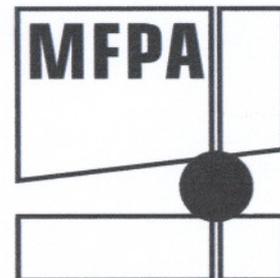


MFPA Leipzig GmbH

Prüf-, Überwachungs- und
Zertifizierungsstelle nach
Landesbauordnung (SAC 02)



Bereich III
Bauphysik/Baulicher Brandschutz

Geschäftsführer:
Dipl.-Phys. Ingolf Kotthoff
Arbeitsgruppe 3

Gutachten

Nr. GO III/E 05-12

vom 27.04.2005, 1. Ausfertigung

Gegenstand:

Bewertung des Brandverhaltens der Container
Typ 2500 / 3500 (Miete), Typ 2750 / 3750 (Miete)
und Typ 2500 (Verkauf) der Firma Kleusberg
GmbH & Co. KG

Auftraggeber:

Kleusberg GmbH & Co. KG
Postfach 120
D-51330 Wissen

Bearbeiter:

Dipl.-Phys. Ingolf Kotthoff,
Geschäftsführer/Gesellschafter
Bereichsleiter Bauphysik / Baulicher Brandschutz
Arbeitsgruppenleiter Originalbrände

Diese gutachterliche Stellungnahme besteht aus 46 Seiten und einer Anlage zu 13 Seiten..

Dieses Gutachten darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Eine Veröffentlichung – auch auszugsweise – bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung des Verfassers.

**Dieses Gutachten ist ausschließl. für KLEUSBERG
Mietcontainer und Systemgebäude gültig und dient nur als
Vorabinformation in der Angebotsphase.
Wir untersagen die Verwendung dieses Vorab-Gutachtens
für Bauanträge und als generellen Nachweis für
Brandschutzmaßnahmen.
Das Original Gutachten wird im Auftragsfall kostenlos
von KLEUSBERG zur Verfügung gestellt.**

1. Veranlassung

Die Firma Kleusberg GmbH & Co. KG ist ein Hersteller von verschiedenartigen, modularen, stapelbaren Raumcontainern die in ein- oder mehrgeschossiger Ausführung (momentan maximal dreigeschossig) als Baustellenunterkünfte, Wohnheime, Büro- oder Geschäftshäuser oder auch als Schulen verwendet werden. Einen Eindruck von der beschriebenen Bauweise vermitteln die nachfolgenden Abbildungen.



Abbildungen 1 und 2: Ausführungsbeispiele

Das Tragwerk der Container ist immer in räumliches Rahmensystem aus abgekanteten Stahlprofilen und Dach- und Bodenträgern aus L-Profilen. Die Ausführung bzw. Beplankung der nichttragenden Wände, des Bodens und des Daches erfolgt auf den einzelnen Containerebenen im Inneren zum Teil mit melaminbeschichteten Holzwerkstoffplatten (Spanplatten) oder aber auch, abhängig vom Einsatzfall bzw. dem Montageort mit Gipskartonplatten, außen jedoch immer mit verzinktem Profilblechen aus Stahl. Nur in Ausnahmefällen wird zusätzlich ein Wärmedämmverbundsystem appliziert. Als Wärmedämmung in den raumbegrenzenden Bauteilen (Wände, Decken, Böden) wird entweder ausschließlich nichtbrennbare Mineralwolle, oder in Kombination schwerentflammbarer Polystyrol-Hartschaum und nichtbrennbare Mineralwolle eingesetzt. Die tragenden Stahlprofile sind nahezu vollständig in der nichtbrennbaren Wärmedämmung eingehüllt und an der Innenseite mit einer zusätzlichen Beplankung bzw. Verkofferung aus einem der oben genannten Bekleidungsmaterialien versehen. Die außenliegenden, sichtbaren Teile der Stahltragkonstruktion – Pfosten und Riegel – liegen frei.

Nach § 13 der Musterbauordnung (MBO) sind bauliche Anlagen generell und damit auch Gebäude in Containerbauweise, so anzulegen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind. Aus diesen grundlegenden Schutzzieleiten sich brandschutztechnische Forderungen hinsichtlich des Feuerwiderstands des Tragwerks der Gebäude und der raumabschließenden Bauteile und gegebenenfalls an die Brennbarkeit der verwendeten Baustoffe ab. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die tragenden Elemente der Container durch einen skelettartigen Stahlrahmen gebildet werden, die raumabschließenden Wände damit nichttragend sind und nur die Decken bzw. Dächer eine Tragfunktion besitzen, ergeben sich die wesentlichen Brandschutzforderungen an die Feuerwiderstandsfähigkeit des Tragwerks und der Decken bzw. Dächer. Zusätzlich zu beachten ist die Brennbarkeit der innenliegenden Beplankungen der Wände in Evakuierungswegen - wie Treppen und Fluren - in Abhängigkeit von der Geschossigkeit des Gebäudes.

In einer brandschutztechnischen Stellungnahme wurde durch das Ingenieurbüro HHP Braunschweig die Feuerwiderstandsfähigkeit des Tragwerks und der raumabschließenden Bauteile auf der Grundlage der DIN 4102- 2 und 4 für einen Containertyp bei einer Stapelung von bis zu drei Containern übereinander gutachterlich bewertet, wobei zusätzliche Brandschutzmaßnahmen für die außenliegenden, freien Stahlteile abgeleitet wurden (Anstrich bzw. Verkofferung). Die Anwendung der geforderten Brandschutzmaßnahmen ist in der praktischen Ausführung am Bau kaum umsetzbar, da es insbesondere bei Mietcontainern bei der Mehrfachmontage leicht zu einer Beschädigung der außenliegenden Schutzmaßnahmen kommen kann. Ohne diese konventionellen Schutzmaßnahmen ist

jedoch eine formale Erfüllung der normgemäßen Anforderungen nach DIN 4102-2 an die Feuerwiderstandsfähigkeit der außen liegenden, einseitig unbedeckten Stahlstützen bzw. -riegel des Tragskeletts nicht möglich. Ausgehend von experimentellen Erfahrungen aus originalmaßstäblichen Brandversuchen an vergleichbaren Containern bzw. anderen teilweise ungeschützten Stahltragwerken bestand jedoch die Vermutung, dass bei einem realen Schadensfeuer das Gesamttragverhalten der ungeschützten Stahlkonstruktion eines Containergebäudes sehr viel besser ist, als das des einzelnen Bauteils, da sich in einem Bauwerk aus mehreren Containern möglicherweise die Lasten umlagern und vorhandene Tragreserven der Gesamtkonstruktion aktiviert werden, wenn sich die Tragfähigkeit einzelner Bauteile verringert. Ein derartiger Nachweis konnte jedoch glaubhaft nur experimentell in einem Naturbrandversuch an einem praxisrelevanten, mehrgeschossigen Versuchsgebäude Originalbrandversuch entsprechender Größe geführt werden. Die Firma Kleusberg beauftragte die MFPA Leipzig daher mit der Durchführung von zwei originalmaßstäblichen Brandversuchen mit Vollbrandbeanspruchung (Vollbrand in einem Raum-Container mit Flammenaustritt auf die Fassade) an einem Einzelcontainer und an einem zweietagigen Versuchsaufbau - vier nebeneinander und zwei übereinander stehende Container (insgesamt 8).

Durch diese Untersuchungen sollten sowohl der Nachweis der Standsicherheit der tragende Stahlkonstruktion über den erforderlichen Zeitraum als auch der des Raumausschlusses der Decken, Dächer und brandschutztechnisch relevante Wände im Brandfall geführt werden. Gleichzeitig sollte überprüft werden, ob auch bei brandschutztechnischen mit zusätzlich ertüchtigten Außenseiten der Stahlrahmenkonstruktion dennoch eine Standsicherheit der Container über 30 Minuten erreicht werden kann. Bedingt durch die große Lieferpalette - die Firma Kleusberg stellt insgesamt drei verschiedene Containertypen unterschiedlicher Ausstattung her, die sich in ihrem prinzipiellen Konstruktionsprinzip jedoch nicht signifikant voneinander unterscheiden - und die verschiedenartigen Gestaltungsmöglichkeiten wurde im Vorfeld in einem Versuchsprogramm, das durch die MFPA Leipzig erarbeitet wurde, der brandschutztechnisch kritischsten Prüfaufbau („worste case“) ermittelt, damit die Versuchsergebnisse auch Rückschlüsse auf die anderen, beiden Containertypen bzw. andersartigen Ausbildungen erlauben.

Ziel dieser Ausarbeitung ist die gutachterliche Bewertung des Brandverhaltens der Container vom Typ „Kleusberg 2500 / 3000 (Miete), 2750 / 3750 (Miete) und 2500 (Verkauf)“ bei Vollbrandbeanspruchung auf der Grundlage experimenteller Ergebnisse und analytischer Rechenverfahren für Gebäude bis zu zwei bzw. drei Geschossen und Raumgrößen von bis zu 200 m².

2. Verwendete Unterlagen

- Musterbauordnung (MBO) in der Fassung vom November 2002 mit Begründung „Muster-Richtlinie über bauliche Anforderungen an Schulen“ (Schulbau R), 1998
- Bauregelliste A, B und C – Ausgabe 2003/1
- DIN 4102-1 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Baustoffe – Begriffe und Anforderungen“
- DIN 4102-2 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile – Begriffe und Anforderungen“
- DIN 4102-3 „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile“ in der Fassung vom März 1994
- DIN EN 13501-2 „Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten, Teil 2 Klassifizierung mit Ergebnissen aus Feuerwiderstandsprüfungen“
- DIN EN 1991-1-2, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke; Teil 1 – 2: Allgemeine Einwirkungen, Brandwirkungen auf Tragwerk
- DIN 18180 „Gipskartonplatten, Arten, Anforderungen, Prüfung“
- ISO-Norm 13785 für „full scale fire test for facades“
- „Brandschutztechnische Risikoanalyse und Ableitung eines Versuchsprogramms zum experimentellen, originalmaßstäblichen Nachweis der Brandbeständigkeit der Konstruktion (tragende Teile und raumabschließende Bauteile) der Container– Miete 2500 / 3000, Miete 2750 / 3750 und 2500 Verkauf – über eine Dauer von 30 Minuten unter Vollbrandbeanspruchung“, Versuchsprogramm; MFPA Leipzig vom Februar 2004
- „Untersuchung des Brandverhaltens von Raummodulen des Typs 2500 / 3000 der Firma Kleusberg in Naturbrandversuchen im mehretagigen, praxisgerechten Aufbau“; Untersuchungsbericht UB III/B-04-021 der MFPA Leipzig vom September 2004

- „Orientierende Feuerwiderstandsprüfungen an verschiedenen Materiellen, ohne Lasteintrag. In Anlehnung an DIN 4102, Teile 2 und 8, bei einseitiger thermischer Beanspruchung“, Untersuchungsbereich UB III/B-04-015 der MFPA Leipzig vom 18.06.2004
- Gutachterliche Stellungnahme Nr. G 91 311a –Hs/Dh vom 18.11.1991, HHP Braunschweig beratende Ingenieure GmbH
- Informationsdienst Bautechnischer Brandschutz, Informationsblatt Nr. 0/St-S: 1/74 zu freistehenden Außenstützen aus Stahl
- Berechnung der Kräfte und Mittel für die Brandbekämpfung“, Unser Brandschutz, wiss.-techn. Beiträge 2 /1974
- „Untersuchung zu Abbrandraten von Stoffen unter den Bedingungen des realen Brandes“, Kotthoff, I.; Wilk, E.; unveröffentlicht
- „Untersuchungen zum flash-over-Kriterium und zum Wärmeübergang in Bauteile, Rudolph, D.; Diplomarbeit, Universität Leipzig, 2004
- „On fire flames out of vertical penings“, Thomas, P.H.; Lund Schweden, 1986
- „Experimentelle Untersuchungen an Flachgläsern verschiedener Art bei thermischer Belastung im Brandfall“, Kotthoff, I.; 2000 (unveröffentlicht)
- „Erarbeitung realer Prüfbedingungen für die Durchführung von Original-Brandprüfungen an B 1– Fassadensystemen und eines Verfahrens zur Berechnung von Brandabläufen an Fassaden“, Kotthoff, I.; Bundesforschungsbericht Bf5-8001 98-18
- „Untersuchung des Brandverhaltens verschiedener mobiler Brandlasten bei einem Brand am Fassadenfuß“, Kotthoff, I.; Eigenuntersuchungen, unveröffentlicht
- „Untersuchung der Brandausbreitung innerhalb von Gebäuden unter besonderer Beachtung der natürlichen Rauchabführung in Treppenträumen“, Kotthoff, I.; Wilk, E.; unveröffentlicht
- „Untersuchungen zum Brandverhalten möblierter Räume mit Flammenaustritt auf die Außenwand“, Raumbrandversuche Serie 1 - 4 (84) 2002, Kotthoff, I.; unveröffentlicht
- „Brandversuche zur Ermittlung des Flammenbildes einer eingeschränkt brennenden Flamme“, Kotthoff, I.; Eigenuntersuchungen (unveröffentlicht)
- „Investigation report on Fire Tests on Original Scale and in the SBI for facade claddings“ ISO TC 92 SC1 WG1 „Facades and Sandwich Panels“, Kotthoff, I.
- „Originalbrandversuche zur Darstellung der Brandentwicklung in Räumen und zur Brandbelastung der Fassade“, Kotthoff, I., Wilk, E., Redmer, T., Wagner, S.; MFPA Leipzig / Brandschutz Consult Leipzig (BC), Polizeipräsidium Dresden, Landes- kriminalamt Sachsen
- „Untersuchungen zur seitlichen Brandausbreitung bei Raumbränden an der Fassade“, Kotthoff, I.; Eigenuntersuchungen, unveröffentlicht
- „Originalbrandversuche zur Klärung des Einflusses der Brandlastdichte auf einen Raumbrand“, Kotthoff, I.; Eigenuntersuchungen (unveröffentlicht)
- „Temperaturen an der Fassade, Versuchsergebnisse mit natürlichen Bränden“, Ryan, I., Kruppa, J.; Forschungsbericht Nr. 012 61, Direktion für Bausicherheit, Abt. Brandverhütung und Studien; Frankfurt 1978
- „Brandversuche Leuchte, Brandversuche an einem zum Abbruch bestimmten, viergeschossigen modernen Wohnhaus in Lehrte“, Autorenkollegium: Schriftenreihe "Bau- und Wohnforschung" - 04.037 - 1978
- „Über das Brandgeschehen vor der Fassade eines brennenden Gebäudes unter besonderer Berücksichtigung der Feuerbeanspruchung von Außenstützen“, Knublauch, E.; BAM - Berichte Nr. 25, Dezember 1976
- „Brandrisikobewertung – Berechnungsverfahren“, SIA Dokumentation 81
- „Momentum implications for buoyant diffusion flames“, McCaffrey, B.J.; Combustion and Flame 52 (1983)
- „Aufgabensammlung zur Wärmeübertragung“, Baschkirzew, M. P.; Staatsverlag Berlin; 1979
- SFPE "Handbook of Fire Protection Engineering"
- „Handbook for the fieldmodel – fluid dynamics systems“, NIST, FDS 4
- "MRFC-Handbuch"
- Ausführungszeichnungen der Firma Kleusberg zu den verschiedenen Containertypen
- umfangreiche, langjährige Prüferfahrungen aus Feuerwiderstandsprüfungen, zum Brandverhalten an der Gebäudeaußenwand und aus zwei originalmaßstäblichen Brandversuchen an vergleichbaren Raumcontainern

3. Untersuchungsgegenstand – Raummodule Kleusberg

3.1. Allgemein

Die Firma Kleusberg stellt insgesamt drei verschiedene Containertypen – T 2500 / 3000, T 2750 / 3750 und T 2500 (Verkauf) - unterschiedlicher Ausstattung her, die sich in ihrem prinzipiellen Konstruktionsprinzip jedoch nicht signifikant voneinander unterscheiden. In allen Fällen handelt es sich um quaderförmige, in der Regel bei Einraumnutzung in sich geschlossene, Einzelcontainer (nur bei Mehrraumnutzung einseitig offen), die übereinander gestapelt werden, so dass die Geschossdecke durch das Dach des unteren Containers und den Fußboden des oberen Containers gebildet wird. Das Tragwerk besteht immer aus einem räumlichen Rahmen in Stahlskelettbauweise, der mit nicht-tragenden, vorgefertigten Wänden ausgefacht wird, die über eine unterschiedliche Dämmung und Beplankung verfügen können. In den Außenwänden, d.h. an den Seiten des Containers können zusätzlich Fenster unterschiedlicher Größe (je nach Kundenwunsch, Größe eines „Standardfensters: Breite 1,97 m, Höhe 1,42 m) mit PVC-Fensterrahmen zur Belichtung und Belüftung der angrenzenden Räume und Türen integriert. Vereinfacht stellen sich die einzelnen Container wie folgt dar.

	Typ 2500 / 3000*	Typ 2750 / 3750	Typ – 2500 (Verkauf)
Ausstattungsgrad	einfach	mitte	mittel-gehoben
Nutzung	überwiegend Baustelleneinrichtung	Baustelleneinrichtung Büros Bahnen Kindergärten Schulen Wohnheime	Industrie Büros Wohnheime Bäcker Kindergärten Schulen Technikräume
Absatzfeld	Miete	Miete	Verkauf
Geschossigkeit	bis dreigeschossig	bis dreigeschossig	bis dreigeschossig
Längen	6,04 m (7,25 m)	6,04 m	4,0 – 14,0 m
Breiten	2500: 2,45 m 3000: 3,00 m	2750: 2,45 m 3000: 3,00 m	2,45 – 3,50 m
Grundfläche Einzelcontainer	14,7 – 18,0 m ²	14,7 – 18,1 m ²	10 – 50 m ²
Außenhöhen	2,86 m	3,21 m	2,86 – 3,46 m
Tragwerk	Stahltragwerk nach Typenstatik / Sonderstatik („Standardtragwerk“)	wie 2500, aber zum Teil andere Profile	wie 2500 aber zum Teil unterschiedliche Profile
Beplankung:			
außen	Profilblech	Profilblech	Profilblech
innen	Spanplatten	Spanplatten	Gipskartonplatten
Dämmung	Mineralwolle (Wände) - Mineralwolle in Kombination mit Polystyrol-Hartschaum (Decke)	Mineralwolle	Mineralwolle

* Die jeweils beiden Container der Gruppe sind bis auf die unterschiedlichen Breiten baugleich.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen Ausführungsbeispiele einzelner Containertypen.



Abbildung 3: Typ 2500 / 3000 (eingeschossig)



Abbildung 4: Typ 2500 Verkauf

Die Container können sowohl als freistehende Einzelcontainer als auch als sogenannte „Kombi-container“ zum Einsatz kommen (beispielhaft Typ 2750 / 3750).

Dabei sind als Kombicontainer möglich:

- Einfachkombi
- Doppelkombi
- Doppelkombi mit Gang
- Doppelkombi mit Mittelgang

Die Schaffung von Räumen, die in der Fläche mehrere Container ohne trennende Wandausfachung beinhalten ist möglich (z.B. Klassenräume oder Mehrraubbüros).

Die Begehbarkeit der oberen Etagen (2. und 3.) wird ermöglicht bei

1. Zweigeschossigkeit offener Container mit außenliegende Stahltreppenkonstruktion und Zwischenpodest
2. Zwei- und Dreigeschossigkeit
 - a) freistehende, außenliegende Wendeltreppe mit Stahlstüdel
 - b) innenliegendes Treppenhaus mit Zwischenpodesten im Containermodul

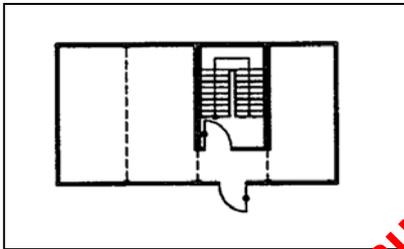


Abbildung 5: Einfachkombi (nur Innentreppe)

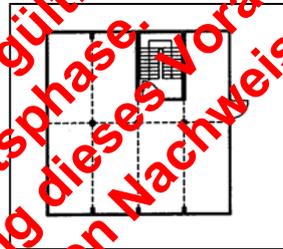


Abbildung 6: Doppelkombi mit Gang im Container (Flurwand als Einzelwand)

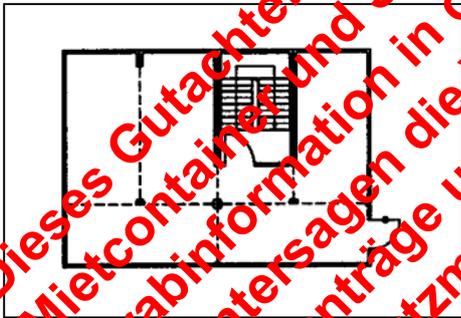


Abbildung 7: Einfachkombi mit Gang

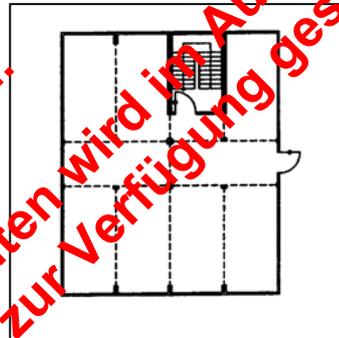


Abbildung 8: Doppelkombi mit Mittelgang (Flurwand als „doppelte Außenwand“)

Die folgende Abbildung zeigt ein dreietagiges Containergebäude im Schnitt und Ansicht.

