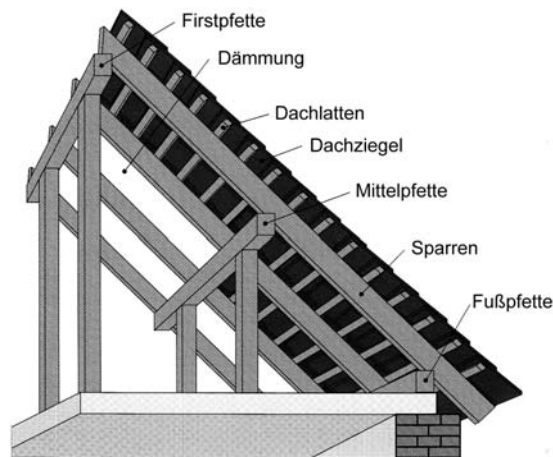


Bild 3-3 Aufbau eines Daches in Holzbauweise [Kemper, 2003], redaktionell bearbeitet

Die Dämmung wird, wie Bild 3-3 zeigt, zwischen den Sparren eingebracht. Da handelsübliche Sparren nicht über eine Dicke von 24 cm hinausgehen, sind sie nicht in der Lage, die minimale Dämmstoffdicke von 32 cm aufzunehmen. Um die geforderte Dämmung aufnehmen zu können, ist daher eine gedoppelte Konstruktion aus Kant-hölzern, die quer zu den Sparren verlaufen, erforderlich. Die Luftdichtheit wird mit direkt- oder mit Klebeband verklebten Holzwerkstoffplatten sichergestellt [Grobe, 2002].

3.1.4.2 Flachdach

Flachdächer werden sowohl in Holzleichtbauweise als auch in Massivbauweise errichtet. Die Massivbauweise bietet gegenüber der Holzleichtbauweise im Hinblick auf die Luftdichtheit Vorteile, da sie einfacher zu realisieren ist, da die verwendeten Stahlbetonplatten generell als luftdicht gelten [Grobe, 2002].

3.1.5 Bodenplatte

Die aus Stahlbeton bestehende und somit generell als luftdicht angesehene Bodenplatte wird meist auf der Innenseite mit einer Dämmung versehen. Die Dämmdicke liegt im Bereich von 24 cm [Grobe, 2002].

3.1.6 Fenster

Fenster bestehen aus der Verglasung und dem Fensterrahmen. Besondere Bedeutung wird einer fachgerechten Ausbildung der Anschlüsse der Fenster an die raumabschließenden Bauteile beigemessen, da sie sonst eine Schwachstelle in der Gebäudehülle bilden und somit die Luftdichtheit gefährden [Pech et al., 2005]. Da nur wenige Hersteller Dachfenster für Gebäude moderner Bauweise anbieten, wird meist

aus wirtschaftlichen Gründen auf den Einbau verzichtet [Pregizer], und somit werden ausschließlich Fenster in der Fassade verbaut.

3.1.6.1 Verglasung

In Gebäuden moderner Bauweise kommen bei den Fenstern meist Dreifachverglasungen zum Einsatz [Pech et al., 2005]. Die Verglasungen haben zwei widersprüchliche Anforderungen zu erfüllen. Auf der einen Seite einen geringen Wärmedurchgang (Wärmedurchgangskoeffizient: U-Wert, früher k-Wert in $W/(m^2 \cdot K)$) zur Verminderung von Transmissionswärmeverlusten, auf der anderen Seite einen hohen Energiedurchlass zur Erzielung von solaren Gewinnen. Der g-Wert (Energiedurchlassgrad) gibt an, wie viel Energie von der auftreffenden Sonnenstrahlung durch die Verglasung ins Rauminnere gelangt. Eine Senkung des U-Wertes hat aber auch gleichzeitig die Reduzierung des g-Wertes zur Folge. Diese Abhängigkeit setzt der Verbesserung der Fenster physikalische Grenzen [Grobe, 2002]. Heutige Dreifach-Wärmeschutzverglasungen erzielen U-Werte im Bereich von $\leq 0,7 W/(m^2 K)$ [Endhardt, 2002]. Dieser Wert wird durch den in Bild 3-4 dargestellten Aufbau des Fensters realisiert.

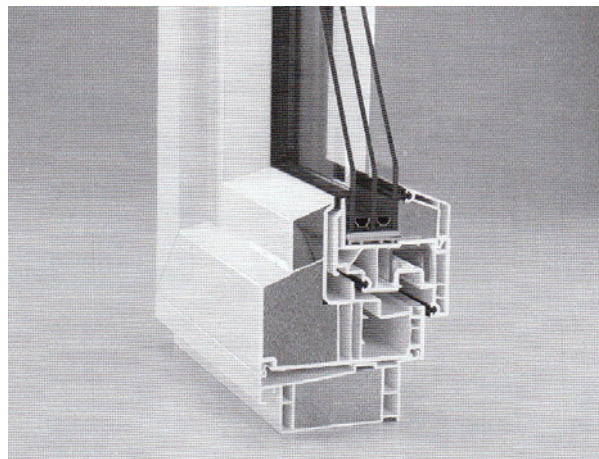


Bild 3-4 Aufbau eines Fensters mit Dreifachverglasung [Grobe, 2002]

In den Zwischenräumen der Verglasung befindet sich häufig eine Edelgasfüllung. Hierbei kommt je nach Ausführung Krypton, Argon oder getrocknete Luft zum Einsatz [Sanco, 2004]. Die Abstände der einzelnen Verglasungen variieren im Bereich von 8 mm bis 16 mm [Grobe, 2002].

3.1.6.2 Rahmen

Eine gute Dreifach-Isolierverglasung benötigt einen Fensterrahmen in entsprechender Qualität [Feist, 1998]. Fensterrahmen aus einer Kombination von PUR-Hartintegralschaum und PUR-Isolierschaum erfüllen diese Anforderungen [Baffia, 1998]. Ebenso kommen Holzfensterrahmen in Kombination mit PUR, in fünfschichtigem Aufbau, bei dem drei Dichtungsebenen für die Dichtheit des Fensters sorgen, zum Einsatz [Grobe, 2002]. Die sichere Luftabdichtung zwischen Fensterrahmen und Mauerwerk erfolgt durch das Verfüllen mit Mörtel und Auftragen einer luftdichten Putzschicht [Baffia, 1998]. DIN 18055 [1981] beschreibt die Fugendurchlässigkeit bei Fenstern, DIN EN 12207 [2000] die Klassifizierung der Luftdurchlässigkeit von Fenstern und Türen. Der Fugendurchlasskoeffizient a kennzeichnet die über die Fugen zwischen Flügel und Blendrahmen eines Fensters je Zeit in Std. (h), Meter Fugenlänge und Luftdruckdifferenz von 10 Pa ausgetauschte Luftmenge. Moderne Fenster erreichen einen a -Wert von $\leq 0,1 \text{ m}^3/(\text{hm})$ bei 10 Pa [<http://www.rehau.de>].

3.1.7 Haustüren

Für die Haustür gelten im Prinzip die gleichen Anforderungen wie für den Einbau von Fenstern. Bei Haustüren werden Q -Werte (Luftdurchlässigkeit) von $\leq 2,25 \text{ m}^3/(\text{hm})$ bei 100 Pa erreicht [<http://www.fenster-buck.de>]. Bezogen auf ein Standardmaß von 110 cm x 210,5 cm bedeutet dies einen stündlichen Luftdurchlass von $14,42 \text{ m}^3$.

3.2 Gebäudekonstruktion in konventioneller Bauweise

3.2.1 Einleitung

Da die Konstruktionen von konventionellen Gebäuden alters- und modernisierungsabhängig unterschiedlich sind, können in diesem Abschnitt nur allgemeine Angaben erfolgen. Um den Gebäudebestand in Deutschland mit Gebäuden moderner Bauweise vergleichen zu können, werden unter anderem die Kennwerte Wärmedämmung und Luftdichtheit herangezogen.

Bild 3-5 zeigt den durchschnittlichen Heizenergiebedarf von deutschen Wohngebäuden im Vergleich zu Passivhäusern [Kilchenmann, 1998].

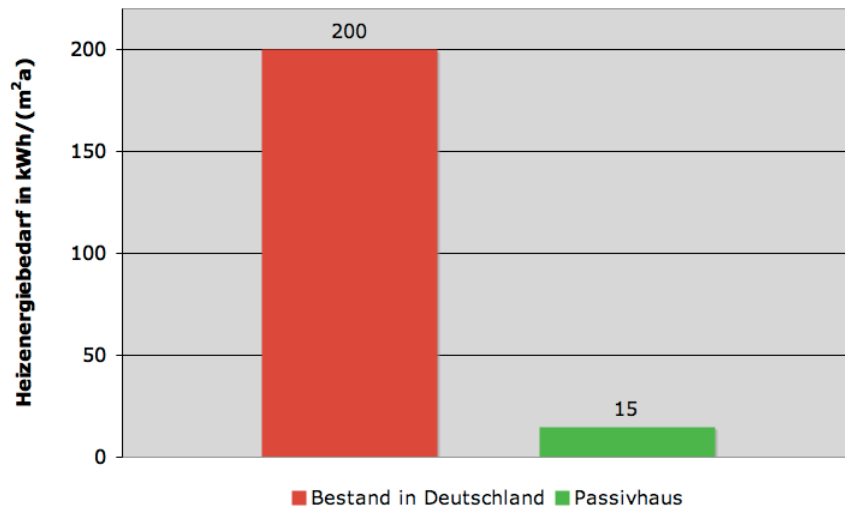


Bild 3-5 Heizenergiebedarf im Vergleich [Kilchenmann, 1998]

Der Heizenergiebedarf eines Gebäudes in Deutschland ist um mehr als den Faktor 13 höher als der eines Gebäudes vergleichbarer Nutzung, das in moderner Bauweise errichtet wird. Dies lässt darauf schließen, dass Luftdichtheit und Wärmedämmung bei konventionellen Gebäuden wesentlich geringer sind.

3.2.2 Gebäudebestand in Deutschland

Der Gebäudebestand wurde auf Grundlage von Basisdaten [Diefenbach, 2007] des Institutes für Wohnen und Umwelt in sieben Altersklassen eingeteilt. Bild 3-6 zeigt den prozentualen Gebäudebestand in Deutschland unterteilt in Altersklassen.

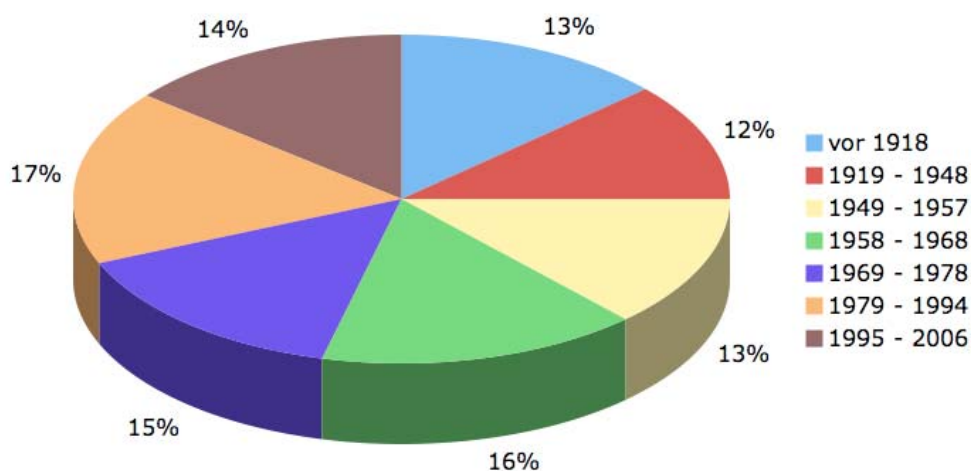


Bild 3-6 Gebäudebestand Deutschland [Diefenbach, 2007]

Im Jahr 2006 waren mehr als 50 % der Gebäude in Deutschland älter als 37 Jahre.

3.2.3 Wärmedämmung

Durch einen Vergleich der U-Werte kann darauf geschlossen werden, wie gut ein Gebäude gedämmt ist. Bild 3-7 und Bild 3-8 wurden auf Grundlage von Basisdaten [IWU, 2003] des Instituts Wohnen und Umwelt und der in Abschnitt 3.2.2 gewählten Altersklassen berechnet. Bild 3-7 zeigt die in Altersklassen unterteilte Entwicklung des U-Wertes von Dächern in Deutschland.

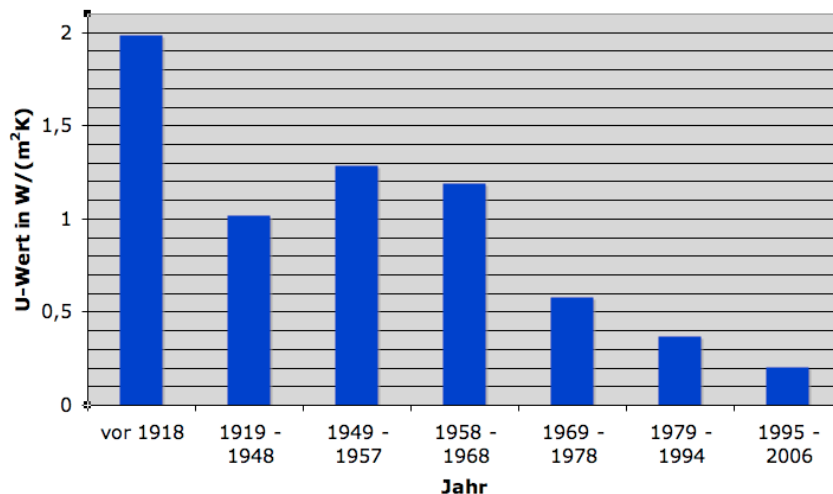


Bild 3-7 Entwicklung des U-Wertes von Dächern [IWU, 2003]

Es ist eine deutliche Verbesserung des U-Wertes von Dächern in den letzten Jahrzehnten zu erkennen. Für den Gebäudebestand wurde ein durchschnittlicher U-Wert von ca. 1,2 W/(m²K) für Dächer ermittelt. Dieser Wert liegt um den Faktor 8 höher als der von Gebäuden moderner Bauweise. Bild 3-8 zeigt die Entwicklung des U-Wertes der Außenwände in den verschiedenen Altersklassen.

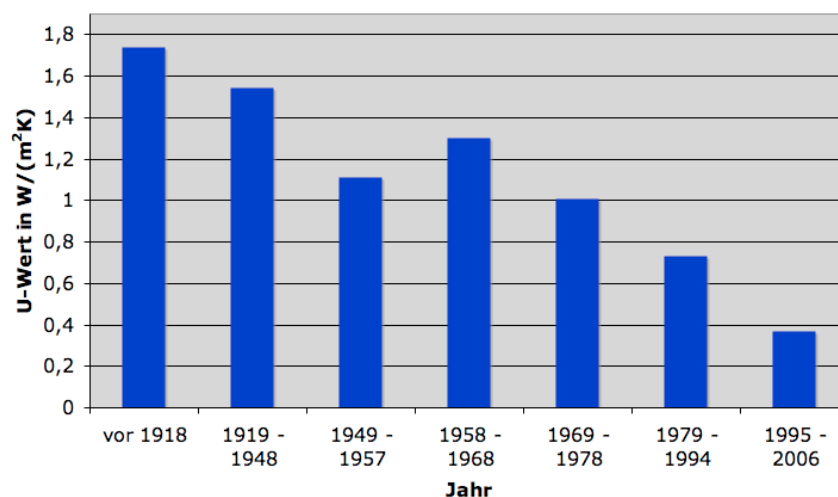


Bild 3-8 Entwicklung des U-Wertes von Außenwänden [IWU, 2003]

Auch im Bereich der Außenwände ist eine deutliche Verbesserung des U-Wertes zu erkennen. Als Durchschnittswert ergab sich für Außenwände ein Wert von ca. $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Der Vergleich mit Gebäuden moderner Bauweisen ergibt, dass dieser Wert um den Faktor 8,7 höher liegt.

Sowohl für den U-Wert von Dächern als auch für den von Außenwänden ist bei neueren Gebäuden eine klare Verbesserung zu erkennen. Die Durchschnittswerte im Bestand weichen weit von den Werten der Gebäude moderner Bauweise ab.

3.2.4 Luftdichtheit

Um die Luftdichtheit des Gebäudebestandes bewerten zu können, wurden von Trauernicht durchgeführte Blower-Door Messungen ausgewertet. Es handelt sich dabei um Messungen, die im Zeitraum von 1998 bis 2008 in unterschiedlichen Objekten durchgeführt wurden. Bild 3-9 berücksichtigt nur die Ergebnisse der Messungen in Einfamilien-, Mehrfamilienhäusern und Doppelhaushälften.

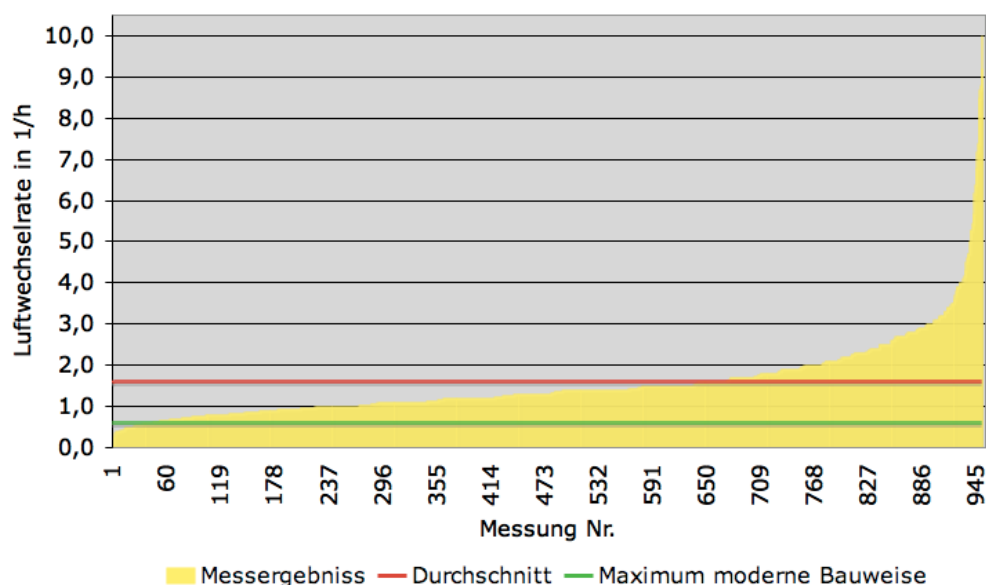


Bild 3-9 Ergebnisse der Blower-Door Messungen [Trauernicht, 2008]

Es wurden 953 in Einfamilien-, Mehrfamilienhäusern und Doppelhaushälften durchgeführte Messungen ausgewertet. Es ergab sich eine durchschnittliche Luftwechselrate von $1,6/\text{h}$, die in Bild 3-9 als rote Linie dargestellt ist. Die grüne Linie stellt den maximal zulässigen Wert von $0,6/\text{h}$ für Gebäude moderner Bauweise dar.

Wie Bild 3-10 zeigt, wurde bei 95 % der Messungen ein Wert über $0,6/\text{h}$ gemessen. Ein Wert unter $1,3/\text{h}$ konnte bei 44 % der Messungen ermittelt werden. Das bedeutet,

dass über die Hälfte der Bestandsgebäude mindestens eine doppelt so große Luftwechselrate aufweist wie Gebäude moderner Bauweise.

