



Masterarbeit

Erarbeitung einer Checkliste zur nutzungsabhängigen Brandlastbestimmung in hochbaulichen Einbauten der Viaduktbögen und Brückentragwerken der DB Netz AG mit dem Primärziel des Ausschlusses von Tragwerksversagen während eines Brandereignisses

Gestellt von: Prof. Dr.-Ing. Frank Legenstein

Zweitprüferin: Dipl.-Ing. Angela Haupt

Eingereicht von: B.Sc. Mirko Schmoldt

05.06.2012

Fachbereich Ingenieurwissenschaften II

Master-Studiengang Bauingenieurwesen

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS	II
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IV
TABELLENVERZEICHNIS	V
FORMELVERZEICHNIS	VI
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VII
GESCHICHTLICHE EINFÜHRUNG	8
1 HISTORISCHE ENTWICKLUNG DER STADTBahn BERLIN	8
1.1 DAS STADTBILD IM KAISERREICH	8
1.2 PLÄNE FÜR DEN BERLINER NAHVERKEHR	8
1.3 VERWIRKLICHUNG DER STADTBahn DURCH DIRCKSEN	10
1.4 ENTWICKLUNG UND AUSBAU	11
BEARBEITUNG DER AUFGABENSTELLUNG	13
2 ERLÄUTERUNG DER AUFGABE UND ABGRENZUNG	13
2.1 AUFGABENSTELLUNG	13
2.2 ABGRENZUNG DES THEMAS	13
3 GRUNDLAGEN ZUM BRAND	14
3.1 BRAND IN DER NATUR UND IN DER NORM	14
3.2 BRANDLAST UND HEIZWERTE.....	15
3.2.1 <i>Definition von Brandlast</i>	15
3.2.2 <i>Spezifische Brandlasten und Mittelwerte</i>	16
3.2.3 <i>Einfluss von Heizwerten</i>	18
4 BRANDLASTBERECHNUNG NACH NORM	19
4.1 ANSATZ DER TGL 10685/2 VON 1982	20
4.1.1 <i>Zielsetzung der Brandlastermittlung</i>	20
4.1.2 <i>Berechnung der Brandlast</i>	20
4.1.3 <i>Anrechenbare und nicht anrechenbare Brandlasten</i>	21
4.1.4 <i>Einfluss der Teilfaktoren</i>	22
4.2 ANSATZ DER DIN 18230-1 VON 2010.....	23
4.2.1 <i>Ziel der Norm</i>	23
4.2.2 <i>Rechengang zur Ermittlung der $erft_F$</i>	24
4.3 VERGLEICH DER NORMEN	30
5 HERANGEHENSWEISE ZUR ERSTELLUNG DER CHECKLISTE	32

Inhaltsverzeichnis

5.1	ENTWICKLUNG DER GLIEDERUNG UND DES AUFBAUS.....	32
5.2	PRAXISTEST IN DER BEGEHUNG.....	37
5.3	ÜBERARBEITEN DER INHALTE.....	39
6	VORSTELLEN DER CHECKLISTE	41
6.1	ERLÄUTERUNG UND AUSWIRKUNG DER ÄNDERUNG	41
6.2	ERMITTLUNG DER BRANDLASTDICHTE AM BEISPIEL	42
6.2.1	<i>Begehung des Objektes.....</i>	<i>42</i>
6.2.2	<i>Berechnung der Feuerwiderstandsdauer.....</i>	<i>48</i>
6.2.3	<i>Grenzwertbetrachtung der zulässigen Brandlast.....</i>	<i>50</i>
	AUSWERTUNG UND ZUSAMMENFASSUNG	51
7	KRITISCHE BETRACHTUNG	51
7.1	VOR- UND NACHTEILE DER CHECKLISTE	51
7.2	PROBLEME DER DIN 18230	52
8	AUSBLICK	53
9	ZUSAMMENFASSUNG / ABSTRACT	54
	LITERATURVERZEICHNIS	55
	ANLAGEN.....	59
	ERKLÄRUNG ZUM EIGENSTÄNDIGEN VERFASSEN.....	62

Abbildungsverzeichnis

Deckblatt - S-Bahnhof Hackescher Markt in Berlin-Mitte	I
Abb. 1 - Eingezeichneter Verlauf der Verbindungsbahn	9
Abb. 2 - Der Berliner S-Bahnring (als schwarze Linie gezeichnet).....	10
Abb. 3 - Verlauf der Stadtbahn entlang des Festungsgrabens	11
Abb. 4 - Feuerdreieck	14
Abb. 5 - Einheitstemperaturzeitkurve nach DIN 4102 Teil 2.....	15
Abb. 6 - Verkaufstisch im Textilfachgeschäft.....	19
Abb. 7 - Spielothek.....	37
Abb. 8 - Reifenlager Bogen 107	38
Abb. 9 - Verkauf von Textilien	42
Abb. 10 - Sitzplätze im Restaurant	45