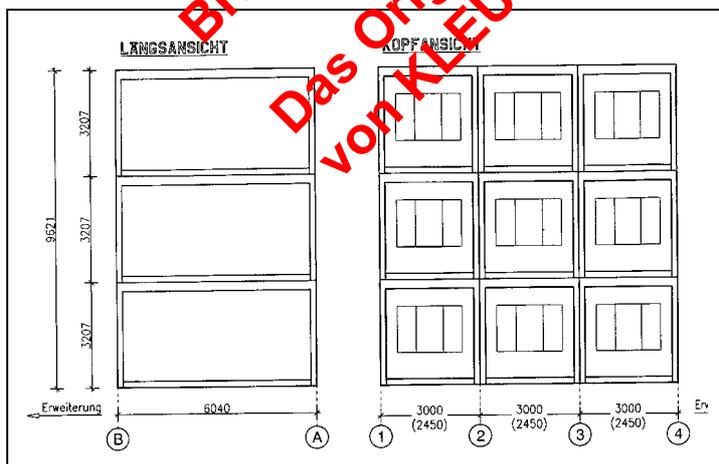


Abbildung 9: dreietagiges Containergebäude

Dieses Gutachten ist ausschließlich für KLEUSBERG und dient nur als Mietcontainer- und Systemgebäude gültig und dient nur als Vorabinformation in der Angebotsphase. Vorab Gutachtens für Bauanträge und als generellen Nachweis für Brandschutzmaßnahmen. Das Original Gutachten wird im Auftragsfall kostenlos von KLEUSBERG zur Verfügung gestellt.

3.2. Stahltragwerk

Das Tragwerk besteht aus Stützen und Trägern aus miteinander verschweißten Stahlprofilen die einen räumlichen quaderförmigen, außenliegenden Rahmen bilden. In der nachfolgenden Abbildung ist das prinzipielle Konstruktionsprinzip des Stahltragwerks visualisiert, das bei allen drei Containertypen gleich ist.

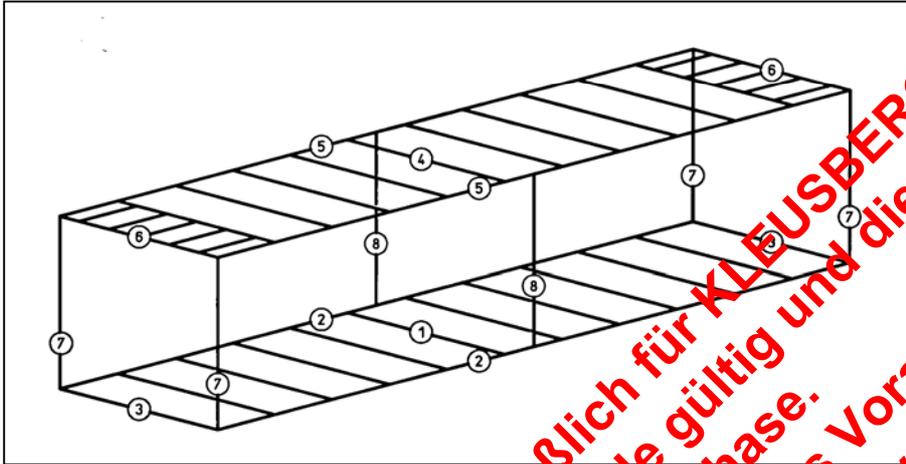


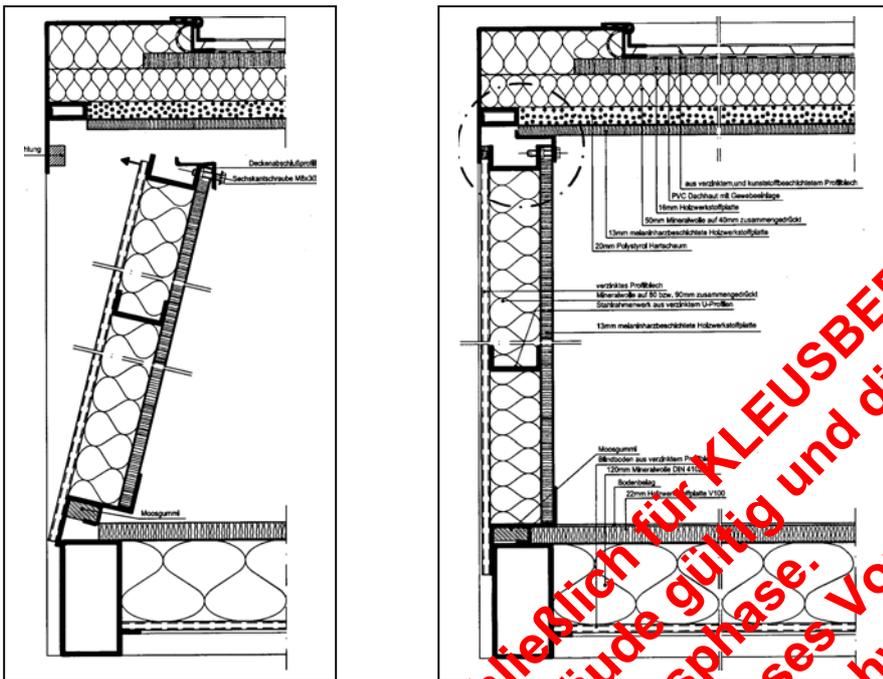
Abbildung 10:
 Rahmenaufteilung mit
 Profilverteilung



Abbildung 11:
 Tragprofile am Beispiel der
 Mietcontainer der Serie
 T 2500/3000

Die nebenstehende Abbildung verdeutlicht beispielhaft die prinzipiellen Profilformen, die sich bei den einzelnen Containertypen nur hinsichtlich der Dimensionierung der Stahldicke bzw. der Ausladung unterscheiden. Eine vollständige Darstellung findet sich in den von der Firma Kleusberg bereitgestellten und geprüften Ausführungszeichnungen des Anhangs.

Die äußere Profilblechabdeckung ist senkrecht gespannt und auf den Dach- und Bodenriegeln sowie einem Zwischenriegel in Wandmitte abgestützt. In horizontaler Richtung wird die Aussteifung durch Dach- bzw. Bodenscheiben aus Spanplatten bzw. Gipskartonplatten (GBK) sichergestellt.



Die Wandausfachung der vertikalen Rahmen ist austauschbar und nicht-tragend. Die nebenstehenden beiden Abbildungen verdeutlichen das Montageprinzip.

Abbildung 12
Schnitt durch einen Container (Typ 2500 / 3000) im Bereich der Außenwand mit Prinzipdarstellung der Montage der austauschbaren Wände

3.3. „Geschosdecke“ und „Dach“

Alle Container schließen oberseitig mit einem Dach ab. Bei übereinander gestapelten Containern wird eine „Geschosdecke“, bedingt durch die modulare Bauweise der Einzelcontainer, durch das „Dach“ des untersten Containers und den Boden des obersten Containers gebildet, wodurch eine zweischalige Deckenkonstruktion entsteht.

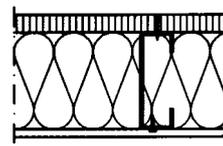
- „Containerdach“ (Wannendach) – Regelaufbau von innen nach außen

	Typ 2500 / 3000	Typ – 2750 / 3750	Typ – 2500 (Verkauf)
Schnitt			
Innenbekleidung	Spanplatte V 20 E1 Dicke 12 mm DIN 4102-B2	Spanplatte V 20 E1 Dicke 12 mm DIN 4102-B2	Gipskartonplatten (GKB) Dicke 25 mm (2 x 12,5 mm) DIN 4102-A2
Dampfsperre	PE-Folie Dicke 0,2 mm DIN 4102-B1	identisch 2500	identisch 2500, aber zwischen den beiden GKB-Lagen
Wärmedämmung	1. Lage (Hutprofil) Polystyrol-Hartschaum PS 30 SE, WLG 040 Dicke 20 mm (Decke) DIN 4102-B1	Mineralwolle ($\rho < 30 \text{ kg/m}^3$) DIN 4102-A2 Schmelzpunkt nach DIN 4102-17: $< 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ Dicke 170 mm (120 mm Stahlkonstruktion und 50 mm Holztragwerk)	identisch 2750

	Typ 2500 / 3000	Typ – 2750 / 3750	Typ – 2500 (Verkauf)
2. Lage (U-Profil)	Mineralwolle ($\rho < 30 \text{ kg/m}^3$) Dicke 50 mm DIN 4102-A2 Schmelzpunkt nach DIN 4102-17: $< 1000 \text{ }^\circ\text{C}$	nur eine Lage (1.)	identisch 2750
Dachträger	Spanplatte V 100 E1 Dicke 16 mm DIN 4102-B2	identisch 2500	identisch 2750
„Dachhaut“	verzinktes Stahltrapezblech Höhe 10 – 12 mm Dicke 0,75 mm DIN 4102-A1 PVC-Dachfolie mit Gewebeeinlage Dicke 1 mm DIN 4102-B2 Gesamt: „harte“ Bedachung nach DIN 4102	identisch 2500	identisch 2750
Gesamtdicke	ca. 100 mm	210 mm	identisch 2750

Details zur Ausbildung im Containerstoß sind der Anlage zu entnehmen.

- „Containerboden“ – Aufbau von oben nach unten

	Typ 2500 / 3000	Typ – 2750 / 3750	Typ – 2500 (Verkauf)
Schnitt			
Bodenbelag	PVC-Belag Dicke 2-3 mm DIN 4102-B2 (auf massivem Untergrund E1 nach DIN 4102-1)	identisch 2500	identisch 2750
Bodenplatte	Spanplatte V 100 E1 Dicke 22 mm DIN 4102-B2	identisch 2500	identisch 2750
Dampfsperre	PE-Folie Dicke 0,2 mm DIN 4102-B2	identisch 2500	identisch 2750
Wärmedämmung (Bodenträger)	Mineralwolle ($\rho < 30 \text{ kg/m}^3$) Dicke 120 mm DIN 4102-A2 Schmelzpunkt nach DIN 4102-17 $< 1000 \text{ }^\circ\text{C}$	Mineralwolle ($\rho < 30 \text{ kg/m}^3$) Dicke 170 mm DIN 4102-A2 Schmelzpunkt nach DIN 4102-17 $< 1000 \text{ }^\circ\text{C}$	identisch 2750
Blindboden	verzinktes Stahltrapezblech Höhe 10 mm Dicke 0,75 mm	identisch 2500	identisch 2750
Gesamtdicke	ca.150 mm	200 mm	identisch 2500 / 3000

Bei mehrgeschossigen Gebäuden stehen an den Rändern der Container und damit auch an den Außenseiten die Decken- und die Bodenträger unmittelbar aufeinander auf. Zwischen der Decke und dem Boden des nächsten Containers entsteht innen ein Luftzwischenraum von ca. 70 mm Höhe wie die nachfolgenden Abbildungen verdeutlichen. Die gesamte, „zwei- bzw. dreischalige (mit Luftzwischenraum)“ Geschossdecke hat damit eine Dicke von ca. 300 mm.

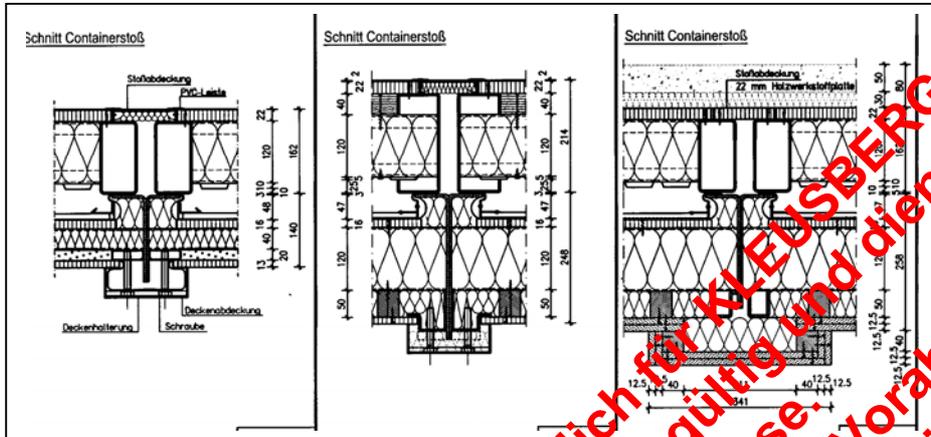


Abbildung 13: Schnitte am Containerstoß (Abstände am Containerstand identisch)

links T-2500 / 3000
Mitte T-2750 / 3750
rechts T 2500 (Verkauf)

3.4. Wände

Alle Wände der Container – innen und außen – sind immer nichttragend und werden als vorgefertigte und austauschbare, wandfüllende Scheiben in den Tragrahmen eingestellt und an diesem gehalten, wie bereits in der Abbildung 12 dargestellt. Die Abdichtung im Stoßbereich erfolgt durch Deckleisten aus Holz.

- Wände – von innen nach außen (Beispiel Außenwand)

Prinzipiell sind drei verschiedene Wandaufbauten möglich - Außenwand, „doppelte“ Innenwand (zwei Außenwände) und eine „einfache“ Innenwand, die im folgenden hinsichtlich ihres generellen Aufbaus vereinfacht dargestellt werden.

	Typ 2500 / 3000	Typ - 2750 / 3750	Typ - 2500 (Verkauf)
Außenwand			
Schnitt			
Innenbekleidung	Spanplatte V 20 E1 Dicke 13 mm DIN 4102-B2	Spanplatte V 20 E1 Dicke 12 mm DIN 4102-B2	Gipskartonplatten (GKB) Dicke 25 mm (2 x 12,5 mm) DIN 4102-A2 0,2 mm PE-Folie dazwischen
Wärmedämmung	Mineralwolle ($\rho < 30 \text{ kg/m}^3$) Dicke 90 mm DIN 4102-A2 Schmelzpunkt nach DIN 4102-17 < 1000 °C	Mineralwolle ($\rho < 30 \text{ kg/m}^3$) Dicke 90 mm DIN 4102-A2 Schmelzpunkt nach DIN 4102-17 < 1000 °C	Mineralwolle ($\rho < 30 \text{ kg/m}^3$) Dicke 90 mm DIN 4102-A2 Schmelzpunkt nach DIN 4102-17 < 1000 °C
„Außenbekleidung“ (Fassade)	verzinktes Stahltrapezblech Höhe 10 - 12 mm Dicke 0,63 mm DIN 4102-A1	identisch 2500	identisch 2750
Gesamtdicke	ca. 125 mm	113 mm	identisch 2500

	Typ 2500 / 3000	Typ - 2750 / 3750	Typ - 2500 (Verkauf)
„doppelte“ Innenwand aus zwei Außenwänden zusammengesetzt			
Schnitt			
„einfache“ Innenwand			
Schnitt			
Innenbekleidung	Spanplatte V 20 E1 beschichtet Dicke 13 mm DIN 4102-B2	Spanplatte V 20 E1 beschichtet Dicke 12 mm DIN 4102-B2	Gipskartonplatten (GKB) Dicke 25 mm (2 x 12,5 mm) DIN 4102-A2
Wärmedämmung	Mineralwolle ($\rho < 30 \text{ kg/m}^3$) Dicke 40 mm DIN 4102-A2 Schmelzpunkt nach DIN 4102-17 $< 1000 \text{ }^\circ\text{C}$	Mineralwolle ($\rho < 30 \text{ kg/m}^3$) Dicke 40 mm DIN 4102-A2 Schmelzpunkt nach DIN 4102-17 $< 1000 \text{ }^\circ\text{C}$	Mineralwolle ($\rho < 30 \text{ kg/m}^3$) Dicke 40 mm DIN 4102-A2 Schmelzpunkt nach DIN 4102-17 $< 1000 \text{ }^\circ\text{C}$
„Außenbekleidung“ angrenzender Raum	Spanplatte V 20 E1 beschichtet Dicke 13 mm DIN 4102-B2	Spanplatte V 20 E1 beschichtet Dicke 12 mm DIN 4102-B2	Gipskartonplatten (GKB) Dicke 25 mm (2 x 12,5 mm) DIN 4102-A2
Gesamtdicke	ca. 135 mm	113 mm	identisch 2500

3.5. Außenliegende Teile des Tragwerks, Anschlüsse

Brandschutztechnisch relevant sind die im Außenbereich freiliegenden Teile des Tragwerks. Im Gebäudeinneren ist ein gewisser „Grundschutz“ durch die entsprechende Beplankung vorhanden.

	Mietcontainer Serie T 2500/3000	Mietcontainer Serie - 2750/3750	Verkaufscontainer
Eckstützen			
	<p>von außen nach innen: 10 mm verzinktes Profilblech, 40 mm Stahlrahmenwerk, 40 mm Mineralwollisolierung, Rohdichte $< 30 \text{ kg/cmb}$, A 2, 40 mm Holzaufdoppelung, 40 mm Mineralwollisolierung, Rohdichte $< 30 \text{ kg/cmb}$, A 2, 13 mm beschichtete Holzwerkstoffplatte V 20 E1, B 2.</p> <p>Abb.- 1.16</p>	<p>von außen nach innen: 10 mm verzinktes Profilblech, 40 mm Stahlrahmenwerk, 40 mm Mineralwollisolierung, Rohdichte $< 30 \text{ kg/cmb}$, A 2, 50 mm Holzaufdoppelung, 50 mm Mineralwollisolierung, Rohdichte $< 30 \text{ kg/cmb}$, A 2, 12 mm melaminharzbeschichtete Holzwerkstoffplatte V 20 E1, B 2.</p> <p>Abb.- 2.16</p>	<p>von außen nach innen: 10 mm verzinktes Profilblech, 40 mm Stahlrahmenwerk, 40 mm Mineralwollisolierung, Rohdichte $< 30 \text{ kg/cmb}$, A 2, 50 mm Holzaufdoppelung, 50 mm Mineralwollisolierung, Rohdichte $< 30 \text{ kg/cmb}$, A 2, 12,5 mm Gipskartonbauplatte (GKB), A 2, 0,2 mm PE-Folie als Dampfsperre, 12,5 mm Gipskartonbauplatte (GKB), A 2.</p> <p>Abb.- 3.16</p>

Abbildung 14: Anschluss der Eckstützen

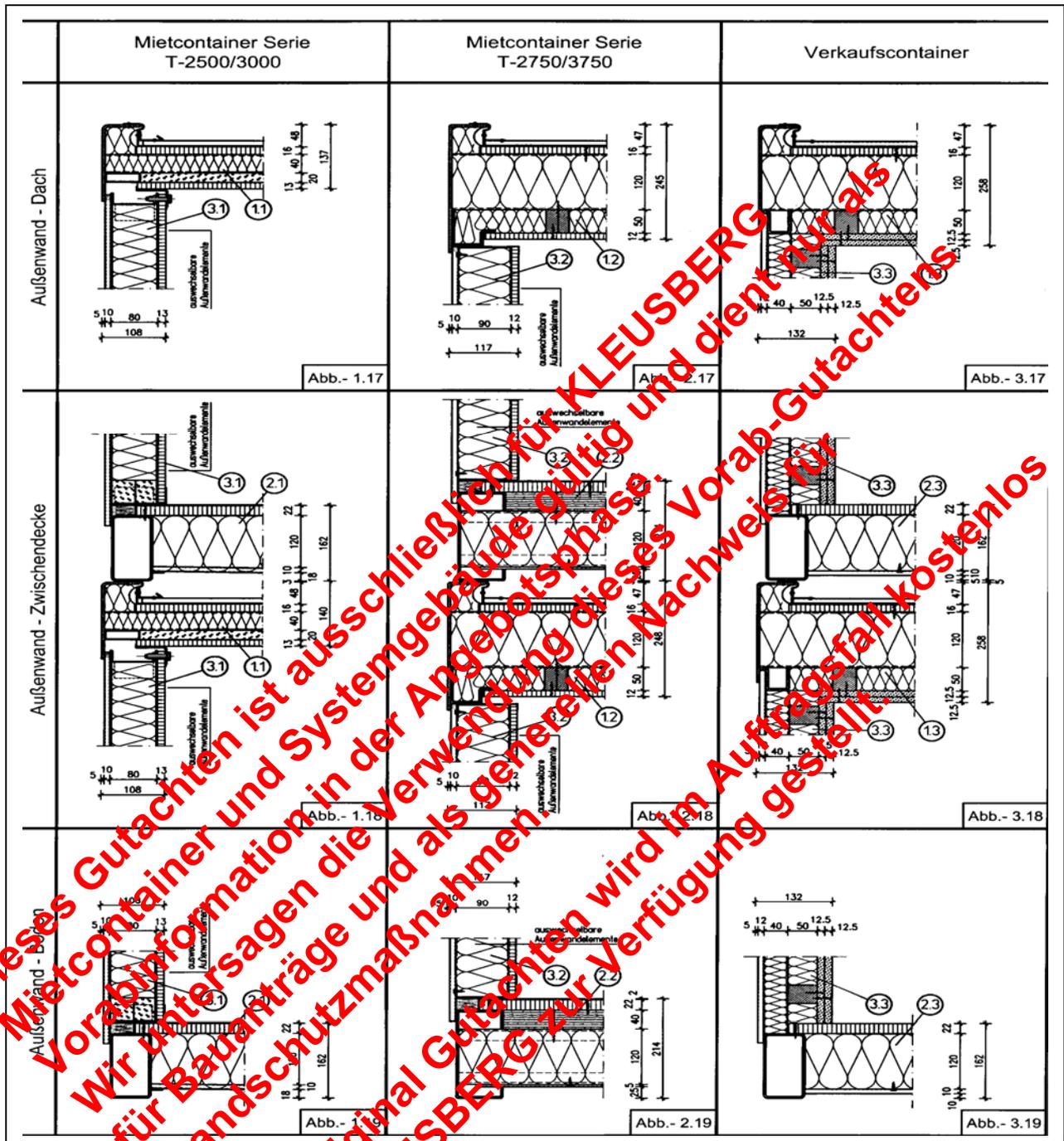


Abbildung 15: Anschluss der Riegel

Die obigen Abbildungen machen deutlich, dass die außen liegenden tragenden Stützen bzw. Riegel des Tragwerks im Gebäudenbereich immer mit Mineralwolle verfüllt und verkoffert sind. Die Breite der freiliegenden, ungeschützten Teile je Stütze beträgt dabei ca. 170 – 180 mm und die entsprechende Höhe der Riegel 215 – 275 mm bei einer Materialdicke des Stahls von 5 mm. Weitere Details zu den unterschiedlichen Anschlüssen sind den Anlagen zu entnehmen.