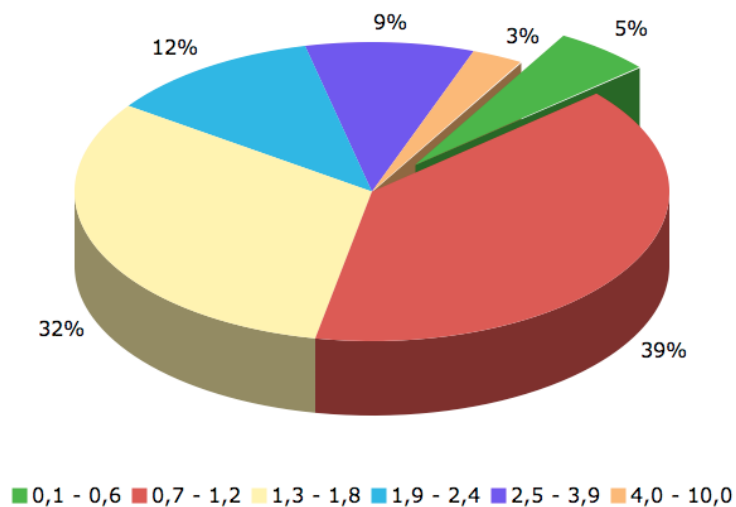


Bild 3-10 Prozentuale Verteilung der Luftwechselraten [Trauernicht, 2008]

3.3 Fazit

Der Gebäudebestand in Deutschland ist in den Punkten Luftdichtheit und Wärmedämmung den Gebäuden moderner Bauweise weit unterlegen. Durch viele innovative Konstruktionen im Wand- und Dachbereich, sowie durch den Einsatz von Dreifachisolierverglasungen ist es gelungen, die Energieverluste durch die Bauteile auf ein Minimum zu reduzieren.

- 95 % des Gebäudebestandes erreichten nicht die Luftdichtheit von Gebäuden moderner Bauweise.
- Die Wärmedämmung in Gebäuden moderner Bauweise ist um den Faktor 8 – 8,7 besser als im Gebäudebestand.
- Da aus wirtschaftlichen Gründen bei Gebäuden moderner Bauweise meist auf den Einbau von Dachfenstern verzichtet wird, ist es für die Feuerwehr schwerer, Rauch und Wärmeabzug im Dachbereich zu schaffen.
- Wenn Dachfenster vorhanden sind, sollte die Möglichkeit geschaffen werden, diese im Brandfall von einer zentralen Stelle aus maschinell zu öffnen. Damit hätte die Feuerwehr die Möglichkeit zur Schaffung von Rauch- und Wärmeabzug, ohne sich in Gefahr zu bringen

4 Gebäudetechnik in Gebäuden moderner Bauweise

4.1 Einleitung

Gebäude moderner Bauweise kommen größtenteils ohne aktives Heizsystem aus. Durch gute Dämmung und Luftdichtheit sind die Wärmeverluste gering. Nur ein Bruchteil der Heizenergie eines in konventioneller Bauweise errichteten Gebäudes wird benötigt (siehe Abschnitt 3.2.1) [Grobe, 2002]. In den meisten Fällen kommen elektrische Nachheizsysteme zum Einsatz, die über Strom aus dem öffentlichen Netz oder aus einer auf dem Gebäude installierten Photovoltaikanlage betrieben werden [Grobe, 2002]. Die Auswirkungen einer solchen Photovoltaikanlage auf einen Feuerwehreinsatz werden in Abschnitt 4.10 behandelt. Auf die Brandmeldetechnik und deren Besonderheiten in Gebäuden moderner Bauweise wird in Abschnitt 4.11 eingegangen.

Im Gegensatz zum Heizsystem kann auf eine Lüftungsanlage nicht verzichtet werden [Grobe, 2002]. Sie ist in Bezug auf die Gebäudetechnik die wichtigste Komponente. In diesem Bericht wird auf andere als die oben genannten Komponenten der Gebäudetechnik nicht eingegangen, da sich diese von denen in konventionellen Bauten nicht unterscheiden.

Durch die Tatsache, dass eine Lüftungsanlage in jedem Gebäude moderner Bauweise vorhanden ist, sollte unter anderem die Fragestellung geklärt werden, ob es möglich ist, diese im Brandfall als maschinell betriebenen Rauchabzug mitzunutzen, um die Gefahr für die Bewohner zu reduzieren und den Einsatzkräften der Feuerwehr ein leichteres, schnelleres und risikoärmeres Vorgehen zu ermöglichen.

4.2 Lüftungsanlage

4.2.1 Anforderung nach § 41 Musterbauordnung

Abs.1 besagt, dass Lüftungsanlagen betriebssicher und brandsicher sein müssen [MBO, 2009].

4.2.2 Begriffsbestimmung

Abluft = Luft, die einen Raum verlässt

Raumluft = Luft in einem Raum

Zuluft = Luft, die in einen Raum eintritt nachdem sie behandelt wurde

Fortluft = Luft, die ins Freie abgeführt wird

Außenluft = Luft, die von außen unbehandelt in eine Anlage oder einen Raum strömt

4.2.3 Notwendigkeit einer Lüftungsanlage

Aufgrund der Luftdichtheit von Gebäuden moderner Bauweise ist es notwendig, eine Lüftungsanlage zur Sicherung der Qualität der Raumluft zu installieren. Ein Betrieb dieser Gebäude wäre aus energetischer und bauphysikalischer Sicht ohne Lüftungsanlage nicht möglich [Grobe, 2002]. DIN 1946 Teil 6 (Lüftung von Wohnungen, [2009]) beschreibt unter anderem die Ausführung und Auslegung von Raumlufttechnik.

4.3 Lüftungssysteme

4.3.1 Arten von Lüftungssystemen

Bei den Lüftungssystemen wird unterschieden in [Grobe, 2002]:

- reine Abluftsysteme
- Zu- und Abluftsysteme

4.3.1.1 Abluftsystem

Reine Abluftsysteme stellen eine vom Installationsaufwand einfache Möglichkeit der maschinellen Lüftung dar, weil bei reinen Abluftsystemen die Raumluft mittels Abluftventilator über nur eine Lüftungsleitung zentral als Fortluft nach außen geführt wird. Die Außenluft gelangt über dezentral angeordnete Ventile ins Gebäude [Grobe,

2002]. Reine Abluftsysteme werden in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet, da in Gebäuden moderner Bauweise meist Zu- und Abluftsysteme genutzt werden.

4.3.1.2 Zu- und Abluftsystem

Das Zu- und Abluftsystem benötigt im Gegensatz zum reinen Abluftsystem eine weitere Lüftungsleitung für die Zuluft [Grobe, 2002]. Außenluft wird aus der Umgebung des Gebäudes angesaugt. Die Abluft aus Feuchträumen wie z.B. Küche, Bad und WC ist wärmer als die Außenluft und kann somit angesaugt werden, um die Außenluft in einem Wärmeübertrager berührungslos zu erwärmen. Danach strömt die erwärmte Außenluft als Zuluft in Wohn-, Kinder-, Schlaf- und Esszimmer des Gebäudes

[Feist, 1999]. Die Abluft strömt als Fortluft aus dem Gebäude. Treppenhaus, Diele und Flur werden ggf. als Überströmzone zwischen Zuluft- und Abluftzone genutzt. Überströmöffnungen in den Türen oder Wänden sorgen dafür, dass die Luft von der Zuluft- über die Überström- in die Abluftzone gelangen kann. Bild 4-1 zeigt das Prinzip eines Zu- und Abluftsystems.

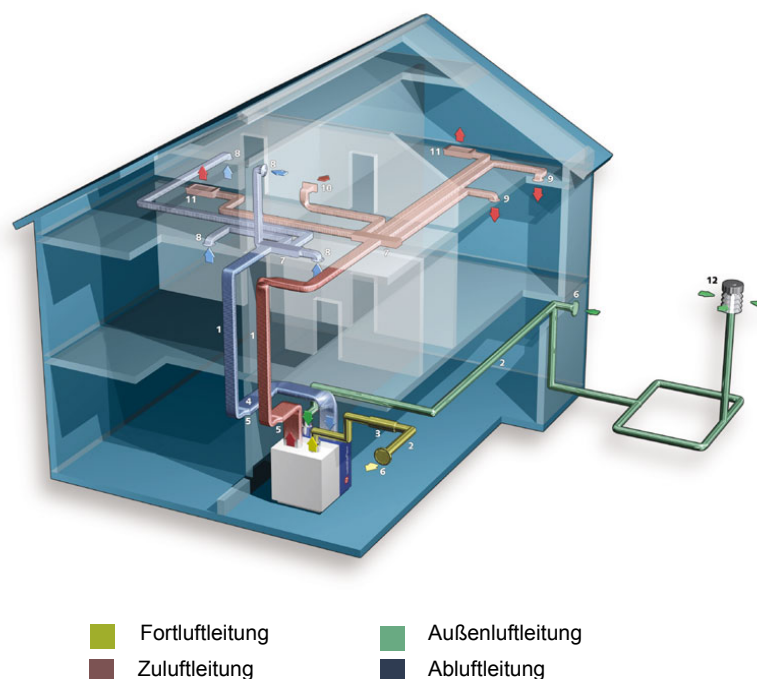


Bild 4-1 Zu- und Abluftsystem in einem Einfamilienhaus [www.westaflex.com]

Die Außenluftleitung wird, bevor sie ins Gebäude gelangt, durch das Erdreich geführt um die Außenluft zu erwärmen.

4.4 Lüftungsgerät

4.4.1 Komponenten

Das Lüftungsgerät ist die Zentrale der Lüftungsanlage. Im Lüftungsgerät sind Zu- und Abluftventilatoren untergebracht. Bei Geräten mit Wärmerückgewinnung ist der Wärmeübertrager eine weitere Komponente im Lüftungsgerät.

4.4.2 Regelbarkeit

Das Lüftungsgerät muss jederzeit abgeschaltet werden können und die Lüftungsarten Grundlüftung, Standardlüftung und erhöhte Lüftung zulassen [Grobe, 2002]. Aufgrund dieser Regelbarkeit des Lüftungsgerätes ist eine Lüftungsart „Brand“, die z.B. über einen Rauch- oder Feuermelder gesteuert wird, denkbar. Welche Auswirkungen diese Lüftungsart haben soll wird im Weiteren geklärt. Denkbar ist die Möglichkeit der Abschaltung, um keinen weiteren Sauerstoff zuzuführen und ggf. eine Ausbreitung über die Lüftungsanlage zu verhindern. Eine andere Möglichkeit besteht darin mit maximaler Abluft zu arbeiten, um eine Abführung von Rauch und Pyrolysegasen aus dem Gebäude zu erreichen. Für diesen Fall müssten ausreichend große Zuluftflächen vorhanden sein.

4.5 Lüftungsleitungen

4.5.1 Anforderung nach § 41 Musterbauordnung

Nach §41 Abs. 2 der MBO [2009] müssen Lüftungsleitungen sowie deren Bekleidungen und Dämmstoffe aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen; brennbare Baustoffe sind zulässig, wenn ein Beitrag der Lüftungsleitung zur Brandentstehung und Brandweiterleitung nicht zu befürchten ist. Abs. 2 gilt jedoch nicht für Gebäude der Gebäudeklasse eins und zwei innerhalb von Wohnungen und innerhalb derselben Nutzungseinheit mit nicht mehr als 400 m² in nicht mehr als zwei Geschossen [MBO, 2009]. In die Gebäudeklasse eins fallen freistehende Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m² und freistehende land- oder forstwirtschaftlich genutzte Gebäude. In die Gebäudeklasse 2 fallen Gebäude mit einer Höhe bis zu 7 m und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m².

4.5.2 Anordnung der Lüftungsleitungen

In Räumen wie Küche, Bad und WC werden die Abluftleitungen, in Schlaf-, Wohn-, Ess-, und Kinderzimmern werden die Zuluftleitungen angeordnet. Da sich nicht in jedem Raum eine Zu- und eine Abluftleitung befinden, stellt dies einen Nachteil für eine wirksame Rauchableitung dar. Dieses Problem könnte ggf. durch weitere nur im Brandfall genutzte Lüftungsleitungen gelöst werden.

4.5.3 Ausführung der Lüftungsleitungen

Eine Anfrage bei Herstellern für Lüftungsanlagen ergab, dass in den meisten Fällen für Lüftungsleitungen Wickelfalzrohre aus verzinktem Feinblech oder Aluminium Verwendung finden. In den letzten Jahren würden aber auch vermehrt Kunststoffleitungen eingesetzt. Dies können z.B. Lüftungsleitungen aus HD-PE sein. Bei Zimmerbränden ist mit Temperaturen von über 800 °C zu rechnen. Bei einem Versuch an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik wurden diese Temperaturen bereits nach ca. vier Minuten erreicht (siehe Anhang 1). Ausgehend von den folgenden Stoffdaten für HD-PE Lüftungsleitungen, Verformungstemperatur 125 °C – 135 °C [Hoinkis, 2001] und Selbstentzündungstemperatur 488 °C [Daèid, 2004], wäre die Funktion der Lüftungsanlage durch Verformung, Schmelzen oder Selbstentzündung der Lüftungsleitungen schon nach kurzer Zeit nicht mehr gewährleistet. Wickelfalzrohr dagegen ist nach DIN 4102 (Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen) Abs. 2.2.1 in die Baustoffklasse A1 einzuordnen und gilt somit als nicht brennbar. Die Wickelfalzrohre verformen sich bei höheren Temperaturen jedoch auch, so dass eine zuverlässige Strömungsführung nicht mehr gewährleistet ist. Dies ist im Brandschutzkonzept für die besondere Nutzung zu berücksichtigen.

4.5.4 Anordnung der Ein- und Auslässe der Lüftungsleitungen.

Die Einlässe der Abluftleitungen und die Auslässe der Zuluftleitungen können im entsprechenden Raum nahezu überall angeordnet werden [Grobe, 2002]. Die Anordnung der Einlässe für die Abluftleitungen müsste für eine Abführung des Rauches im Deckenbereich liegen. Die Anordnung der Auslässe der Zuluftleitungen im Deckenbereich dagegen wäre sehr ungünstig. Für eine wirksame Entrauchung ist es notwendig, eine möglichst impulsarme Einbringung der Zuluft zu gewährleisten. Dabei sollte die Geschwindigkeit nicht mehr als 1 m/s betragen [VDI 6019 Blatt 2, 2007].

Die Zuluft soll die Entrauchung in Strömungsrichtung unterstützen. Dies wäre nur mit einer Anordnung der Auslässe der Zuluftleitungen im Bodenbereich zu realisieren. Durch die Anordnung im Deckenbereich würde es dagegen zu einer gegebenenfalls turbulenten Vermischung des Brandrauchs mit der eingebrachten Zuluft kommen [Törpe, 2007].

4.6 Überströmöffnungen

4.6.1 Notwendigkeit

Wohn-, Kinder-, Schlaf- und Esszimmer und vergleichbare Nutzungen (vgl. 4.5.2) werden aufgrund der Lage der Lüftungsleitung als Zulufräume bezeichnet. Küche, Bad und WC und vergleichbare Nutzungen werden hingegen als Ablufträume bezeichnet. Da die Luft von den Zulufräumen ggf. über Flure, die als Überströmräume bezeichnet werden, zu den Ablufträumen strömen muss um dort abgeführt zu werden, ist es notwendig, Überströmöffnungen zu installieren. Bild 4-2 zeigt das Prinzip des Überströmvorgangs.

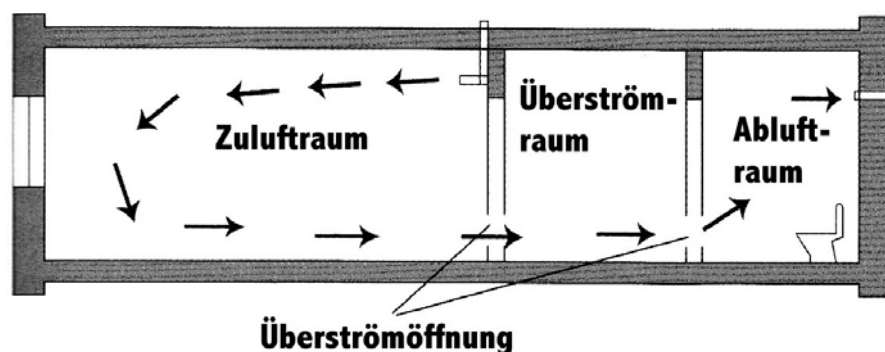


Bild 4-2 Überströmvorgang [Schuck, 2007], redaktionell bearbeitet

Ohne Überströmöffnungen könnte die verbrauchte Luft die Zulufräume nicht verlassen und das Funktionsprinzip der Lüftungsanlage würde gestört.

4.6.2 Ausführung

Es gibt mehrere Varianten von Überströmöffnungen. Zum einen gibt es die Möglichkeit, mit Gittern versehene Öffnungen in Türen oder Wänden zu integrieren. Zum anderen ist es möglich, die Öffnungen in der Türzarge zu verbergen. Bild 4-3 zeigt die Anordnung von Überströmöffnungen in der Wand oberhalb einer Zimmertür.



Bild 4-3 Überströmöffnung oberhalb einer Tür [www.zukunft-haus.info]

Die Ausbreitung von Rauch bei einem Brand wird durch diese Variante begünstigt, da sich der Rauch im Deckenbereich sammelt und somit leicht durch die Öffnung strömen kann.

Bild 4-4 zeigt die Anordnung im unteren Bereich einer Zimmertür.



Bild 4-4 Überströmöffnung im Türblatt [Schulze Darup, 2008]

Aufgrund der tiefen Anordnung der Öffnung wird es länger dauern, bis sich Rauch bei einem Brand ausbreitet als bei den oben angeordneten Öffnungen.

Bild 4-5 zeigt das Prinzip einer in die Türzarge integrierten Überströmöffnung. Diese Variante ist von außen nicht erkennbar. Die Luft strömt durch den Spalt zwischen dem Sturz und der Zarge.

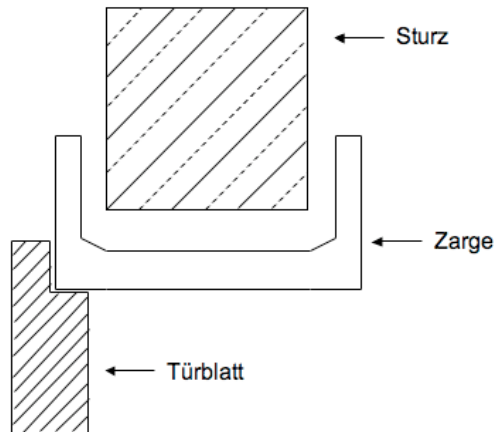


Bild 4-5 Überströmöffnung in einer Türzarge

Die jeweilige Fläche der Überströmöffnung ergibt sich nach DIN 1946-6 (Lüftung von Wohnungen, [2009]) aus dem jeweiligen dem Raum zuzuführenden bzw. aus diesem abzuführenden Volumenstrom. Tabelle 4-1 zeigt die Öffnungsflächen zum jeweiligen Volumenstrom bei einer ventilatorgestützten Lüftung.

Tabelle 4-1 Verhältnis Volumenstrom / Öffnungsfläche nach [DIN 1946-6, 2009]

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Volumenstrom in m ³ /h | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Öffnungsfläche in cm ² | 25 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 |

4.6.3 Überströmöffnungen in Gebäuden mit mehreren Nutzungseinheiten

In Gebäuden mit mehreren Nutzungseinheiten sind die Überströmöffnungen entweder mit automatisch wirkenden Brandschutzklappen ausgestattet oder jede Nutzungseinheit wird mit einer separaten Lüftungsanlage ausgestattet. Bei erstgenannten ist zu fordern, dass diese auf die Kenngröße Rauch ansprechen.

4.6.4 Ausbreitung von Rauch im Vergleich zu konventionellen Gebäuden

Tabelle 4-2 zeigt verschiedene Ursachen für eine Rauchausbreitung in einer Nutzungseinheit. Verglichen werden konventionelle Gebäuden mit Gebäuden in moderner Bauweise.

Tabelle 4-2 Mögliche Ursachen für eine Ausbreitung von Rauch im Vergleich

| | Gebäude moderner Bauweise | Konventionelle Gebäude |
|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| offen stehende Zimmertür | JA | JA |
| Türspalt | JA | JA |
| Überströmöffnung | JA | NEIN |

Es zeigt sich, dass in Gebäuden moderner Bauweise immer mit einer Verrauchung der gesamten Nutzungseinheit zu rechnen ist.

