

Innenraumbekleidungen und Brandrisiko

Jakob Studhalter
Josef Kolb AG
CH-Romanshorn



Innenraumbekleidungen und Brandrisiko

1. Einleitung

1.1. Überblick

Präskriptive Brandschutzvorschriften regulieren den Einsatz von brennbaren Innenraumbekleidungen, um das damit verbundene Brandrisiko zu kontrollieren. Die Regulierungen basieren auf Klassifizierungssystemen, welche Materialien entsprechend ihrer relativen Brandgefahr einteilen. Die Brandgefahr wird mit Hilfe von Standardtest-Szenarien ermittelt. Dieser Beitrag befasst sich mit dem Brandrisiko, das mit dem Einsatz von Holz-Innenraumbekleidungen zusammenhängt. Er basiert auf einer Forschungsarbeit des Autors [1], der vertiefte und weitergehende Angaben entnommen werden können.

1.2. Holz und Brandgefährdung

Der Einsatz von Holz birgt – wie jener aller anderen Baumaterialien – spezifische Gefährdungen im Zusammenhang mit Bränden. In frühen (brandlastgesteuerten) Brandphasen können brennbare Raumboflächen zur Brandausbreitung beitragen. In späteren (ventilationsgesteuerten) Brandphasen kann die Brandintensität ausserhalb von Brandräumen, die brennbare Bekleidungen aufweisen, grösser sein als bei vergleichbaren Räumen mit nichtbrennbaren Bekleidungen (es werden im Brandraum mehr Pyrolysegase freigesetzt, die erst ausserhalb des Brandraumes mit dem dort zu Verfügung stehenden Sauerstoff reagieren). Weiter sind Aspekte im Zusammenhang mit tragenden Holzbauteilen im Brandfall ein Thema, die hier jedoch nicht behandelt werden.

1.3. Innenraumbekleidungen und Brandrisiko

Der vorliegende Beitrag befasst sich mit dem Brandrisiko, das mit dem Einsatz von Holz-Innenraumbekleidungen in frühen Brandphasen behaftet ist. Eine Gefährdung wird erst zum Risiko, wenn Schutzziele beeinträchtigt werden. In den frühen Brandphasen sind die Schutzziele hinsichtlich des Personenschutzes von primärer Bedeutung. Die Sicherheit von Personen, die sich im Brandentstehungsraum aufhalten, wurde als Zielgrösse für die Risikoanalyse herangezogen. Abbildung 1 zeigt die wichtigsten Unsicherheiten, die in diesem Zusammenhang zu berücksichtigen sind. In der vorliegenden Risikoanalyse werden die Unsicherheiten der in Abbildung 1 dargestellten Stufen 2 bis 4 einbezogen.

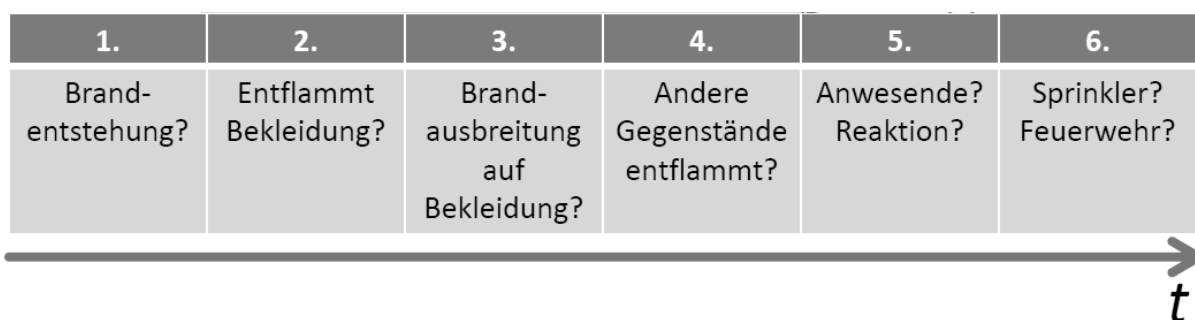


Abbildung 1: Unsicherheiten, die das Brandrisiko im Zusammenhang mit Innenraumbekleidungen in den brandlastgesteuerten Brandphasen beeinflussen.