4. Baurechtliche Forderungen

4.1. Allgemein

Nach § 13 der Musterbauordnung - die im Folgenden die Bewertungsgrundlage bilden soll- sind bauliche Anlagen und damit auch Gebäude in Containerbauweise, so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch (Brandausbreitung) vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und

Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind. Aus diesen grundlegenden Schutzzieleiten sich, wie Eingangs bereits dargelegt brandschutztechnische Forderungen hinsichtlich des Feuerwiderstands des Tragwerk der Gebäude und der raumabschließenden Bauteile und gegebenenfalls der Brennbarkeit der verwendeten Baustoffe ab. Für die betrachteten Containertypen ergeben sich Feuerwiderstandsforderungen hinsichtlich der Tragfähigkeit nur an den Stahlskelettrahmen und die Decken. Zusätzliche Forderungen an die Wände sind zu erheben bei aneinander grenzenden Mietbereichen unterschiedlicher Nutzer und an Abtrennung der Nutzungseinheiten an den notwendigen Evakuierungswegen.

• Generelle brandschutztechnische Einordnung

Im Einzelnen ergibt sich für die unterschiedlichen Containertypen die nachfolgend angeführte Einordnung in Gebäudeklassen auf der Basis der Musterbauordnung (MBO), die nach Beschluss der Bauministerkonferenz der Länder die Grundlage für künftige Novellierungen der Landesbauordnungen bildet.

Containertypen			
	Typ 2500 / 3000	Typ – 2500 / 3750	Typ – 2500 (Verkauf)
Nutzung	überwiegend Baustelleneinrichtung	Baustelleneinrichtung Büros, Wohnheime Banken Kindergärten Schulen**	Industrie Büros, Wohnheime Banken Kindergärten Schulen* Technikräume
Geschossigkeit	max. dreigeschossig FB* max. 6,66 m	max. dreigeschossig FB* max. 6,64 m	max. dreigeschossig FB max. 6,99 m
Gebäudeklasse nach § 2 (3) MBO			
	<u>GK 2</u> bei nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m ²	<u>GK 2</u> bei nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m ²	<u>GK 2</u> bei nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m ²
	<u>GK 3</u> sonstige Gebäude	<u>GK 3</u> sonstige Gebäude	<u>GK 3</u> sonstige Gebäude

* Fußbodenhöhe der obersten Geschosses mit Aufenthaltsräumen

Falls es sich um freistehende Gebäude handelt und nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m² vorhanden sind, ist eine Einstufung in die Gebäudeklasse GK1 möglich.

Bei der Ableitung der brandschutztechnischen Einzelforderungen ist zusätzlich zur Gebäudehöhe (Geschossigkeit) die generelle Art und Nutzung des Gebäudes zu berücksichtigen.

Baustelleneinrichtungen, Büros, Wohnungen und Banken sind als Gebäude normaler Art und Nutzung zu betrachten. Schulen sind nach § 2 (4) der MBO als Sonderbauten einzustufen, bei deren Ausführung die „Muster-Richtlinie über bauaufsichtliche Anforderungen an Schulen“ (Schulbau R) zu beachten ist. An die Ausführung von Kindergärten wird im bauaufsichtlichen Verfahren in der Regel zumindest das Forderungsniveau von Schulen angesetzt, möglicherweise zuzüglich weiterer objekt konkreter Forderungen. Als Sonderbauten sind weiterhin Gebäude mit Räumen, die einer Büro- oder Verwaltungsnutzung dienen und einzeln eine Grundfläche von mehr als 400 m² haben, einzustufen.

In der überwiegenden Anzahl von Fällen ist davon auszugehen, dass die Containergebäude über nicht mehr als zwei Nutzungseinheiten von insgesamt nicht mehr als 400 m² (maximal 26 Standardcontainer von 15 m²) verfügen und somit maximal in die Gebäudeklasse GK 2 einzustufen sind. Bei einer Ausführung von größeren Objekten mit mehr als zwei Nutzungseinheiten von mehr als 400 m² sind diese in die Gebäudeklasse GK 3 einzustufen. Eine derartige Betrachtung muss bei jedem

Bauvorhaben durch die zuständige Bauaufsichtsbehörde oder den von ihr beauftragten Brandschutzgutachter bzw. Prüfingenieur erfolgen, da sich daraus die resultierenden, objektkonkreten Brandschutzanforderungen ableiten. Bei einer Einhaltung einer maximalen Dreigeschossigkeit und damit einer limitierten Höhe bildet die Grundfläche der Nutzungseinheiten, nicht die der darin enthaltenen Aufenthaltsräume das Haupteinstufungskriterium.

4.2. Anforderungen an das Tragwerk § 27 MBO „Tragende Wände, Stützen“

Allgemeines Schutzziel:

Tragende und aussteifende Wände und Stützen müssen im Brandfall ausreichend lang standsicher sein.

Gebäudeklasse	GK 1	GK 2	GK 3
Gebäude normaler Art und Nutzung	ohne Anforderungen (F 0)	feuerhemmend (F 30)	feuerhemmend (F 30)
Schulen (Kindergärten)	über die oben genannten Forderungen hinausgehende werden nicht erhoben		

Diese Forderung ist an Geschosse in Dachräumen nur zu erheben wenn darüber noch Aufenthaltsräume möglich sind.

Bezogen auf die brandrelevante Ausführung der Container für Gebäude der GBK 2 und 3 heißt das, dass das Stahltragwerk über 30 Minuten einer Vollbrandbeanspruchung (ETK) nach DIN 4102-2 (F 30) genügen muss und über diesen Zeitraum unter der rechnerisch zulässigen Gebrauchslast nicht zusammenbrechen darf.

4.3. Geschossdecken - § 31 MBO „Decken“

Allgemeines Schutzziel:

Decken müssen als tragende und raumschließende Bauteile zwischen Geschossen im Brandfall ausreichend lang standsicher und widerstandsfähig gegen die Brandausbreitung sein.

Gebäudeklasse	GK 1	GK 2	GK 3
Gebäude normaler Art und Nutzung	ohne Anforderungen (F 0)	feuerhemmend (F 30)	feuerhemmend (F 30)
Schulen (Kindergärten)	über die oben genannten Forderungen hinausgehende werden nicht erhoben		

Diese Forderungen werden an Geschosse in Dachräumen („Dachdecken“) nur erhoben wenn darüber Aufenthaltsräume möglich sind.

Die zweischaligen Geschossdecken der Container für Gebäude der GBK 2 und 3 müssen über eine Dauer von mindestens 30 Minuten den Durchgang des Feuers verhindern und dürfen sich an der feuerabgewandten Seite (Fußboden des oberhalb des Brandraumes befindlichen Geschosses) um nicht mehr als 140 K im Mittel erwärmen.

4.4. Dächer - § 32 MBO „Dächer“

Allgemeines Schutzziel:

Bedachungen müssen gegen eine Brandbeanspruchung von außen durch Flugfeuer und strahlende Wärme ausreichend lang widerstandsfähig sein (harte Bedachung nach DIN 4102-7). Bei der gewählten Dachhaut aus 0,75 mm dickem und 12 mm hohem verzinktem Stahltrapezblech mit einer Unterlegung durch eine PVC-Dachbahn auf einer 16 mm dicken Spanplatte kann diese Forderung als erfüllt gelten.

4.5. Wände - §§ 28, 29, 35 und 36

Die Brandschutzanforderungen an die Wände ergeben sich je nach Nutzung, wobei zu unterscheiden ist zwischen Außenwänden, Trennwänden zwischen Nutzungseinheiten und Wänden notwendiger Flure bzw. Treppen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass alle Wände nichttragend sind. Die Brand-

schutzanforderungen erstrecken sich dabei vorwiegend auf die Feuerwiderstandsfähigkeit der Wände, aber in Evakuierungswegen auch auf die Brennbarkeit der inneren Bekleidung.

Gebäudeklasse	GK 1	GK 2	GK 3
Nichttragende Außenwände nach § 28 MBO			
<u>Schutzziel:</u> Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen und Schürzen sind so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist.			
Gebäude normaler Art und Nutzung	ohne Anforderungen (F 0) Fassade normalentflammbar B2	ohne Anforderungen (F 0) Fassade normalentflammbar B2	ohne Anforderungen (F 0) Fassade normalentflammbar B2
Schulen (Kindergärten)	über die oben genannten Forderungen hinausgehende werden nicht erhoben		
Trennwände zwischen verschiedenen Nutzungen - § 29 MBO			
<u>Schutzziel:</u> Brandschutztechnisch notwendige Trennwände* müssen als raumabschließende Bauteile von Räumen oder Nutzungseinheiten innerhalb von Geschossen ausreichend lang widerstandsfähig gegen die Brandausbreitung sein.			
Gebäude normaler Art und Nutzung	ohne Anforderungen (F 0)	feuerhemmend (F 30)	feuerhemmend (F 30)
Schulen (Kindergärten)	über die oben genannten Forderungen hinausgehende werden nicht erhoben		
Wände notwendiger Flure - § 30 MBO			
<u>Schutzziel:</u> Flure, über die Rettungswege aus Aufenthaltsräumen oder aus Nutzungseinheiten mit Aufenthaltsräumen zu Ausgängen in notwendige Treppenräume oder ins Freie führen (notwendige Flure), müssen so angeordnet und ausgebildet sein, dass die Nutzung im Brandfall ausreichend lang möglich ist. Notwendige Flure sind nicht erforderlich: in sonstigen Gebäuden der Gebäudeklassen 1 und 2 und innerhalb von Nutzungseinheiten, die einer Büro- oder Verwaltungsnutzung dienen, mit nicht mehr als 400 m ² , das gilt auch für Teile größerer Nutzungseinheiten, wenn diese Teile nicht größer als 400 m ² sind.			
Gebäude normaler Art und Nutzung	ohne Anforderungen (F 0)	ohne Anforderungen (F 0)	feuerhemmend (F 30) Bekleidungen nichtbrennbar A
Schulen (Kindergärten)	über die oben genannten Forderungen hinausgehende werden nicht erhoben		
Wände notwendige Treppen - § 35 MBO			
<u>Schutzziel:</u> Notwendige Treppenräume müssen so angeordnet und ausgebildet sein, dass die Nutzung der notwendigen Treppen im Brandfall ausreichend lang möglich ist. Notwendige Treppen sind ohne eigenen Treppenraum zulässig in Gebäuden der Gebäudeklassen 1 und 2, für die Verbindung von höchstens zwei Geschossen innerhalb derselben Nutzungseinheit von insgesamt nicht mehr als 200 m ² , wenn in jedem Geschoss ein anderer Rettungsweg erreicht werden kann oder als Außen-treppe, wenn ihre Nutzung ausreichend sicher ist und im Brandfall nicht gefährdet werden kann.			
Gebäude normaler Art und Nutzung	ohne Anforderungen (F 0)	ohne Anforderungen (F 0)	feuerhemmend (F 30) (außer Außenwände) Bekleidungen nichtbrennbar A
Schulen (Kindergärten)	über die oben genannten Forderungen hinausgehende werden nicht erhoben		

Dieses Gutachten ist ausschließlich für KLEUSBERG gültig und dient nur als Vorabinformation im Systemgebäudegültigkeitsverfahren. Die Verwendung dieses Vorab-Gutachtens für Bauanträge und als genehmertes Brandschutzmaßnahme ist untersagt. Das Original Gutachten wird im Auftragsfall kostenlos zur Verfügung gestellt.

* Trennwände sind bei oberirdischen Containergebäuden erforderlich zwischen Nutzungseinheiten sowie zwischen Nutzungseinheiten und anders genutzten Räumen, ausgenommen notwendigen Fluren. Trennwände zum Abschluss von Räumen mit Explosions- oder erhöhter Brandgefahr müssen feuerbeständig sein.

Einschub: Brandwände

In Einzelfällen kann es erforderlich sein auch in Containergebäuden Brandwände nach § 30 der MBO auszubilden. Das allgemeine Schutzziel wird wie folgt definiert: „Brandwände müssen als raumabschließende Bauteile zum Abschluss von Gebäuden (Gebäudeabschlusswand) oder zur Unterteilung von Gebäuden in Brandabschnitte (innere Brandwand) ausreißend lang die Brandausbreitung auf andere Gebäude oder Brandabschnitte verhindern.“

Brandwände sind erforderlich

- als Gebäudeabschlusswand, ausgenommen von Gebäuden ohne Aufenthaltsräume und ohne Feuerstätten mit nicht mehr als 50 m³ Brutto-Rauminhalt, wenn diese Abschlusswände an oder mit einem Abstand bis zu 2,50 m gegenüber der Grundstücksgrenze errichtet werden, es sei denn, dass ein Abstand von mindestens 5 m zu bestehenden oder nach den baurechtlichen Vorschriften zulässigen künftigen Gebäuden gesichert ist,
- als innere Brandwand zur Unterteilung ausgedehnter Gebäude in Abständen von nicht mehr als 40 m

Anstelle von Brandwänden nach Satz 1 sind zulässig

- für Gebäude der Gebäudeklasse 1 bis 3 hochfeuerhemmende Wände (F 60)
- für Gebäude der Gebäudeklassen 1 bis 3 Gebäudeabschlusswände, die jeweils von innen nach außen die Feuerwiderstandsfähigkeit der tragenden und aussteifenden Teile des Gebäudes, mindestens jedoch feuerhemmende Bauteile und von außen nach innen die Feuerwiderstandsfähigkeit feuerbeständige Bauteile haben

Wegen der, nach Aussagen des Herstellers, geringen Wahrscheinlichkeit der Notwendigkeit von Brandwänden, erfolgt im weiteren keine vertiefende Betrachtung.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Anforderungen mit höheren Gebäudeklassen von GK 1 – 3 zunehmen. Gebäude der GK 1 unterliegen außer den üblichen Grundforderungen (Verbot der Verwendung leichtentflammbarer Baustoffe) keinen expliziten Brandschutzanforderungen. Bereits ab der GK 2 wird jedoch eine feuerhemmende Ausführung (F 30) des Tragwerks, der Geschossdecken und notwendiger Trennwände erhoben. Für Gebäude der GK 3 gelten zusätzlich zu den Forderungen der GK 2 noch Forderungen an die Wände notwendiger Flure und Treppen – feuerhemmend (F 30). Bei letztgenannten Wänden muss die Bekleidung zum Rettungsweg hin dann aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen.

5. Mögliche Brandszenarien

Da für die zu untersuchenden Bauteile keine expliziten Ergebnisse aus Feuerwiderstandsprüfungen nach DIN 4102-2 mit Klassifizierung vorliegen und teilweise auch nicht vorliegen können, wird es erforderlich die möglich thermische Beanspruchung der tragenden bzw. raumabschließenden Bauteile im Brandfall zu betrachten. Prinzipiell ist eine Brandbeanspruchung der Teile des Tragwerks - bedingt durch die außenliegende Stahlrahmenkonstruktion – sowohl von innen als auch von außen möglich. In beiden Fällen ist es zur Bewertung der Feuerwiderstandsfähigkeit, die die Temperaturbeanspruchung unter den Bedingungen eines ventilationsgesteuerten Vollbrandes beschreibt, wesentlich den Zeitpunkt des Beginns dieser Beanspruchung zu kennen, da erst ab diesem Zeitpunkt eine flächige Beanspruchung innerhalb des Brandraums gegeben ist und erst ab diesem Zeitpunkt Flammen aus dem Brandraum, z. B. vor die Fassade austreten.

5.1. Brandbeanspruchung des Tragwerks von innen

Ein Brand in einem von Menschen genutzten Raum kann in keinem Gebäude vollständig ausgeschlossen werden. Aus einem Entstehungsbrand geht der Brand bei hinreichend vorhandener Brandlast und genügendem Sauerstoffangebot (Ventilation) über das Stadium des „entwickelten Brandes“ durch flash-over in den Vollbrand über. Zur Brandlastverteilung in unterschiedlichen

Gebäuden finden sich in der Literatur zum Teil sehr widersprüchliche Aussagen, so dass hier die im Eurocode DIN EN 1991-1-2 Anhang H zitierten Werte angegeben werden sollen. Als Ergänzung dienen die von der Schweizerische Ingenieur- und Architektenkammer in der SIA 81 veröffentlichten Daten, die zur Zeit allerdings aktualisiert werden.

Allgemein können nutzungsbedingt folgende Brandlastdichten angesetzt werden:

	DIN EN 1991-1-2 Anhang H		SIA 81
	Mittelwert	80 % Fraktile	
Büronutzung (oder vergleichbar)	420 MJ/m ²	511 MJ/m ²	800 - 1000 MJ/m ²
Schulen - Klassenzimmer (Kindergärten)	285 MJ/m ²	347 MJ/m ²	550 MJ/m ²

Ausgehend von weiteren Literaturangaben und eigenen Untersuchungen kann festgestellt werden, dass der Ansatz nach SIA für Büros zu hoch (zunehmend digitale Datenspeicherung) und für Schulen übernehmbar ist. Eine Brandlastdichte von 500 bis 600 MJ/m² kann für die betrachteten Nutzungen verallgemeinernd als guter, konservativer Durchschnittswert betrachtet werden, dieser Wert liegt den nachfolgenden Betrachtungen zu Grunde. Die Brandlastdichte entspricht damit einer mittleren Brandbeanspruchung.

In Nass- bzw. Sanitärbereichen kann unter Berücksichtigung der dort üblichen Ausstattung von einer sehr kleinen Brandlastdichte mit weniger als 250 MJ/m² ausgegangen werden.

Beträchtliche Flammenwirkungen sind nur im Vollbrand zu erwarten. Aus diesem Grund ist es erforderlich, dass für ein entsprechendes Szenarium im Brandraum das Vollbrandkriterium (Auslösung des flash-over) kontrolliert wird, d.h. es ist zu klären, ab welcher Zeit die Wärme freigesetzt wird, die zur thermischen Aufbreitung der Flächen brennbaren Stoffe und zur schlagartigen Durchzündung des Raumes führt.

Bei größeren Räumen ist die Wahrscheinlichkeit des Eintritts des flash-over aus eigenen Erfahrungen geringer einzustufen, exakte Angaben finden sich jedoch in der Literatur nicht, so dass es erforderlich wurde die Eintrittszeiten für den Vollbrand für verschiedene Raumgrößen mit Hilfe analytischer Ingenieurmethoden abzuleiten.

5.1.1. Eintritt des Vollbrandes durch flash-over bei unterschiedlichen Raumgrößen

Die Einleitung des Vollbrandes erfolgt bei Temperaturen > 550 °C und kritischen Wärmestromdichten von ca. 20 kW/m² bezogen auf Holz, Kartonnagen und Textilien.

5.1.1.1. Berechnung

Die Zeit zur Einleitung des Vollbrandes lässt sich mit mehreren Verfahren bestimmen :

1. Berechnung der Raumtemperaturen mittels Wärmebilanzrechnung, bis die Heißgastemperaturen im Raum 550 °C überschreitet; geeignet ist hierzu ein Zonenmodell (MRFC)
2. Berechnung der Wärmefreisetzung nach einem von IWANIKOW veröffentlichten Rechenverfahren bis die Aktivierungsenergie oder die flash-over -Temperatur überschritten wird.

• Zielstellung der Untersuchung

Im Rahmen der Untersuchung sollen die Abhängigkeiten zwischen der nach THOMAS berechenbaren

- maximalen Wärmefreisetzung im Raum und
- der für die Auslösung des flash-over nötigen Energie

sowie der Starttemperatur des flash-over bei von 550°C und der zur Erreichung der Temperatur und der Energie erforderlichen Brennzeit bestimmt werden.

• Ansätze zur Untersuchung

Es wird bei dieser Betrachtung von Räumen vergleichbarer Nutzung jedoch mit unterschiedlicher Raumfläche ausgegangen. Die Zugangstüren sollen anteilig geöffnet sein, die Fenster geschlossen. Die Grundannahmen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Raumgröße	Öffnungsgröße	Raumhöhe
20 m ²	2 m ²	3 m
100 m ²	4 m ²	3 m
200 m ²	6 m ²	3 m

Beispielhaft ist der Raum mit einer Grundfläche von 100 m² dargestellt.