Tabellenverzeichnis

Tab. 1 - Brandlastermittlung mit spezifischen Heizwerten	16
Tab. 2 - Auszug der flächenbezogenen Brandlastdichten der „V _k F“	17
Tab. 3 - Auszug der Brandlastdichten aus DIN EN 1991-1-2 NA, Tab. BB.1	17
Tab. 4 - aus TGL 10685/02, Tab. 4	20
Tab. 5 - Variationsmöglichkeiten für die Brandlastberechnung.....	23
Tab. 6 - DIN 18230-1, Punkt 10.1, Tab.3.....	26
Tab. 7 - Umrechnungsfaktor c	29
Tab. 8 - Brandlasten im Raum.....	32
Tab. 9 - Ermittelte Brandlastdichte des Raumes	33
Tab. 10 - Brandlastdichte im Brandabschnitt	33
Tab. 11 - Auszug der Liste spezifischer Heizwerte.....	35
Tab. 12 - Textilgewichte.....	44
Tab. 13 - Faktoren der 3 Varianten.....	48
Tab. 14 - Erforderliche Feuerwiderstandsdauer	49
Tab. 15 - Abmessungen Viaduktbogen	60
Tab. 16 - Variante 1	60
Tab. 17 - Variante 2.....	60
Tab. 18 - Variante 3.....	60

Formelverzeichnis

Gleichung 1	20
Gleichung 2	21
Gleichung 3	21
Gleichung 4	21
Gleichung 5	24
Gleichung 6	26
Gleichung 7	27
Gleichung 8	27
Gleichung 9	28

Abkürzungsverzeichnis

α_L	Zusatzbeiwert, der den Einfluss aus brandschutztechnischer Infrastruktur berücksichtigt
γ	Sicherheitsbeiwert, erfasst die mit zunehmender Fläche erhöhte Versagens- und Eintrittswahrscheinlichkeit von Bränden
Ψ_i	Kombinationsbeiwert der geschützten Brandlast i für das Zusammenwirken mit geschützten Brandlasten
A_B	Fläche des betrachteten Brandabschnittes
a_i	Faktor für den anzurechnenden Teil der Masse des brennbaren Stoffes i nach TGL 10685/02, Tab. 2
A_{Rj}	Nettofläche des betrachteten Raumes j in m^2
c	Umrechnungsfaktor, berücksichtigt den Wärmeabzug aus Umfassungsflächen
H_{ui}	Heizwert der ungeschützten Brandlast i
m_i	Abbrandfaktor der ungeschützten Brandlast i
M_i	Masse des brennbaren Stoffes i in kg
M_i	Menge der ungeschützten Brandlast i
Q_i	Heizwert des brennbaren Stoffes i in MJ/kg
q_{jT}	Brandlast des betrachteten Raumes j aus Technologie und Ausstattung
q_{jB}	Brandlast des betrachteten Raumes j aus Baukonstruktion und bautechnischer Gebäudeausrüstung
q_R	im Brandfall durch die Brandlast freigesetzte Wärmemenge bezogen auf die Fläche
$q_{R,g}$	Gesamtbrandlast geschützter Stoffe
$q_{R,u}$	Gesamtbrandlast ungeschützter Stoffe
$t_{\dot{a}}$	Zeit in Minuten, bei der näherungsweise dieselbe Wirkung beim Schadenfeuer wie beim Normbrand erreicht wird
v_j	Verteilungsfaktor nach TGL 10685/02, Tab. 3
w	Wärmeabzugsfaktor, berücksichtigt Wirkung der Wärmeabzugsflächen auf die Temperatur

Geschichtliche Einführung

1 Historische Entwicklung der Stadtbahn Berlin

1.1 Das Stadtbild im Kaiserreich

Die im Jahre 1237 gegründete Stadt Berlin auf der Ost- mit ihrer Nachbarstadt Cölln auf der Westseite der Spree hat sich im Laufe der Jahrhunderte zu einer blühenden Handelsstadt entwickelt. Immer wieder als Residenzstadt der Könige bestätigt, wurde Berlin mit der Gründung des Deutschen Reiches 1871 zur Hauptstadt erhoben. Infolge der „Industriellen Revolution“ und der Stellung Berlins wurde die Stadt „(...) politisches, ökonomisches und wissenschaftliches Zentrum des Kaiserreichs.“