2. Modell

Die Risikoanalyse wurde mit Hilfe des probabilistischen Zonenmodells B-RISK durchgeführt. B-RISK wird von BRANZ und der University of Canterbury (NZ) auf Basis des existierenden und in der Praxis verankerten Zonenmodells BRANZFIRE [2] entwickelt. Nachfolgend werden die wichtigsten Bestandteile des Risikomodells erläutert.

2.1. Modellierung der Brandausbreitung auf der Innenraumbekleidung

BRANZFIRE beinhaltet ein Sub-Modell, das die Modellierung der Brandausbreitung auf Innenraumbekleidungen ermöglicht (Fire Growth Sub-model). Die verwendeten Korrelationen stammen aus Quintieres „Room Corner Model“ [3]. Dieses Modell ermöglicht die Vorhersage, ob eine Wand- oder Deckenbekleidung aufgrund einer vordefinierten Brandquelle entflammen kann, und ob und mit welcher Intensität sich der Brand auf der Bekleidung weiterentwickelt. Das Modell erlaubt Aussagen für Konfigurationen, die der ISO-9705-Raumgeometrie [4] entsprechen. Es unterscheidet BRANZFIRE von den meisten branchenüblichen Zonenmodellen und es wurde auch in die Weiterentwicklung B-RISK integriert.

Mit der Anwendung des Modells für die Brandausbreitung auf Innenraumbekleidungen können die Unsicherheiten der Stufen 2 und 3 aus Abbildung 1 in das Risikomodell einbezogen werden.

2.2. Modellierung des Einflusses mobiler Brandlasten

Die Weiterentwicklung von BRANZFIRE zu B-RISK umfasst zwei wichtige Neuerungen:

- Ein Sub-Modell zur Modellierung der Brandausbreitung zwischen einzelnen mobilen Brandlast-Gegenständen (Radiative Fire Spread Sub-model) [5]
- Ein Sub-Modell, das vom Nutzer definierte Brandlastgegenstände im Brandraum räumlich definiert oder zufallsmässig anordnet (Design Fire Generator) [6]. Die Funktionalität beinhaltet unter anderem, dass der Nutzer Brandlastdichten definieren kann (nach Wunsch mit statistischen Verteilungen), nach denen sich das Modell bei der „Möblierung“ des Raums mit Brandlast-Gegenständen richtet.

Diese Funktionen ermöglichen die Berücksichtigung des Einflusses unterschiedlicher Brandlastanordnungen im Raum, wie auch deren Auswirkung auf den Brandverlauf. Damit wird Stufe 4 aus Abbildung 1 im Risikomodell repräsentiert. Abbildung 2 zeigt eine Brandlastkonfiguration, die zur Validierung des Modells verwendet wurde (links), sowie eine vom Modell generierte Anordnung aus der Risikoanalyse.

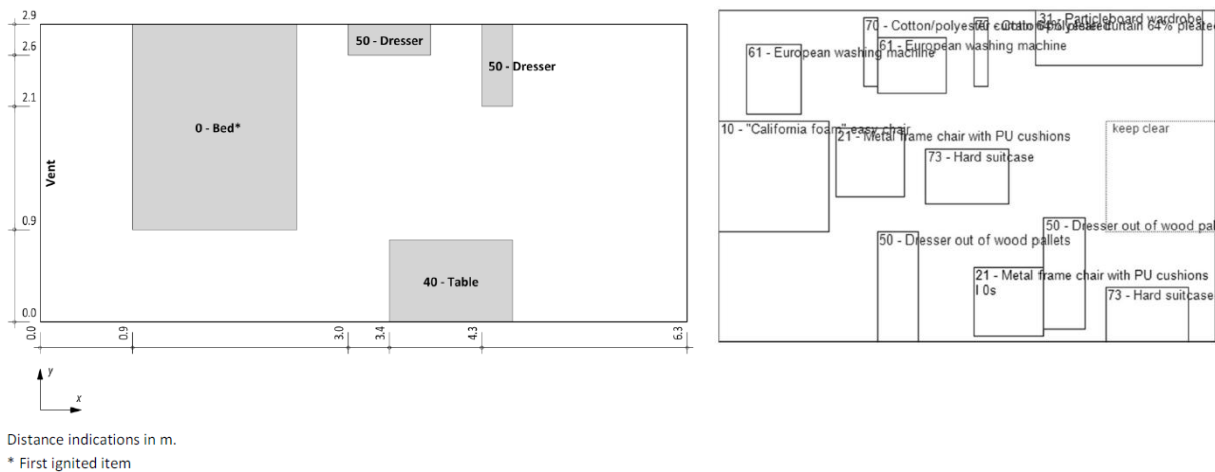


Abbildung 2: Brandlastkonfigurationen.