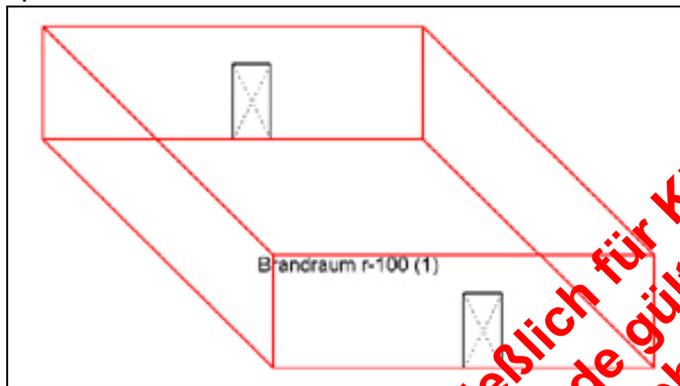


Abbildung 16:
 Berechnungsmodell

• **Berechnung der Brandentwicklung**

Die Berechnungen zur Wärmeabgabe folgen den Rechenvorschriften nach WANNIKOW für den Brand in Räumen. Es werden die Durchschnittswerte für den Raumbrand nach WILK/KOTTHOFF verwendet.

Wert	Größe
lineare Brandausbreitungsgeschwindigkeit v_{aus}	0.25 m/min.
Massenabbrandgeschwindigkeit \dot{m}_b	0.65 kg/m ² ·min.
Heizwert H_{ij}	19.500 kJ/kg

• **Berechnung des flash-over-Kriteriums nach Thomas**

Mit der folgenden Gleichung kann die Startenergie bestimmt werden, die für einen Raum bestimmter Größe und entsprechender Öffnungsfläche erforderlich ist.

$$Q_{st} = 7,8 \cdot A_T + 278 \cdot A_o \cdot h_o$$

A_T – Rauminnenflächen ohne Öffnungsflächen; A_o – Öffnungsfläche; h_o – Öffnungshöhe

Zusätzlich wird die Energie der Luftschicht im Raum berechnet, die im Brandverlauf auf ca. 550°C – der Starttemperatur für die Einleitung des flash-over – erwärmt wird. Hierzu wird die Wärmemenge ($Q_{konv.}$), die pro Zeiteinheit des Brandes frei wird auflaufend addiert.

Da die Berechnungen

- zur Brandraumtemperatur mittels Zonenmodell,
- zur Erreichung der Startenergie für den flash-over und
- zur Erwärmung der Heißgasschicht im Brandraum

zeitabhängig verlaufen, kann auf diese Weise die Zeit bestimmt werden, die für die Erreichung des jeweiligen Schwellwertes erforderlich ist.

Dieses Gutachten ist ausschließlich für KLEUSBERG
 Vorab-Gutachten in der Angebotsphase.
 Wir informieren Sie über die Verwendung dieses Vorab-Gutachtens
 für Baubrandschutzmaßnahmen. Nachweis für
 Das Original Gutachten wird im Auftragfall kostenlos
 zur Verfügung gestellt.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Berechnungen in grafischer Form dargestellt.

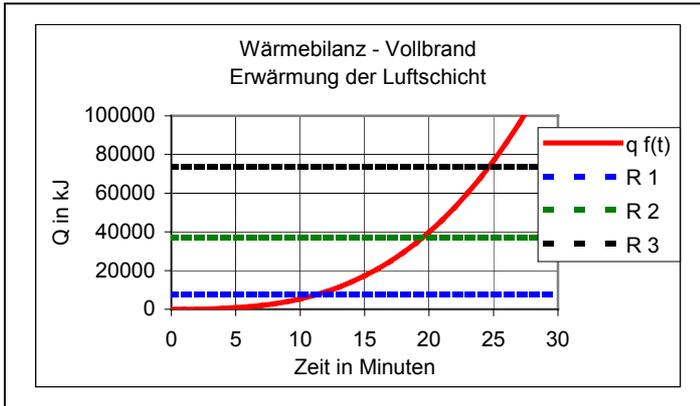


Abbildung 17:

Berechnung der Energie für eine ca. 1m dicke Heißgasschicht im Brandraum entsprechender Größe.

Es wird die Energie pro Minute aufaddiert. Die für die Erwärmung erforderliche Energie ist als horizontale Linie bezogen auf die drei Raumgrößen aufgetragen.

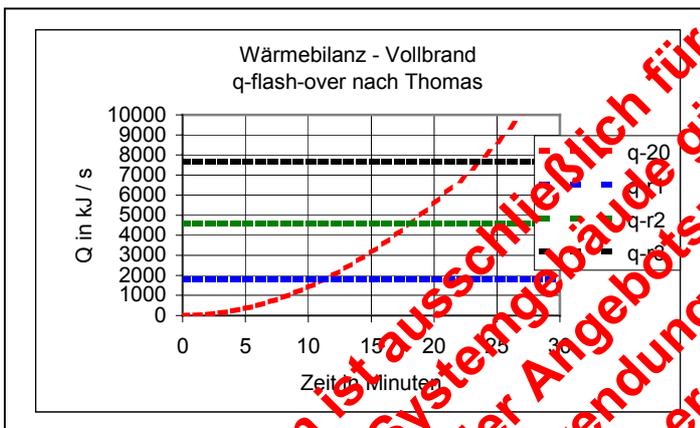


Abbildung 18:

Vergleich der nach IWANNIKOW berechneten Wärmefreisetzung pro Zeiteinheit mit der Startenergie für den flash-over nach THOMAS.

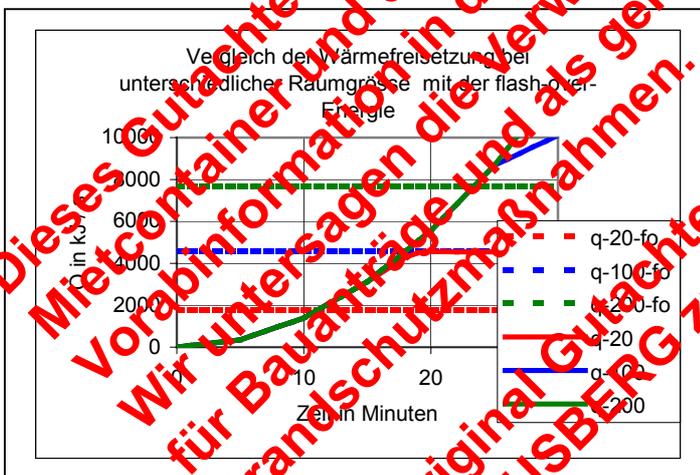


Abbildung 19:

Wärmefreisetzung, berechnet mit dem Zonenmodell MRFC im Vergleich mit der nach Thomas berechneten Startenergie für den flash-over

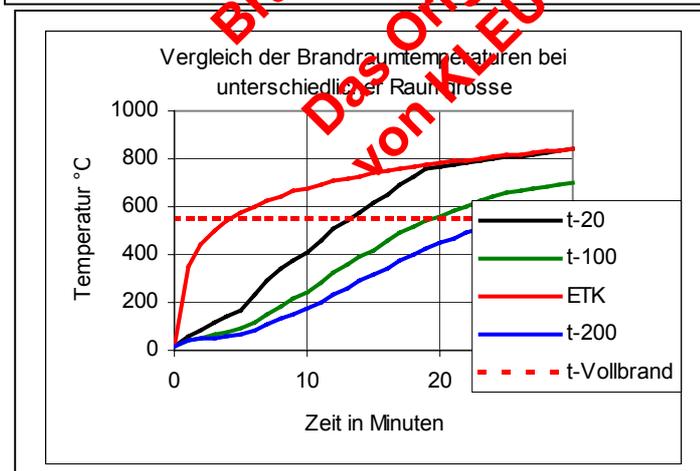


Abbildung 20:

Heißgastemperaturen, berechnet mit dem Zonenmodell MRFC im Vergleich mit der ETK unter Berücksichtigung der Wärmefreisetzung lt. Abb. 11.

Dieses Gutachten ist ausschließlich für KLEUSBERG
 Mietcontainer und Systemgebäude gültig und dient nur als
 Vorabinformation in der Angebotsphase. Vorab Gutachten
 Wir untersagen die Verwendung dieses Nachweises für
 für Bauanträge und als generellen Nachweis für
 Brandschutzmaßnahmen.
 Das Original Gutachten wird im Auftragsfall kostenlos
 von KLEUSBERG zur Verfügung gestellt.

Die Ergebnisse der Berechnungen sind bezüglich der zeitlichen Intervalle in der folgenden Graphik dargestellt und weisen bei Anwendung von vier verschiedenen Rechenverfahren eine sehr gute Übereinstimmung aus; die Abweichung liegt bei +/- 6.4 %.

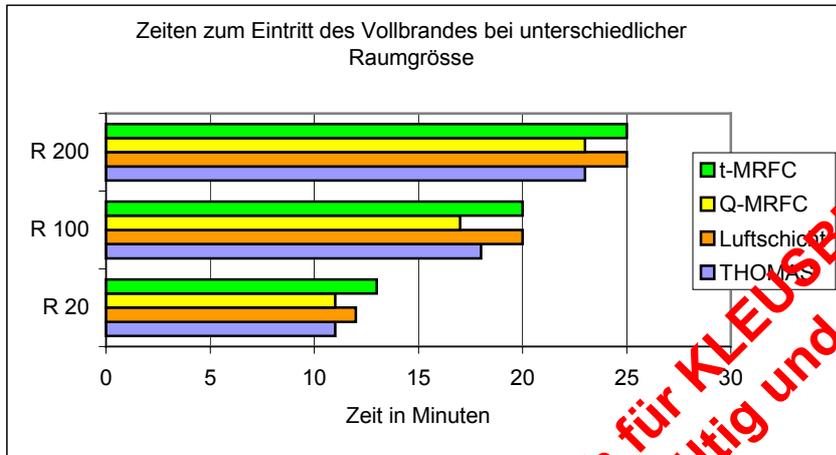


Abbildung 21: Zeiten zum Eintritt des Vollbrandes bei unterschiedlicher Raumgröße

Vereinfachend ergibt sich in der Abhängigkeit von der Raumgröße folgende Abhängigkeit des Eintrittszeitpunkts des flash-overs.

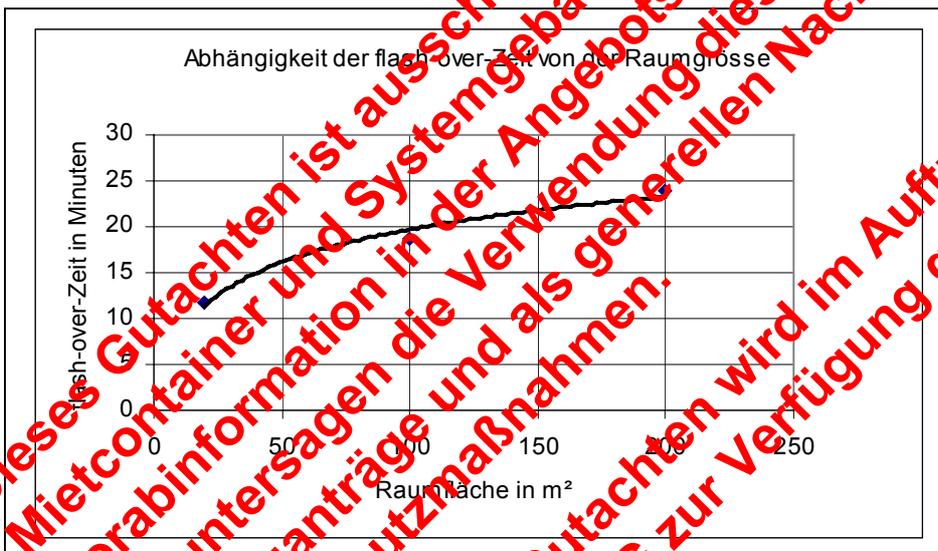


Abbildung 22: Abhängigkeit der Eintrittszeit des Vollbrandes von der Raumgröße

Demnach ergeben sich folgende - rechnerisch ermittelte - durchschnittliche flash-over-Zeiten.

Raumgröße	Flash-over-Zeitpunkt
20 m ²	12 Minuten
100 m ²	20 Minuten
200 m ²	22 Minuten

Die Berechnungen weisen eine deutliche zeitliche Verzögerung des Eintritts des Vollbrandes durch flash-over mit zunehmender Raumgröße aus. Bei einer Vergrößerung der Öffnungsflächen wird dieser Zeitpunkt sich weiter nach hinten verschieben.

5.1.1.2.. Experimentelle Erfahrungen

Aus den zur Verfügung stehenden Raumbränden (ca. 130) wurden 10 Brandversuche vergleichbarer Brandlastdichte hinsichtlich der Eintrittszeit des Vollbrandes ausgewertet.

Das Maximum des Zeitintervalls von der Zündung bis zum Vollbrand in einem Raum mit einer Grundfläche von 20 m² (Raumhöhe 3 m) betrug 22 Minuten, das Minimum 9 Minuten; als Durchschnittswert wurden 12,7 Minuten bestimmt.

Die folgende Abbildung zeigt die Verteilung der flash-over-Zeiten im Ergebnis der Auswertung der 10 zitierten Brandversuche.

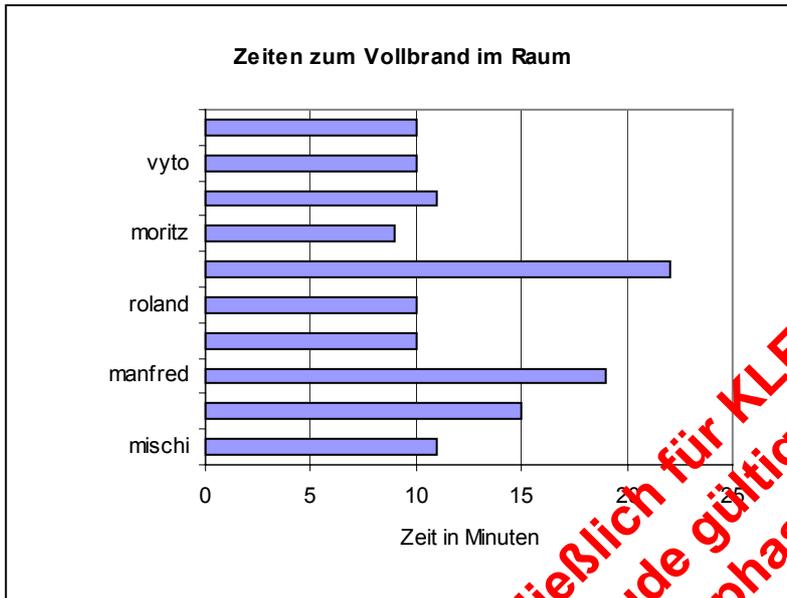


Abbildung 23:
flash-over-Zeiten
aus zehn Raum-
brandversuchen

Drei Versuche (**Bürobrände!!**) weichen in der Zeit zwischen Zündung und Vollbrand von den übrigen Versuchen ab, bei diesen Versuchen trat der Vollbrand deutlich später ein. 70 % der Versuche liegen in den Grenzen von 9-11 Minuten.

5.1.2. Zusammenfassung

Die vorhandenen experimentellen Ergebnisse zeigen für einen 20 m² großen Raum eine sehr gute Übereinstimmung mit den rechnerisch ermittelten Werten. Die nach vier verschiedenen Rechengrößen ermittelte Extrapolation auf Räume mit einer größeren Grundfläche (bis zu 200 m²) stimmen gut überein und decken sich auch mit den Erfahrungen aus realen Schadensfällen. Es kann also als gesichert angenommen werden, dass eine Zunahme der Raumgrundfläche zu einer Verzögerung des Eintritts des Vollbrandes und damit zu einer Verzögerung der thermischen Beanspruchung sowohl der innen als auch der außen liegenden Tragwerksteile führt.

5.1.3. Vollbrand

Bei der Entstehung eines Brandes ist unter der Voraussetzung der angesetzten Brandlastdichte von 500 - 600 kg/m² damit in möblierten Räumen eine hinreichende Menge brennbarer Materialien und zunächst auch ausreichend Sauerstoff vorhanden, so das nach endlicher Zeit – siehe oben - ein Vollbrand eintreten kann, der zum Einen ab diesem Zeitpunkt die innenliegenden tragenden Teile (Verkofferung und Verfüllung mit Mineralwolle) in voller Höhe thermisch flächig beansprucht und zum Anderen zu einem Flammenaustritt aus dem Raum durch offene oder zerstörte Fenster auf die Fassade führen kann. Die Temperaturentwicklung im Brandraum erreicht mit Eintritt des flash-over die Einheits-Temperatur-Zeitkurve (ETK) nach DIN 4102-2, übersteigt diese dann und kühlt ab einer Zeit von ca. 25 Minuten, wenn die Brandlast im Raum aufgezehrt ist, unter diese ab. Die Energieabgabe im Brandraum gewährleistet dabei mindestens eine „Äquivalenzbranddauer“ von 30 Minuten nach ETK. Die thermische Beanspruchung der, in die Außenwand integrierten Außenseiten des Stahltragwerks (Eckstützen, Decken- und Bodenträger) beginnt **erst nach dem flash-over**, da vorher der im Raum selbst vorhandene Sauerstoff für eine Verbrennung ausreichend ist und kein Flammenaustritt auf die Fassade erfolgt. In Nassräumen (Toiletten und Waschräume) ist ein derartiger Übergang in einen Raumvollbrand wegen der nur geringfügig vorhandenen Brandlast nicht zu erwarten. Eine kurzzeitige, lokale - jedoch nicht flächig wirkende - Brandbeanspruchung der tragenden Bauteile bzw. Wände und Decken ist allerdings auch in Nassräumen nicht vollständig auszuschließen. Bei größeren Raumeinheiten von mehr als zwei Modulen sinkt die Wahrscheinlichkeit einer Durchzündung des gesamten Raumes mit Zunahme der Raumgröße, da dann infolge des größeren Raumvolumens mehr Sauerstoff für den Abbrand innerhalb des Raumes zur Verfügung steht - ein Flammenaustritt auf die Fassade ist dann unwahrscheinlich..

5.2. Brandbeanspruchung des Tragwerks von außen

Die folgende Aufzählung orientiert sich an den in der ISO-Norm 13785 für „full scale fire test for facades“ aufgeführten Brandszenarien. Die Ausbreitung eines Brandes an der Gebäudeaußenwand wird wesentlich durch Art und Intensität sowie den Ort des Entstehungsbrandes beeinflusst. Die Oberfläche einer Gebäudeaußenwand, die Fassade – einschließlich freiliegender integrierter Tragwerksteile - kann durch drei Brandszenarien thermisch beansprucht werden.

• **Szenario 1: Brand eines benachbarten Gebäudes**

Die Gebäudeaußenwand einschließlich aller vorgelagerten oder integrierten Tragwerksteile – hier Außenseite des Stahltragwerks - werden durch Wärmestrahlung beansprucht. Die Intensität ist abhängig vom Entwicklungsstadium des Brandes, von der Größe der strahlenden Fläche, dem Abstand zum Nachbargebäude und dessen Stellung zum Gebäude (Winkel). Die thermische Beanspruchung durch sogenannte „fliegende Brände“ ist an vertikalen Teilen vernachlässigbar, da sie nur zu einer sehr kurzzeitigen Beanspruchung führen kann.

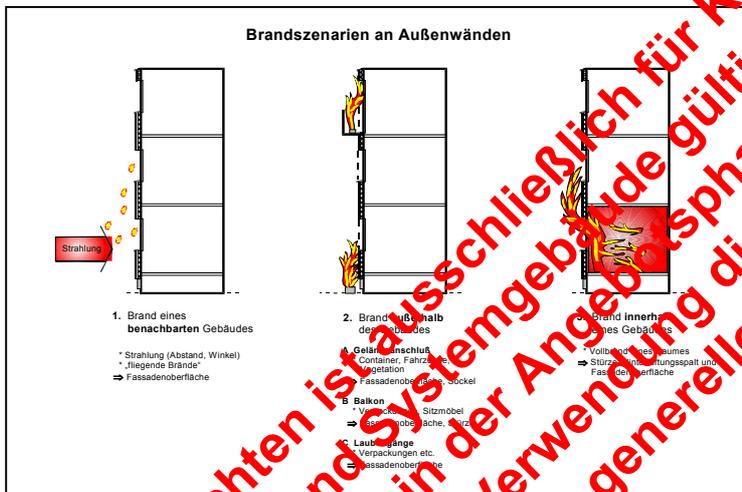


Abbildung 24:
 Brandszenarien an der Gebäudeaußenwand

• **Szenario 2: Brand außerhalb des Gebäudes, unmittelbar an der Fassade**

Als Brandort kommt der Erdgeschossbereich (Geländeanschluss) oder die Balkone in Frage, Mögliche Brandquellen am Gebäudesockel könnten sein: Müllcontainer, parkende Fahrzeuge und Vegetation bzw. auf Balkonen Sitzmöbel etc.. Die Brandentwicklung ist ausschließlich abhängig von Art und Menge der vorhandenen Brandlast, da der für die Verbrennung benötigte Sauerstoff in der Umgebungsluft immer ausreichend zur Verfügung steht. Die Intensität des Brandes kann von einem kleinen Entstehungsbrand bis zum vollentwickelten Brand eines Müllcontainers reichen. In letzterem Fall ist es durchaus möglich, dass über eine Höhe von 3 bis 4 m unmittelbar vor der Fassade Temperaturen bis zu 800 °C auftreten. Thermisch beansprucht werden dabei der Fassadensockel bzw. Geländeanschluss und die Oberfläche der Fassade, d.h. hier die Außenseiten des Tragwerks. Mit einem Brandeintritt in das Erdgeschoss durch vorhandene, „normalverglaste“ Außenwandöffnungen ist – wie eigene experimentelle Untersuchungen zeigen – in Abhängigkeit von der Art der Zündquelle nach einer Zeit von 10 bis 20 Minuten zu rechnen.