(http://www.berlin.de/berlin-im-ueberblick/geschichte/kaiserliche_hauptstadt.de.html)

Aufgrund des rasanten Wachstums der Einwohnerzahlen, die 1877 erstmals die Millionengrenze überschritten, hatte Berlin mit verschiedenen Problemen im Nahverkehr zu kämpfen. Die Nähe von Arbeit und Wohnung ließ sich nicht mehr gewährleisten. Die zunehmende Wohnungsnot zwang viele ärmere Familien zum Abwandern in die Stadtrandgebiete. Dadurch erhöhte sich der tägliche Pendelverkehr, der damals nicht mehr nur aus Ausflugsfahrten bestand, sondern in zunehmendem Maße berufsbedingt war. Den ansässigen Unternehmen wurde schnell klar, dass ein wirtschaftliches Wachstum nur durch eine bessere Anbindung ihrer Arbeiter an die Betriebe erfolgen konnte.

1.2 Pläne für den Berliner Nahverkehr

Das Berliner Eisenbahnnetz bestand um 1870 aus „acht Hauptbahnlinien (...), die jeweils einen eigenen Kopfbahnhof am Rand oder außerhalb des Stadtgebietes besaßen. Zur Weiterfahrt von den anderen Bahnhöfen waren umständliche Droschkenfahrten durch die Stadt nötig.“ (http://de.wikipedia.org/wiki/Berliner_Stadtbahn) Die Schwierigkeit bestand darin, die vorhandenen Bahnhöfe so untereinander zu verbinden, dass ein Durchgangsverkehr in Berlin möglich wurde und das lokale Verkehrsnetz den Anforderungen entsprechend ausgebaut werden sollte. Mit dem Bau der sogenannten „Verbindungsbahn“ war im Dezember des Jahres 1850 begonnen worden. Sie verband die Bahnhöfe Stettiner Bahnhof, Hamburger und Lehrter Bahnhof, Potsdamer und Anhalter Bahnhof, Schöneberger Militärbahnhof, Görlitzer Bahnhof,

Ostbahnhof und den Schlesischen Bahnhof von Norden über Westen und den Süden entlang. (siehe Abb. 1)

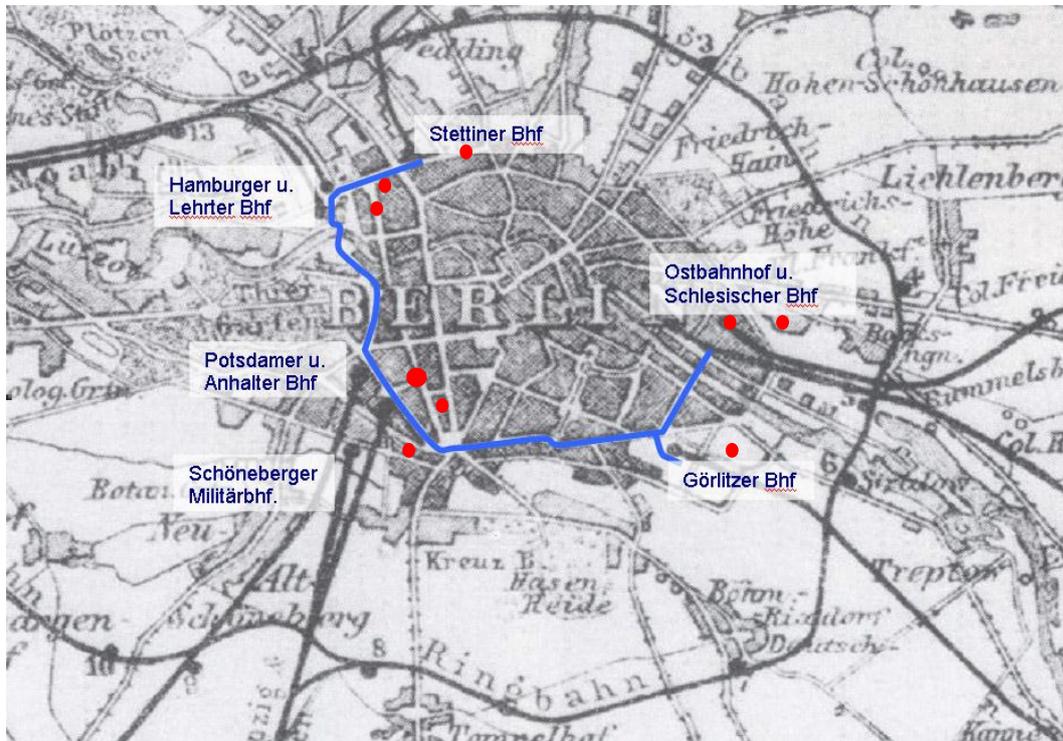


ABB. 1 - EINGEZEICHNETER VERLAUF DER VERBINDUNGSBAHN

Aufgrund der beengten Bauweise und kleinen Radien stieß die „Verbindungsbahn“ allerdings schnell an ihre Grenzen. Auch die Verunreinigung durch den Betrieb mit Dampflok traf bei der Bevölkerung auf große Missgunst. Nachteilig wirkte sich auch der Bau ebenerdig zur Straße aus, da lange Güterzüge den Verkehr zusätzlich erschwerten, anstatt ihn zu erleichtern.