Links: Benutzerdefinierte Anordnung zur Verifizierung des Modells nach den Versuchen von Maag und Fontana [7].
Rechts: Vom Modell zufallsmässig generierte Anordnung mit Ziel-Brandlastdichte 300 MJ/m².

2.3. Monte-Carlo-Simulation

Mit dem oben beschriebenen Modell wurden Monte-Carlo-Simulationen mit 400 Iterationen pro Szenario durchgeführt. Die Brandlastdichten waren als Normalverteilungen definiert. Grundszenario war eine Brandlastdichte mit einem Mittelwert von 300 MJ/m² und einem Variationskoeffizienten von 40% (Abbildung 3). Als Brandlasten wurde eine Reihe von Gegenständen definiert und diesen die brandschutztechnisch relevanten Eigenschaften wie Wärmefreisetzungsrates über die Zeit, Entzündungseigenschaften

etc. aufgrund von realen Versuchen zugewiesen. Aus diesem „Möbelkatalog“ konnte der oben beschriebene Design Fire Generator den Raum bis zur definierten Ziel-Brandlastdichte „möblieren“. Folgende Parameter wurden in den Simulationen variiert:

- Mittelwert der Ziel-Brandlastdichte 100/200/300/400/500 MJ/m²
- Bekleidungskonfigurationen:
 - Decke und Wände nicht brennbar
 - Decke brennbar
 - Decke und Wände brennbar
- Bekleidungsmaterialien:
 - nicht brennbar: Gipskartonplatte
 - brennbar:
 - Sperrholz
 - mit Brandhemmer behandeltes Sperrholz
 - MDF

Der zuerst entzündete Gegenstand wurde in jeder Iteration von B-RISK per Zufallsfunktion bestimmt. Bezüglich der Anordnung der Brandlastgegenstände wurde weiterhin untersucht, ob es einen signifikanten Unterschied in den Ergebnissen gibt, wenn die Brandlast-Gegenstände eher an einer Wand angeordnet werden oder nicht. Es wurden diesbezüglich keine signifikanten Unterschiede festgestellt.

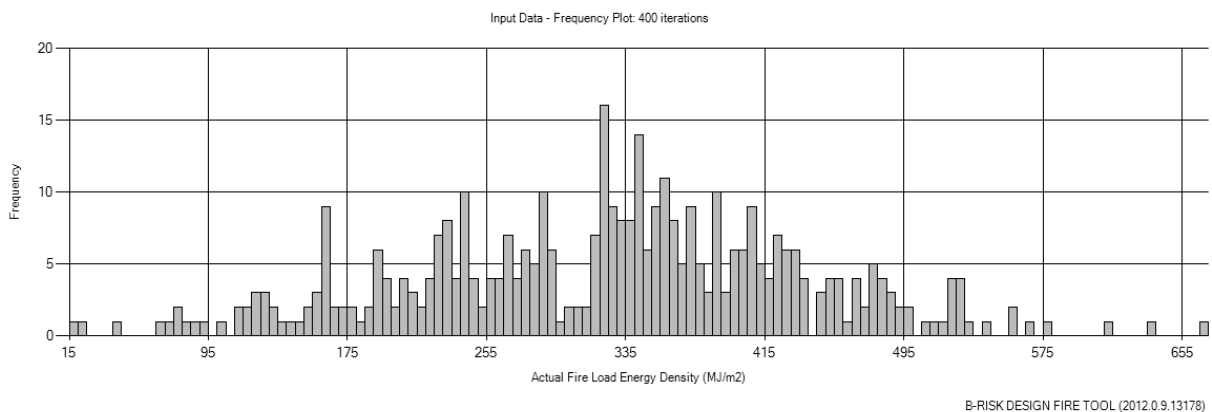


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der Brandlastdichte im Grundszenario (Mittelwert 300 MJ/m², Varianz 40%)