4.6.5 Fazit Überströmöffnungen

- In konventionell errichteten Gebäuden muss bei einem Brand durch offen stehende Türen und Türspalte mit einer Ausbreitung von Rauch innerhalb der Nutzungseinheit gerechnet werden.
- Bei Gebäuden moderner Bauweise muss in jedem Fall zusätzlich mit einer Ausbreitung von Rauch durch die Überströmöffnungen gerechnet werden.
- Eine Ausbreitung von Rauch über mehrere Nutzungseinheiten ist durch Überströmöffnungen nicht zu erwarten.
- Die Ausbreitung kann durch den von der Lüftungsanlage erzeugten Luftstrom verstärkt werden.
- Durch die Anordnung von Überströmöffnungen im Deckenbereich kommt es zu einer schnelleren Ausbreitung von Rauch.
- Eine tiefe Anordnung der Überströmöffnung ist aus brandschutztechnischer Sicht den anderen Varianten vorzuziehen.

Eine zwar brandschutztechnisch nicht relevante Aussage, jedoch für den Gebäudenutzer für die Dauer der Nutzung wesentliche Feststellung ist, dass infolge der Überströmöffnungen lokal höhere Geschwindigkeiten erzeugt werden als bei natürlicher Lüftung über offen stehende Türen. Hieraus ergeben sich lokal deutlich sichtbare Verschmutzungen an Wänden und Decken (vgl. Bild 4-81). Dies spricht dafür, Öffnungen zur Überströmung in Bereichen anzuordnen, die leicht zu reinigende Oberflächen aufweisen.

4.7 Ventilatoren

Die in den Lüftungsanlagen bei Passivhausbauweise verwendeten Zu- und Abluftventilatoren sind meist nur bis zu einer Temperatur von ca. 40 °C – 60 °C verwendbar [Stadlbauer, 2007] [www.der-luftshop.de]. Dies hätte zur Folge, dass im Brandfall in ähnlicher Weise wie im Falle der Lüftungsleitungen aus HD-PE (siehe Abschnitt 4.5.3), eine Funktion nicht lange gewährleistet bleiben würde. Um es zu ermöglichen, einen ausreichenden Funktionserhalt zu gewährleisten, müsste zumindest der Abluftventilator nach DIN V 18232-6 (Maschinelle Rauchabzüge) ausgeführt werden, wobei auch weitere Komponenten des Systems bezüglich der Dauer des Funktionserhalts aufeinander abzustimmen wären.

4.8 Wärmeübertrager

4.8.1 Anforderung nach Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie

Ein Wärmeübertrager stellt nach M-LüAR eine Wärmerückgewinnungsanlage dar, an die besondere Anforderungen gestellt werden. Nach Punkt 6.3 ist eine Brandübertragung zwischen Ab- und Zuluft durch installationstechnische Maßnahmen oder andere geeignete Vorkehrungen auszuschließen. Als Beispiel werden hier getrennter Wärmeaustausch über Wärmeträger, ein Schutz der Zuluftleitung durch Brandschutzklappen mit Rauchauslöseeinrichtungen oder Rauchschutzklappen genannt [M-LüAR, 2005]. Dies gilt jedoch nur im Anwendungsbereich der M-LüAR. Die Gebäude nach Ausnahme Abschnitt 4.5.1 sind davon nicht betroffen (zum Beispiel Ein- und Zweifamilienhäuser).

4.8.2 Funktionsweise

Bild 4-6 zeigt das Funktionsprinzip eines Gegenstromwärmeübertragers. Warme Abluft aus dem Gebäude strömt in den Wärmeübertrager, dort wird sie an der Wärmeübertragerfläche, die in Bild 4-6 grün dargestellt ist, vorbeigeführt. Derselbe Vorgang passiert mit der kälteren Außenluft auf der anderen Seite der Wärmeübertragerfläche. Die Abluft erwärmt nun die Außenluft, ohne mit ihr vermischt zu werden und verlässt den Wärmeübertrager als Fortluft. Die erwärmte Außenluft strömt als Zuluft ins Gebäude.

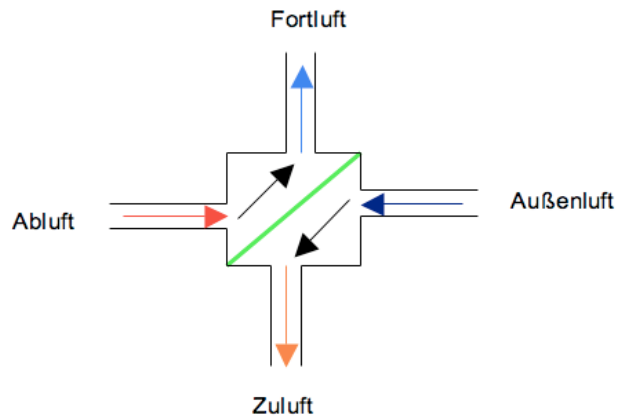


Bild 4-6 Funktionsschema Gegenstromwärmeübertrager

4.8.3 Bypass

Um im Sommer die zugeführte Außenluft nicht mit der Abluft aus der Nutzungseinheit zu erwärmen, kann ein Bypass im Lüftungsgerät, wie in Bild 4-7 dargestellt, die Abluft als Fortluft aus dem Gebäude leiten, ohne sie am Wärmeübertrager vorbei zu führen. Ein Temperatursensor misst die Ablufttemperatur und schaltet bei zu hohen Temperaturen den Bypass frei.

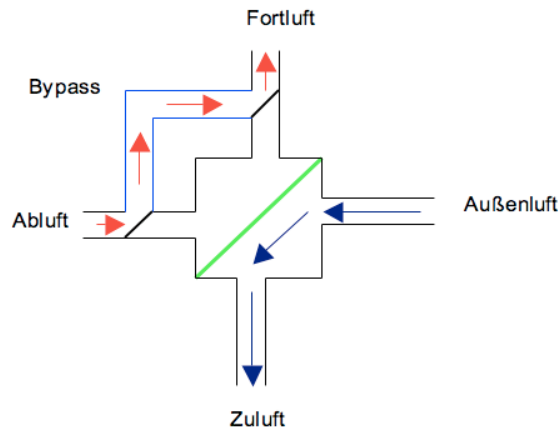


Bild 4-7 Funktion des Bypass

4.9 Berechnung des Brandrauchvolumenstroms nach VDI 6019

4.9.1 Einleitung

In diesem Abschnitt wird durch die überschlägliche Berechnung des bei einem Zimmerbrand entstehenden Brandrauchvolumenstroms geklärt, ob es möglich ist, diesen durch die vorhandene Lüftungsanlage abzuführen. Für diese Berechnung wurde das

Berechnungsverfahren nach VDI 6019 (Ingenieurverfahren zur Bemessung der Rauchableitung aus dem Gebäude, [2007]) verwendet.

4.9.2 Volumenströme der Lüftungsanlage

Der aus lufthygienischen Gründen erforderliche Luftvolumenstrom von Lüftungsanlagen von Ein- bzw. Zweifamilienhäusern liegt, abhängig vom Raumvolumen, im Bereich von $70 \text{ m}^3/\text{h}$ – $500 \text{ m}^3/\text{h}$ [Grobe, 2002]. Dies entspricht $0,019 \text{ m}^3/\text{s}$ – $0,138 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.9.3 Berechnungsverfahren

Die Richtlinie bemisst die Rauchableitung auf der Basis von Brandszenarien. Über zeitabhängige Brandverlaufskurven werden die freigesetzten Brandrauchmassenströme bestimmt. Es findet eine Unterteilung in Niedrigenergetische Brände mit Wärmefreisetzungsraten von 30 kW – 300 kW und kleinen Brandflächen, und Hochenergetische Brände mit hoher Wärmefreisetzungsraten statt. Es erfolgt eine Einteilung in 5 Brandphasen:

- Phase 1: Brandentstehung mit niedriger Wärmefreisetzungsraten
- Phase 2: Fortentwickelter Brand mit quadratischer Zunahme der Wärmefreisetzungsraten und der Brandfläche
- Phase 3: Stetiger Brand mit konstanter Wärmefreisetzungsraten und Brandfläche
- Phase 4: Kontrollierter Brand bei aktivierter selbsttätiger Löschanlage
- Phase 5: Brandbekämpfung durch die Feuerwehr

Da sich bereits bei den im Rahmen dieses Vorhabens durchgeführten Berechnungen nach Phase zwei erkennen ließ, dass die planmäßig in derartigen Gebäuden verwendeten Lüftungsanlagen nicht wesentlich zu einer Rauchableitung beitragen, wurden die Phasen drei bis fünf nicht weiter betrachtet.

4.9.4 Anwendungsgrenzen des Verfahrens

Es werden nur horizontale Brandflächen von Feststoffbränden betrachtet. Die Brandfläche muss kleiner sein als die Brandraumfläche. Eine Abschätzung von Flashover-Situationen und unterventilierten Bränden ist mit diesem Verfahren nicht möglich.

4.9.5 Berechnung

Die Berechnung wurde nach VDI 6019 Blatt 1 und 2 durchgeführt.

4.9.6 Ausgangsdaten für einen beispielhaft zugrundegelegten Brandraum

Grundfläche des Brandraums = 25 m²

Raumhöhe = 2,5 m

Maßgebende Höhenlage der Brandquelle = 0,5 m

Wärmedurchgangskoeffizient der Umfassungsbauteile = 0,15 W/(m²K)

Maximale spezifische Wärmefreisetzungsrate = 500 kW/m² (Brandlast: Wohnung)

Brandintensitätskoeffizient = 0,012 kW/s² (Geschwindigkeit der Brandentwicklung: mittel)

4.9.7 Brandentstehungsphase (Phase 1)

Bei dieser Brandphase wird angenommen, dass die Brandleistung (Wärmefreisetzungsrate) innerhalb der ersten 300 s linear auf 100 kW ansteigt. Die Brandfläche beträgt zu Beginn 0,4 m² und wird vereinfachend in dieser Phase als konstant angesetzt.

Nach VDI 6019 [2007] wird hierbei folgendes Berechnungsverfahren angewendet:

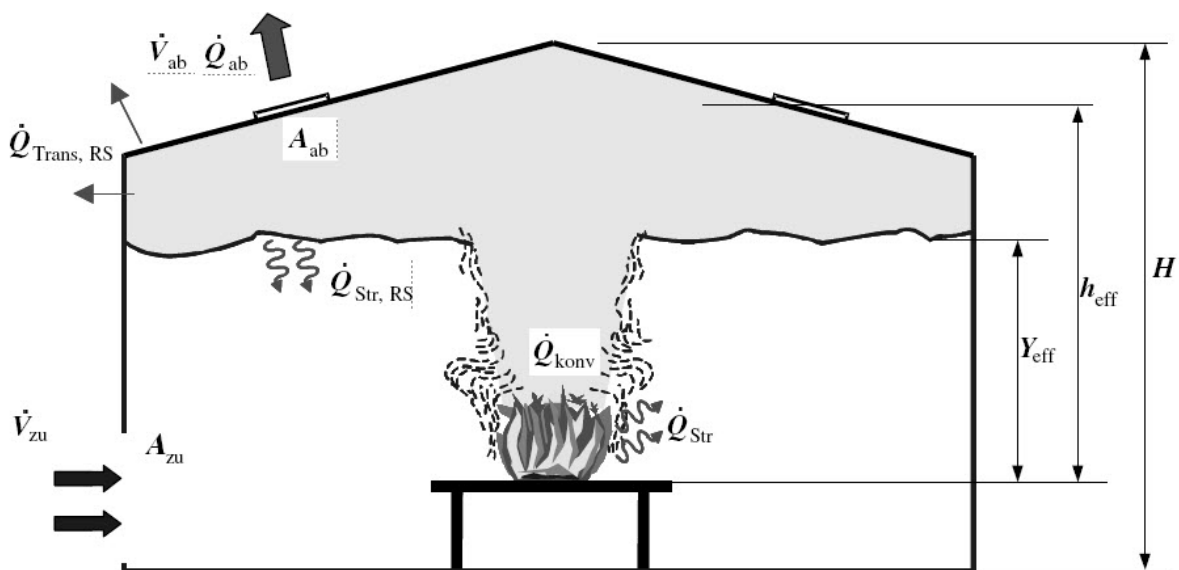


Bild 4-8 Schematische Darstellung des Brandraumes nach VDI 6019 Blatt 2

Der abzuführende Brandrauchvolumenstrom wird berechnet nach der Gleichung:

$$\dot{V}_{AB} = \dot{m}_{Pl} \frac{T_{RS}}{T_{zu} \times \rho_{zu}}$$

mit

\dot{V}_{AB} abzuführender Brandrauchvolumenstrom in m³/s

\dot{m}_{Pl} Brandrauchmassenstrom (Plume) in kg/s

T_{RS} Temperatur der Rauchschiicht

T_{zu} Temperatur der einströmenden Zuluft in K

ρ_{zu} Dichte der einströmenden Zuluft in kg/m³

Annahme: $T_{RS} \times \rho_{zu} = \text{konst} = 353,18 \text{ K} \times \text{kg/m}^3$

Für die Berechnung von \dot{m}_{Pl} ergibt sich in Abhängigkeit vom Verhältnis der effektiven Aufstiegshöhe (Höhe zwischen Brandfläche und Unterkante Rauchschiicht)

$Y_{eff} = 1,5 \text{ m}$ und der modifizierten Brandfläche $\sqrt{A_{Br}}$

$$\frac{Y_{eff}}{\sqrt{A_{Br}}} = \frac{1,5}{\sqrt{0,4}} = 2,37 > 2$$

der Anwendungsbereich 2 (Ähnlichkeitsbereich).

Für den Anwendungsbereich 2 ergibt sich der Brandrauchmassenstrom nach der Beziehung

$$\dot{m}_{Pl} = C_2 \times \dot{Q}_{konv}^{1/3} \times (Y_{eff} - Y_0)^{5/3}$$

Diese Gleichung wird als für runde oder näherungsweise quadratische Brandflächen gültig betrachtet, wobei konstante Temperatur in der Strahlumgebung und eine störströmungsfreie (ruhende) Umgebung vorausgesetzt werden.

mit

$$Y_0 = -1,02 \times D_{Br} + 0,083 \times \dot{Q}^{0,4}$$

mit

$$\dot{Q}_{konv} = 0,7 \times \dot{Q}$$

- \dot{Q}_{konv} konvektive Wärmefreisetzungsrate in kW
 \dot{Q} Gesamt-Wärmefreisetzungsrate in kW
 Y_{eff} effektive Aufstiegshöhe (Höhe zwischen Brandherdfläche und Unterkante Rauchschrift) in m
 Y_0 virtueller Ursprung in m
 D_{Br} effektiver Branddurchmesser in m
 C_2 Induktionskoeffizient = $0,071 \text{ kg} \times (\text{kW} \times \text{s}^3 \times \text{m}^5)^{-1/3}$

Die Temperatur in der Rauchschrift ergibt sich nach der Gleichung

$$T_{RS} = \frac{(1 - \delta) \times \dot{Q}_{konv}}{\dot{m}_{Pl} \times c_{p,Rauch} + \sum_i U_{i,eff} \times A_i} + T_{zu}$$

- $c_{p,Rauch}$ spezifische Wärmekapazität in kJ/(kg×K) ($\approx 1,01 \text{ kJ}/(\text{kg} \times \text{K})$)
 A_i i-te mit der Rauchschrift in Berührung stehende Fläche von Bauteilen in m²
 T_{zu} Zulufttemperatur in K (= 298 K)
 $U_{i,eff}$ effektiver Wärmedurchgangskoeffizient der i-ten Fläche von Bauteilen in W/(m²×K), berücksichtigt Wärmespeichervorgänge in Wand- bzw. Deckenflächen, abgeschätzt: $U_{i,eff} = 2,5U_i$
 A_{Grund} Grundfläche des Brandraumes in m²
 δ Strahlungsverlustfaktor der Rauchschrift

$$\delta = 0,031 \times A_{Grund}^{1/3}$$

$\sum A_{i_i}$ ergibt sich bei dem betrachteten Brandraum zu:

$$\sum A_i = (0,5 \text{ m} \times 5 \text{ m}) \times 4 + 25 \text{ m}^2 = 35 \text{ m}^2$$

Bild 4-9 zeigt, dass bereits zu Beginn dieser Phase der Wert von $0,138 \text{ m}^3/\text{s}$, der theoretisch von der Lüftungsanlage abgeführt werden könnte, überschritten würde. Am Ende der Brandentstehungsphase würden bereits $0,63 \text{ m}^3/\text{s}$ an Brandrauch durch den Brand freigesetzt. Um diesen Brandrauchstrom abführen zu können,

müsste die Leistung der Lüftungsanlage mindestens um den Faktor 4,6 erhöht werden.

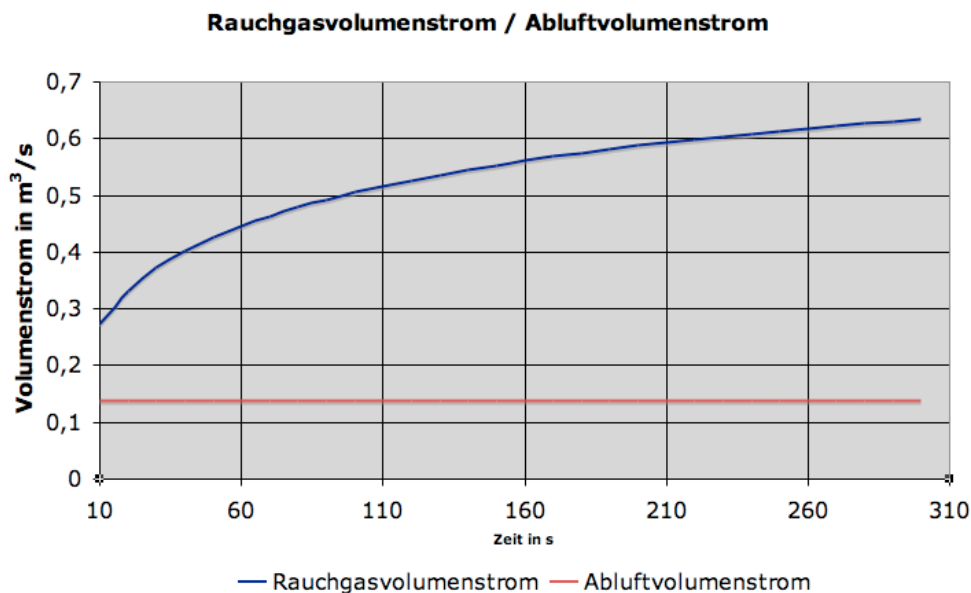


Bild 4-9 Brandrauchvolumenstrom nach VDI 6019 / Abluftvolumenstrom [2007]

4.9.8 Fortentwickelter Brand (Phase 2)

Die zweite Brandphase geht von einer quadratischen Zunahme der Wärmefreisetzungsrate und Brandfläche aus. Nach 600 s würden bereits annähernd $2 \text{ m}^3/\text{s}$ an Brandrauch durch den Brand freigesetzt. Zu diesem Zeitpunkt hätte der Brand eine Fläche von ca. $2,5 \text{ m}^2$ und eine Leistung von 1,4 MW erreicht. Für eine Abführung des Brandrauchs in diesem Stadium müsste die Leistung der Lüftungsanlage ca. um den Faktor 14,5 höher liegen, als sie aufgrund der Auslegung für die normale Lüftung ist.

4.9.9 Fazit Entrauchung

Es hat sich gezeigt, dass Lüftungsanlagen im Bestand nicht geeignet sind eine Rauchableitung zu gewährleisten. Die Leistung der Lüftungsanlage müsste um den Faktor 4,6 bzw. 14,5 höher sein um den Rauch abzuführen. Bei Neubauten wäre es theoretisch möglich eine Lüftungsanlage technisch so zu gestalten, dass sie unterstützend bei der Rauchableitung wirkt.