Im Jahre 1866 wurde dann begonnen die Bahnstrecke weit außerhalb der Stadtgrenzen zu verlegen, vorwiegend auf unbebautes Gebiet. „Die neue Strecke sollte unabhängig vom Straßenverkehr (...) entweder in Damm- oder in Einschnittslage[n] trassiert werden. Es sollte (...) keine niveaugleichen Kreuzungen mit dem Straßenverkehr mehr geben [und] an allen Kreuzungspunkten entweder Straßen- oder Eisenbahnbrücken [gebaut werden].“

(http://de.wikipedia.org/wiki/Berliner_Verbindungsbahn#Betrieb_und_Ersatz_durch_die_Ringbahn)

Der Verlauf der sogenannten Ringbahn, der auch heute noch unter Berlinern als „Hundekopf“ bezeichnet wird, ist in Abb. 2 wiedergegeben.



ABB. 2 - DER BERLINER S-BAHNRING (ALS SCHWARZE LINIE GEZEICHNET)

Trotz der dadurch entstandenen Transportmöglichkeit um den damaligen Stadtkern herum mangelte es immer noch an einer innerstädtischen Verbindung der Kopfbahnhöfe. Die „Verbindungsbahn“ wurde aufgrund der oben genannten Schwierigkeiten 1871 eingestellt. Ein Ersatz mittels einer durch das Zentrum führenden „Stadtbahn“ stellte die Eisenbahngesellschaft vor eine große Herausforderung.

Das Stadtgebiet war zum Zeitpunkt der Fertigstellung der Ringbahn 1877 dicht bebaut und die Grundstückspreise dementsprechend hoch. Eine Terrainspekulation durch den Kauf angrenzender unbebauter Flächen und deren Wertsteigerung durch den Bahnanschluss sollte Abhilfe schaffen. Dennoch ging bereits 1878 die „Deutsche Eisenbahnbaugesellschaft“ als einer der Teilhaber der „Berliner Stadteisenbahngesellschaft“ bankrott und der Staat musste einschreiten, um den geplanten Bau nicht zu gefährden.

1.3 Verwirklichung der Stadtbahn durch Dirksen

Am 15. Juli 1878 übernahm Ernst August Dirksen die Leitung der „neu gegründeten Königlich-Direktion der Berliner Stadteisenbahn“ und begann damit Planungsgrundlagen geschaffen vom Geheimem Baurat Orth und dem Vorsitzenden der deutschen Eisenbahngesellschaft Ober-Regierungsrat Hartwich, in die Tat umzusetzen.

(http://de.wikipedia.org/wiki/Berliner_Stadtbahn)

Der Plan sah vor, ein Viadukt mit insgesamt 731 Wölbbögen zu bauen. Dies sollte eine Teilung der Stadt in zwei Hälften aufgrund der durchkreuzenden Stadtbahn verhindern. Beginn des Baus war bereits 1875, doch wegen der komplizierten Streckenführung gab es viele Diskussionen. Im Bereich zwischen den Haltestellen „Jannowitzbrücke“ und „Hackescher Markt“ wurde aus Kostengründen der alte Berliner Festungsgraben zugeschüttet (siehe Abb. 3), um günstig an Bauland zu kommen. Das erklärt dort auch den noch heute kurvigen Streckenverlauf. (http://de.wikipedia.org/wiki/Berliner_Stadtbahn)

Mit der Jungfernfahrt durch Kaiser Wilhelm I. wurde die „Stadtbahn“ am 06. Februar 1882 eröffnet und machte den Begriff „S-Bahn“ für innerstädtischen Stadtbahnverkehr in ganz Deutschland populär.