2.4. Flashover als Kriterium

Mit Blick auf die Personensicherheit im Brandentstehungsraum als Schutzziel gibt es eine Reihe verschiedener Parameter, die als massgebendes Risiko-Kriterium herangezogen werden könnten, nämlich die Zeit bis beispielsweise

- eine bestimmte Wärmefreisetzungsrate im Raum auftritt;
- die raucharme Schicht eine bestimmte Höhe unterschreitet;
- die Sichtweite in einer bestimmten Höhe einen bestimmten Wert unterschreitet;
- eine bestimmte Menge an toxischen Gasen in einer bestimmten Raumhöhe überschritten wird oder eine über die Zeit integrierte Menge davon;
- eine bestimmte Temperatur oder eine bestimmte Wärmestrahlung in einer bestimmten Höhe überschritten wird oder eine über die Zeit integrierte Menge davon.

Von allen diesen Parametern ist die Wärmefreisetzungsrate die dominierende – alle weiteren aufgezählten Faktoren hängen direkt oder indirekt von ihr ab. Eine höhere Wärmefreisetzungsrate führt schneller zu kritischen Bedingungen für im Raum Anwesende als eine tiefere. Babrauskas und Peacock [8] bezeichneten die Wärmefreisetzungsrate nicht von ungefähr als „single most important variable in fire hazard“. Die Wärmefreisetzungsrate ist ebenfalls entscheidend dafür, ob in einem Raum Flashover auftreten kann oder nicht. Als massgebendes Kriterium wurde deshalb die Zeitdauer bis zum Auftreten von Flashover herangezogen. Es repräsentiert alle oben aufgezählten Parameter und stellt ein robustes Kriterium dar, womit sich weitere Diskussionen im Sinne von „wie hoch sollte die raucharme Schicht sein?“ oder „welche Menge an toxischen Gasen in welcher Raumhöhe ist kritisch?“ erübrigen. Die Wahl dieses Kriteriums trägt somit auch zu einem

„consistent level of crudeness“ (Begriff geprägt von Elms [9]) bei, das der Gewissheit bei der Wahl der Eingabegrößen und der Genauigkeit der Ausgabedaten angemessen entspricht. Oder in anderen Worten: Ein früher Flashover ist für Raumbenutzer gefährlicher als ein später oder gar nicht auftretender.

2.5. Vergleichende Risikoanalyse

Die hier vorgestellte Risikoanalyse ist als vergleichende Risikoanalyse ausgestaltet, denn das Interesse der Arbeit liegt darin, herauszufinden, in welchem Masse der Einsatz von Holz-Innenraumbekleidungen das Brandrisiko erhöht (oder was für einen Nutzen entsprechende Einschränkungen bringen). Es existiert denn auch keine absolute Messlatte, da das akzeptierte Risiko in dieser Fragestellung (noch) nicht definiert ist. Das akzeptierte Risiko ist in den Brandschutzmassnahmen, die präskriptive Brandschutzvorschriften festlegen, implizit hinterlegt. Zudem wird im vorliegenden Fall im weitesten Sinne eine ASET/RSET-Betrachtung angestellt. Es ist Vorsicht geboten, aufgrund solcher Analysen ein Szenario oder eine Lösung als „sicher“ zu bezeichnen. Es kann vielmehr lediglich festgestellt werden, ob eine Lösung „besser“ oder „schlechter“ ist als eine andere (Babrauskas et al. [10]).

Daneben hat eine vergleichende Risikoanalyse auch den Vorteil, dass weniger Aufwand für die Rechtfertigung von Einflussfaktoren, deren absolute Magnitude schwer abschätzbar ist (wie z.B. die Dauer der Schwelbrandphase), betrieben werden muss. Voraussetzung ist, dass solche Faktoren alle Szenarien gleich beeinflussen, was wiederum mit Sensitivitätsanalysen überprüft werden kann.