- Die Berechnung nach VDI 6019 [2007] zeigt, dass die Leistung der Lüftungsanlagen zu gering ist, um eine Rauchableitung zu gewährleisten.

- Eine Überdimensionierung der Lüftungsanlage um den Faktor 4,6 bzw. 14,5 macht aus wirtschaftlicher Sicht wenig Sinn.

4.10 Photovoltaikanlage

4.10.1 Einleitung

Gefahren durch Photovoltaikanlagen sind kein alleiniges Problem von Gebäuden moderner Bauweise, da sie grundsätzlich auf jedem Gebäude installiert sein können. Aus diesem Grund wird nur ein kurzer Überblick über Funktionsweise und mögliche Gefahren bei Bränden gegeben.

4.10.2 Funktionsprinzip / Aufbau

Die meist auf dem Dach des Gebäudes befestigten Photovoltaikmodule wandeln die Strahlungsenergie des Sonnenlichts in elektrische Energie um. Die heute betriebenen Anlagen führen eine Gleichspannung von bis zu 900 V [Thiem, 2006]. Wie Bild 4-10 zeigt sind die in Reihe geschalteten Photovoltaikmodule über eine Gleichstromleitung mit dem Wechselrichter verbunden.

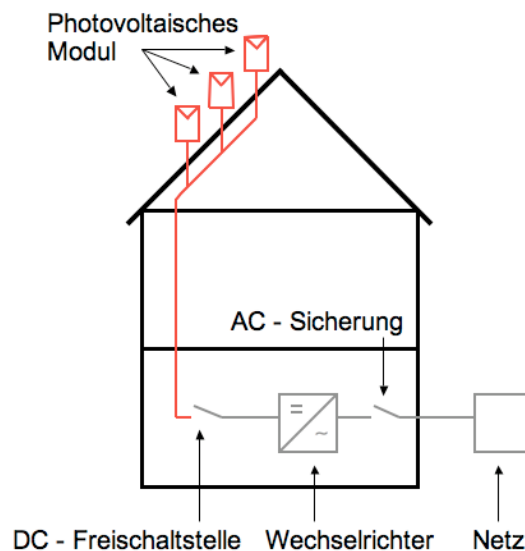


Bild 4-10 Schematischer Aufbau einer Photovoltaischen Anlage

Der Wechselrichter, welcher aufgrund von günstigeren Arbeitstemperaturen meist im Keller installiert wird [Thiem, 2006], wandelt Gleichstrom in Wechselstrom um. Vor dem Wechselrichter befindet sich eine Gleichstrom (DC) – Freischaltstelle mit der es möglich ist, den nachfolgenden Anlagenteil spannungsfrei zu schalten. Über die Wechselstrom (AC) – Sicherung kann die Wechselspannungsseite abgeschaltet

werden. Der Wechselstrom kann entweder durch den Betreiber der Anlage selbst genutzt werden (Inselbetrieb) oder in das Netz des Energieversorgers eingespeist werden.

4.10.3 Gefahren für die Feuerwehr

Die Gefahren, die von einer Photovoltaikanlage ausgehen sind darin begründet, dass es nicht möglich ist, den Anlagenteil vor der DC – Freischaltstelle (in Bild 4-10 rot dargestellt) spannungsfrei zu schalten. Von den Photovoltaikmodulen selbst geht keine besondere elektrische Gefahr aus, da diese Bereiche nur kleine Gleichspannungen im Bereich von 50 V führen. Aufgrund der Reihenschaltung der Photovoltaikmodule kann die Gleichstromleitung eine Spannung von bis zu 900 V führen. Da bereits eine Gleichspannung von 120 V für den Menschen als gefährlich gilt [Schneider, 2003], kann für Einsatzkräfte eine erhebliche Gefährdung bestehen.

Eine weitere Gefahr besteht bei einem Brand darin, dass die Photovoltaikmodule aufgrund der thermischen Belastung ihrer Befestigungen oder der Dachkonstruktion vom Dach herabfallen [Schmid, 2004]. Aufgrund der Vielfalt an Befestigungssystemen kann hier aber keine generelle Aussage getroffen werden. Ein weiteres Problem stellen Brände der Bedachung dar. Bei oberhalb der Dachhaut montierten Photovoltaikmodulen ist es nicht möglich das Feuer zu bekämpfen und eine Ausbreitung zu verhindern, da eine Entfernung der Module nur schwer möglich ist.

Weitere ausführliche Angaben hierzu finden sich bei den „Hinweisen zu Einsätzen an Gebäuden mit Photovoltaikanlagen“ der Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg [2010].

4.10.4 Lösungsansätze

Um Spannungsfreiheit auf der Gleichstromleitung zu erlangen muss verhindert werden, dass Strahlungsenergie auf die Photovoltaikmodule trifft. Bei kleineren Anlagen kann dies theoretisch durch Abdecken mit lichtundurchlässigen Folien erfolgen. Bei Anlagen größeren Ausmaßes wird diese Variante aber als nicht praktikabel anzusehen sein [Thiem 2006]. Überlegungen, die Module mit Schaum abzudecken und damit den Einfall von Licht zu verhindern, wurden nach Versuchen der Feuerwehrschule der Berufsfeuerwehr München wieder verworfen, da sich das Verfahren als uneffektiv herausstellte [Thiem 2006].

Eine Lösung dieses Problems scheint nur durch technische Änderungen an den Modulen seitens der Anlagenhersteller möglich. Ein Ansatz hierfür wäre die Möglichkeit die Module über ein Art Rollo, welches fest an der Anlage angebracht ist, zu beschatten. Bis zur Erarbeitung und Umsetzung von technischen Lösungen können Einsatzkräfte vor den Gefahren, die von Photovoltaikanlagen ausgehen nur durch Sensibilisierung in der Ausbildung und die Einhaltung von Sicherheitsvorgaben, die das Arbeiten an elektrischen Anlagen betreffen, geschützt werden, siehe z.B. DIN VDE 0132 „Brandbekämpfung im Bereich elektrischer Anlagen“. Die anlagentechnische Sicherheit von Photovoltaikanlagen kann insbesondere für den Feuerwehreinsatz derzeit als noch nicht zufrieden stellend gelöst bezeichnet werden.

4.11 Brandmeldetechnik

4.11.1 Einleitung

In neun der sechzehn Bundesländer (Stand September 2010) besteht bereits eine Rauchmelderpflicht für Privathaushalte (Rheinland-Pfalz, Saarland, Schleswig-Holstein, Hessen, Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern und Thüringen, Bremen, Sachsen-Anhalt). Diese Pflicht bezieht sich auf Neu- und Umbauten. In sieben dieser Bundesländer besteht eine Nachrüstpflicht für Bestandsgebäude.

4.11.2 Rauchmelder in Gebäuden moderner Bauweise

Bei der Besichtigung eines Passivhauses in Karlsruhe stellte sich in Gesprächen mit der Besitzerin und gleichzeitigen Architektin des Hauses heraus, dass es zu Problemen mit den installierten Rauchmeldern gekommen ist. Sie berichtet von häufigen Fehlauflösungen in Wohn- und den Kinderzimmern. Bei den installierten Meldern handelte es sich um optische Rauchmelder.

4.11.3 Funktionsprinzip von optischen Rauchmeldern

Optische Rauchmelder arbeiten nach dem Streulichtverfahren. In der Messkammer des Rauchmelders wird kontinuierlich ein Prüflichtstrahl ausgesendet. Tritt Rauch in die Messkammer ein, wird der Prüflichtstrahl gestreut und trifft auf eine Fotodiode. Dies führt zum Auslösen des Alarms.

4.11.4 Ursachen für Fehlauslösungen von optischen Rauchmeldern

Folgende Ursachen können zu Fehlauslösungen von optischen Rauchmeldern führen:

- Staub
- Insekten
- Wasserdampf

Die Fehlauslösungen im Passivhaus in Karlsruhe könnten durch den von der Lüftungsanlage mitgeführten bzw. aufgewirbelten Staub verursacht werden. Ein Indiz für diese Vermutung sind die, wie Bild 4-81 zeigt, durch Staub verschmutzten Auslässe der Lüftungsanlage.



Bild 4-81 Verschmutzter Luftauslass an der Zimmerdecke

4.11.5 Lösungsansätze

- Optische Rauchmelder sollten möglichst nicht in der Nähe von Ein- oder Auslässen der Lüftungsanlage angebracht werden.
- Bei andauernden Fehlauslösungen sollten die optischen Rauchmelder gegen Melder ausgetauscht werden, die nicht nach dem Streulichtverfahren arbeiten.

4.11.6 Alternative zum optischen Rauchmelder

Sollte der Einsatz von optischen Rauchmeldern nicht funktionieren, können Wärmemelders eine Alternative darstellen. Die Anschaffungskosten dieser Melder sind nur

unerheblich höher als die von optischen Rauchmeldern. Die Auslösung erfolgt beim Überschreiten einer Maximaltemperatur, die meist im Bereich um 60° C liegt. Da Wärmemelder träger als optische Rauchmelder reagieren [Friedl, 1994], ist zu prüfen, ob diese im Sinne der jeweiligen Landesbauordnungen als Ersatz für Rauchmelder eingesetzt werden können. Weitere Alternativen wie CO-Melder sind denkbar, da CO als eine der wesentlichen Kenngrößen zur Beschreibung eines Brandgeschehens anzusehen ist.

4.11.7 Brandmeldung nach außen

Da Gebäude moderner Bauweise eine hohe Luftdichtheit aufweisen, dringt im Brandfall Brandrauch im Regelfall zeitlich später aus dem Gebäude als bei konventionellen Gebäuden. Dies verzögert unter Umständen die Brandmeldung, und es kommt zu langen Vorbrennzeiten. Dies kann zu erheblichen Gefahren für die Feuerwehr führen (vgl. Abschnitt 2.7). Aus diesem Grund sollte darüber nachgedacht werden, das Auslösen der Rauch- bzw. Wärmemelder auch außerhalb des Gebäudes anzuzeigen. Dies könnte z.B. über eine Blitzleuchte, wie sie bei Einbruchmeldeanlagen zum Einsatz kommt, geschehen.

4.12 Fazit

Aufgrund der eingehenden Betrachtung üblicher Gebäudetechnik für die hier betrachteten Gebäude moderner Bauweise haben sich die folgenden brandschutzrelevanten Erkenntnisse ergeben:

- Lüftungsanlagen von Gebäuden moderner Bauweise, die bereits errichtet wurden, eignen sich nicht, um zu einer wirksamen Entrauchung bei einem Brand beizutragen.
- Bei Neubauten scheint es technisch möglich, durch konstruktive Änderungen der Lüftungsanlage eine unterstützende Wirkung bei der Entrauchung zu erzielen.
- Eine Ausbreitung von Rauch über die Lüftungsleitungen ist nicht zu erwarten, da die Ab- und Zuluftströme berührungslos aneinander vorbeigeführt werden.
- Durch die Überströmöffnungen ist in jedem Fall mit einer Ausbreitung von Rauch innerhalb einer Nutzungseinheit zu rechnen.
- Die Anordnung von Überströmöffnungen sollte möglichst tief erfolgen, um die Ausbreitung von Rauch möglichst lange zu verhindern.

- Die Ausbreitung des Rauches kann durch den Luftstrom der Lüftungsanlage verstärkt werden.
- Im Brandfall sollte in Bestandsgebäuden die Lüftungsanlage manuell abgeschaltet werden.
- Der Einsatz von Rauchmeldern in Gebäuden moderner Bauweise ist aufgrund der hohen Gefahr der Rauchausbreitung zu empfehlen.
- Um Fehlauflösungen, die in Zusammenhang mit der Lüftungsanlage durch aufgewirbelten Staub stehen zu vermeiden, sollten ggf. anstatt optischer Rauchmelder Wärmemeldern eingesetzt werden.
- Bei Gebäuden, die neu errichtet werden, sollte die Möglichkeit geschaffen werden, die Lüftungsanlage über Rauchmelder zu steuern, um bei einem Brand eine automatische und frühzeitige Abschaltung zu erreichen.
- Eine optische Brandmeldung durch eine Blitzleuchte am Äußeren des Gebäudes wird als sinnvoll erachtet, um durch die Möglichkeit frühzeitiger Brandmeldung lange Vorbrennzeiten zu verhindern. Integration in / Zusammenschaltung mit anderen Sicherheitseinrichtungen (zum Beispiel Einbruchmeldeanlagen) bietet sich an.
- Ein wirksamer Schutz der Einsatzkräfte vor Gefahren, die bei Bränden von Photovoltaikanlagen ausgehen, ist zurzeit nur durch das Einhalten von Sicherheitsvorgaben für das Arbeiten an elektrischen Anlagen möglich.

5 Flashover / Rollover / Backdraft

5.1 Einleitung

In diesem Kapitel werden die Brandphänomene Flashover, Rollover und Backdraft erläutert und es wird untersucht, ob die Bauweise von modernen Gebäuden deren Zustandekommen begünstigt. Bei der Durchführung eines Innenangriffs durch die Feuerwehr, der eine der gefährlichsten Aufgaben im Feuerwehrdienst darstellt, kann es durch die oben genannten Phänomene zu gefährlichen Situationen für die Feuerwehreinsatzkräfte kommen.

Wie gefährlich diese sein können zeigte ein Feuerwehreinsatz in Paris am 14.11.2002, bei dem fünf Feuerwehrangehörige durch zwei in kurzem Abstand hintereinander erfolgte Backdrafts ums Leben kamen [Widetschek, 2002]. Ein weiteres Beispiel ist ein Einsatz am 07.12.2002 in Untergrombach (Baden-Württemberg), bei dem es zu einem Backdraft kam, durch den vier Feuerwehrleute erheblich verletzt wurden [Riehl, 2003].

5.2 Begriffsbestimmung

5.2.1 Brandlastgesteuerte Brände

Bei brandlastgesteuerten Bränden steht genügend Sauerstoff zur Verfügung. Somit ist der Brandverlauf ausschließlich von der vorhandenen Brandlast abhängig. Ein Beispiel dafür ist ein entzündetes Streichholz in einem Raum mit genügend Sauerstoff. Die Flamme wird unter normalen Umständen erst erlöschen wenn nicht mehr genügend Brennstoff zur Verfügung steht.

5.2.2 Ventilationsgesteuerte Brände

Der Brandverlauf bei ventilationsgesteuerten Bränden ist abhängig vom Sauerstoffangebot. Ein Teelicht in einem geschlossenen Behälter ist ein Beispiel für einen ventilationsgesteuerten Brand. Die Flamme wird nach einer gewissen Zeit aufgrund von Sauerstoffmangel erlöschen. Bei Bränden die unter Sauerstoffmangel verlaufen spricht man von unterventilierten Bränden. Unterventilierte Brände sind bei Einsätzen der Feuerwehr sehr oft anzutreffen. Amerikanische Studien haben ergeben, dass die Feuerwehr bei 80 % der Brände in Gebäuden auf unterventilierte Brände trifft [Royner, 1995].

5.2.3 Übergang zwischen den Brandarten

Ein Brand muss nicht zwangsläufig über seinen gesamten Verlauf ventilations- oder brandlastgesteuert sein; Wechsel zwischen den Brandarten sind möglich. In der Anfangsphase ist ein Zimmerbrand aufgrund des ausreichenden Sauerstoffes brandlastgesteuert. Zu einem späteren Zeitpunkt kann es sein, dass er aufgrund von Sauerstoffmangel mit oder ohne Flashover in einen ventilationsgesteuerten Brand übergeht. Durch das Zuführen von Sauerstoff kann er auch wieder in einen brandlastgesteuerten Brand übergehen.

5.2.4 Pyrolyse

Als Pyrolyse wird die Zersetzung von Feststoffen in Folge von Wärmeeinwirkung bezeichnet. Die Stoffe werden thermisch gecrackt. Bei einem Zimmerbrand werden die Bestandteile der brennbaren Einrichtungsgegenstände durch die hohen Temperaturen in gasförmige Moleküle aufgespalten. Dieser Vorgang wird auch als Ausgasen bezeichnet. Die Zusammensetzung der Pyrolyseprodukte richtet sich unter anderem nach der Molekularstruktur der brennbaren Stoffe, Häufig treten Kohlenmonoxid (bei zum Beispiel Einrichtungsgegenständen aus Holzwerkstoffen), Chlorwasserstoff (bei Kabelisolierungen), Cyanwasserstoff (bei Polsterstoffen) und eine Vielzahl von Kohlenwasserstoffen auf. Pyrolyseprodukte sind meist brennbar und können somit in Luft ein zündfähiges Gemisch bilden. Bei der Pyrolyse von Holz, in einem Temperaturbereich von 200 °C – 500 °C, entstehen unter anderem die brennbaren Gase [Busse, 2005]:

- Kohlenstoffmonoxid CO
- Wasserstoff H₂
- Methan CH₄
- Methanol CH₄O
- Essigsäure C₂H₄O₂
- Aceton C₃H₆O

5.3 Flashover

5.3.1 Entstehung und Ablauf

Der Flashover, auch als Feuerübersprung bezeichnet, stellt die Übergangsphase zwischen Brandentstehung und Vollbrand dar. Bild 5-1 zeigt diese Phase am Beispiel eines vollständigen Schadenfeuers. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf Raumarten und -größen, die im Wohn-, im Bürobereich und ähnlichen Nutzungen vorliegen.

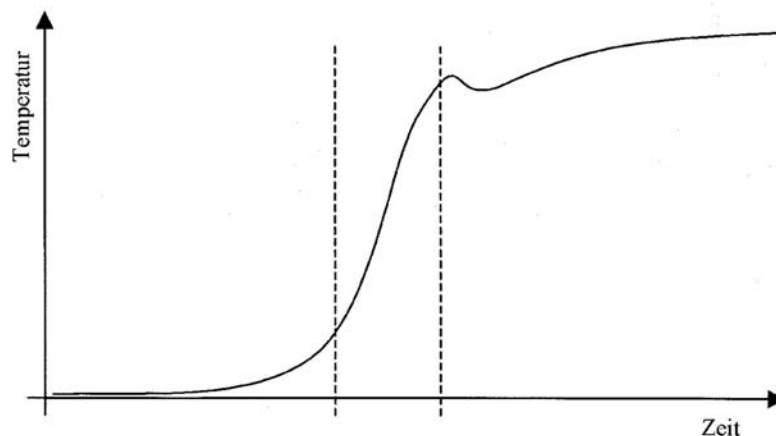


Bild 5-1 Temperaturverlauf der Rauchschiicht eines Schadenfeuers in einem Raum

Der gestrichelte Bereich in Bild 5-1 stellt den Zeitraum des Flashover dar.

Bei einem örtlich begrenzten Brand in einem Raum, unter ausreichender Sauerstoffzufuhr, wird der Brandraum durch Wärmestrahlung der Flammen und der sich unter der Decke sammelnden Rauchschiicht aufgeheizt. Alle brennbaren Gegenstände beginnen Pyrolysegase zu bilden, die unter der Zugabe von Sauerstoff ein zündfähiges Gemisch bilden können. Diese Gase strömen, da sie meist leichter als Luft sind, in Richtung Decke und vermischen sich dort teilweise mit der Rauchschiicht [Pulm, 1999]. Wenn bei einer Raumhöhe von 2,5 m – 3 m die Wärmestrahlung ungefähr 20 kW/m^2 im Bereich des Bodens und eine Temperatur von ca. 600 °C im Deckenbereich [Drysdale, 1996] aufweist, zünden schlagartig die Pyrolysegase und alle brennbaren Gegenstände im Brandraum. Es kommt zum Vollbrand. Bei den genannten Zahlenwerten ist darauf hinzuweisen, dass es sich um Anhaltswerte handelt, die in der Praxis in Abhängigkeit der Randbedingungen starken Streuungen unterworfen sind. Zu diesem Zeitpunkt erfolgt der Übergang vom brandlast- zum ventilationsgesteuerten Brand [Kunkelmann, 2003]. Die Temperaturen steigen während des Flash-

overs stark an. Kurz nach dem Flashover kommt es zu einem leichten Temperaturabfall im Brandraum (siehe Anhang 2), welcher auf Rußanreicherung und Sauerstoffverringering in der Rauchschiicht zurückzuführen ist. Der Zeitpunkt, zu dem ein Flashover bei einem Brand auftritt, variiert stark (siehe Anhang 3).