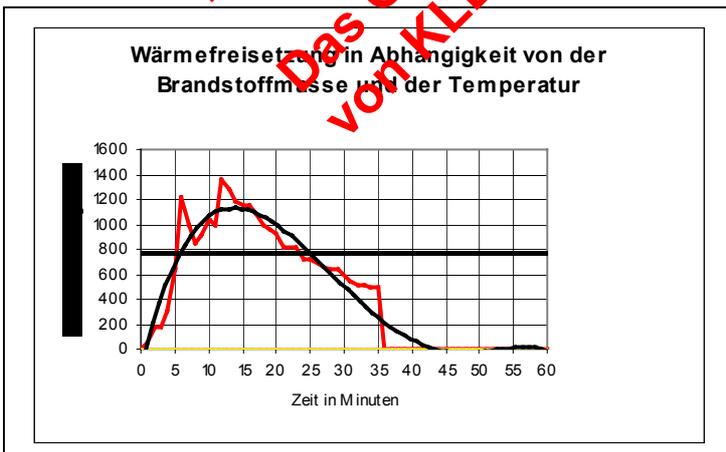


Abbildung 25:
 Referenzbrand am Fassadensockel (Brand von „außen“)

• **Szenario 3: Brand innerhalb des Gebäudes in einem an die Außenwand grenzenden Raum mit Öffnung**

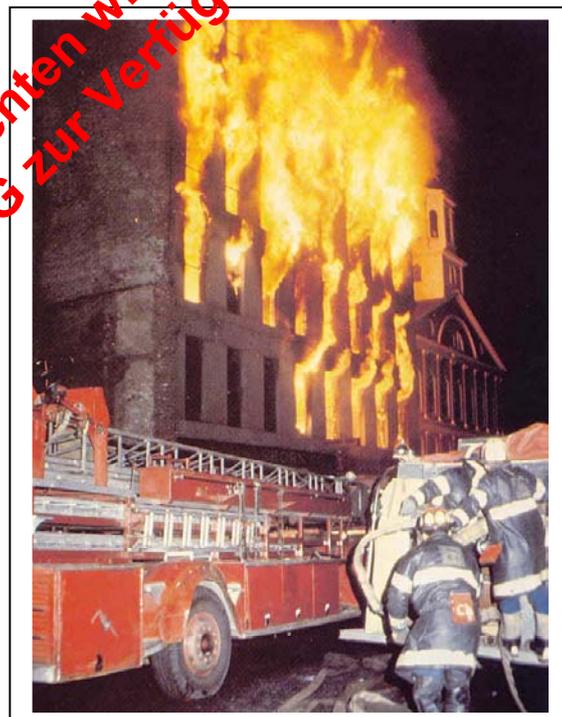
In einem an der Außenwand liegenden, möblierten Raum kommt es zu einem Entstehungsbrand, der sich in Abhängigkeit von der Brandlast und den vorhandenen Ventilationsbedingungen weiter entwickelt. Bei geschlossenen Raumöffnungen (Fenster bzw. Türen) kann wegen des unzureichenden Sauerstoffangebots der Brand zum Erliegen kommen, oder er geht in einen Schwelbrand über. Bei ausreichendem Sauerstoffangebot, das z.B. gegeben ist, wenn durch eine Öffnung in der Außenwand genügend Frischluft nachströmen kann (eine zu öffnende Fläche, z.B. ein Fenster, steht von Beginn des Brandes an offen oder wird durch den Brand zerstört), geht der Brand in Räumen begrenzter Größe durch „flash-over“ in den Vollbrand über. Flammen treten durch die Außenwandöffnung aus, beanspruchen die Öffnungsanschlüsse (Rahmen) und den Sturz und beaufschlagen schließlich auch die Oberfläche der Außenwand, einschließlich der Außenseiten des Tragwerks.

Die thermische Beanspruchung der Fassade durch einen Raumbrand im angrenzenden Raum ist aus eigenen experimentellen Erfahrungen als kritischstes Brandzenarium einzustufen, das in seiner Intensität die anderen Szenarien mit abdeckt, so dass im Folgenden nur darauf vertiefend eingegangen werden soll.

5.2.1. Vollbrand mit Flammenaustritt auf die Fassade („after flash-over fire“)

5.2.1.1. Reale Schadenfeuer

Beispielhaft soll hier u.a. der Flammenaustritt aus einem Fenster bei einem Wohnraumbrand in Kopenhagen im Jahre 1994 aufgezeigt werden. Bei der Fassade handelte es sich um eine verputzte Ziegelwand (nichtbrennbar, F 90). Der Feuerübergangsweg zwischen den übereinander liegenden Fensteröffnungen betrug 1,0 m (feuerbeständige Brüstung aus Ziegelmauerwerk!!). Das Fenster hatte einen Holzrahmen und eine Doppelverglasung aus 2 x 6 mm Floatglas. Die Flammen vor der Fassade erreichten Längen von 4 bis 5 Meter. Die Verglasung des Fensters fiel bereits nach kurzer Branddauer aus dem Fensterrahmen und gab die Öffnung völlig frei. Der Holzrahmen brannte über die volle Höhe an seiner Innenseite. Der Brand breitete sich über die Außenwandöffnungen in die nächste Etage und in das Dachgeschoss aus. Aus anderen Brandfällen – wie im rechten Bild ersichtlich – ist bekannt, dass eine Flammenausbreitung über bis zu vier Geschosse und zusätzlich eine seitliche Ausbreitung des Brandes möglich ist.



Abbildungen 26 und 27: Raumbrände in Kopenhagen und London

5.2.1.2. Thermische Beanspruchung einer Fassade bei Flammenaustritt aus einem Raum

In der MFPA Leipzig wurden in den letzten 15 Jahren sieben Serien von insgesamt mehr als 140 Raumbränden unter Verwendung originaler Möblierung mit dem Ziel durchgeführt, die bei einem Brand an der Gebäudeaußenwand auftretende thermische Beanspruchung der Fassade oberhalb der Brandausbruchsstelle einschließlich ihres zeitlichen Verlaufes quantitativ und qualitativ zu erfassen. Für die thermische Beanspruchung der Fassade ergeben sich unter dem Ansatz eines ca. 20 m² großen Raums mit einer Brandlastdichte von 500 – 700 MJ/m² und einer Fensteröffnung von 2 x 1,4 m (B x H) folgende verallgemeinerungswürdigen Aussagen als „Bemessungsbrand“:

- Temperaturen im Brandraum:
 über ca. **30 – 40 Minuten der ISO-Standardkurve** (Feuerwiderstand) folgend
- Beginn der thermischen Beanspruchung:
 (T < 300 °C) **6 min** (5 - 10 min)
- Beginn der Flammenbeanspruchung
 (T > 500 °C, nach der Durchzündung): **12,5 min** (7 - 25 min)
- Temperaturen am Fenstersturz:
 ~ identisch bzw. höher als die Temperaturen unterhalb der Brandraumdecke
 ~ über einen Zeitraum von 30 Minuten mindestens der ISO- Standardkurve folgend,
 nach dem „flash-over“ deutlich darüber
 ~ über 15 bis 20 Minuten **800 °C** (700 und 900 °C)
- Dauer der Vollbrandbeanspruchung:
 (Flammenaustritt auf die Fassade): **15 – 25 min**
- Gesamtbranddauer: **25 – 35 min**
- durchschnittliche Flammenhöhe: **3 m** (2,8 - 3,5 m)
- maximale Flammenhöhe (Nachverbrennungen): **6 m** H
- Energiefreisetzung: im Raum **ca. 1,5 MW** (1 - 2 MW) vor
 der Fassade **ca. 1,5 MW** (1 - 2 MW) vor

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die repräsentative, maximale Temperaturverteilung an der Fassadenoberfläche während des Flammenaustritts bei einer ebenen Fassade und bei einer Vorhandensein einer Innenecke.

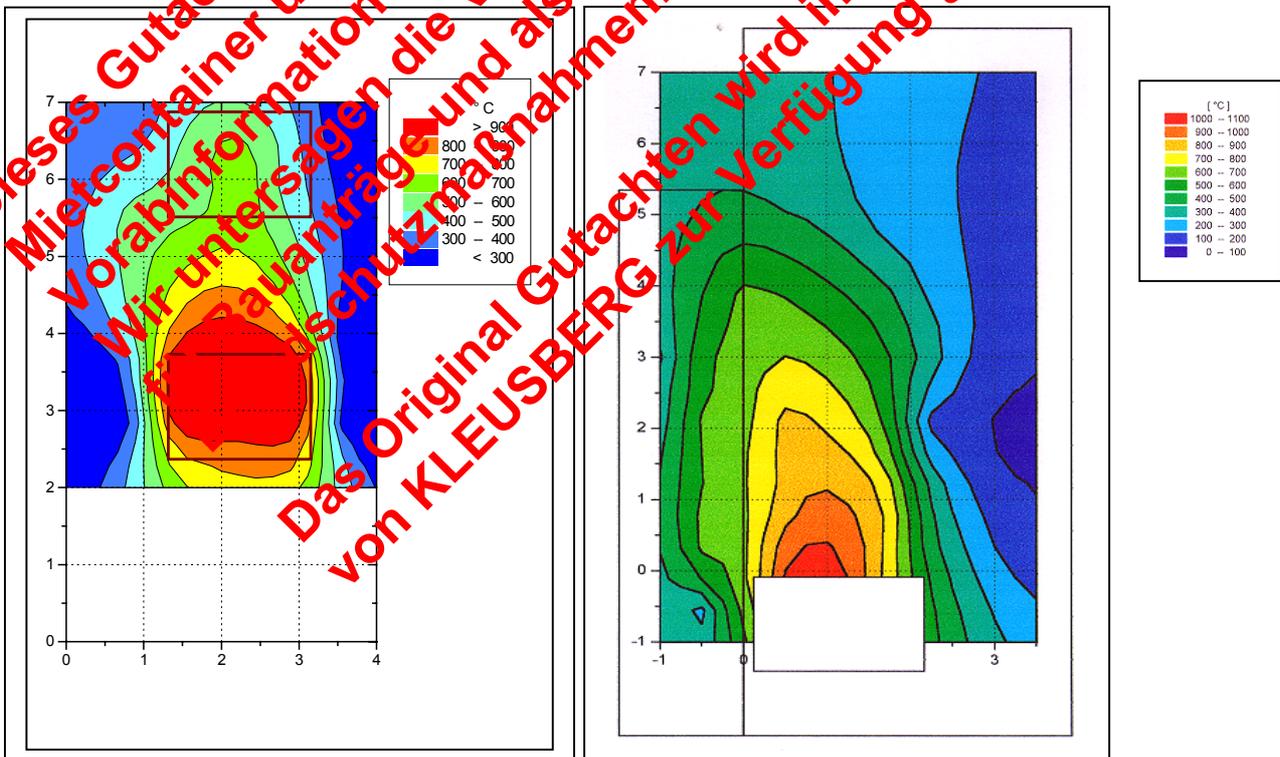


Abbildung 28 und 29: Temperaturverteilung vor der Fassade ohne und mit Innenecke (rechts)

5.2.2. Einfluss brennbarer Innenbekleidungen auf den Fassadenbrand

Aus baurechtlicher Sicht erfolgt keine Regulierung der Ausstattung der Nutzungseinheiten, da das einen Eingriff in die persönliche Gestaltungsfreiheit des Nutzers darstellen würde. Das schließt auch die flächige Bekleidung von Innenwänden in Aufenthaltsräumen z.B. durch Vertäfelung mit Holz oder Holzwerkstoffen ein. Prinzipiell ist damit eine sechsseitige Bekleidung (Wände, Decke und Fußboden) mit brennbaren Materialien möglich. Zum Einfluss einer derartigen Anordnung auf einen Fassadenbrand finden sich in der Literatur keine Angaben, so dass in zwei Eigenversuchen der MFPA Leipzig eine derartige Situation im Vergleich zu einer nichtbrennbaren Ausbildung der Raumbooberflächen experimentell untersucht wurde.

Ein feuerbeständig ausgemauerter Brandraum mit einer Grundfläche von 20 m² (Höhe 2,8 m) mit einer Fensteröffnung (einzige Zu- und Abluftöffnung, L x B: 2 x 1,4 m, Fläche 2,8 m²) wurde im ersten Brandversuch (V1) mit einer sechsseitigen, geschlossenen Bekleidung aus genuteten Vollholzbrettern (Dicke ca. 20 mm) versehen. In den Brandraum wurde eine mobile Brandlast von 500 MJ/m² in Form von Holzkrippen eingetragen. Die zusätzliche stationäre Brandlast durch die Bekleidung betrug 800 MJ/m², womit sich eine Gesamtbrandlastdichte von ca. 1300 MJ/m² ergab. Der zweite Versuch (V 2, Kalibrierungs- bzw. Vergleichsversuch) erfolgte ohne Wandbekleidung nur mit mobiler Brandlast.

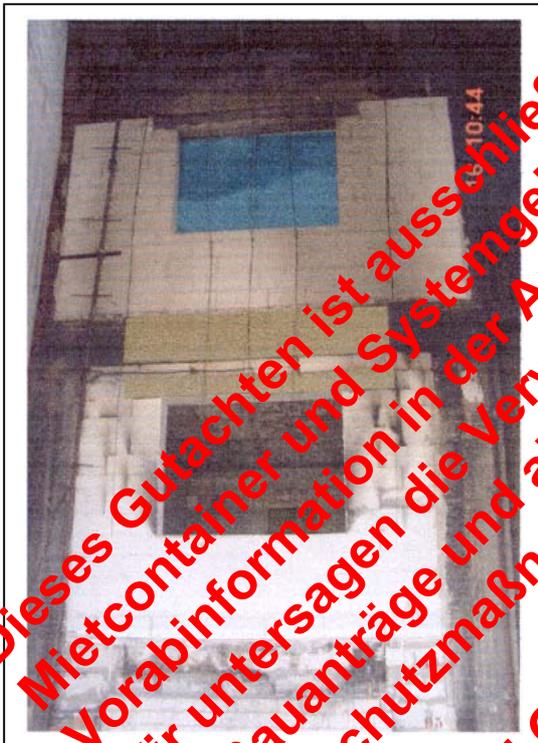


Abbildung 30 (links): Versuchsaufbau

Abbildung 31 (oben):
mobile Brandlast und Bekleidung

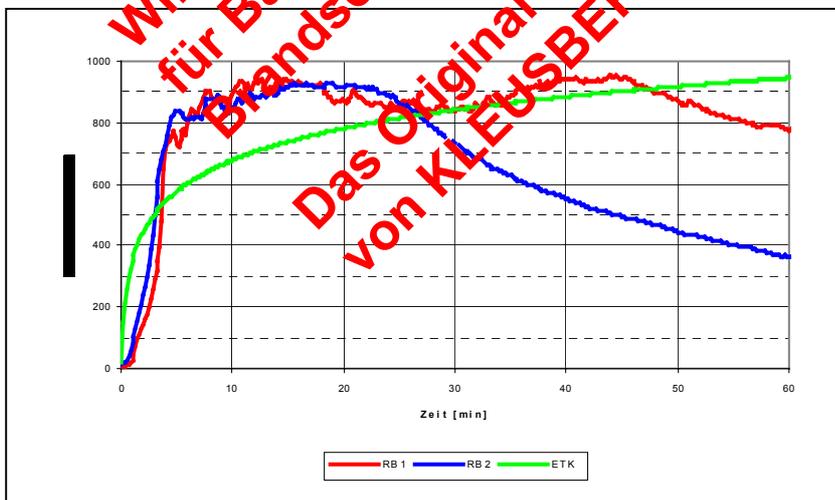


Abbildung 32: Temperaturen unter der Decke des Brandraums im Vergleich zur ETK

In beiden Versuchen wurde der Brand im Raum durch die gleichen Ventilationsbedingungen bestimmt (ventilationsgesteuerter Abbrand, ein Fenster). Die Temperaturen unterhalb der Decke des Brandraums zeigen sowohl in Form als auch im Betrag einen weitgehend ähnlichen Verlauf, lediglich die Branddauer war infolge der erhöhten Brandlast im ersten Versuch länger.

Bedingt durch die erhöhte Pyrolyserate im Raum kam es allerdings bei dem Versuch mit zusätzlicher Holzbekleidung zu deutlich größeren Flammenlängen vor der Fassade (Verlängerung um ca. 40 %, im Maximum bis zu 7 m oberhalb des Sturzes) und damit zu einer höheren Temperaturbeanspruchung, wie die nachfolgenden Abbildungen ausweisen.

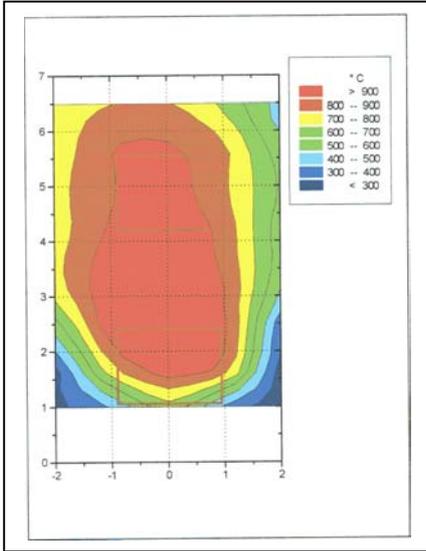


Abb. 33: Isothermen V 1

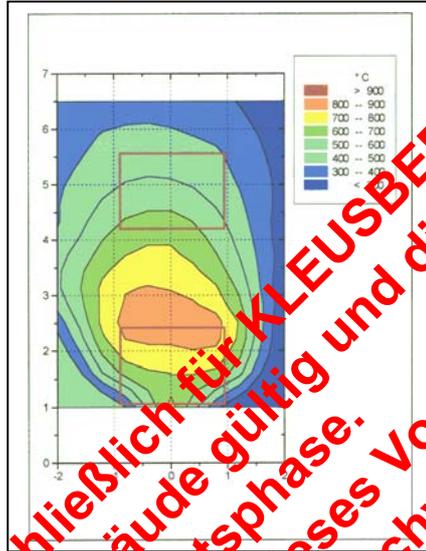


Abb. 34: Isothermen V 2



Abbildung 35:
Vergleich der Flammenhöhen

5.2.3. Diskussion der experimentellen Ergebnisse vor dem Hintergrund baurechtlicher Forderungen

Ein Brand innerhalb eines Gebäudes in einem - an eine feuerwiderstandsfähige Außenwand grenzenden - Raum mit Bohrungsöffnungen behält bei hinreichender Ventilation nach endlicher Zeit durch flash-over in den Vollbrand über, auch wenn die Fassade massiv in nicht brennbarer Bauart ausgeführt ist. Ab diesem Zeitpunkt treten Flammen durch die Außenwandöffnungen vor die Fassade aus. Die unverbrannten Pyrolysegase mischen sich mit Frischluft und verbrennen vor der Fassade in Form eines Gasfrennes und erreichen dabei nach Ansatz des „Bemessungsbrandes“ bei einem „Standardfenster“ eine durchschnittliche Höhe von ca. 3 - 3,5 m oberhalb des Sturzes der Außenwandöffnung (ohne horizontale Ablenkung). Diese Flammen besitzen eine Energie von ca. 1 bis 2 MW. Bei einer Außenwandgestaltung eines Gebäudes als sogenannte „Lochfassade“ bzw. als Fensterbänder mit einem Brüstungsabstand von 1 bis 2 m zwischen übereinander liegenden Außenwandöffnungen ohne feuerwiderstandsfähigen Verschluss wird das Fenster der nächsten Etage oberhalb der Brandausbruchsstelle über die volle Höhe von Flammen beaufschlagt. Ein Eindringen des Brandes in das nächste Geschoss ist somit nach endlicher Zeit sehr wahrscheinlich.

Der Brandüberschlag vollzieht sich in folgenden Schritten:

1. Scheiben im oberhalb der Flammensaustrittsöffnung liegenden Raum werden durch thermische Einwirkung zerstört oder das Fenster ist offen,
2. in der Nähe der Öffnung befindliche brennbare Gegenstände (Vorhänge, Gardinen etc.) werden entzündet,
3. brennbare Gegenstände im oberen Raumdrittel entflammen,
4. herabfallende brennende Teile entzünden brennbare Gegenstände im unteren Raumdrittel,
5. der Brand geht auch in diesem Raum vom Entstehungsbrand über den entwickelten Brand in den Vollbrand über,
6. Flammen treten aus der Raumöffnung aus und der in Punkt 1 bis Punkt 5 beschriebene Vorgang wiederholt sich, wobei infolge der thermischen Überlagerung eine Forcierung des Brandgeschehens und damit der zeitlichen Abläufe eintritt.