Für die vorliegende Arbeit wurde anhand von Vergleichen mit realen Brandversuchen (u.a. Maag und Fontana [7]) belegt, dass die Unterschiede in den Zeiten bis zum Flashover mit brennbaren und nicht brennbaren Innenraumbekleidungen im Modell den Unterschieden entspricht, die in realen Versuchen beobachtet wurden.

3. Resultate

Abbildung 4 zeigt die kumulativen Verteilungen der Zeitdauer bis zum Eintreten von Flashover im Grundszenario mit verschiedenen Bekleidungskonfigurationen. Der Abbildung können unter anderem die folgenden Aussagen entnommen werden:

- Wenn alle Innenraumbekleidungen nicht brennbar sind, ist in ca. 85% der Fälle mit Auftreten von Flashover zu rechnen. Sind Wand- und/oder Deckenbekleidungen aus Holz vorhanden, ist in ca. 95% der Fälle mit Flashover zu rechnen.
- Die schnellsten Brände führen im Modell unabhängig von der Innenraumbekleidung nach ca. 60 Sekunden zu Flashover.
- Der durch brennbare Innenraumbekleidungen verursachte Unterschied der Zeitdauer bis zum Flashover beträgt in den „heftigsten“ 5% der Brände ca. 1 Minute, bezogen auf den Mittelwert ca. 3 Minuten.

An dieser Stelle soll wiederholt werden, dass es sich hier um eine vergleichende Risikoanalyse handelt. Die gezeigten Zeitunterschiede müssen deshalb in das Verhältnis mit in realen Bränden beobachteten Flashover-Zeiten gesetzt werden, wenn eine entsprechende Diskussion erwünscht ist. Für die hier analysierte Raumgröße ist in realen Brandversuchen mit einer Zeitdauer von 2-3 Minuten bis zum Auftreten von Flashover bei sich schnell entwickelnden Bränden zu rechnen.

Kumulative Verteilung

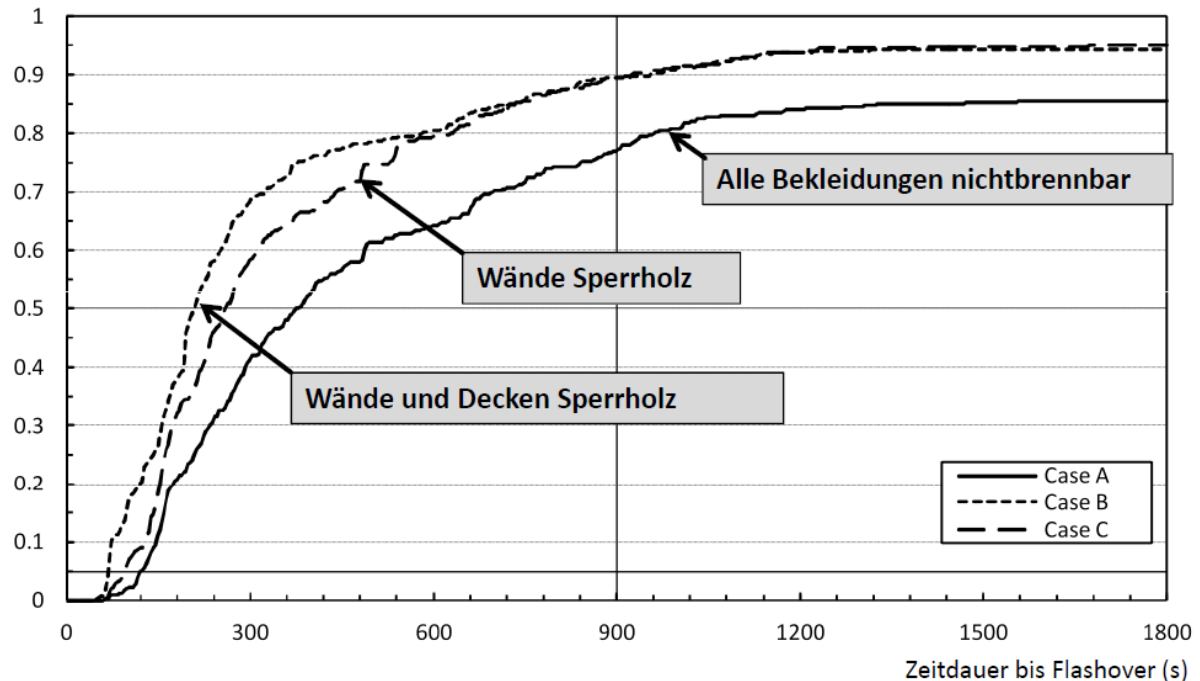


Abbildung 4: Kumulative Verteilung der Zeitdauer bis zum Eintreten von Flashover im Grundszenario (Mittelwert der Brandlastdichte 300 MJ/m², Varianz 40%)