5.3.2 Bildliche Darstellung eines Zimmerbrandes mit Flashover

An der Forschungsstelle für Brandschutztechnik wurde ein Zimmerbrand nachgestellt, und der Brandverlauf von der Zündung bis zum Flashover auf Video dokumentiert. Der Film steht auf der Website der Forschungsstelle für Brandschutztechnik zur Verfügung [<http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/>]. Dieser Abschnitt zeigt die einzelnen Brandphasen bis hin zum Flashover. Die vordere Wand des Zimmers wurde entfernt, um das Ereignis besser dokumentieren zu können. Bild 5-2 zeigt den möblierten Brandraum vor der Zündung.



Bild 5-2 Brandraum vor der Zündung [FFB]

Im Bereich des weißen Kissens, auf dem rechten Sofa, wurde die Zündung vorgenommen.

In Bild 5-3, aufgenommen ca. 12 Minuten nach der Zündung, lassen sich deutlich die über dem Tisch und den Sesseln aufsteigenden weißlichen Pyrolysegase erkennen.



Bild 5-3 Brandraum ca. 12 Minuten nach der Zündung [FFB]

Unter der Decke sammelte sich trotz fehlender Zimmerwand eine erhebliche Menge Brandrauch.

Der kurz darauf einsetzende Flashover ist in Bild 5-4 zu sehen. Man erkennt deutlich, dass die Oberflächen von Tisch, Sessel und Fernseher (linke Seite) gezündet haben. Im Zusammenhang mit diesem Versuch ist darauf hinzuweisen, dass das Einsetzen des Feuerübersprungs durch die gute Ventilation im Vergleich zu Versuchen mit geringeren Öffnungsflächen erheblich verzögert wurde.



Bild 5-4 Einsetzender Flashover [FFB]

Zwischen den Bildern Bild 5-3 und Bild 5-4 liegen 7 Sekunden. Kurz nach dem Flash-over steht der komplette Raum, wie Bild 5-5 zeigt, im Vollbrand



Bild 5-5 Brandraum nach erfolgreichem Flashover [FFB]

In der Vollbrandphase wurde der Brand gelöscht. Die Überreste der Einrichtung sind in Bild 5-6 zu sehen.



Bild 5-6 Brandraum nach dem Löschen [FFB]

5.3.3 Realbrandversuche

Bei zwei Realbrandversuchen in der Versuchshalle der Forschungsstelle für Brandschutztechnik kam es im ersten Versuch nach ca. 6 min zum Flashover. Bei diesem Versuch wurden in einem Brandraum mit 25 m² Grundfläche und einer Höhe von 2,7 m Möbel mit einer Masse von 730 kg entzündet. Die Brandraumtür war geschlossen. Das 1,5 m² große Fenster war geöffnet.

Beim zweiten Versuch wurden im selben Brandraum überwiegend Holzkrippen mit einer Masse von 336 kg verbrannt. Die Größe des Fensters betrug bei diesem Versuch 1 m². Die Brandraumtür war ebenfalls geschlossen. Der Flashover trat bei ca. 13 min ein [Kunkelmann, 2003]. Dies zeigt, dass der Zeitpunkt des Flashover in erheblichem Maße von der Variation von Brandlast (Menge und Anordnung) und Ventilation abhängt.

5.3.4 Einflussfaktoren

Außer den in Abschnitt 5.3.3 beschriebenen Faktoren:

- Brandlast
- Ventilationsbedingungen

spielen folgende Faktoren bei der Entstehung des Flashover eine Rolle [Kunkelmann, 2003]:

- Geometrie des Raumes
- thermische Eigenschaften der Umfassungsbauteile

5.3.5 Anzeichen für einen bevorstehenden Flashover

Nach [Kunkelmann, 2003] sind Anzeichen für einen bevorstehenden Flashover:

- Brandrauch, der in hoher Konzentration und unter deutlichem Überdruck aus dem Brandraum quillt.
- Flammzungen an der Grenzschicht zwischen Rauch- und Luftzone beim Ausströmen von Rauch aus einer Öffnung.

5.3.6 Auswirkungen von Gebäuden moderner Bauweise auf den Flashover

Geht man von gleichen Bedingungen in Hinblick auf die Abmessungen des Brandraumes, gleichen Ventilationsbedingungen und gleicher Brandlast aus, muss bei einem Gebäude moderner Bauweise der Flashover theoretisch zu einem früheren Zeitpunkt eintreten. Der Grund dafür ist der verringerte Wärmeabfluss aus dem Gebäude, der durch die bessere Wärmedämmung entsteht. Der Brandraum heizt sich schneller auf und somit werden die für das Einsetzen des Flashovers erforderliche Temperatur im Deckenbereich und die erforderliche Wärmeeinstrahlung im Bodenbereich (bzw. auf das Brandgut) schneller erreicht. Setzt man für Gebäude moderner Bauweise einen U-Wert von $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ an, so liegen die Energieverluste unter quasi stationären Bedingungen bei konventionellen Gebäuden (Wand aus Mauerziegel $24 \text{ cm} - 36,5 \text{ cm} \rightarrow \text{U-Wert } 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) - 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) um den Faktor $5 - 10$ höher. Es ist hier jedoch darauf hinzuweisen, dass für die Aufheizung des Brandraums die gesamte zeitabhängige Wärmebilanz eine Rolle spielt. Dies betrifft auch den Wärmeabfluss an die Umfassungsbauteile des Raumes in der Brandentstehungsphase, die im Vergleich zu dem stationär für Wärmezulu- oder abflüsse maßgebenden Unterschied der U-Werte eine weniger ausgeprägte Rolle spielt. Genauer lässt sich aus der Quantifizierung der Beiträge der einzelnen Einflüsse zur Wärmebilanz herleiten, was jedoch an dieser Stelle unterbleibt, aber Gegenstand einer Sensitivitätsstudie sein könnte.

Bei einem Zimmerbrand, bei dem die Fenster bei Brandausbruch geschlossen sind und ggf. die Zimmertür einen Spalt aufsteht, kann es nach einer begrenzten Entstehungsphase erst zu einer ausreichenden Ventilation des Brandes nach dem Zerplatzen der Fensterscheibe kommen. In diesem speziellen Fall wird die im modernen Gebäude verwendete Dreischiebenisolierverglasung dem Feuer länger standhalten als die in konventionellen Gebäuden verwendeten Verglasungen. Dies wird zu einer länger anhaltenden Unterventilation des Brandes führen womit sich der Zeitpunkt des Flashovers herauszögert, da nicht genügend Wärme freigesetzt wird, um diesen auszulösen. Im Gegenzug wird die Wahrscheinlichkeit für einen Rollover (siehe Abschnitt 5.4) oder einen Backdraft (siehe Abschnitt 5.5) ansteigen.

5.4 Rollover

5.4.1 Entstehung und Ablauf

Rauch und zündfähige Pyrolysegase sammeln sich im Deckenbereich des Brandraumes. Bei eingeschränkter Sauerstoffzufuhr, also einem unterventilierten Brandverlauf, steigt die Konzentration der Pyrolysegase über die obere Zündgrenze. Durch den Sauerstoffmangel wird die Verbrennung immer unvollständiger, was eine Steigerung der Freisetzung von Kohlenmonoxid zur Folge hat [Pulm, 1999]. Durch den Sauerstoffmangel können nur so viele Pyrolysegase an der Grenze zwischen der Rauch- und der Luftschicht verbrennen wie Sauerstoff zur Verfügung steht. An der Grenze zwischen Rauch- und Luftschicht treten dadurch Flammenzungen („Tanzende Engel“=> „Dancing Angels“) auf. Durch das Durchströmen der Rauchschiicht mit Sauerstoff z.B. nach dem Bersten eines Fensters oder durch das Öffnen einer Türe wird ein zündfähiges Gemisch hergestellt, und es kommt zu einer Stichflamme, die auch als Rauchdurchzündung bezeichnet wird. Die Durchzündung erfolgt ohne Druckanstieg. Im Gegensatz zum Flashover zünden beim Rollover nur die Pyrolysegase im Deckenbereich und nicht die gesamten brennbaren Gegenstände im Brandraum [Kunkelmann, 2003]. Es kann somit zu einem Überrollen der Einsatzkräfte durch die Flammen kommen.

5.4.2 Bildliche Darstellung eines Rollover

Der in den Bild 5-7 bis Bild 5-10 dargestellte Rollover wurde in der feststoffbefeuer-ten Brandübungsanlage der Feuerwehr Karlsruhe dokumentiert.



Bild 5-7 Rollover Teil 1 [Feuerwehr Karlsruhe]



Bild 5-8 Rollover Teil 2 [Feuerwehr Karlsruhe]



Bild 5-9 Rollover Teil 3 [Feuerwehr Karlsruhe]



Bild 5-10 Rollover Teil 4 [Feuerwehr Karlsruhe]

Es ist deutlich zu erkennen, wie die am Boden knienden Feuerwehrleute von den Flammen im Deckenbereich überrollt werden. Als Brandquelle für die Übungsanlage dienten Holzpaletten.

5.4.3 Anzeichen für einen bevorstehenden Rollover

Nach [Südmersen, 2002]:

Von außen wahrnehmbare Anzeichen:

- Starke Rauchentwicklung
- Rauch verlässt Gebäude unter hohem Druck
- Rauch führt viel Wärmeenergie mit sich (steigt sofort und schnell auf)
- Rauch pulsiert – „Lokomotiv-Effekt“
- Flammenzungen

Von innen wahrnehmbare Anzeichen:

- Starke Rauchentwicklung
- Aufenthalt im Rauch nicht möglich
- Rauchsicht pulsiert
- Rauchsicht „fällt plötzlich zu Boden“
- Flammenzungen in der Rauchsicht

5.4.4 Auswirkungen von Gebäuden moderner Bauweise auf den Rollover

Die gute Wärmedämmung und die Luftdichtheit von Gebäuden moderner Bauweise fördern die Produktion von Pyrolysegasen. Ursachen hierfür sind der schnellere Temperaturanstieg und der fehlende nachströmende Sauerstoff. Es ist zu erwarten, dass die Dreischeibenisolierverglasungen in modernen Gebäuden Brandeinwirkungen länger standhalten als die in konventionellen Gebäuden verwendeten Verglasungen. Somit ist die Gefahr einer Zündung der Pyrolysegase durch das Bersten der Scheibe bei einem modernen Gebäude geringer. Grundsätzlich begünstigt die moderne Bauweise aber die Entstehung eines Rollover.

5.5 Backdraft

5.5.1 Entstehung und Ablauf

Ein Brand in einem Raum entwickelt sich, bis die Verbrennung aufgrund von Sauerstoffmangel nicht mehr aufrechterhalten werden kann oder der Brennstoff ausgeht. Durch fehlende Ventilation kann es nicht zu einem Flashover kommen [Drysdale, 1996]. Der Flammenbrand geht in einen Schwelbrand über oder erlischt. Aufgrund des fehlenden Sauerstoffs können die Pyrolysegasen nicht verbrennen und sammeln

sich im Raum. Die entstehenden Pyrolysegase und der nicht abgeführte Brandrauch kühlen sich aufgrund der geringeren Wärmefreisetzung ab [Drysdale, 1996]. Dadurch kommt es zu einem Unterdruck im Brandraum. Wird nun durch das Öffnen einer Tür oder eines Fensters eine Zuluftöffnung geschaffen, kommt es zu einer Einmischung von Sauerstoff in den Brandraum. Die Zuluft strömt im unteren Bereich der Öffnung in den Brandraum ein, und aus dem oberen Bereich quillt Brandrauch nach außen. Beim Vorhandensein einer Zündquelle, dies kann die im Brandraum vorherrschende Temperatur, ein Bereich mit Flammenbildung oder ein glimmender Bereich sein [Kunkelmann, 2003], kommt es zu einer schlagartigen Entzündung der unverbrannten Pyrolysegase. Durch die mit der Zündung verbundene Expansion werden die unverbrannten Pyrolysegase verteilt und es kommt zu einer schnellen Flammenausbreitung mit Druckanstieg [Drysdale, 1996]. Für Backdrafts wurden von Gottuk [1999] und Gojkovic [2000] in Versuchen Maximaldrücke im Bereich von 85 Pa – 1243 Pa ermittelt. Diese Flammenausbreitung mit Druckanstieg kann auch als Verpuffung bezeichnet werden. Bereits bei Drücken von weniger als 0,01 MPa können schwere Schäden an der Bauwerksstruktur entstehen [Neumann, 2003]. Bild 5-11 und Bild 5-12 zeigen die durch einen Backdraft entstandenen Schäden an einem Gebäude.



Bild 5-11 Auswirkungen eines Backdraft [Riehl, 2003]

Im Dachbereich und an der linken Seite des Hauses sieht man die durch den Backdraft verursachten Schäden.



Bild 5-12 Auswirkungen eines Backdraft auf eine Fensterfront [Riehl, 2003]

Das komplette Fensterelement wurde durch den Backdraft aus der Wand gerissen. Die Auswirkungen des Backdraft zeigen, dass neben der Flammenausbreitung auch unkontrolliert umherfliegende Gegenstände eine Gefahr darstellen können [Kunkelmann, 2003].

5.5.2 Erscheinungsformen des Backdraft

In der Praxis werden vier verschiedene Erscheinungsformen des Backdrafts unterschieden:

- Einfacher Backdraft:
Bei dieser Form des Backdraft folgen Flammenfront und Druckwelle dem Weg der Zuluft. Sie schlagen dabei aus den Lüftungsöffnungen hinaus [Cimolino, 2001].
- Verlagerter Backdraft:
Das zündfähige Gemisch ist aus dem Brandraum in einen anderen Raum geströmt. Beim Vorhandensein einer Zündquelle kommt es in diesem Bereich zur Verpuffung [Kunkelmann, 2003].
- Umgekehrter Backdraft:
Befindet sich die Temperatur der Pyrolysegase oberhalb ihrer Zündtemperatur und es kommt zum Kontakt mit Sauerstoff folgt eine unmittelbare Zündung. Dies hat zur Folge, dass die Flammenfront dem Weg der Zuluft von der Öffnung in den Raum hinein folgt [Cimolino, 2001].

- Verzögerter Backdraft:

Das zündfähige Gemisch wird aufgrund einer fehlenden Zündquelle nicht gezündet und sinkt in Folge der Abkühlung in Richtung Boden ab. Wird nun ein Glutnest z.B. durch Nachlöscharbeiten [Knorr, 2000] aufgewirbelt kommt es zur Verpuffung. Die besondere Gefahr bei dieser Form des Backdraft liegt darin begründet, dass sich eine Person im Zentrum der Verpuffung befinden kann. [Kunkelmann, 2003]

Die Überströmöffnungen in den Türen oder Wänden in den hier schwerpunktmäßig betrachteten Gebäuden moderner Bauweise begünstigen die Entstehung eines verlagerten Backdraft, da sich das zündfähige Gemisch im Gebäude ausbreiten kann.

5.5.3 Anzeichen für einen bevorstehenden Backdraft

Nach [Wieder et al., 1992] können folgende Punkte Anzeichen für einen bevorstehenden Backdraft sein:

- Unter Druck stehender Rauch dringt aus kleinen Öffnungen
- Schwarzer Rauch wird zu dichtem grau-gelben Rauch
- Kleine oder keine sichtbaren Flammen
- Starker Wärmestau
- Rauch dringt in Stößen oder Intervallen aus dem Gebäude
- Rauch geschwärzte Scheiben
- Gedämpfte Geräusche
- Luft strömt beim Schaffen einer Öffnung in den Raum

Aufgrund der Luftdichtheit wird das Herausquellen von Brandrauch aus kleinen Öffnungen bei Gebäuden moderner Bauweise nur abgeschwächt oder gar nicht zu beobachten sein. Das Erkennen der Backdraftgefahr wird damit für die Einsatzkräfte schwieriger.

5.5.4 Auswirkungen von Gebäuden moderner Bauweise auf den Backdraft

Bei modernen Gebäuden ist mit einer erhöhten Gefahr durch Backdraft zu rechnen, da aufgrund der Luftdichtheit der Gebäudehülle und der längeren Feuerbeständigkeit der Dreischeibenisolierverglasungen das Erlöschen des Brandes in Folge von Sauerstoffmangel wahrscheinlicher ist als bei konventionellen Gebäuden. Durch die bes-

sere Wärmedämmung ist mit einem schnelleren Temperaturanstieg und einer längeren Abkühlzeit nach dem Erlöschen der Flammen im Brandraum zu rechnen, was zu einer erhöhten Menge an Pyrolysegasen führt.

5.5.5 Gegenmaßnahmen Backdraft

Die Entstehung eines Backdrafts kann theoretisch durch folgende Maßnahmen verhindert werden:

- Absenkung der Temperatur im Brandraum unter die Zündtemperatur der Pyrolysegase
- Entfernung der Zündquelle
- Absenkung der Konzentration der Pyrolysegase unter die untere Explosionsgrenze (UEG).

In der Praxis sind die Entfernung der Zündquelle und die Absenkung der Konzentration unter die UEG für die Feuerwehr nur schwer realisierbar. Das Entfernen der Zündquelle würde ein Betreten des Brandraumes voraussetzen und somit den vorgehenden Atemschutztrupp einer großen Gefahr aussetzen.

Für eine Absenkung der Konzentration unter die UEG müsste in den Brandraum eine Abluftöffnung geschaffen werden. Diese Maßnahme könnte durch nachströmenden Sauerstoff einen Backdraft auslösen. Eine andere Möglichkeit die Konzentration unter die UEG zu senken besteht in der Inertisierung des Brandraumes. Dies ist schon auf Grund des fehlenden Raumabschlusses (Überströmöffnungen siehe Abschnitt 4.6) bei Gebäuden moderner Bauweise schwer möglich.

Die Kühlung des Brandraumes durch die Feuerwehr ist grundsätzlich möglich aber birgt mit der konventionellen Löschtechnik ebenfalls die Gefahr, dass der vorgehende Atemschutztrupp durch das Öffnen der Tür zu einem Brandraum einen Backdraft auslöst.

Aufgrund der hohen Gefahr, die von einem Backdraft ausgeht, sollte über die gezielte Auslösung eines Backdraft nachgedacht werden. Diese könnte z.B. durch Lüftungsmaßnahmen erreicht werden. Hierbei ist der Einsatz eines Lüfters in Verbindung mit dem zeitgleichen Öffnen der Verglasung des Brandraumes denkbar. Bei

dieser Variante ist es unbedingt notwendig, dass die Verglasung aus der Deckung bzw. aus sicherer Entfernung geöffnet wird. Die Entscheidung zum gezielten Auslösen eines Backdrafts kann aber immer nur individuell und lageabhängig durch den Einsatzleiter getroffen werden, da sich ggf. noch Personen im Gebäude befinden könnten, die durch diese Maßnahme gefährdet würden.