Dieser Prozess setzt sich ohne rechtzeitiges Eingreifen der Löschkkräfte der Feuerwehr ungehindert wie ein „Bockspringen“ („leap frogging“) nach oben fort und kann zusätzlich beschleunigt werden, wenn Fenster im über dem Brandraum liegenden Geschoss geöffnet sind. Eine verallgemeinernde, stark vereinfachte Darstellung der möglichen zeitlichen Abläufe bietet die nachfolgende Abbildung.

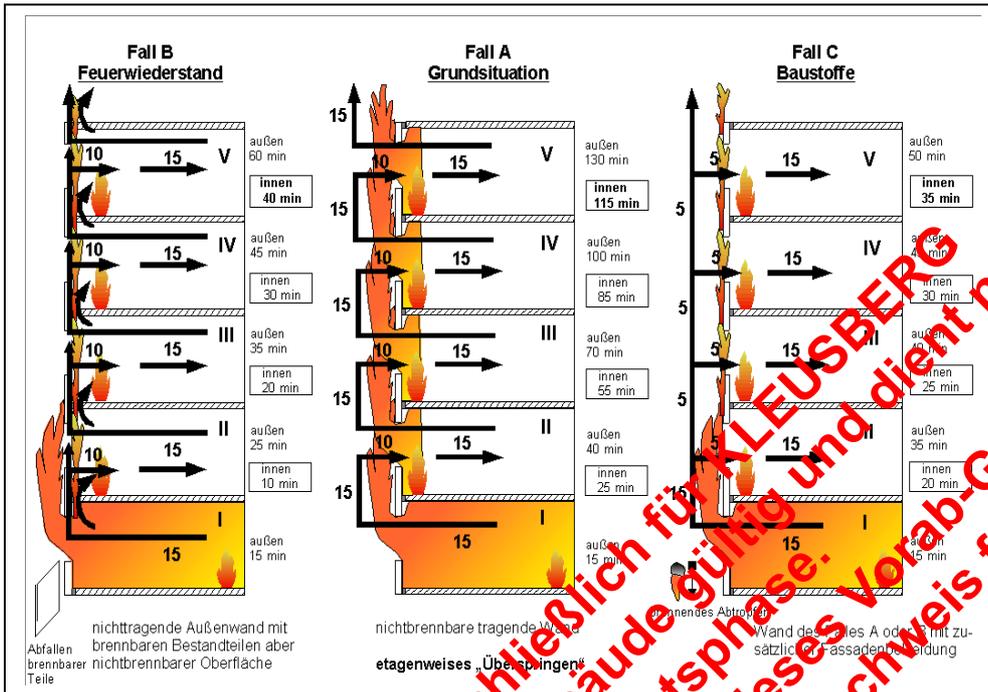


Abbildung 36: Brandausbreitung über die Gebäudeaußenwand (schematischer Ablauf)

Bei aktuellen Untersuchungen zum Brandverhalten an Fassaden in einem zum Abriss bestimmten Gebäude konnte dieser Brandüberschlag von Etage zu Etage auch experimentell nachvollzogen werden. Zwei übereinanderliegende Räume (1. OG und 2. OG) wurden mit wohnraumtypischer Brandlast möbliert (ca. 60 MJ/m²). Der Feuerüberschlagsweg zwischen den Fenstern betrug 1,4 m. Acht Minuten nach Zündung des unteren Raumes (1. OG) traten Flammen auf die Fassade aus und zerstörten nach drei Minuten Belüftung die geschlossenen Scheiben (6 x Floatglas 4 mm) des darüber liegenden Fensters des 2. OG. Unmittelbar danach entzündete sich der Holzfensterrahmen und die Baumwollgarne. Nach weiteren 30 Minuten kam es auch im dahinter liegenden Raum des 2. OG zur Durchzündung (flash-over) und zum Glammenaustritt auf die Fassade. Selbst die Scheiben der zweiten Etage (3. OG) oberhalb der Brandausbruchsstelle wurden zerstört und der Fensterrahmen entflammte. Nur das vollständige Fehlen von brennbarem Material im dahinter liegenden Raum verhinderte die weitere Brandübertragung in darüber liegende Etagen. Einen Eindruck vom Brandgeschehen vermitteln die nachfolgenden Bilder.

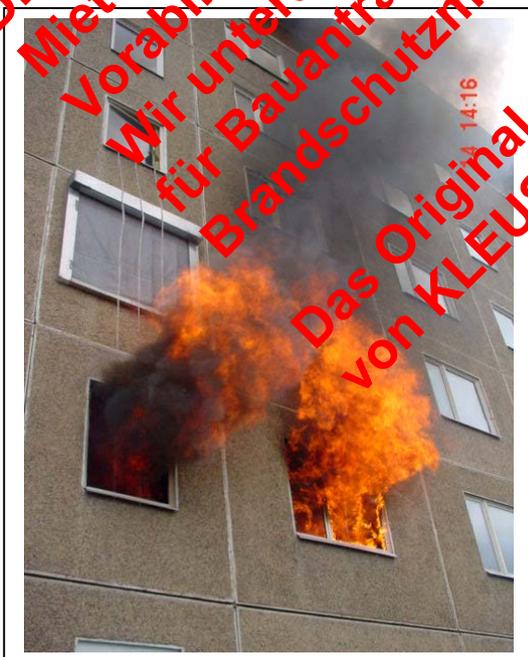


Abb. 37: Flammenaustritt auf die Fassade (10.)



Abb. 38: "flash-over" im 2. Geschoss (24.)

In einem weiteren Originalbrandversuch unter Verwendung von Sperrmüllmöbeln (Wohnzimmer mit Polstermöbeln) als Brandlast (Brandlastdichte 800 MJ/m²) wurde der geschossweise Flammensprung durch übereinander liegende Außenwandöffnungen in einer Prüfhalle der MFPA Leipzig untersucht. Die Flammenaustrittsöffnung hatte - genau wie die darüber liegende, mit einer Verglasung versehenen Öffnung – eine Größe von 2 x 1,6 m. Der Flammenüberschlagsweg betrug in diesem Fall **2,5 m**. Die Brandübertragung in das nächste Geschoss erfolgte 3 Minuten nach Zerstörung der Fensterscheibe des OG.



Abbildung 39: flash-over (Flammenhöhe 5m) **Abbildung 40:** Brandeintritt in 1. OG

• **Fall A** (Abb. 39 Mitte) „Grundsituation“ bei einem Massivbau mit nichtbrennbarer Fassade
Geht man von der in **Fall A** dargestellten „Grundsituation“ aus, die das Vorhandensein feuerbeständiger Brüstungen zwischen den Etagen in 1 – 2 m Höhe einschließt, so ergibt sich unter günstigen Brandentwicklungsbedingungen (Fenster im Raum geöffnet) konservativ eine Zeit bis zur Durchzündung des Brandraumes von ca. 15 Minuten. Erst ab diesem Zeitpunkt treten Flammen aus dem Brandraum aus. Die Temperatur der vorher ausströmenden Heißgase ist zu gering ($T < 300\text{ °C}$), um eine Entflammung fester brennbarer Materialien (z.B. Holz) zu bewirken. Spätestens nach einer Zeitdauer von 10 Minuten nach dem Flammenaustritt – in der Regel früher – findet eine Brandübertragung in das nächste Geschoss statt, d.h. vom Zeitpunkt des Brandbeginns an spätestens nach 25 Minuten innerhalb dieser Zeit muss ein Löschangriff der Feuerwehr erfolgen, wenn eine Brandausbreitung in weitere Etagen vermieden werden soll. Ohne ein Ablöschen ist der Brand auch in diesem Raum nach weiteren 15 Minuten in den Vollbrand übergegangen und die Brandausbreitung setzt sich über die Fassade weiter nach oben fort.

Ein derartiger Brandüberschlag über Außenwandöffnungen kann nur durch folgende vorbeugende Brandschutzmaßnahmen verhindert werden

1. die Reduzierung der Brandentwicklung im Brandraum
2. die Ableitung der austretenden Flammen von der Fassade
3. einen hinreichenden hohen vertikalen Feuerüberschlagsweg
4. die brandsichere Ausbildung von Wänden und Öffnungsverschlüssen in den über der Brandausbruchsstelle liegenden Geschossen
5. rechtzeitiger Löschangriff der Feuerwehr

Da diese Maßnahmen bei Gebäuden normaler Art und Nutzung – von besonders exponierten Fassadenbereichen abgesehen – baurechtlich nicht explizit gefordert werden, lässt sich im Rückschluss daraus ableiten, dass die Brandweiterleitung in das oberhalb der Brandausbruchsstelle liegende Geschoss über Außenwandöffnungen (Fenster) in endlicher Zeit, die allerdings deutlich unterhalb der geforderten Feuerwiderstandsdauer der Geschossdecken (in der Regel 90 Minuten)

liegt, baurechtlich toleriert wird. Offensichtlich geht man davon aus, dass der Löschangriff der Feuerwehr rechtzeitig erfolgen kann, was bei der festgelegten Brandschutzhilfsfrist von 9,5 Minuten zuzüglich einer Rüstzeit von 3 Minuten (Löschbeginn nach ca. 12,5 Minuten) bei Gebäuden mittlerer Höhe durchaus berechtigt ist.

- **Fall B (Abb. 36 links): nichttragende Außenwände („curtain walling“)**

Bei einer nichttragenden Ausbildung der raumabschließenden Außenwände (eingestellte bzw. vorge-setzte Montage) ist eine zum Fall A zusätzliche Brandausbreitung über die Anschlussfuge zwischen den Deckenköpfen oder in geschossübergreifenden Hohlräumen („Doppelfassaden“) möglich, die zeitlichen Abläufe würden wiederum beschleunigt.

- **Fall C (Abb. 36 rechts): zusätzlich applizierte Außenwandbekleidung**

Durch das Applizieren von Außenwandbekleidungen mit einem möglichen zusätzlichen Eintrag brennbarer Baustoffe (Lauffeuer an der Fassadenoberfläche oder in der Dämmung) oder durch vorgehängte, hinterlüftete Fassadenkonstruktionen (mögliche „kaminartige“ Brandweiterleitung im Hinterlüftungsspalt hinter der Bekleidung auch bei Verwendung ausschließlich nichtbrennbarer Materialien) kann diese Brandausbreitung (Fall A) weiter beschleunigt werden.

- **Zusammenfassung**

Aus den vorangegangenen Betrachtungen ergibt sich das nachfolgende allgemeine Brandschutzziel an der Gebäudeaußenwand, zunächst unabhängig einer etwaigen zusätzlichen Fassadenkonstruktion.

Das baurechtliche Brandschutzziel an der Gebäudeaußenwand muss darin bestehen, eine schnelle Brandausbreitung über mehr als zwei Geschosse oberhalb bzw. unterhalb der Brandausbruchsstelle vor dem Löschangriff der Feuerwehr (Zeitraum von 15 – 20 Minuten) zu verhindern. Eine Gefährdung der Rettungskräfte durch großflächig abströmende, brennende oder nichtbrennende Fassadenteile bzw. durch brennendes Abtropfen ist auszuschließen.

5.2.4. Schlussfolgerungen

Die betrachteten Containergebäude besitzen zumindest an ihren Stirnseiten meist Fensteröffnungen (in der Regel eine pro Container Standardgröße Breite 1,97 m, Höhe 1,42 m, nach Kundenwunsch sind aber auch andere Fenstergrößen möglich) mit PVC-Fensterrahmen und einer Mehrscheiben-isolierverglasung (ohne Feuerwiderstand > 0), die in einem Abstand von ca. 1,8 m übereinander liegen. Der Feuerüberschlagsweg beträgt bei Standardfenstern damit von Öffnung zu Öffnung ca. 1,8 m.

Ausgehend von den oben getroffenen Aussagen ist es, unabhängig ob es sich um einen Massivbau oder um ein Containergebäude handelt, zu erwarten, dass es spätestens 5 Minuten nach der Durchzündung des Brandraums und damit des Flamme Austritts auf die Fassade - zu einem Brandeintritt in das darüber liegende Geschoss kommt, unabhängig von der Brandschutzqualität der Geschosdecke. Dieser Brandübergriff, der bei Vorhandensein einer Holzinnenbekleidung sich infolge der Flammenlängen auf zwei Stockwerke erstrecken kann wird baurechtlich toleriert und stellt somit kein hier zu bewertendes Kriterium dar. Der Schwerpunkt der nachfolgend dargestellten Untersuchungen lag demzufolge auch vorrangig auf der brandschutztechnischen Bewertung des Feuerwiderstandsverhaltens des Tragwerks und der raumabschließenden Bauteile.

6. Experimentelle Untersuchungen

6.1. Vorbetrachtungen

Alle drei Containertypen besitzen einen ähnlichen konstruktiven Aufbau und unterscheiden sich nur durch ihre räumliche Ausdehnung (Breite, Länge), die teilweise unterschiedliche Dimensionierung des Tragwerks über Schenkelverlängerung der Stahlprofile, die unterschiedlichen Innenbekleidungen und die Art und Dicke der verwendeten Wärmedämmung. Zur Abschätzung des brandschutztechnischen Risikopotentials und einer Sicherheitsabstufung werden im Folgenden zunächst die Brennbarkeit (Baustoffklasse) der verwendeten Bekleidungs-, Dicht- und Dämmmaterialien verglichen und im Anschluss die mögliche Feuerwiderstandsfähigkeit des Tragwerks und der „Geschosdecken“ bzw. Dächer diskutiert.

6.1.1. Brennbarkeit der verwendeten Materialien – Baustoffklasse nach DIN 4102-1

Material	Verwendung	Baustoffklasse nach DIN 4102-1	Verhalten im Vollbrand (Wärmedurchgang)
Polystyrol-Hartschaum PS 30 SE Dicke 20 mm	Dämmung	schwerentflammbar B 1	erheblicher Beitrag zum Brand, keine Brandverzögerung schmilzt bei 120 °C und verbrennt bei Temperaturen ab 400 °C in kurzer Zeit
Mineralwolle (Glaswolle) Dicke von 50 – 170 mm	Dämmung	nichtbrennbar A2	kein Beitrag zum Brand, begrenzte Brandverzögerung in Abhängigkeit von der Dicke ca. 5 bis 10 Minuten, schmilzt bei ca. 700 °C
Spanplatte V 20 bzw. V 100 Dicke von 13 bis 22 mm	Bekleidung 13 mm Dachabdeckung: 16 mm Bodenplatte 22 mm	normalentflammbar B 2	kontinuierlicher Beitrag zum Brand, aber begrenzte Brandverzögerung in Abhängigkeit von der Dicke <ul style="list-style-type: none"> <u>theoretisch:</u> bei einem Abbrandfaktor von 0,8 mm/min um ca. 5 bis 25 Minuten <u>experimentell:</u> Durchbrand bei 16 mm Dicke nach 29 – 34 min Wärmedurchgang (< 140 K) 23 – 24 min
Gipskartonplatten (GKB) Dicke 25 mm (2 x 12,5 mm)	Innenbekleidung	nichtbrennbar A1	kein Beitrag zum Brand, starke Brandverzögerung <ul style="list-style-type: none"> <u>experimentell:</u> Durchbrand bei 12,5 mm Dicke nach 27 min Wärmedurchgang (< 140 K) 21 min ⇒ mind. 30 Minuten
PE-Folie Dicke 0,2 mm	Dampfsperre	normalentflammbar B 2	geringer Beitrag zum Brand, keine Brandverzögerung
verzinktes Stahltrapezblech Dicke 0,63 – 0,75 mm	Außenbekleidung Blindboden Dachhaut	nichtbrennbar A 2	kein Beitrag zum Brand, geringe Brandverzögerung, kein Durchgang von Heißgasen, aber Wärmedurchgang
PVC-Dachfolie Dicke 1 mm	Dachabdichtung	normalentflammbar B 2	mäßiger Beitrag zum Brand, keine Brandverzögerung

Hinsichtlich der Brennbarkeit und Energieabgabe ist die Polystyrol-Hartschaumdämmung als das kritischste der verwendeten Materialien einzustufen, wobei allerdings festzustellen ist, dass diese Aussage sich auf eine Vollbrandbeanspruchung bezieht, da das Material bei einer Brandbeanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand nur ein lokal begrenztes Eigenbrennen zeigt (schwerentflammbarer Baustoff).

Dieses Gutachten ist ausschließlich für KLEUSBERG Mietcontainer und Systemgebäude gültig und dient nur als Vorabinformation in der Angebotsphase. Vorab-Gutachten für Bauanträge und als generellen Nachweis für Brandschutzmaßnahmen. Das Original Gutachten wird im Auftragsfall kostenlos von KLEUSBERG zur Verfügung gestellt.

6.1.2. Feuerwiderstandsfähigkeit des Tragwerks

Ungeschützter Stahl beginnt sich unter Vollbrandbeanspruchung in Abhängigkeit von der Massigkeit des jeweiligen Profils mit Erreichen einer Eigentemperatur von 500 °C zu verformen, das Tragwerk verliert seine Stabilität. Dieser Wert wird bei den betrachteten Profilen wenn sie ungeschützt wären nach der Einheits-Temperatur-Zeitkurve (ETK nach DIN 4102-2) bei vierseitiger Brandbeanspruchung nach maximal 10 Minuten erreicht. Alle Profile sind im Inneren des Gebäudes bzw. der Container mindestens mit einer Bekleidung aus 13 mm dicken Spanplatten und einer 50 mm dicken Glaswolldämmung verkoffert. Unterstellt man eine hinreichende Fugendichtheit (durch „äußere“ Abdeckung bzw. „innere“ Hinterlegung mit Holzplatten im Plattenstoß) und Grundstabilität der Befestigung so kommt es erst nach einer Vollbranddauer von 10 bis 15 Minuten zu einer Vollbrandbeanspruchung der Stahlprofile. Allein ausgehend von einer Ausfachung mit Mineralwolle wurde durch HHP Braunschweig ohne Berücksichtigung einer weiteren Bekleidung eine Zeit von minimal 15 – 30 Minuten bis zum Erreichen der kritischen Stahltemperatur ermittelt. Eine Standzeit der Gesamtstruktur von 30 Minuten bei allein innen wirkender Vollbrandbeanspruchung erscheint daher prinzipiell auch bei Verwendung einer innenliegenden Lage Polystyrol-Hartschaumdämmung (20 mm) zumindest theoretisch möglich. Zu beachten bleibt allerdings, das die außenliegenden Sichtflächen der Profile (Deckenrandträger und Eckprofile) über keine derartige Ausfachung bzw. Verkoffierung verfügen und einer Flammenbeanspruchung von außen direkt ausgesetzt wären. Die Fragestellung, inwieweit bei zumindest teilweise außenliegenden rahmenförmigen Tragstrukturen aus Stahl (Pfosten und Träger), die rauminnenseitig über eine hinreichende brandschutztechnische Ertüchtigung (in der Regel durch Verkoffierung) verfügen, auf einen zusätzlichen Schutz der außenliegenden Stahlteile verzichtet werden kann, ist in labormaßstäblichen Brandversuchen nicht abschließend beantwortbar, da die mögliche dreidimensionale Lastumverteilung auf angrenzende Module, wie sie im Realfall möglich ist, nicht abbildbar ist. Aus diesem Grunde wurde es notwendig den erforderlichen brandschutztechnischen Eignungsnachweis über originalmaßstäbliche Naturbrandversuche an mehrgeschossigen Versuchsaufbauten zu führen.

6.1.3. Typenvergleich

Die Durchführung eines Brandversuches je Containertyp war bedingt durch den entstehenden finanziellen Aufwand nicht vertretbar und auch nicht erforderlich, da die Untersuchung des brandschutztechnischen kritischsten Typs („worst case“) einen hinreichenden Rückschluss auf die anderen Containertypen erlaubt. Von den drei betrachteten Containertypen werden die Mietcontainer 2500 / 3000, bedingt durch die partielle Verwendung von Polystyrol-Hartschaum als Dämmung in der Decke, die innere Bekleidung mit Holzspanplatten und eine schlankere Profilausbildung (Einsatz in der Regel nur bis zu zwei Geschosse), als brandschutztechnisch am kritischsten eingeschätzt. Die sicherste Variante stellt, insbesondere durch seine bis auf den Fußboden vollständige, innere Bekleidung mit Gipskartonplatten, der Verkaufscontainer Typ 2500 dar.

6.2. Originalmaßstäbliche Brandversuche

Aus oben genannten Gründen wurde ein zweigeschossiges Versuchsgebäude aus acht Raummodulen (vier nebeneinander und zwei übereinander) der Firma Kleusberg „Kleusberg TYP 2500 / 3000“ - errichtet und einer Naturbrandbeanspruchung unterzogen. Die Brandbeanspruchung erfolgte unter Verwendung natürlicher Brandlasten (Holzkrippen) durch die ein Vollbrand mit Flammenaustritt auf die Fassade in einem an die Außenwand grenzenden Raum mit Fenstern initiiert werden sollte, wobei die thermischen Beanspruchung innerhalb des Raumes über ca. 60 Minuten annähernd der ETK nach DIN 4102-2 (Simulation eines ventilationsgesteuerten Brandes) folgen sollte.