Flashover time (s)

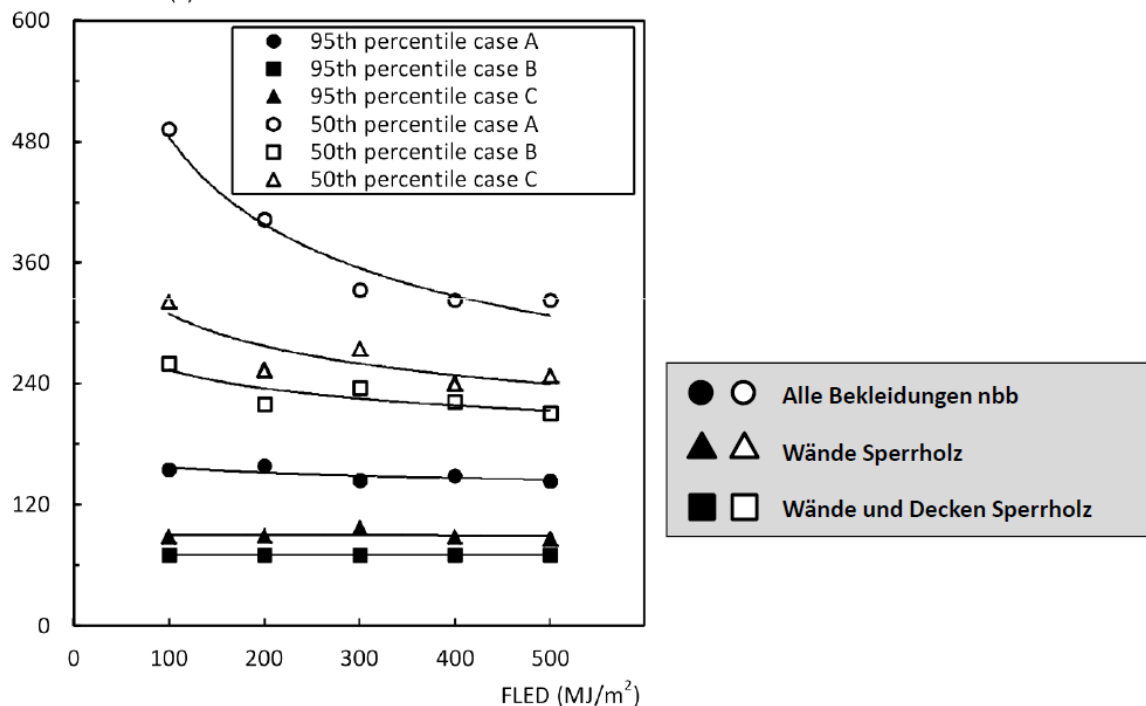


Abbildung 5: Probabilistische Flashover-Zeiten vs. Brandlastdichte

Wie Abbildung 5 zeigt, hat die Brandlastdichte nur in Räumen mit nicht brennbaren Innenraumbekleidungen und bei relativ tiefer Brandlastdichte einen Einfluss auf die probabilistischen „Flashover-Zeiten“.

Die Verwendung anderer Holzbekleidungen als Sperrholz für die brennbaren Wand- und Deckenbekleidungen (z.B. MDF oder brandhemmendes Sperrholz) zeitigt keinen signifikanten Einfluss auf die in Abbildung 4 dargestellten Kurven.