5.6 Fazit

Folgende Punkte ergeben sich aus der Betrachtung der Brandphänomene Flashover, Rollover und Backdraft in Bezug auf Gebäude moderner Bauweise im Vergleich zu konventionellen Gebäuden:

- Bei ausreichender Ventilation kann es aufgrund von erhöhter Wärmedämmung zu einem frühzeitigeren Eintritt des Flashover kommen.
- Es ist mit einer erhöhten Backdraftgefahr zu rechnen.
- Aufgrund der Luftdichtheit des Gebäudes können die Einsatzkräfte einen bevorstehenden Backdraft schwerer erkennen.
- Das Auftreten eines verlagerten Backdraft wird durch die Überströmöffnungen begünstigt.
- Die Konstruktion der Verglasungen wie z.B.: Glasart: (Floatglas, vorgespannte (ESG) und teilvorgespannte (TSG) Gläser, Verbundsicherheitsglas (VSG)), Einfach-, Doppel-, Dreifachverglasungen (=> „Passivhausfenster“), Rahmenwerkstoffe (Holz, Kunststoff, Aluminium) und Rahmeneinspannung haben einen entscheidenden Einfluss auf das Berst- und Bruchverhalten der Scheiben.
- Die Entstehung eines Rollover wird durch die schlechtere Rauchabführung begünstigt.
- Die gezielte Auslösung eines Backdrafts kann in bestimmten Situationen einen Sicherheitsgewinn darstellen.

Aufgrund der erhöhten Backdraft- und Rollovergefahr wird in Kapitel 6 untersucht, ob es möglich ist, diese durch den Einsatz von „neuartigen“ Löschsystemen zu reduzieren.

6 Mobile Löschsysteme (Auswahl)

6.1 Einleitung

Aufgrund der Gefährdung der vorgehenden Atemschutztrupps bei einem Innenangriff und der Tatsache, dass es bei Bränden in Gebäuden moderner Bauweise dazu gekommen ist, dass ein Innenangriff aus Sicherheitsgründen nicht mehr möglich war, (siehe Abschnitt 2.2.2 und 2.6.2) werden in diesem Kapitel die Löschsysteme Fognail und CCS-Cobra betrachtet. Mit diesen Systemen ist es möglich, ohne den Brandraum zu betreten, Löschmittel einzubringen und die Lage zu stabilisieren.

6.2 Fognail®

6.2.1 Ausführung

Beim Löschsystem Fognail® (<http://www.fognail.de/>) handelt es sich, wie Bild 6-1 zeigt, um eine Art Löschanze, die einen feinen Wasserstrahl erzeugt. Bei einem Druck von 8 bar wird der Volumenstrom vom Hersteller mit 70 l/min angegeben [Pulm, 1999].



Bild 6-1 Fognail [<http://www.fognail.de/>]

Der Fognail® ist in Längen von 25 cm, 55 cm, 97 cm und 150 cm erhältlich. Dies ermöglicht auch den Einsatz bei großen Dämmdicken. Die Wasserversorgung erfolgt durch eine standardmäßige Feuerlöschkreiselpumpe über einen D-Schlauch. Dieser wird an die Storz D-Kupplung, die sich unter dem Absperrorgan befindet, angeschlossen. Es gibt zwei Versionen des Fognails®. Die Unterschiede liegen in der Sprühdüse, die am Kopf der Lanze angebracht ist. Die eine Version besitzt eine Breitsprühdüse („Restrictor“), die andere eine Weitsprühdüse („Attack“). Wie die Namensgebung der beiden Versionen schon zum Ausdruck bringt, unterscheiden sie sich durch ihr Sprühbild, welches durch die unterschiedliche Anordnung der Austrittsöffnungen in der Düse erreicht wird [Pulm, 1999]. Die Breitsprühdüse erzeugt

einen Wasserfächer, der ca. 2 m in den Brandraum eindringt und eine Breite von ca. 5 m erreicht. Bei der Weitsprühdüse ergibt sich das Sprühbild eines Kegels, der ca. 8 m tief in den Brandraum eindringt und am Ende eine Breite von ca. 3 m erreicht. Die Verteilung des Wassers ist hierbei nicht so fein wie bei der Breitsprühdüse.

6.2.2 Funktionsweise

Um den Fognail® einsetzen zu können muss ein Loch mit einem Durchmesser von mindestens 17,5 mm in einer Tür oder einer Wand des Brandraumes hergestellt werden. Dieses kann z.B. mit einem Hammer oder Bohrer geschehen [Pulm, 1999]. Durch das geschaffene Loch kann der Fognail® in den Brandraum eingeführt werden. Bild 6-2 zeigt das Prinzip des Fognail® Einsatzes.



Bild 6-2 Feuerwehrmann mit Fognail® (Feuerwehr Karlsruhe)

Um eine Riegelstellung aufzubauen und die Temperatur im Brandraum zu reduzieren kommt der Fognail® mit Breitsprühdüse zum Einsatz. Er ist nicht geeignet einen Brand endgültig zu löschen. Bei einem Versuch an der Forschungsstelle für Brandschutztechnik wurden die Temperaturen im Brandraum von 800 °C bis 1000 °C innerhalb von vier Minuten auf 400 °C bis 500 °C abgesenkt (siehe Anhang 4). Will man gezielt Löschmittel auf den Brandherd bringen, kommt aufgrund der größeren Wurfweite und der nicht so feinen Verteilung des Löschwassers der Fognail® mit Weitsprühdüse zum Einsatz. Dies setzt voraus, dass es möglich ist, den Wasserstrahl auf die Brandquelle auszurichten [Pulm, 1999]. Insoweit kann der Einsatz nicht immer möglich sein. Nach dem Einsatz des Fognail® mit Breitsprühdüse wurde durch den Einsatz des Fognail® mit Weitsprühdüse die Temperatur im Brandraum weiter auf 200 °C im Deckenbereich und auf 80 °C in einer Höhe von 1,50 m gesenkt (siehe Anhang 4). Die notwendigen Nachlöscharbeiten wurden mittels eines C-Rohres

durchgeführt. Die Erkenntnis aus den Versuchen der Forschungsstelle ist, dass ein einziger Fognail® ausreicht, um einen Zimmerbrand mit einer Grundfläche von ca. 25 m² zu bekämpfen [Pulm, 1999].

6.2.3 Anwendung bei Bränden in Gebäuden moderner Bauweise

Der Einsatz des Fognail bei Bränden in Gebäuden moderner Bauweise kann einen klaren Sicherheitsgewinn darstellen. Beim Einsatz von außen könnte die große Dämmdicke bei der Schaffung eines Loches zum Einführen des Fognails® in den Brandraum ein Problem darstellen. Mit geeignetem Werkzeug, wie z.B. einer Bohrmaschine mit langem Bohrer, scheint dieses Problem allerdings lösbar. Die Feuerwehr Montabaur machte die Erfahrung, dass die in Holzrahmenbauweise erstellten Wände aufgrund der Verwendung von Faserdämmstoffen im Wandaufbau leichter mit einem Handbohrer als mit einer Bohrmaschine zu durchdringen sind [Holzenthal, 2007].

Ein Einsatz im Gebäudeinneren bei den hier betrachteten Gebäudearten wird jedoch aufgrund der Überströmöffnungen (siehe Abschnitt 4.6) in den Türen oder Wänden problematisch werden, da kein Raumabschluss des Brandraums gewährleistet ist.

Das beim vollentwickelten Brand in den Brandraum eingebrachte Wasser verdampft und vergrößert schlagartig sein Volumen, was einen Druckanstieg im Brandraum zur Folge hat. Aus einem Liter Wasser können theoretisch 1700 Liter Wasserdampf entstehen.

Die Auswirkung des gleichzeitigen Druckanstiegs durch Verdampfen feinverteilten Wassers und des Druckabfalls durch Abkühlung des Brandrauchs und der Umfassungsbauteile / Gebäudeinhalte auf die zeitliche Veränderung des Drucks bzw. die Druckbilanz ist nach derzeitigem Kenntnisstand noch nicht untersucht worden. Insofern ist eine abschließende Bewertung der Risikoänderung durch den Einsatz von Sprühnebel nicht möglich.

Wenn keine Abluftöffnung geschaffen wurde, ist nicht auszuschließen, dass sich Brandrauch und Wasserdampf durch die Überströmöffnungen in größerem Umfang in bisher nicht oder nur teilweise verrauchte Bereiche ausbreiten. Der Angriffstrupp

kann dann ggf. beim Einsatz des Fognail® durch den möglicherweise unerwartet austretenden Brandrauch und durch überhitzten Wasserdampf gefährdet werden.

Die Ursache der Gefährdung ist aber nicht im Löschsystem, sondern in der Bauweise des Gebäudes begründet.

Ein weiteres Problem können Durchzündungen darstellen. Der Trupp hat keine Möglichkeit auf diese angemessen mit dem Fognail® z.B. beim Öffnen einer Tür zu reagieren, wenn kein Strahlrohr zusätzlich mitgeführt werden würde. Aufgrund des relativ geringen Anschaffungspreis und der Kompatibilität zu den bei jeder Feuerwehr vorhanden Gerätschaften in Bezug auf Schläuche und Pumpen, stellt der Fognail® eine gute Ergänzung der Feuerwehrausstattung dar. Der Einsatz im Innenangriff sollte nur erfolgen, wenn der Trupp zusätzlich ein Strahlrohr mit C-Schlauch zum Nachlöschen und für Eigenschutzmaßnahmen mitführt. Eine intensive Ausbildung der Einsatzkräfte am Löschsystem Fognail® vorausgesetzt, lassen sich das Risiko für die Einsatzkräfte bei Bränden in Gebäuden moderner Bauweise reduzieren und die Schäden am Gebäude minimieren.

6.3 CCS Cobra® Schneid-/Löschsystem

6.3.1 Ausführung

Das CCS Cobra® Schneid-/Löschsystem ist, wie Bild 6-3 zeigt, ebenfalls eine Art Löschanze. Es wurde in Zusammenarbeit zwischen dem Hersteller Cold Cut Systems der Berufsfeuerwehr Borås (Schweden) und der schwedischen Forschungsstelle Rescue Services Agency auf die Belange des Feuerwehrwesens angepasst.



Bild 6-3 Atemschutztrupp mit CSS Cobra® System [FF Billstedt-Horn, 2008]

Die Lanze wird über einen 100 m bis maximal 300 m langen formstabilen Schlauch mit einer Hochdruckeinheit verbunden. Das System arbeitet mit einem Druck von bis zu 300 bar [Zirulev, 2005]. Pro 100 m Schlauch ist mit einem Druckverlust von 50 bar zu rechnen [IIK, 2004]. Um mit dem Gerät eine Schneidwirkung zu erzielen, kann dem Wasserstrahl ein Abrasivmittel (Schneidmittel) mit bis zu vier Volumenprozenten zugemischt werden. Der Volumenstrom aus Wasser und Schneidmittel beträgt maximal 50 l/min und tritt mit einer Geschwindigkeit von 200 m/s [www.rescue3000.com] aus der ca. zwei Millimeter großen Düse der Lanze aus.

6.3.2 Funktionsweise

Mit dem CCS Cobra® System ist man in der Lage, einen Erstangriff durchzuführen ohne den Brandraum zu betreten. Es ist möglich, Löcher in die unterschiedlichsten Materialien zu schneiden und somit den Löschmittelstrahl in den Brandraum zu richten.

Tabelle 6-1 zeigt eine Auswahl an Materialien und die benötigten Zeiten zum Durchdringen dieser durch den Löschmittelstrahl.

Tabelle 6-1 Durchdringzeiten des CCS-Cobra Systems durch verschiedene Materialien [Zirulev,2005]

| Material | Wanddicke in mm | Zeit in s |
|---------------------------------------|------------------------|------------------|
| gebrannter Klinker | 11,5 | 10 |
| Kalksandstein | 10 | 5 |
| T 90 Tür | 60 | 7 |
| Stahlplatte St42 | 30 | 40 |
| Hochdruckbetonrohr mit Stahlbewehrung | 80 | 60 |

Es zeigt sich, dass Klinker, Kalksandstein und eine T 90 Tür dem System praktisch keinen Widerstand bieten. Selbst Stahl und stahlbewehrter Hochdruckbeton lassen sich durchdringen. Auch Dachziegel stellen für das System kein Problem dar, wie Versuche der Berufsfeuerwehr Hamburg gezeigt haben [Ilk, 2004]. Nach dem Durchdringen wird die Zugabe des Schneidmittels gestoppt, und der vom System erzeugte Wasserstrahl dringt ca. 7 m tief als kompakter Strahl in den Brandraum ein. Der entstehende Wasserdampf kann mehr als 20 m weit in den Brandraum eindringen [www.rescue3000.com]. Schwedische und englische Feuerwehren führten Brandversuche an komplett möblierten Räumen durch. Innerhalb weniger Minuten konnte mit dem System die Brandraumtemperatur von über 600 °C auf unter 100 °C gesenkt werden [Zirulev, 2005]. Um eine Temperatursenkung zu erreichen, muss eine Abluftöffnung vorhanden sein, durch die der Wasserdampf entweichen kann [Fuchs, 2004].

6.3.3 Anwendung bei Bränden in Gebäuden moderner Bauweise

Das CCS Cobra® System bietet dem Anwender die Möglichkeit, durch nahezu alle Baustoffe hindurch eine Brandbekämpfung durchzuführen ohne den Brandraum zu betreten. Es werden keine weiteren Geräte, wie Hammer oder Bohrer benötigt, um einen Zugang zum Brandraum zu schaffen. Beim Löschangriff aus Räumen innerhalb eines Gebäudes moderner Bauweise könnte es durch die Überströmöffnungen und mögliche Durchzündungen zu denselben Problemen wie beim Fognail® kommen (siehe 6.2.3). Die Reichweite des Löschwasserstrahls erlaubt ein tiefes Eindringen in den Brandraum. Aufgrund der feinen Wassertröpfchen ist damit zu rechnen, dass ein Teil des Wassers vor dem Auftreffen auf die Brandquelle verdampft und somit nicht für die Kühlung des Brandgutes zur Verfügung steht. Um Rückzündungen zu ver-

meiden werden, manuelle Nachlöscharbeiten mittels eines sonst üblicherweise im Gebrauch befindlichen Strahlrohres erforderlich.

Der formstabile Schlauch kann im Innenangriff ein Problem darstellen, da diese Schläuche dazu neigen, sich ab einer gewissen Ausziehlänge zu verdrillen [Maurer et al. 1996]. Dieses Verdrillen kann dazu führen, dass sich der Schlauch beim Vorgehen verhakt.

Das CCS Cobra® System erfordert eine umfassende Ausbildung der Einsatzkräfte, da ansonsten von dem Gerät aufgrund der hohen Drücke in Verbindung mit dem Schneidmittel erhebliche Gefahren ausgehen. Die Tatsache, dass das CCS Cobra® System nicht mit den bei der Feuerwehr üblicherweise verwendeten und vorhandenen Schläuchen und Pumpen kompatibel ist, stellt einen Nachteil dar. Dies hat zur Folge, dass immer zwei Schlauchleitungen verlegt werden müssen.

6.4 Vergleich beider Systeme

Tabelle 6-2 Vergleich CCS-Cobra Schneid-/Löschsystem mit Fognail

| | CCS Cobra® | Fognail® |
|--------------------------------|--|---|
| Durchfluss in l/min | 50 | 70 |
| Betriebsdruck in bar | bis 300 | 8 |
| Schlauch | formstabiler Schlauch | D-Schlauch |
| Pumpe | Hochdruckaggregat | Feuerlöschkreiselpumpe |
| Eindringtiefe in den Brandraum | ca. 20 m | Je nach Art: 2 m – 8 m |
| Eindringen in den Brandraum | Es werden keine weiteren Geräte benötigt | Es wird ein Hammer oder Bohrer benötigt |

Beide Systeme haben ihre individuellen Vor- und Nachteile. Ein Vorteil beider Systeme besteht in der Möglichkeit, einen Erstangriff einzuleiten ohne den Brandraum betreten zu müssen. Dieser Erstangriff senkt die Temperatur im Brandraum und reduziert somit die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Flashover, Rollover und Backdraft (siehe Kapitel 5). Der Umstand, dass beim Fognail® ein Loch mit einem Hammer oder Bohrer geschaffen werden muss, stellt gegenüber dem CCS Cobra® System einen Nachteil dar. Als Vorteil für das Fognail® System kann die Kompatibilität zur bei der Feuerwehr vorhandenen Ausrüstung gewertet werden. Wie Bild 6-4 zeigt, ist der Löschwasserstrahl des CCS Cobra® Systems nach dem Austritt aus der Düse stärker gebündelt als beim Fognail® und kann somit weiter in den Brandraum eindringen.



Bild 6-4 CCS Cobra® Schneid-/Löschsystem und Fognail® im Vergleich

Bild 6-4 zeigt links den Löschstrahl des Fognail® und rechts den des CCS Cobra® Schneid-/Löschsystems.

Das Fognail® System bietet die Möglichkeit des parallelen Einsatzes mehrerer Lanzen und somit eine Regulierung der Wasserleistung. Grundsätzlich ist dies auch beim CCS Cobra® System möglich, wobei aufgrund des im direkten Vergleich hohen Anschaffungspreises den Einsatzkräften in der Regel nicht mehrere Systeme zur Verfügung stehen werden. Beide Systeme erfordern Nachlöscharbeiten mit konventionellen Verfahren, um Rückzündungen des Brandgutes zu verhindern.

6.5 Fazit

Grundsätzlich scheinen bei der Beachtung von bestimmten Grundsätzen beide Systeme für die Unterstützung bei der Brandbekämpfung in Gebäuden moderner Bauweise geeignet.

- Beide Systeme können als ergänzende Ausstattung hilfreich bei der Brandbekämpfung in Gebäuden moderner Bauweise sein.
- Durch den Einsatz der Systeme ist eine Brandraumkühlung und somit eine Senkung der Backdraftgefahr möglich.
- Es ist eine intensive und kontinuierliche Ausbildung notwendig, um einen gefahrlosen Einsatz zu gewährleisten.
- Der Einsatz im Außenangriff ist bei beiden Systemen dem Einsatz im Inneren von Gebäuden vorzuziehen.

- Die Systeme können beim Innenangriff unterstützen, die Verwendung konventioneller Löschtechnik aber nicht ersetzen.
- Der Innenangriff ohne ein weiteres als Rückfallposition mitgeführtes Strahlrohr mit C-Schlauch zum Nachlöschen und als Eigenschutzmaßnahme stellt deshalb für die Einsatzkräfte ein erhebliches Risiko dar und sollte daher vermieden werden.
- Der Einsatz innerhalb von Gebäuden moderner Bauweise kann unter Umständen zu gefährlichen Situationen führen, da die Türen keinen Raumabschluss gewährleisten (Überströmöffnungen) und es somit zum unerwarteten Austritt von Brandrauch und Wasserdampf kommen kann.
- Eine besondere Gefahr bergen in Türzargen integrierte Überströmöffnungen, da sie vom vorgehenden Trupp nicht erkannt werden können.
- Bei Gesprächen mit Berufsfeuerwehrlern zeigte sich noch fehlende Akzeptanz der Systeme.
- Im Zusammenhang mit der Brandbekämpfung in Gebäuden moderner Bauweise legt die vorstehende Argumentation nahe, die Akzeptanz dieser Systeme zu steigern.

7 Erkennungsmerkmale für die Feuerwehr

7.1 Allgemeines

Brandeinsätze in Gebäuden zählen zu den zeitkritischen Einsätzen für die Feuerwehr. Dem Einsatzleiter bleibt meist wenig Zeit um die Lage zu erkunden, zu beurteilen und einen Entschluss zu fassen. In diesem Kapitel werden Erkennungsmerkmale von Gebäuden moderner Bauweise dargestellt. Diese Erkennungsmerkmale ermöglichen es den Einsatzkräften, Gebäude moderner Bauweise schnell zu identifizieren und von Einsatzbeginn an mögliche Gefahren zu berücksichtigen.

7.2 Gebäude moderner Bauweise

Bild 7-1 und Bild 7-2 zeigen, dass nicht immer auf den ersten Blick zu erkennen ist, ob es sich um ein Gebäude moderner Bauweise handelt.



Bild 7-1 Passivhaus 1 [www.passivhaus-info.de]



Bild 7-2 Passivhaus 2 [www.passivhaus-info.de]

Bild 7-3 und Bild 7-4 zeigen zum Vergleich Gebäude bei denen die Vermutung nahe liegt, dass es sich um ein Gebäude moderner Bauweise handeln könnte.