Der Versuchsaufbau erfolgt ein- (1. Versuch) und zweietagig (2. Versuch), wobei durch Eintrag von Totlasten (Eigen- und Gebrauchslast) auf dem Dach zwei (V 1) oder ein weiterer Container (V 2) simuliert wurde. Als kritischster statischer Brandfall wurde ein Brand in einem Raum im Erdgeschoss aus mindestens zwei Modulen gewählt. Im ersten Versuch wurde das Brandverhalten eines freistehenden Einzelmoduls ohne die Möglichkeit der Lastumverteilung auf das Gesamttragwerk und im zweiten Brandversuch das eines zweietägigen Containergebäudes aus 8 Einzelmodulen (vier nebeneinander und zwei übereinander) untersucht.

Im Folgenden erfolgt nur eine kurze Beschreibung des Versuchsaufbaus, des Brandverlaufs und der Messergebnisse, wobei das Hauptaugenmerk auf dem 2. Versuch liegt. Eine ausführliche Darstellung ist dem entsprechenden Untersuchungsbericht der MFPA zu entnehmen.

6.2.1. Containergebäude – Hauptversuch V 2

6.2.1.1. Versuchsaufbau

• Containergebäude

- Es wurden ausschließlich Container des Typs „Kleusberg TYP 2500 / 3000“ verwendet, die Materialisierung und konstruktive Ausbildung einschließlich Anschlussdetails entsprach den im Punkt 3 dieser Ausarbeitung angeführten Angaben
- aus insgesamt 8 Containern (4 Container im EG; 4 Container im 1. OG)
- Geometrie:
 - ~ gesamt: Breite 9,80 m, Länge 6,04 m, Höhe 5,72 m, Grundfläche ca. 60 m²
 - ~ Einzelcontainer : Breite 2,45 m, Länge 6,04 m, Höhe 2,86 m, Grundfläche ca. 15 m²
- keine brandschutztechnische Ertüchtigung (Anstrich bzw. Verkleberung mit nichtbrennbaren Platten) der Außenseiten der Tragprofile



Abbildung 41:
 Containergebäude
 Grundriss und
 Raumaufteilung



Abbildung 42:
 Ansichten des Versuchsgebäudes

• Raumaufteilung:

- ~ die Raumaufteilung war in beiden Etagen prinzipiell gleich
- ~ beide mittlere Module bildeten einen gemeinsamen Raum, der als Brandraum diente
- ~ an den Brandraum grenzte im EG ein Flur, der durch eine „einfache“ Innenwand abgetrennt war
- ~ die Zugänglichkeit des Obergeschosses wurde durch einen Treppenraum erreicht, dessen Wand zum Brandraum zweischalig aus den Außenwänden zweier Module gebildet wurde („doppelte“ Innenwand)
- ~ die Außenwände entsprachen dem Containertyp
- ~ die Decke zwischen dem EG und dem 1. OG wurde durch das Dach des unteren Containers und den Boden des oberen Containers gebildet
- ~ die Innenbekleidung bestand in allen Containern und Räumen, einschließlich Treppenraum und Flur aus Holzspanplatten

• **Fassadengestaltung:**

- Vorderseite - beflammbter Bereich
 - ~ Erdgeschoss: - linker Container (IV) - stirnseitig eine Tür im Gang
 - mittlere Container (II und III) - stirnseitig je ein „Standardfenster“ (2 x 1,4 m) mit Kunststoffrahmen (Brandraum)
 - rechter Container (I) - stirnseitig ohne Öffnung (Profilblech)
 - ~ Obergeschoss: - Container I bis IV - stirnseitig je ein „Standardfenster“ (2 x 1,4 m)
 - ~ Feuerüberschlagsweg ca. 1,8 m
- Rückseite - unbeflammter Bereich
 - ~ Erdgeschoss: - linker Container (IVA) - stirnseitig eine Tür im Gang
 - mittlere Container (IIA / IIIA) - stirnseitig ohne Öffnungen (Profilblech)
 - rechter Container (IA) - stirnseitig eine Tür zum Treppenhaus
 - ~ Obergeschoss: - Container IA bis IVA - stirnseitig ohne Öffnungen (Profilblech)

• **zusätzlicher Lasteintrag**

Die Lasten von Gebäuden aus Containern der Firma Kleusberg werden über ein Tragwerk bestehend aus Längs- und Querrahmen sowie Dach- und Fußbodentragern aus Stahlprofilen abgetragen. Die Brandprüfungen sollten unter realistischen Nutzungsbedingungen durchgeführt werden. Neben dem Eigengewicht (Container) einer weiteren Etage (2. OG) wurde daher auch die für Bürogebäude typische Verkehrslast von 2 kN/m² nach DIN 1055 Teil 3 eingetragen.



Abbildung 43: Eigengewicht 2. OG

Bei einem Eigengewicht von $g = 27 \text{ kN je Container}$ und einer Lastannahme nach DIN 1055 von 1 kN/m^2 Schnee, sowie $2,0 \text{ kN/m}^2$ Verkehrslast ergibt dies bei einer Fläche von $14,8 \text{ m}^2$ eine zusätzliche Auflast von $71,4 \text{ kN}$, die durch Pflastersteine eingebracht wurde.



Abbildung 44: Verkehrslast

Bei einer Fläche von $14,8 \text{ m}^2$ ergibt sich pro Containerdecke bzw. -dach eine Gesamtverkehrslast von $29,6 \text{ kN}$, die durch Gehwegplatten eingebracht wurde.

6.2.1.2.. Versuchsbedingungen

6.2.1.2.1. Thermische Beanspruchung

• **Brandräume**

Die Brandräume befanden sich immer im Erdgeschoss. Im zweiten Versuch wurde der mittig liegende Brandraum seitlich von jeweils einem Modul begrenzt.

- Versuch 1 - Einzelcontainer
 Länge 4,95 m, Breite 2,45 m, Höhe 2,5 m; Fläche 12,1 m², Volumen 30,3m³
- Versuch 2 - Containergebäude
 Länge 5,72 m, Breite 4,68 m, Höhe 2,5 m, **Fläche 26,8 m²**, Volumen 67,0m³

• **Wahl der Brandlast**

Die Brandbeanspruchung wurde so gewählt, dass sie einen „annähernd natürlichen“ Brand“ mit hohem konvektiven Anteil nach DIN EN 13501-2 gewährleisten sollte, wonach innerhalb von 10 bis 20 Minuten nach Versuchsbeginn an der Deckenunterseite eine konvektive Brandbeanspruchung mit einer Temperatur von mindestens 1000 °C erreicht werden soll und gleichzeitig in ihrer Brandlastdichte repräsentativ für die mögliche Nutzungen (z. B. Büros) ist. Zur Gewährleistung eines verallgemeinerungsfähigen Abbrandes wurde die natürliche Brandlast (Büroeinrichtung) wie bei Originalbränden international üblich durch Holzkippen simuliert. Die Dichte der mobilen Brandlast wurde entsprechend der bereits unter Punkt 5.1. getroffenen Aussagen mit 500 MJ/m² angesetzt. Zur bewussten Herbeiführung eines zeitnahen flash-over wurde im Hauptversuch (V 2) der Eintrag der mobilen Brandlast auf ca. 750 MJ/m² erhöht. Diese Brandlastdichte war damit um 50 % höher als die in der DIN EN 1991-1-1 Anhang H für Büronutzung empfohlene und deckt damit auch andere Nutzungen ab. Bedingt durch die allseitige (sechsstufig) innere Bekleidung der Container mit 5 mm dicken Holzspanplatten ergab sich zusätzlich eine hohe stationäre Brandlast.

	stationär	mobil	gesamt
Versuch 1 („Einzelcontainer“)	ca. 790 MJ/m ²	ca. 400 MJ/m ² 300 kg Holzkippen 35 l Isopropanol	ca. 1190 MJ/m²
Versuch 2 („Containergebäude“)	ca. 620 MJ/m ²	ca. 750 MJ/m ² 1100 kg Holzkippen 80 l Isopropanol	ca. 1370 MJ/m²

Experimentelle Erfahrungen der MFPA Leipzig haben ergeben, dass diese „extrem“ hohe Brandlastdichte zu einer Vollbranddauer von 40 bis 60 Minuten führt, die integrale thermische Flächenbelastung der angrenzende Bauteile kann dann einer Feuerbeanspruchung von mindestens 60 Minuten nach der ETK nach DIN 4102-2 gleichgesetzt werden. Einen Eindruck von der Brandlastverteilung vermitteln die nachfolgenden beiden Abbildungen.



Abbildungen 45 und 46:
 Brandlastverteilung in den Brandräumen
 links Versuch 1, oben Versuch 2

Dieses Gutachten ist ausschließlich für KLEUSBERG gültig und dient nur als
 Mietcontainer und Systemgebäude für die Verwendung dieses Vorabgutachtens
 Vorabinformation in der Angebotsphase. Wir übernehmen keine Haftung für
 Wir untersagen die Verwendung dieses Vorabgutachtens für
 für Bauanträge und als genereller Nachweis für
 Brandschutzmaßnahmen.
 Das Original Gutachten wird im Auftragsfall kostenlos
 von KLEUSBERG zur Verfügung gestellt

- **Zündung**

In die jeweils unterste Lage aller Krippen wurden je 2 Blechwannen mit 200 ml Isopropanol eingeschoben. Nahe der Trennwand wurden Blechwannen angeordnet in denen sich gleichmäßig verteilt, die entsprechende Menge Isopropanol befand. Die Zündung des Isopropanols in den Blechwannen auch unter den Holzkrippen erfolgte nahezu zeitgleich.

6.2.1.2.2. Ventilationsbedingungen

Während der Brandversuche sollte im besonderen, zusätzlich zur Vollbrandbeanspruchung im Gebäudeinneren, eine intensive Beanspruchung der Außenstützen und -regel erreicht werden. Im Vorfeld erfolgte Berechnungen wiesen aus, dass zum Erreichen einer Vollbrandsituation die natürliche Luftzufuhr durch das allseitige Öffnen aller Fenster ($V_1 = 2,8 \text{ m}^2$ und $V_2 = 5,6 \text{ m}^2$) der Brandräume nicht hinreichend wäre. Aus diesem Grund wurde an der jeweiligen Rückseite ein zusätzlicher Luftstrom von ca. $7000 \text{ m}^3 / \text{h}$ eingeblasen. Diese Situation simuliert die bei einem Brand durchaus mögliche Querlüftung.

6.2.1.3. Versuchsverlauf



Abbildung 47: 6. Prüfminute
"flash-over"



Abbildung 48: 13. Prüfminute



Abbildung 49: 28. Prüfminute



Abbildung 50: 41. Prüfminute - Versuchsende

Bedingt durch die eingetragenen Querlüftung kam es relativ früh - in der 6. Prüfminute - zum „flash-over“ und Flammen traten vor die Fassade aus. Die Fassade war über einen Zeitraum von ca. 35 Minuten flächig mindestens bis zur Oberkante des Obergeschosses (teilweise Flammenlängen bis zu

6 m) von Flammen beaufschlagt. Der Brandüberschlag in das Obergeschoss fand bereits nach 7 Minuten, d.h. ca. 2 Minuten nach Durchzündung über die Fensteröffnungen - nicht durch die Decke - statt. Ab der 11. Minute kam es durch die Flammen des Primärbrandes wiederum außen über die Fassade zur Brandübertragung in die beiden äußeren Räume des Obergeschosses (rechts Treppenraum), wodurch in Folge das gesamte Obergeschoss brannte und nach endlicher Zeit auch raumweise durchzündete. Beginnend von oben brannte der Treppenraum bis in das Erdgeschoss. Die Brandübertragung in den im Erdgeschoss seitlich angrenzenden Raum über die Trennwand erfolgte erst nach ca. 30 Minuten. Ein Durchbrand des Daches des OG erfolgte nicht. Bis zur ca. 30. Minute waren nur geringfügige Verformungen des Tragwerks visuell wahrnehmbar. Ab der 34. Prüfminute beschleunigte sich der Verformungsprozess, so dass der Versuchsaufbau nach 43 Minuten abgelöscht wurde. Zu diesem Zeitpunkt war das Gebäude nahezu ausgebrannt und das Gesamttragwerk wies erhebliche Verformungen auf. Deutlich wurde eine Neigung des gesamten Obergeschosses nach vorn / rechts registriert.

6.2.1.4. Schädigung nach dem Brandversuch

Trotz erheblicher Verformungen und Brandschäden aller direkt dem Feuer ausgesetzten Bauteile blieb die Stabilität des Gebäudes bis zum Versuchsende erhalten. Die Wand-, Decken- und Bodenbekleidungen waren einschließlich der Dämmmaterialien größtenteils verbrannt bzw. geschmolzen (Glaswolle). Die Profibleche der einfachen Trennwand zwischen Brandraum und Gang waren erheblich verformt und aus den Verankerungspunkten gelöst, es entstanden Öffnungen, durch die die Flammen auf den Gangbereich übergreifen konnten.



Abbildung 51: Schädigung des Versuchsgebäudes (vorn und hinten)

6.2.1.5. Zusammenfassung

Die thermische Beanspruchung innerhalb des Brandraums entsprach über eine Dauer von mindestens 45 Minuten der ETK nach DIN 4103-2.

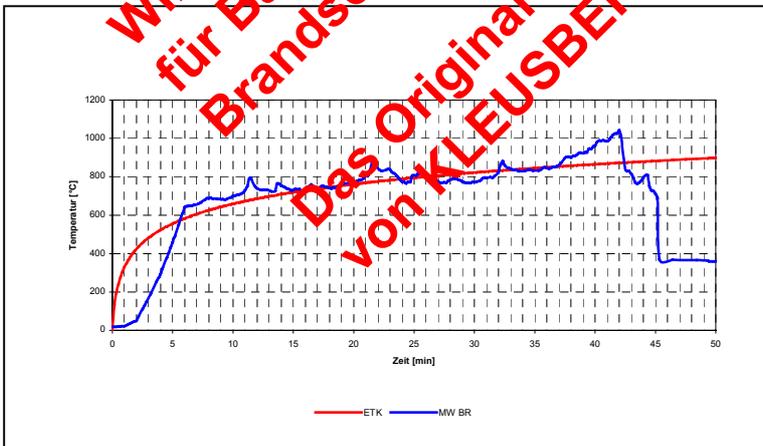


Abbildung 52:
Temperaturbeanspruchung
unterhalb der
Brandraumdecke

Es ist festzustellen, dass das Gesamttragwerk nicht nur dieser thermischen Beanspruchung ausgesetzt war, sondern zusätzlichen Vollbränden in dem darüber liegenden und angrenzenden Räumen. Die Außenbauteile waren über eine Dauer von mindestens 30 Minuten partiell einer Beanspruchung

ausgesetzt, die ebenfalls einer Vollbrandbeanspruchung nach DIN 4102-2 (ETK) gleichzusetzen ist. Trotz dieser extremen Temperaturbeaufschlagung bei einem zeitversetzten Gebäudevollbrand und dem erfolgten Lasteintrag eines weiteren Geschosses behält die Tragkonstruktion über mehr als 30 Minuten ihre Stabilität. Eine Brandübertragung durch die Geschossdecke und die Treppenraumwand (beide als „doppelte“ Innenwände – zwei Außenwände) fand innerhalb von 30 Minuten nicht statt. Die Brandübertragung vollzog sich ausschließlich über die Außenwandöffnungen, wie auch der nicht erfolgte Durchbrand des Daches dokumentiert. Eine derartige geschossweise Brandübertragung die in ähnlicher Weise auch in einem vollständig Massivbauweise errichteten Gebäude nach endlicher Zeit erfolgen kann wird aus baurechtlicher Sicht toleriert, da in der Regel vorher der Löschangriff der Feuerwehr erfolgt.

6.2.2. „Einzelcontainer“ - Ergänzungsversuch V 1

In einem Ergänzungsversuch wurde das Brandverhalten eines einzelnen Containers der gleichen Baureihe untersucht. Auf die „Dachdecke“ wurde über einen Hilfsrahmen das Gewicht und die Gebrauchslast von **zwei** weiteren Etagen in das Tragwerk des Containers eingetragen (Simulation von drei übereinander stehenden Einzelcontainern). Dieser Fall stellt eine in der Praxis kaum vorfindbare Extremsituation für das Tragwerk dar, da bei diesem Versuchsaufbau eine Lastverteilung auf angrenzende Module nicht möglich ist.



Abbildung 53: Außenansicht



Abbildung 54: Brandlastanordnung

Der Flashover trat bedingt durch die noch hier simulierte Querlüftung bereits nach 4 Minuten ein. Von diesem Zeitpunkt an wurden sowohl die innenliegenden Teile des Tragwerks als auch die ungeschützten, in die Fassade integrierten Außenseiten der Tragkonstruktion (Stützen und Träger) einer Vollbrandbeanspruchung ausgesetzt. Einen Eindruck vom Brandgeschehen in der Vollbrandphase vermitteln die nachstehenden Abbildungen.



Abbildung 55: 10. Prüfminute



Abbildung 56: 20. Prüfminute



Abbildung 57:
Temperaturbeanspruchung
unterhalb der Brandraumdecke

Bereits nach einer Zeit von 3 Minuten überschritten die mittleren Temperaturen unterhalb der Raumdecke die ETK und verharteten dort bis zum Ablöschen in der 35. Prüfminute

Die Schädigung des Versuchsaufbaus in den beiden nachfolgenden Abbildungen dargestellt.



Abbildungen 58 und 59:
Schädigung nach dem
Brandversuch

links – vorn
rechts - hinten

Die Tragkonstruktion war zwar verformt aber nicht (auch nicht beim Ablöschen) kollabiert. Die Stahlblechbeplankung war in ihrer Form erhalten. Die „Dachdecke“ wies zwar erhebliche Schäden auf und war teilweise durchgehend (Querträger) der Raumabschluss blieb jedoch erhalten. Der Boden des darüber liegenden Obergeschosses (Simulation durch einen Fußbodenaufbau) war ungeschädigt.

7. Gutachterliche Wertung

7.1. Einleitende Bemerkungen

Im Folgenden soll die Erfüllung der im Punkt 4 abgeleiteten baurechtlichen Forderungen an die Bauteile und Baustoffe für Gebäude in Containerbauweise der Typen 2500 / 3500, 2750 / 3750 und 2500 Verkauf der Firma Kleusberg erfolgen. Die Forderungen – falls erhoben – beinhalten im wesentlichen Festlegungen zur Feuerwiderstandsfähigkeit einzelner Bauteile eines Gebäudes, die im vorliegenden Fall mit „feuerhemmend“ benannt werden. Nach § 26 MBO bezieht sich die Feuerwiderstandsfähigkeit bei tragenden und aussteifenden Bauteilen auf deren Standsicherheit im Brandfall, bei raumabschließenden Bauteilen auf deren Widerstand gegen die Brandausbreitung. Der experimentelle Eignungsnachweis erfolgt national nach DIN 4202-2 bzw. ohne Brandprüfung nach DIN 4102-4 und experimentell europäisch nach DIN EN 1363-1. Dem Brandprüfverfahren (thermische Beanspruchung national und europäisch weitgehend identisch) liegt dabei die Simulation eines vollentwickelten, ventilationsgesteuerten Raumbrands nach der Durchzündung („after flash-over fire“) zu Grunde. In diesem Stadium sind alle brennbaren Baustoffe im Raum vom Brand erfasst. Die

thermische Beanspruchung wird dabei in einem Prüfofen nach der Einheits-Temperatur-Zeitkurve gesteuert. Bei einer derartigen Nachweisführung würden die Stützen bzw. Riegel des Tragwerks der Container einzeln einer vierseitigen Vollbrandbeanspruchung ausgesetzt. Bei einer derartigen Temperaturbeanspruchung ist ein Versagen nach einer Zeit von weniger als 15 Minuten zu erwarten. Mit Einführung der neuen Musterbauordnung im November 2002 wurden erstmals allgemeine Brandschutzziele an die einzelnen Bauteile eines Gebäudes formuliert, die in den Klassifizierungsnormen für den Feuerwiderstand DIN 4202-2 (europäisch nach DIN EN 13501-1) weiter spezifiziert werden. Auf dieser Grundlage kann zwar keine formale Klassifizierung der Bauteile auf der Basis von Naturbrandversuchen unter Verwendung praxisrelevanter Brandlasten erfolgen, jedoch wohl die Bescheinigung einer inhaltlichen Erfüllung der baurechtlichen Brandschutzziele. Voraussetzung dafür ist die Gewährleistung einer praxisrelevanten Brandbeanspruchung, d.h. des Szenarios eines voll entwickelten Brandes über eine hinreichend lange Zeit mit einer Temperaturbeanspruchung die weitgehend der ETK nach DIN 4102-2 folgen muss. Gleichzeitig ist zu beachten, dass bei tragenden Bauteilen - d.h. Bauteilen, die zu ihrer Eigenlast zusätzliche Lasten aufnehmen und damit das Gesamtbrandverhalten des Bauwerks beeinflussen – ein praxisrelevanter Lasteintrag erfolgt, der die anzusetzenden Gebrauchslasten mit berücksichtigt. Beide Voraussetzungen wurden in den durchgeführten Versuchen erfüllt, so dass eine hinreichend sichere Bewertungsbasis gegeben ist..