4. Fazit und Diskussion

Die präsentierten Resultate zeigen, dass Holz-Innenraumbekleidungen einen messbaren, jedoch geringen Einfluss auf die probabilistischen Flashover-Zeiten (und somit auf das Brandrisiko in genutzten Räumen in den frühen Brandphasen) haben. Wie erläutert, gibt es keine absolute Messlatte, die angibt, welches Risiko akzeptiert ist. Die Frage, ob eine Regulierung der Anwendung von Holz-Innenraumbekleidungen gerechtfertigt ist, lässt sich deshalb nicht mit „Ja“ oder „Nein“ beantworten. Mit Blick auf Abbildung 3 lässt sich jedoch sagen, dass die Risikoreduktion, die mit einer Regulierung (Forderung nach nicht-brennbaren oder schwerbrennbaren Bekleidungen) erwirkt werden könnte, gering ist und sich ein entsprechender Aufwand kaum lohnen würde.

Geometrisch beschränkt sich die Analyse auf einen Raum mit ISO-9705-Abmessungen. Im Vergleich zu Räumen in unserem gebauten Umfeld ist diese Raumgrösse eher klein. Der Einfluss der Innenraumbekleidung auf das analysierte Brandrisiko würde jedoch mit steigender Raumgrösse eher abnehmen.

Der Einfluss von stationären Löschvorrichtungen wurde in der Risikoanalyse nicht berücksichtigt. Diese würden das Bild jedoch stark verändern – es darf prognostiziert werden, dass der Einfluss von Holz-Innenraumbekleidungen auf das Brandrisiko in den frühen Brandphasen bei Vorhandensein einer Sprinkleranlage vernachlässigbar klein ist. Dass Sprinkler ihrer Bestimmung entsprechend funktionieren, auch wenn die Räume Innenraumbekleidungen aus Holz aufweisen, wurde von Maag und Fontana dargelegt [7].

Alle gemachten Aussagen beziehen sich auf das Brandrisiko in genutzten Räumen in den frühen Brandphasen. Wie in Kapitel 1 dargestellt, können brennbare Innenraumbekleidungen auch einen Einfluss auf den Brandverlauf in späteren Brandphasen haben. Dies sollte in entsprechenden Risikobetrachtungen berücksichtigt werden (Stichworte Weiterleitung von Brandprodukten durch Brandraum-Öffnungen). Ebenfalls kann die Risikosituation z.B. auf Baustellen anders aussehen. In solchen Situationen kann der Einsatz von nicht- oder schwerbrennbaren Bauteiloberflächen unter Umständen gerechtfertigt sein.

5. Literatur

- [1] Studhalter J., A probabilistic comparison of times to flashover in a compartment with wooden and non-combustible linings considering variable fuel loads, *Research Project Report*, University of Canterbury, Christchurch, Neuseeland, 2012
- [2] Wade C.A., BRANZFIRE Technical reference guide, *BRANZ Study Report No. 92*, BRANZ Ltd., Porirua, Neuseeland, 2004
- [3] Quintiere J.G., A simulation model for fire growth on materials subject to a room-corner test, *Fire Safety Journal* 20, 313-339, 1993, doi:10.1016/0379-7112(93)90053-S
- [4] ISO 9705, Fire tests – Full-scale room test for surface products, International Organization for Standardization, Genf, Schweiz, 1993
- [5] Baker G., Fleury R., Spearpoint M., Fleischmann C., Wade C., Ignition of secondary objects in a design fire simulation tool, *10th International Symposium Proceedings*, IAFSS, Maryland, USA, 2011
- [6] Baker G., Spearpoint M., Fleischmann C., Wade, C., Development of a design fire generator for a risk-informed fire safety engineering tool, *9th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods Proceedings*, SFPE, Hong Kong, 2012
- [7] Maag T., Fontana M., Brandversuche an Modulhotels in Holzbauweise, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Schweiz, 2000
- [8] Babrauskas V., Peacock R.D., Heat release rate: the single most important variable in fire hazard, *Fire Safety Journal* 18, 255-272, 1991, doi:10.1016/0379-7112(92)90019-9
- [9] Platt D.G., Elms D.G., Buchanan A.H., A probabilistic model of fire spread with time effects, *Fire Safety Journal* 22, 367-398, 1994, doi:10.1016/0379-7112(94)90041-8
- [10] Babrauskas V., Fleming J.M., Russell B.D., RSET/ASET, a flawed concept for fire safety assessment, *Fire and Materials* 34, 341-355, 2010, doi:10.1002/fam.1025