Bild 7-3 Passivhaus 3 [www.passivhaus-info.de]



Bild 7-4 Passivhaus 4 [www.passivhaus-info.de]

7.3 Erkennungsmerkmale

7.3.1 Fenster

Auf der Südseite von Gebäuden moderner Bauweise befinden sich größere Fensterflächen als auf der Nordseite. Bild 7-5 und Bild 7-6 zeigen zum Vergleich ein Passivhaus einmal von der Süd- und einmal von der Nordseite.



Bild 7-5 Südseite eines Passivhauses [www.passivhaus-info.de]



Bild 7-6 Nordseite eines Passivhauses [www.passivhaus-info.de]

Bei der Lageerkundung durch die Feuerwehr lässt sich die Verteilung der Fenster einfach erkennen.

7.3.2 Ein- und Auslässe der Lüftungsanlage

Gebäude moderner Bauweise sind in jedem Fall mit einer Lüftungsanlage ausgestattet. Aufgrund dessen können die Ein- und Auslässe der Lüftungsanlage als weiteres Erkennungsmerkmal für die Feuerwehr dienen. Bild 7-7 und Bild 7-8 zeigen Beispiele für Ein- und Auslässe von Lüftungsanlagen.



Bild 7-7 Auslass einer Lüftungsanlage [www.architec24.de]



Bild 7-8 Einlass einer Lüftungsanlage [www.architec24.de]

Die Einlässe der Lüftungsanlage müssen nicht zwangsläufig am Gebäude liegen, sondern können sich auch auf dem Grundstück des Gebäudes befinden. Beim Auffinden dieses Merkmals kann mit großer Sicherheit auf ein Gebäude moderner Bauweise geschlossen werden, da Lüftungsanlagen in konventionellen Gebäuden selten vorzufinden sind.

7.3.3 Photovoltaikanlagen

Photovoltaikanlagen sind mittlerweile auch an vielen konventionellen Gebäuden angebracht und somit kann dieses Merkmal nur in Verbindung mit anderen Merkmalen zur Identifizierung eines Gebäudes moderner Bauweise dienen. Photovoltaikanlagen werden nach Süden ausgerichtet. Somit kann über dieses Merkmal auch die Südausrichtung der Fenster (siehe 7.3.1) überprüft werden.

7.3.4 Dachfenster

Gebäude moderner Bauweise werden, wie Bild 7-2, Bild 7-4, Bild 7-5 und Bild 7-6 zeigen, meist ohne Dachfenster ausgeführt; sie sind aber nicht grundsätzlich auszuschließen.

7.3.5 Schornsteine

Es befinden sich in der Regel keine Schornsteine am Gebäude, da meist elektrische Nachheizsysteme zum Einsatz kommen.

7.4 Fazit

Die Erkennungsmerkmale lassen sich in zwei Gruppen einteilen. Merkmale der ersten Gruppe sind:

- Ein- und Auslässe der Lüftungsanlage
- Schornsteine
- Fenster

Die Merkmale der ersten Gruppe lassen mit großer Sicherheit auf ein Gebäude moderner Bauweise schließen.

Merkmale der zweiten Gruppe sind:

- Photovoltaikanlagen
- Fehlen von Dachfenstern

Die Merkmale der zweiten Gruppe lassen nur in Kombination mit Merkmalen aus der ersten Gruppe einen Schluss auf ein Gebäude moderner Bauweise zu. Im Anhang 5 befindet sich ein Entwurf für ein

Merkblatt „Erkennungsmerkmale von Gebäuden moderner Bauweise“.

Dieses kann für die Ausbildung bei der Feuerwehr genutzt werden.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse dieses Berichts zusammengefasst dargestellt.

- (1) Durch die erhöhte Luftdichtheit und verbesserte Wärmedämmung steigt die Gefahr durch Rauchgasdurchzündungen, durch Backdraft (Durchzündung im Raum, mit Druckaufbau) oder durch Rollover.
- (2) Bei einem Brand, bei dem die Raumöffnungen und somit auch die Fenster geschlossen bleiben, kann es durch mangelnde Luftzufuhr zum Erlöschen offener Flammen kommen. Der Flashover erfolgt unter diesen Bedingungen kaum. Infolgedessen steigt jedoch die Wahrscheinlichkeit für die in (1) genannten Phänomene.
- (3) Bei einem ausreichend ventilierten Brand wird durch die bessere Wärmedämmung von Passivhäusern die Wärmebilanz im Raum so beeinflusst, dass infolge des hierdurch verursachten rascheren Temperaturanstieg der Flashover zu einem früheren Zeitpunkt eintritt, wobei allerdings das Maß der Verringerung des genannten Zeitraums nicht bekannt ist.
- (4) Die in Gebäuden moderner Bauweise installierten Lüftungsanlagen sind nicht zur Rauchabführung geeignet und sollten im Brandfall abgeschaltet werden.
- (5) Die Lüftungstechnik setzt Überströmöffnungen zwischen den einzelnen Räumen der betroffenen Nutzungseinheit voraus. Deshalb ist mit einer schnelleren Ausbreitung von Rauch innerhalb der gesamten Nutzungseinheit zu rechnen. (Dies hat auch Konsequenzen für die Selbstrettung).
- (6) Aufgrund der infolge (5) schnelleren und umfassenderen Rauchausbreitung ist der Einsatz von schnellansprechenden Branddetektoren unverzichtbar.
- (7) Die Luftdichtheit des Gebäudes kann zu einer verspäteten Branderkennung von außen führen. Dies verursacht wiederum lange Brandentwicklungszeiträume (z.B. langandauernde Schwelbrände) mit entsprechender Gefährdungserhöhung. In diesem Zusammenhang wäre es angebracht, eine Brandmeldung auch außerhalb des Gebäudes anzuzeigen.
- (8) Verschiedene Löschsysteme wie FOGNAIL[®] und COBRA[™] erlauben, einen Raumbrand ohne das Öffnen von Türen und Fenstern soweit zu kühlen, dass die Gefährdung der Einsatzkräfte durch Rauchgasdurchzündungen erheblich verringert werden kann.

Um weitergehende Aussagen zu einsatzrelevanten Fragestellungen zu „Brände in Gebäuden moderner Bauweise“ treffen zu können, sollten in folgenden Bereichen weitere Untersuchungen angestellt werden:

- Rauchausbreitung durch Überströmöffnungen
- Bruchverhalten von Dreifachisolierverglasungen und sonstigen für diese Gebäudeart verwendeten Verglasungen im Brandfall
- Möglichkeiten zum Öffnen von Dreifachisolierverglasungen und sonstigen für diese Gebäudeart verwendeten Verglasungen
- Der Einsatz von Fognail und CCS-Cobra Schneid-/Löschsystem bei Bränden in Gebäuden moderner Bauweise

Rauchausbreitung durch Überströmöffnungen

Ein Versuch zur Rauchausbreitung über Überströmöffnungen könnte in einem im Bau befindlichen Passivhaus mit Heißrauchversuchen durchgeführt werden. Ein optimaler Zeitpunkt für diesen Versuch ist unmittelbar nach der Blower-Door-Messung. In diesem Stadium sind die Luftdichtheitsebene und die Dämmung voll ausgebildet. In diesem Zusammenhang scheint auch die Überprüfung der Auswirkungen von unterschiedlichen Betriebsarten der Lüftungsanlage auf die Rauchausbreitung sinnvoll.

Ein weiterer Ansatz wäre eine Simulation mit einem Feldmodell. Durch diese Simulation könnten auch Aussagen zu Schadstoffkonzentrationen im Gebäude gemacht werden, durch die sich wiederum Aussagen zu etwaigen Backdraftgefahren besser quantifizieren lassen.

Verhalten von Dreifachisolierverglasungen im Brandfall

Um eine quantitative Aussage über das Verhalten von Dreifachisolierverglasungen im Brandfall treffen zu können, ist es notwendig, zusätzlich zur Weiterentwicklung von physikalisch-mathematischen Simulationsmodellen zum Bruchverhalten von Verglasungen Brandversuche zur Validierung der Modelle durchzuführen.

Der Versuchsaufbau sollte derart konzipiert werden, dass gleichzeitig mit der Untersuchung des Bruchverhaltens der Verglasungen in einem Brandraum die Rauchausbreitung über die Überströmöffnungen untersucht werden kann. Dies ist z.B. über eine Rauchdichtemessung in einem sich an den Brandraum anschließenden Raum möglich.

Öffnen von Dreifachisolierverglasungen

Nach unserer Einschätzung stellt das gewaltsame Öffnen von Dreifachisolierverglasungen (Passivhausfenstern) aus Normalgläsern keine besonderen Anforderungen an die Einsatzkräfte. In Kombination jedoch mit einbruchshemmenden Verglasungen oder Verbundgläsern sind erhebliche Erschwernisse beim Öffnen verbunden. Hierfür müssen Methoden gefunden werden, mit denen es der Feuerwehr relativ einfach und gefahrlos möglich ist, derartige Dreifachisolierverglasungen zu öffnen. Bestenfalls sollte dies mit der in der Regel bei jeder Feuerwehr vorhandenen Ausrüstung geschehen, um keine Zusatzgeräte beschaffen zu müssen.

Der Einsatz von Fognail und Cobra Schneid-/Löschsystem bei Bränden in Gebäuden moderner Bauweise

Durch Versuche sollte überprüft werden wie sich ein Brand verhält, wenn er, ohne eine Abluftöffnung zu schaffen, mit einem Fognail oder CCS-Cobra Schneid-/ Löschsystem bekämpft wird. Besonderes Augenmerk ist hier auf die etwaige Ausbreitung von Rauch und Wasserdampf über die Überströmöffnungen zu legen. Eine mögliche Versuchsplanung ist in Anhang 6 wiedergegeben.

9 Literaturverzeichnis

- [1] Wernicke, J.:
[2008] Feuerwehreinsatztaktische Problemstellungen bei der Brandbekämpfung in Gebäuden moderner Bauweise. Bachelorarbeit, Hochschule Magdeburg-Stendal (FH), Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Verfahrens- und Systemtechnik; Forschungsstelle für Brandschutztechnik an der Universität Karlsruhe (TH), 2008 (unveröffentlicht)
- [2] Baffia, E. et al.:
[1998] Passivhaus-Fenster, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1. Auflage, 1998
- [3] Busse, S.:
[2005] Skriptum zur Vorlesung Chemie der Brände und Löschmittel, Universität Magdeburg, Fakultät für Verfahrens- und Systemtechnik, 2005
- [4] Cimolino, U. et al.:
[2001] Atemschutz, ecomed , Landsberg, 3. Auflage, 2001
- [5] Daèid, N.:
[2004] Fire Investigation, CRC Press, Boca Raton - Florida, 2004
- [6] Diefenbach, N. et al.:
[2007] Basisdaten für Hochrechnungen mit der Deutschen Gebäudetopologie des IWU, Institut für Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt, 2007
- [7] DIN 18055
[1981] Fenster Fugendurchlässigkeit, Schlagregendichtheit und mechanische Beanspruchung Anforderung und Prüfung
Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1981
- [8] DIN 4108-3
[2001] Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden,
Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2001
- [9] DIN EN 12207
[2000] Fenster und Türen Luftdurchlässigkeit Klassifizierung,
Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2000
- [10] DIN 1623
[2009] Kaltgewalztes Band und Blech – Technische Lieferbedingungen – Allgemeine Baustähle,
Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2009
- [11] DIN 1946-6:
[2009] Raumluftechnik – Teil 6
Lüftung von Wohnungen,
Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2009
- [12] DIN 1053-1
[1996] Mauerwerk - Teil 1: Berechnung und Ausführung,
Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1996

- [13] DIN 4102-1 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1998
- [14] DIN V 18550
[2005] Putz und Putzsysteme - Ausführung Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2005
- [15] Donath, C.:
[2008] Beliebttes Ausflugsziel wird ein Raub der Flammen, Südwestecho, 2008, Ausgabe Nr.105 vom 6.Mai
- [16] Drysdale, D.:
[1996] The Flashover Phenomenon, Fire Engineers Journal, November 1996
- [17] Endhardt, M. et al.:
[2002] Das Passivhaus, Neu-Ulm, 1. Auflage, 2002
- [18] Enz, D. et al.:
[2006] Innovative Wandkonstruktionen, C.F. Müller, Heidelberg, 1. Auflage, 2006
- [19] Feist, W.:
[1998] Fensterrahmen und Randverbund – die bisher schwächsten Glieder, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1998
- [20] Feist, W. et al.:
[2005] Hochwärmegedämmte Dachkonstruktionen, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1.Auflage, 2005
- [21] Feist, W. et al.:
[1999] Haustechnik im Passivhaus, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2. Auflage 1999
- [22] FF Billstedt-Horn
[2008] http://www.ff-billstedthorn.de/aktuelles/images/rett_con_2004/rettcon_09.jpg (Abgerufen: 26. Juni 2008, 16:45 UTC)
- [23] Föhl, A.:
[2004] Ermittlungen der Anforderungen an Druckluftschäum-Systeme im Löscheinsatz - Forschungsbericht Nr. 140, Forschungsstelle für Brandschutztechnik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT), 2004
http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/download/IMK_Ber._Nr._140.pdf
- [24] Friedl, W.:
[1994] Fehlalarme minimieren Brand- und Einbruchmeldeanlagen – Brandlöschsysteme, vde, Berlin – Offenbach, 1. Auflage, 1994
- [25] Fuchs, M. et al.:
[2004] Vielfältige Möglichkeiten: Cold Cutting System Cobra, Feuerwehr Fachzeitschrift, Heft 1, 2004
- [26] Grobe, C. et al.:
[2002] Passivhäuser planen und bauen, Georg D. W. Callweg GmbH & Co. KG, München, 2002

- [27] Gojkovic, D.:
[2000] Initial Backdraft Experiments, Report 3121, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, 2000
- [28] Gottuk, T. et al.:
[1999] The development and mitigation of backdraft: a real-scale shipboard study, Fire Safety Journal 33, 1999
- [29] Häger, A.:
[1998] Baukunde, W. Kohlhammer, Stuttgart-Berlin-Köln, 1998
- [30] Hinz, T.:
[2008] Brand eines Einfamilienhauses in Fulda-Oberrode, Brandschutz, Heft 4, 2008
- [31] Hogel, T.:
[1987] Wenn ein gut isoliertes Dach brennt, Feuerwehr-Magazin, Heft 4, 1987
- [32] Hoinkis, J. et al.:
[2001] Chemie für Ingenieure, Wiley-VCH, Weinheim, 12. Auflage, 2001
- [33] Holzenthal, G. et al.:
[2007] Besser Löschwasser sparen als besorgen, 112 Magazin, Heft 11, 2007
- [34] Huber, J. et al.:
[1996] Das Niedrigenergiehaus, W. Kohlhammer, Stuttgart-Berlin-Köln, 1996
- [35] Ilk, A.:
[2004] Die löschende Schlange – COBRA, Brennpunkt, Heft 6, 2004
- [36] IWU
[2003] Deutsche Gebäudetypologie Systematik und Datensätze, Institut für Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt, 2003
- [37] Kemper, H.:
[2003] Baukunde, ecomed, Landsberg/Lech, 1. Auflage, 2003
- [38] Kilchenmann, M. et al.:
[1998] Niedrigenergie- und Passivhäuser, Ökobuch, Freiburg, 1 Auflage, 1998
- [39] Klingsohr, K.:
[2002] Verbrennen und Löschen, W. Kohlhammer, Stuttgart-Berlin-Köln, 17. Auflage, 2002
- [40] Knorr, H.:
[2000] Die Gefahren der Einsatzstelle, W. Kohlhammer, Stuttgart-Berlin-Köln, 7. Auflage, 2000

- [41] Kunkelmann, J.:
[2003] Flashover / Backdraft – Ursachen, Auswirkungen, Gegenmaßnahmen
Forschungsbericht Nr. 130, Forschungsstelle für Brandschutztechnik am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/download/IMK_Ber._Nr._130.pdf
- [42] MBO:
[2009] Musterbauordnung, Fassung November 2002, zuletzt geändert, Oktober 2008, einschließlich Änderung vom Mai 2009
<http://www.is-argebau.de/>
- [43] M-LüAR:
[2005] Muster-Lüftungsanlagen-Richtlinie, Stand 29.09.2005, zuletzt geändert 1. Juli 2010
<http://www.is-argebau.de/>
- [44] Neumann, J.:
[2003] Brand- und Explosionsschutz. Skriptum zur Vorlesung Arbeits- und Anlagensicherheit, Universität Dortmund, Fachbereich Bio- und Chemieingenieurwesen, Lehrstuhl Umwelttechnik, 2003
- [45] BNN
[2008] Feuer zerstört Berghotel, Badische Neueste Nachrichten, 63. Jahrgang, Nr.105, Ausgabe Karlsruhe, vom 6.Mai 2008
- [46] Pech, A. et al.:
[2005] Wände, Springer, Wien, 1. Auflage, 2005
- [47] Pech, A. et al.:
[2005] Fenster, Springer, Wien, 1. Auflage, 2005
- [48] Portz, H.:
[2005] Brand- und Explosionsschutz von A – Z, Vieweg & Sohn, Wiesbaden, 1. Auflage, 2005
- [49] Pulm, M.:
[2003] Der Zimmerbrand, das unbekannte Wesen, Brandhilfe, Heft 4, 2003
- [50] Pulm, M.:
[1999] Fognail – Der Sprinkler für danach, Brandhilfe, Heft 10, 1999
- [51] Pregizer, D.:
[2007] Grundlagen und Bau eines Passivhauses, C.F. Müller, Heidelberg, 2. Auflage, 2007
- [52] Riehl, J.:
[2003] Rauchgasexplosion: vier verletzte Feuerwehrangehörige, Brandschutz, Heft 4, 2003
- [53] Rossig, J.:
[2008] Wehe wenn ein Ökohaus brennt, Feuerwehr-Magazin, Heft 4, 2008

- [54] Roth, L. et al.: Chemie-Brände, ecomed, Landsberg/Lech, 1990
[1990]
- [55] Royer, K.: Iowa Rate of Flow, Fire Engineering, Heft 9, 1995
[1995]
- [56] Sanco: Das Glasbuch, Steinmeier, Nördlingen, 2. Auflage, 2004
[2004]
- [57] Schmid, P.: Photovoltaik-Anlagen, Brandschutz, Heft 11, 2004
[2004]
- [58] Schneider, C.: Solartechnik und Photovoltaik – Gefahrenquellen im Feuerwehreinsatz?, Abschnittsarbeit bei der Berufsfeuerwehr München, 2003
[2003]
- [59] Finis et al.: Hinweise zu Einsätzen an Gebäuden mit Photovoltaikanlagen Landesfeuerweherschule Baden-Württemberg, 2010
[2010]
http://www.lfs-bw.de/Fachthemen/Einsatztaktik-fuehrung/Documents/Hinweise_Photovoltaikanlagen.pdf
- [60] Schuck, J.: Passivhäuser Bewährte Konzepte und Konstruktionen, Kohlhammer, Stuttgart, 1. Auflage, 2007
[2007]
- [61] Schulze Darup, B.: http://www.zukunft-haus.info/fileadmin/zukunft-haus/modernisierung_allgemein/waermerueckgewinnung.pdf (Abgerufen: 26. Juni 2008, 10:00 UTC)
[2008]
- [62] Simon, G. et al.: Das Energieoptimierte Haus, Bauwerk GmbH, Berlin, 1. Auflage, 2004
[2004]
- [63] Stadlbauer, H.: Einsatz von Lüftungsanlagen im Brandfall, TÜV Industrie Service GmbH – TÜV Süd Gruppe, München, 2007
[2007]
http://www.rlt-geraete.de/file/pdf/RLT_Brandfall.pdf
- [64] Südmersen, J.: Ausbildungsfolien Innenangriff, ecomed, Landsberg, 2002
[2002]
- [65] Thiem, H. et al.: Gefahr durch die Sonne, Brandwacht, Heft 5, 2004
[2004]
- [66] Thiem, H. et al.: Gefahren im Einsatz: Photovoltaikanlagen, Brandschutz, Heft 2, 2006
[2006]
- [67] Tödt, T.: Brennt Öko-Haus, Feuerwehr-Magazin, Heft 6, 1997
[1997]