• **Brandbeanspruchung:**

- Brandlastdichte im Brandraum:
mobil 500 – 750 MJ/m², stationär 620 – 700 MJ/m², gesamt 1200 – 1370 MJ/m²
- Anordnung des Brandraums:
im Erdgeschoss aus zwei Containern, damit Lasteintrag zweier darüber liegender Geschosse
- thermische Beanspruchung im Brandraum:
über 32 bzw. 45 Minuten, mindestens entsprechend der ETK
- thermische Beanspruchung der Fassade (außenliegende Tragwerksteile):
über 30 Minuten mindestens entsprechend der ETK
- Eintrag einer zusätzlichen, brandbesleunigenden „Querlüftung“ von ca. 3000 m³/h

• **Lasteintrag:**

- Eigenlast:
je Container ca. 27 kN, auf dem Tragwerk im Brandraum ruhte die Eigenlast von zwei darüber liegenden Geschossen
zusätzlich 1 kN/m² Schnee nach DIN 1055
- Verkehrslast:
2,0 kN/m² für Bürounzung nach DIN 1055

7.2. **Wertung der Brandversuche**

Alle Brandversuche wurden an Containertyp 2500 x 3500 (Miete) der Firma Kleusberg in dreigeschossiger Anordnung (zwei Geschosse und Lasteintrag eines dritten) durchgeführt. Auf Grund der Versuchsergebnisse lässt sich das Brandverhalten des Tragwerks (auf eine Einzelbewertung der Stützen und Riegel wird verzichtet) und der raumabschließenden Teile bewerten. Bei der Interpretation der getroffenen Aussagen ist zu beachten, dass die dargestellten baurechtlichen Forderungen nicht durchgängig für die Gebäudeklasse 1 bis 3 gelten.

Bauteil	Schutzziel nach MBO	Kriterien nach DIN 4102-2 bzw. DIN EN 13501-1	Bewertung	<u>inhaltliche Entsprechung einer Klassifizierung</u>
Tragwerk Tragfähigkeit	§ 27 Tragende und aussteifende Wände und Stützen müssen im Brandfall ausreichend lang standsicher sein.	<u>Punkt 5.2.4.</u> Während einer Prüfungsdauer von mindestens 30 Minuten dürfen tragende Bauteile unter ihrer rechnerischen Gebrauchslast .. nicht zusammenbrechen.	erfüllt	F 30 bzw. R 30

Bauteil	Schutzziel nach MBO	Kriterien nach DIN 4102-2 bzw. DIN EN 13501-1	Bewertung	<u>inhaltliche Entsprechung</u> einer Klassifizierung
Geschossdecke (Dach/Boden) Tragfähigkeit und Raumabschluss	<u>§ 31</u> Decken müssen als tragende und raumabschließende Bauteile zwischen Geschossen im Brandfall ausreichend lang standsicher und widerstandsfähig gegen die Brandausbreitung sein.	<u>Punkt 5.2.4. (DIN)</u> Während einer Prüfungsdauer von mindestens 30 Minuten dürfen tragende Bauteile unter ihrer rechnerischen Gebrauchslast ... nicht zusammenbrechen. <u>Punkt 5.2.2.1. (EN)</u> Bei Beanspruchung eines von einer Seite angreifenden Feuers, keine Übertragung des Feuers auf die abgewandte Seite, durch Durchtritt signifikante Mengen von Flammen oder heißen Gasen bzw. durch signifikante Wärmeleitprozesse.	erfüllt*	F 30 bzw. REI 30
Dach Dachhaut und Raumabschluss	<u>§ 31</u> Bedachungen müssen gegen eine Brandbeanspruchung von außen durch Flugfeuer und strahlende Wärme ausreichend lang widerstandsfähig sein (harte Bedachung). Dachter von traufseitig aneinandergebauten Gebäuden müssen als raumabschließende Bauteile für eine Brandbeanspruchung von innen nach außen einschließlich der sie tragenden und aussteifenden Bauteile feuerhemmend sein.	<u>Punkt 5.2.4. (DIN 4120-7)</u> Gegen Flugfeuer und strahlende Wärme widerstandsfähige Bedachungen müssen die Ausbreitung des Feuers auf dem Dach und eine Brandübertragung vom Dach in das Innere des Gebäudes bei der in der Norm festgelegten Beanspruchung verhindern. <u>Punkt 5.2.2.1. (EN)</u> siehe oben, wie bei Decke	erfüllt	„harte“ Bedachung F 30 bzw. E 30

* Temperaturerhöhung auf abgekehrter Seite bedingt durch Brandeintritt über Öffnungen (Fenster)

Bauteil	Schutzziel nach MBO	Kriterien nach DIN 4102-2 bzw. DIN EN 13501-1	Bewertung	<u>inhaltliche Entsprechung</u> einer Klassifizierung
<u>Außenwände</u> nichtbrennbar	<p>§ 28 Außenwände und Außenwandteile wie Brüstungen und Schürzen sind so auszubilden, dass eine Brandausbreitung auf und in diesen Bauteilen ausreichend lang begrenzt ist.</p> <p>Nichttragende Außenwände müssen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen; sie sind aus brennbaren Baustoffen zulässig, wenn sie als raumabschließende Bauteile feuerhemmend sind.</p>	<p><u>Punkt 5.2.1. DIN 4120-1</u> Die Prüfungen stellen modellhaft die Situation eines fortentwickelten, teilweise vollentwickelten Brandes dar. Unter dieser Beanspruchung müssen die Wärmeabgabe und die Brandausbreitung sehr gering, die entzündbaren Gase begrenzt und die Rauchentwicklung unbedenklich sein.</p> <p><u>Punkt 5.2.2.1 (EN)</u> siehe oben,</p>	<p>nicht erfüllt**</p> <p>erfüllt*</p>	<p>F 30</p> <p>bzw.</p> <p>E 30</p>
<u>Treppenumwände</u> "doppelte" Innenwand aus zwei Außenwänden Raumabschluss nichtbrennbare Innenbekleidung	<p>§ 35 Notwendige Treppnräume müssen so angeordnet und ausgebildet sein, dass die Nutzung der notwendigen Treppen im Brandfall ausreichend lang möglich ist.</p> <p>Bekleidungen, Putze, Dämmstoffe, Unterdecken und Einbauten aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen.</p>	<p><u>Punkt 5.2.2.1. (EN)</u> siehe oben, wie bei Decke</p> <p><u>Punkt 5.2.1. DIN 4120-1</u> siehe oben bei Außenwänden</p>	<p>erfüllt*</p> <p>nicht erfüllt**</p>	<p>F 30</p> <p>bzw.</p> <p>EI 30</p>

* eine fortschreitende Brandausbreitung über die Fassade der Außenwände erfolgte allerdings nicht
 ** Temperaturerhöhung auf abgekehrter Seite bedingt durch Brandeintritt über Öffnungen (Fenster)

Bauteil	Schutzziel nach MBO	Kriterien nach DIN 4102-2 bzw. DIN EN 13501-1	Bewertung	inhaltliche Entsprechung einer Klassifizierung
Flurwände „einfache“ Innenwand Raumabschluss	§ 36 Flure, über die Rettungswege aus Aufenthaltsräumen oder aus Nutzungseinheiten mit Aufenthaltsräumen zu Ausgängen in notwendige Treppenträume oder ins Freie führen (notwendige Flure), müssen so angeordnet und ausgebildet sein, dass die Nutzung im Brandfall ausreichend lang möglich ist.	Punkt 5.2.2.1. (EN) siehe oben, wie bei Decke	nicht erfüllt*	
nichtbrennbare Innenbekleidung	Bekleidungen, Putze, Dämmstoffe, Unterdecken und Einsbauten aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehen.	Punkt 5.2.2. DIN 4120-1 siehe oben bei Außenwänden	nicht erfüllt*	

Dieses Gutachten ist ausschließlich für KLEUSBERG Mietcontainer und Systemgebäude gültig und dient nur als Vorabinformation in der Angebotsphase. Mitunter sagen die Verwendungsbedingungen dieses Vorab-Gutachtens für Brandschutzmaßnahmen. Das Original Gutachten wird im Auftragsfall kostenlos zur Verfügung gestellt.

3. Übertragbarkeit der Ergebnisse

Die inhaltlichen Klassifizierungsentsprechungen weisen bereits bei dem als brandschutztechnisch am kritischen einzustufenden Containertyp 2500 / 3500 (Miete) eine weitgehende Erfüllung (ausgenommen die brennbare Beplankung der Flure und Treppen und die „einfache“ Flurtrennwand, F 0) der Anforderungen an Gebäude der Klasse GK 3 aus. Die wesentlichen brandschutztechnischen Unterschiede zwischen den einzelnen Containertypen stellen sich mit Bezug auf Punkt 3 wie folgt dar.

Containertyp	Typ 2500 / 3000	Typ – 2750 / 3750	Typ – 2500 (Verkauf)
Tragwerk	Referenzgrundlage	größere Profilabmessungen bei den Boden- und Deckenträgern, Eckstützen identisch	ähnlich Typ 2500 / 3500 , aber teilweise größere Profilabmessungen bei den Deckenträgern und Eckstützen
Dach		- keine Polystyrol-Hartschaumdämmung - 170 mm Mineralwoll-dämmung anstelle 50 mm	- keine Polystyrol-Hartschaumdämmung - 170 mm Mineralwoll-dämmung anstelle 50 mm - unterseitige Beplankung mit 2 x 12,5 mm (25 mm) GKB
Boden		- 170 mm Mineralwoll-dämmung anstelle 120 mm	- identisch 2500/3500

Containertyp	Typ 2500 / 3000	Typ – 2750 / 3750	Typ – 2500 (Verkauf)
Geschossdecke (Dach/Boden)	Referenz- grundlage	- keine Polystyrol-Hartschaumdämmung - gesamt 240 mm Mineralwolldämmung mehr	- keine Polystyrol-Hartschaumdämmung - gesamt 240 mm Mineralwolldämmung mehr - unterseitige Beplankung mit 2 x 12,5 mm (25 mm) GKB
Außenwand		- 90 mm Mineralwolldämmung anstelle 80 mm	- 90 mm Mineralwolldämmung anstelle 80 mm - einseitige Beplankung mit 2 x 12,5 mm (25 mm) GKB
„doppelte“ Innenwand (zweifache Außenwand)		- gesamt 20 mm Mineralwoll-dämmung mehr	- gesamt 20 mm Mineralwoll-dämmung mehr - <u>beidseitige</u> Beplankung mit 2 x 12,5 mm (25 mm) GKB
„einfache“ Innenwand		- 80 mm Mineralwoll-dämmung anstelle 40 mm	- <u>beidseitige</u> Beplankung mit 2 x 12,5 mm (25 mm) GKB
Wand Treppenhaus-container (Innenwand Bürocontainer plus Wand Treppenhaus-container)	Referenz- grundlage „doppelte“ Außenwand	- 180 mm Mineralwoll-dämmung anstelle 120 mm - 3 Lagen GKB a 12,5 mm (37,5 mm) - <u>innenseitige</u> Beplankung mit 12,5 mm GKF (Feuerschutzplatte)	- wie „doppelte“ Innenwand
Wand Flurcontainer (Innenwand Bürocontainer plus Wand Flurcontainer)		- gesamt 80 mm Mineralwoll-dämmung mehr - <u>innenseitige</u> Beplankung mit 12,5 mm GKB	- wie „doppelte“ Innenwand

Der Vergleich der drei Containertypen weist folgende prinzipielle Verbesserungen der Containertypen 2750 / 3750 und 2500 (Verkauf) gegenüber der geprüften Variante 2500 / 3500 (Miete) aus:

- Typ 2750 / 3750 (Miete)
 - teilweise größere Profilabmessungen
 - keine Verwendung von Polystyrol-Hartschaum als Dämmung
 - eine größere Dicke der Mineralwolldämmung, 10- 120 mm mehr
 - Innenseitige Beplankung der Treppenraum- bzw. Flurwände mit Gipskarton bzw. Feuerschutzplatten
- Typ 2500 (Verkauf)
 - teilweise größere Profilabmessungen
 - keine Verwendung von Polystyrol-Hartschaum als Dämmung
 - eine größere Dicke der Mineralwolldämmung, 10 – 240 mm mehr
 - mindestens eine einseitige (Dach / Decke und Außenwand) oder beidseitige Beplankung (Wände) aller raumabschließenden Bauteile (mit Ausnahme des Bodens) mit mindestens zwei Lagen 12,5 mm dicker Gipskartonplatten (gesamt 25 mm); die Treppenraumwand ist zusätzlich besonders ertüchtigt (3 Lagen GKB und eine Lage GKF).

Generell ist festzustellen, dass sich eine Vergrößerung der Profile des Tragwerks bei gleichem statischen Auslastungsgrad (der hier angesetzt wird) vorteilhaft auf das Brandverhalten auswirkt.

Der Wegfall der Polystyrol-Hartschaumdämmung und der Ersatz durch Mineralwolle - zum Teil größerer Dicke - wirkt sich sowohl auf den Beitrag zum Brandgeschehen als auch hinsichtlich einer weiteren Reduzierung des Wärmedurchgangs durch die Bauteile positiv aus. Von wesentlicher Bedeutung ist der Wechsel der Beplankung mit Holzspanplatten auf zwei Lagen Gipskartonplatten, wie bereits die Ergebnisse von Wärmedurchgangsprüfungen nach DIN 4102-8 für die verwendeten Materialien bei Feuerwiderstandsbeanspruchung ergaben. Nach einer Firmenveröffentlichung der

Firma Knauf „Brandschutz mit Knauf – Gipsbaustoffe, Baukonstruktionen“ erfüllen Metallständerwände mit einer beidseitigen Beplankung von 2 x 12,5 mm GKB-Platten und einer minimalen Dämmdicke von 40 mm (Dichte ca. 30 kg/m³) von Steinwolle (Schmelzpunkt > 100 °C) die Anforderungen an die Feuerwiderstandsklasse F 30-A. Zwar wird auch bei den Containern des Typs 2500 (Verkauf) als Dämmung Glaswolle mit einem Schmelzpunkt von weniger als 1000 °C eingesetzt, die brandschutztechnische Verbesserung ist dennoch erheblich.

Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, dass die aus den Naturbrandversuchen an einem Containergebäude des Typs 2500 / 3500 (Miete) gewonnenen Aussagen und inhaltlichen Klassifikationsentsprechungen mit großer Sicherheit auf die beiden anderen Containertypen übertragen werden können.

7.4. Möglichkeiten des Einsatzes der verschiedenen Containertypen

Ausgehend von den oben getroffenen Aussagen wird im Folgenden versucht die Möglichkeiten bzw. falls erforderlich auch die Grenzen der Verwendung der einzelnen Containertypen aufgezeigt.

Aus gutachterlicher Sicht bestehen auf der Grundlage der bauaufsichtlich erhobenen Forderungen keine Bedenken hinsichtlich des bautechnischen Brandschutzes wenn die Container – Typ 2500 / 3500 (Miete), Typ 2750 / 3750 (Miete) und Typ 2500 (Verkauf) - der Firma Kleusberg GmbH & Co. KG einschließlich der angeführten Bauteile in Gebäuden der im Folgenden angegebenen Gebäudeklassen 1 – 3 eingesetzt werden. Voraussetzung dafür ist eine Nutzung der Gebäude als Baustelleneinrichtungen, Büros, Banken, Kindergärten, Wohnheime, Schulen etc. (oder vergleichbar) unter der Annahme von maximalen, möglichen Brandlastdichten von bis zu 800 MJ/m², Lasten die eine maximale Ausnutzung der Stahlspannungen im Tragwerk hervorrufen und maximalen Raumgrößen von 200 m³.

- Containertyp 2500 / 3500 (Miete)

Bauteil	GK 1	GK 2	GK 3
Tragwerk	möglich	möglich	möglich
Geschossdecke (Dach / Boden)	möglich	möglich	möglich
Dach	möglich	möglich	möglich
Außenwand	möglich	möglich	möglich
Trennwand	möglich	möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand	möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand
Treppenhallewand	möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand (Abb. 105)	möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand (Abb. 105)	nur möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand <u>und</u> einer Innenbeplankung aus Gipskartonplatten (GKB 12,5 mm)
Wand eines notwendigen Flurs	möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand <u>oder</u> als „einfache“ Innenwand (Abb. 106)	möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand <u>oder</u> als „einfache“ Innenwand (Abb. 106)	<u>nur</u> möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand <u>und</u> einer Innenbeplankung aus Gipskartonplatten (GKB 12,5 mm) <u>oder</u> Innenwand nach Abb. 106 und zusätzlicher Innenbeplankung aus Gipskartonplatten (GKB, 1 x 12,5 mm je Seite)

Dieses Gutachten ist ausschließlich für Kleusberg GmbH & Co. KG als Mietcontainer und Systemgebäude gültig und dient nur als Vorabinformation in der Angebotsphase. Vorab Gutachtens für Bauanträge und als generellen Nachweis für Brandschutzmaßnahmen. Das Original Gutachten wird im Auftragsfall kostenlos zur Verfügung gestellt.

• Containertyp 2750 / 3750 (Miete)

Bauteil	GK 1	GK 2	GK 3
Tragwerk	möglich	möglich	möglich
Geschossdecke (Dach / Boden)	möglich	möglich	möglich
Dach	möglich	möglich	möglich
Außenwand	möglich	möglich	möglich
Trennwand	möglich	möglich bei Ausbildung 2.05 als „doppelte“ Außenwand	möglich bei Ausbildung 2.05 als „doppelte“ Außenwand
Treppenraumwand	möglich bei Ausbildung 2.05 als „doppelte“ Außenwand	möglich bei Ausbildung 2.05 als „doppelte“ Außenwand	möglich bei Ausbildung 2.05 als „doppelte“ Außenwand und einer Innenbeplankung aus Gipskartonplatten (GKB 12,5 mm) oder Wand eines Treppenraumscontainers nach Abn.-2.10
Wand eines notwendigen Flurs	möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand (Abb. 2.06)	möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand (Abb. 2.06)	nur möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand und einer Innenbeplankung aus Gipskartonplatten (GKB 12,5 mm) oder Wand eines Gangcontainers nach Abn.-2.14 oder Innenwand nach Abb. 2.06 und zusätzlicher Innenbeplankung aus Gipskartonplatten (GKB, 1 x 12,5 mm je Seite)

Dieses Gutachten ist ausschließlich für KLEUSBERG Mietcontainer und Systemgebäude gültig und dient nur als Vorabinformation in der Angebotsphase. Wir untersagen die Verwendung dieses Vorab-Gutachtens für Bauanträge und als generellen Nachweis für Brandschutzmaßnahmen. Das Original Gutachten wird im Auftragsfall kostenlos von KLEUSBERG zur Verfügung gestellt.

• **Containertyp 2500 (Verkauf)**

Bauteil	GK 1	GK 2	GK 3
Tragwerk	möglich	möglich	möglich
Geschossdecke (Dach / Boden)	möglich	möglich	möglich
Dach	möglich	möglich	möglich
Außenwand	möglich	möglich	möglich
Trennwand	möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand nach Abb. 3.05	möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand nach Abb. 3.05	möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand nach Abb. 3.05 oder als „einfache“ Innenwand
Treppenraumwand	möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand nach Abb. 1.06 oder 3.05 oder 3.06	möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand nach Abb. 1.06 oder 3.05 oder 3.06	möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand nach Abb. 3.1
Wand eines notwendigen Flurs	möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand nach Abb. 3.05 oder als „einfache“ Innenwand nach Abb. 3.06 oder 1.06	möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand nach Abb. 3.05 oder als „einfache“ Innenwand nach Abb. 3.06 oder 1.06	möglich bei Ausbildung als „doppelte“ Außenwand nach Abb. 3.05 oder als „einfache“ Innenwand nach Abb. 3.06

Die Wand-, Boden- und Deckenaufbauten der Containertypen 2500 / 3000 (Miete) und 2750 / 3750 (Miete) sind unter Beachtung der für das Bauvorhaben gültigen Gebäudeklassen nach MBO, auch für den Containertyp 2500 (Verkauf) bei Beachtung der oben tabellarisch genannten Verwendbarkeit einsetzbar. Die brandschutztechnische Bewertung wird nicht von der kaufmännischen Einteilung beeinflusst. Prinzipiell ist damit zum Beispiel der Einsatz einer Flurtrennwand nach den Abbildungen 1.06 oder 2.05 bei Bauvorhaben die in die Gebäudeklasse 1 oder 2 einzustufen sind auch für den Verkaufs-Container möglich, die gleiche Aussage gilt für die Treppenraumwand und die Decken.

8. Abschließende Bemerkungen

Die getroffenen Aussagen unterstellen die Beibehaltung der materiellen und konstruktiven Ausbildungen der betrachteten Container, die im Rahmen dieses Gutachtens beschrieben wurden und im Anhang dokumentiert sind, bei Einhaltung der angegebenen Nutzungen und maximaler Ausnutzung der Tragwerksprofile, dass Änderungen auch im Detail möglicherweise zu anderen Schlüssen führen könnten. Sonderlösungen oder Abweichungen bedürfen der gesonderten Bewertung. Aussagen zu statischen Erfordernissen des Tragwerks waren nicht Gegenstand der Bewertung.

Diese gutachterliche Wertung stellt keinen Verwendbarkeitsnachweis im baurechtlichen Sinne dar, sondern dient ausschließlich zur Vorlage bei den zuständigen Bauaufsichtsbehörden zur Erbringung des brandschutztechnischen Eignungsnachweises für die mögliche objektbezogene Genehmigung der Anwendung.