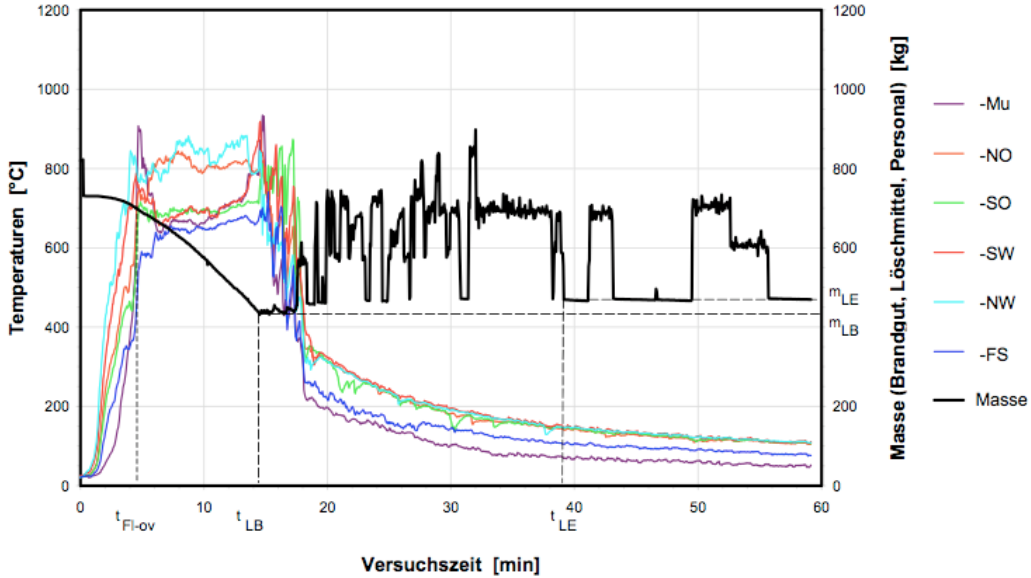
- [68] Törpe, M.: Anforderungen des Brandschutzes an RLT-Anlagen, BS Brandschutz, Heft 2, 2007
[2007]
- [69] Trauernicht, H.: Gebäudemesstechnik
[2008] <http://www.luftdicht.de/>
- [70] Maurer, K. et al. Einsatz Kierberger Straße 15, 06.03.1996, 13.42 Uhr
[1996] Schlußbericht Unfallkommission, Köln, 1996
www.atemschutzunfaelle.de/download/Unfaelle/Stampe/Abschlussbericht.doc
- [71] VDI 6019 Blatt 2 Ingenieurverfahren zur Bemessung der Rauchableitung aus Gebäuden, Juli 2007
[2007]
- [72] <http://www.fensterbuck.de> <http://www.fenster-buck.de/47.html> (Abgerufen: 22. Mai 2008, 14:19 UTC)
[2008]
- [73] <http://www.fognail.de/> SFGN - Spezialfeuerwehrgeräte Nord - Fognail – GmbH, Bad Doberan 2009
[2009]
- [74] <http://www.feuerwehr-external.de> <http://www.feuerwehr-external.de> (Abgerufen: 23. Mai 2008, 10:08 UTC)
[2008]
- [75] <http://www.der-luftshop.de> <http://www.der-luftshop.de/de/VentilatorenLuefter> (Abgerufen: 02. Juni 2008, 11:15 UTC)
[2008]
- [76] <http://www.rescue3000.com> <http://www.rescue3000.com/cobra-info.htm> (Abgerufen: 23. Juni 2008, 11:50 UTC)
[2008]
- [77] <http://www.ccs-cobra.com> COLD CUT SYSTEMS AB
Kungsbacka, Schweden
- [78] <http://www.osthessen-news.de> http://www.osthessen-news.de/beitrag_C.php?id=1144310 (Abgerufen: 26. Juni 2008, 9:30 UTC)
[2008]
- [79] <http://www.westaflex.com> <http://www.westaflex.com/endkunde/wohnungslueftung/wac-haus.html> (Abgerufen: 26. Juni 2008, 9:45 UTC)
[2008]
- [80] <http://www.zukunft-haus.info> http://www.zukunft-haus.info/fileadmin/zukunftshaus/modernisierung_allgemein/ueberstroemoeffnungen.pdf (Abgerufen: 26. Juni 2008, 9:55 UTC)
[2008]
- [81] <http://www.architec24.de> <http://http://www.architec24.de> (Abgerufen: 15. Jul. 2008, 10:00 UTC)
[2008]

- [82] <http://www.passivhaus-info.de> <http://www.passivhaus-info.de> (Abgerufen: 15. Jul. 2008, 10:45 UTC)
[2008]
- [83] Widetschek, O.: Tödlicher Feuersprung – Warum fünf Männer sterben mußten, Blaulicht, Heft 10, 2002
[2002]
- [84] Wieder, M. A. et al. Essentials of Fire Fighting,
[1992] Fire Protection Publications Oklahoma State University, 3 Auflage, 1992
- [85] Zirulev, M. et al.: Kalt schneiden und löschen mit Cobra, Brandschutz,
[2005] Heft 5, 2005

Anmerkung: Die fortlaufende Nummerierung der Literaturstellen wurde in den vorgehenden Textabschnitten nicht berücksichtigt, dient jedoch der internen Archivierung.

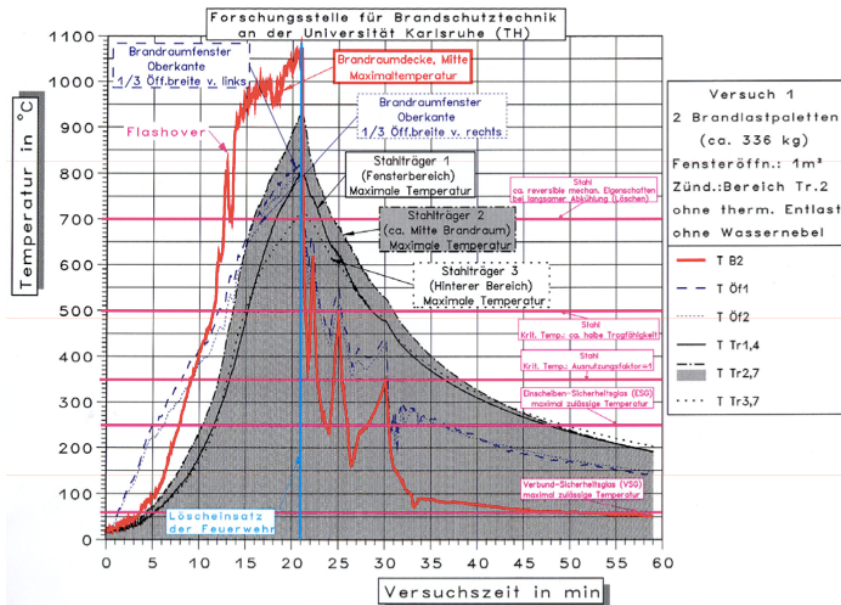
10 Anhang

Anhang 1: Zeitlicher Verlauf eines Raumbrandes an der FFB



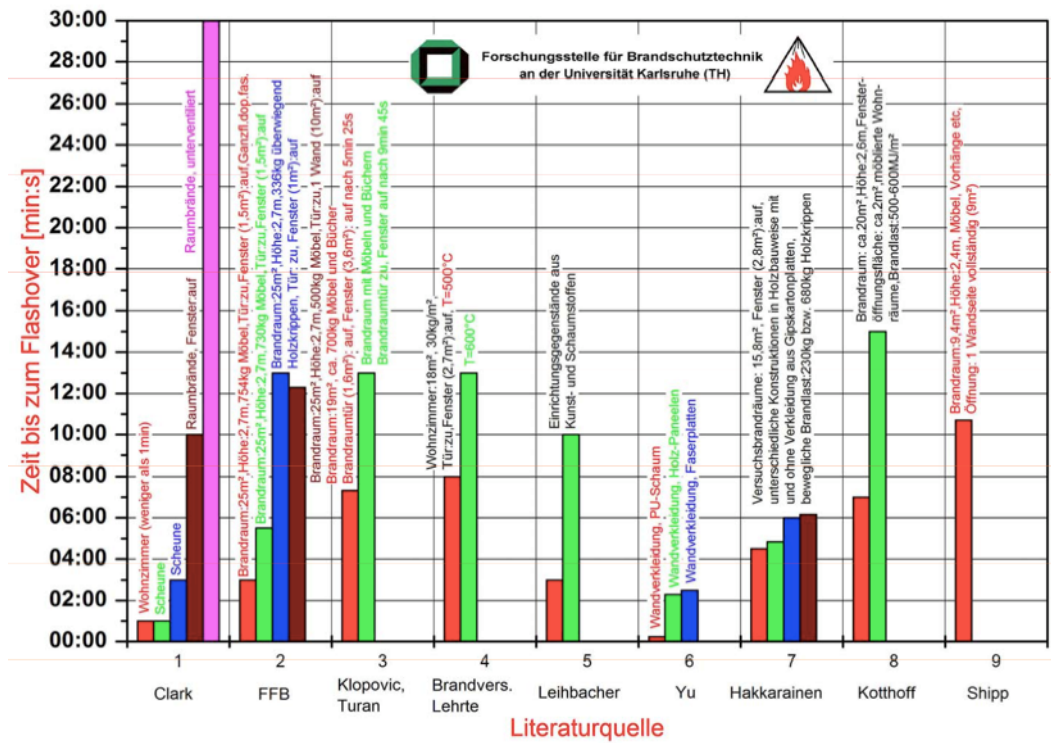
Zeitlicher Temperaturverlauf im Brandraum an verschiedenen Messstellen und zeitlicher Verlauf der Abbrandmasse, die nach dem Löschezitpunkt t_{LB} auf Löschmittelverbrauch und das Betreten des Brandraumes durch Zunahme der Masse hinweist. Die Zeitangabe t_{Fl-ov} bezeichnet den Zeitpunkt des Übergangs vom brandlastgesteuerten zum ventilationsgesteuerten Brand infolge Flashover. [Föhl, 2004]

Anhang 2: Zeitlicher Verlauf eines Raumbrandes an der FFB; thermische Belastung von ungeschützten Stahlträgern



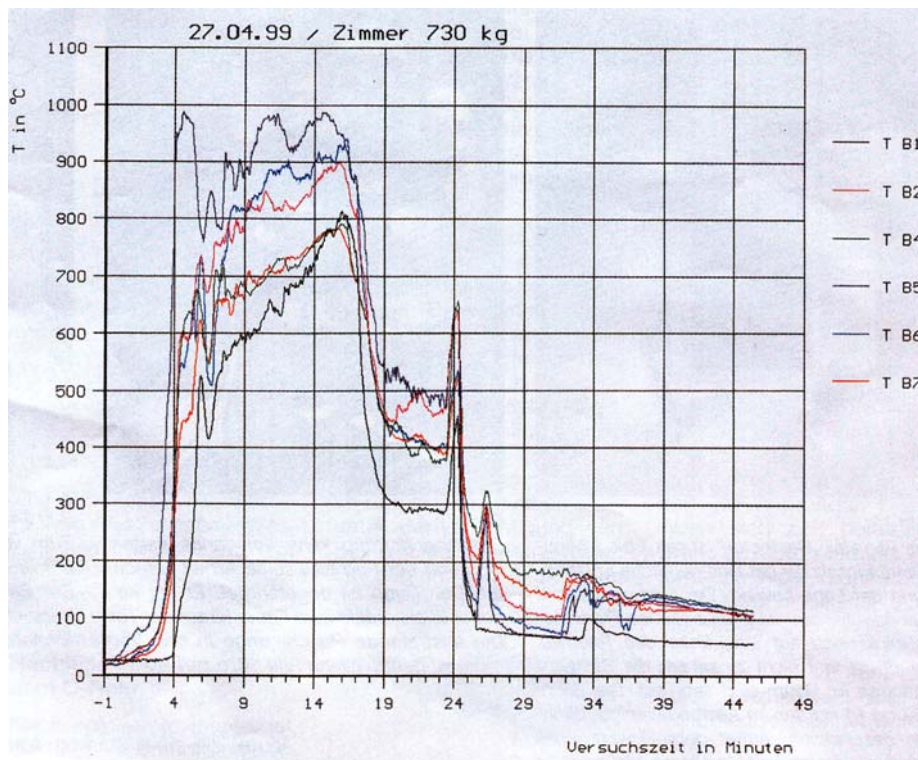
Zeitlicher Verlauf an verschiedene Temperaturmessstellen bei einem Brand im 25m²-Brandraum [Kunkelmann, 2003]

Anhang 3: Zeit bis zum Auftreten eines Flashovers



Zeit bis zum Auftreten eines Flashovers, ermittelt aus einer Auswertung internationaler Literaturstellen [Kunkelmann, 2003]

Anhang 4: Zeitlicher Verlauf eines Raumbrandes an der FFB

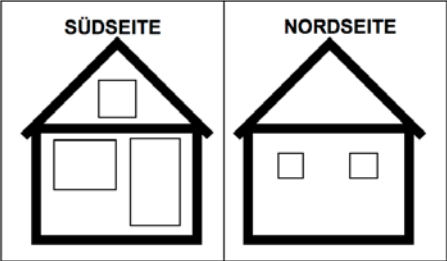
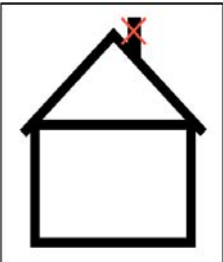
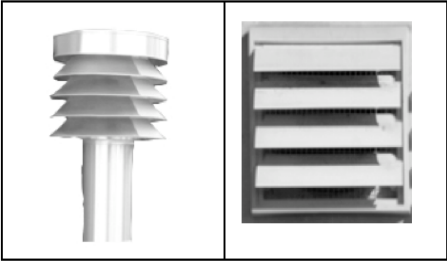
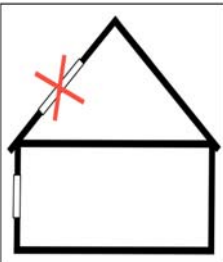



Zeitlicher Temperaturverlauf im 25 m²-Brandraum bei einem Brandversuch mit Fognail®-Einsatz [Pulm, 1999]

Anhang 5: Merkblatt

MERKBLATT (Entwurf)

- Erkennungsmerkmale von Gebäuden moderner Bauweise -

| | |
|---|---|
|  | <p>Auf der Südseite befinden sich größere Fensterflächen, als auf der Nordseite.</p> |
|  | <p>Es befindet sich in der Regel kein Schornstein am Gebäude.</p> |
|  | <p>Ein- und Auslässe der Lüftungsanlage sind immer vorhanden (ggf. dezentral auf dem Grundstück).</p> |
|  | <p>Meist gibt es keine Dachfenster.</p> |
|  | <p>Oftmals befinden sich Photovoltaikmodule auf der Südseite des Gebäudes.</p> |

Anhang 6: Versuchsplanung: „Einsatz von Fognail bei Bränden in Gebäuden moderner Bauweise“

Zielstellungen des Versuches

Ziel des Versuches ist es, zu überprüfen, ob es beim Einsatz von Fognail oder ähnlich arbeitenden Systemen durch Überströmöffnungen zu gefährlichen Situationen für die Feuerwehr kommen kann.

Mögliche Auswirkungen die beim Einsatz des Fognail entstehen könnten sind:

- Das Herausquellen von Wasserdampf aus der Überströmöffnung
- Das Herausquellen von Brandrauch aus der Überströmöffnung
- Erzeugung von Rollover oder Backdraft Bedingungen im Vorraumcontainer

Versuchsaufbau

Für den Versuch soll die Brandübungsanlage der Feuerwehr Karlsruhe genutzt werden. Bei dieser Anlage handelt es sich, wie Anhang 6 Bild 1 zeigt, um mehrere ISO-Container. Diese wurden von der Feuerwehr Karlsruhe modifiziert, um sie für Schulungszwecke nutzen zu können.



Anhang 6 Bild 1 Brandübungsanlage der Feuerwehr Karlsruhe

Der linke Container wird zur Befuerung der Anlage mit Paletten aus Holz, verwendet. Er ist aus Sicherheitsgründen nicht ebenerdig mit den anderen

Containern verbunden. Dieser Container wird im Weiteren als Brandraumcontainer bezeichnet. Mit einer Grundfläche von $4,7 \text{ m}^2$ und einer Höhe von $2,25 \text{ m}$ ergibt sich ein Raumvolumen von ca. $10,6 \text{ m}^3$. Die Innenwände des Brandraumcontainers wurden mit Faserzement-Feuerschutzplatten ausgekleidet, die durch eine Blechschicht geschützt werden (siehe Anhang 6 Bild 2). Diese Konstruktion erwies sich im Betrieb der Übungsanlage als nahezu luftdicht.



Anhang 6 Bild 2 Innenansicht des Brandraumcontainers
[Feuerwehr Karlsruhe]

Anhang 6 Bild 3 zeigt die Verbindung des Brandraumcontainers über eine Tür mit einem weiteren Container, der als Vorraumcontainer bezeichnet wird. Dieser Container hat eine Breite von $2,43 \text{ m}$, eine Länge von $6,06 \text{ m}$ und eine Höhe von $2,59 \text{ m}$.



Anhang 6 Bild 3 Tür zwischen Brandraum- und Vorraumcontainer
[Feuerwehr Karlsruhe]

Die Tür hat eine Höhe von 1,3 m und eine Breite von 0,7 m. Der Vorraumcontainer ist mit einem weiteren Container über eine Tür verbunden. Dieser spielt aber für den Versuch keine Rolle. Um die Überströmöffnung zu simulieren wird die Tür des Brandraumcontainers so fixiert, dass sich ein Spalt zwischen ihr und dem Rahmen mit einer Fläche von ca. 100 cm² ergibt.

Zur Erleichterung des Fognail Einsatzes wird vor dem Versuch eine Öffnung in den Brandraum geschaffen. Für eine gefahrlose Versuchsdurchführung wird eine Halterung für den Fognail angebracht, um diesen beim Löschversuch in Position zu halten.

Der Brandraum wird mit einer für Wohnzimmer üblichen Brandlast von 30 kg/m² bestückt. Daraus resultiert eine auf die Grundfläche des Containers bezogene Brandlast von ca. 140 kg.

Im Brandraum- und im Vorraumcontainer werden Thermoelemente zur Messung der beim Brand auftretenden Temperaturen angebracht. Von besonderem Interesse ist der Temperaturverlauf im Vorraumcontainer nach dem Einsatz des Fognails, um Rückschlüsse auf die Gefahren für den vorgehenden Atemschutztrupp ziehen zu können.

Versuchsdurchführung

Nachdem der Brandraumcontainer mit der Brandlast bestückt wurde, erfolgt die Zündung. Umgehend nach der Zündung wird die Tür in ihrer vorgesehenen Position fixiert. Ungefähr 10 min nach der Zündung der Brandlast begibt sich ein Atemschutztrupp in den Vorraumcontainer und installiert den Fognail in seiner Halterung und verlässt anschließend den Container wieder. Der Löschangriff durch den Fognail wird nach 13 min eingeleitet. Diese Zeit ist abgeleitet aus den Vorgaben der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren in der Bundesrepublik Deutschland (AGBF) für das Eingreifen der Feuerwehr.

H i n w e i s

Die bisher veröffentlichten Forschungsberichte können auf den Homepages der

**Forschungsstelle für Brandschutztechnik
am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)**

<http://www.ffb.uni-karlsruhe.de/>

und des

Instituts der Feuerwehr Sachsen-Anhalt in Heyrothsberge

<http://www.sachsen-anhalt.de/LPSA/index.php?id=25361>

eingesehen werden.