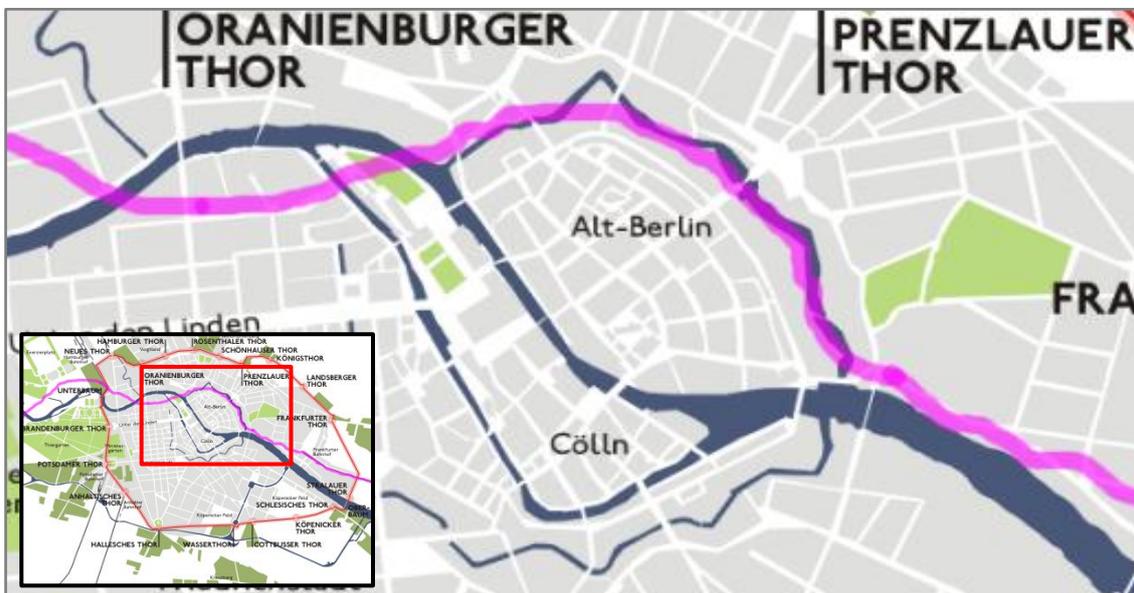


ABB. 3 - VERLAUF DER STADTBAHN ENTLANG DES FESTUNGSGRABENS

1.4 Entwicklung und Ausbau

Die Stadtbahn war von Anfang an viergleisig geplant worden: zwei Gleise für den Nahverkehr und zwei Gleise für den Fernverkehr. Doch die Dampflokomotiven waren den Einwohnern immer noch ein Dorn im Auge. Schon 1888, also sechs Jahre nach Fertigstellung, wurden von Siemens und der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft (später AEG) Pläne zur Elektrifizierung vorgelegt. Die endgültige Umsetzung konnte jedoch erst Jahre später erfolgen.

Trotz des Beschlusses zur Elektrifizierung im Jahre 1913 wurde der Baubeginn durch den 1. Weltkrieg verhindert. Erst 1918 begann dann durch einige Versuchsreihen der Weiterbau, bis schließlich 1929 der elektrische Betrieb nach Fahrplan freigegeben wurde. Zu diesem Zeitpunkt umfasste das gesamte elektrisch betriebene Netz schon 192 Kilometer.

Während des 2. Weltkrieges fuhr die S-Bahn auch bei Bombenangriffen unter Verdunkelung weiter, sie kam erst im April 1945 wegen der ausfallenden Stromversorgung zum Erliegen.

In den Nachkriegsjahren ging der Wiederaufbau der Schäden aus Demontagen und Luftangriffen nur langsam voran. Viele Triebwagen wurden als Reparaturzahlungen nach Osteuropa abgetreten. Die darauf folgende Teilung Berlins unter den Alliierten führte dazu, dass die S-Bahn unter die Direktion der DDR fiel. Die Auswirkung wurde vor allem beim Bau der Mauer 1961 deutlich, als das Westberliner S-Bahnnetz vom ostdeutschen getrennt wurde. Die Stadtbahn fuhr fortan nur noch bis zur Friedrichstraße. Sichtflächen trennten die gekappten Übergänge zusätzlich und in Westberlin wurde die S-Bahn als Teil des Kommunismus boykottiert, frei nach dem Motto: „Jeder Westberliner S-Bahn Fahrer bezahlt den Stacheldraht am Brandenburger Tor!“

(http://library.fes.de/FDGB-Lexikon/texte/sachteil/r/Reichsbahnstreik_in_Berlin_%281980%29.html)

Die mit der Wende wieder vereinigte S-Bahn krankte anfangs an den Nachwirkungen dieser Trennung. Im Westen vernachlässigt und veraltet war der ostdeutsche Teil bis an die Grenzen belastet worden. Dies zwang die Deutsche Bahn AG als Mutterkonzern zu großen Investitionen. Zusätzlich zur Sanierung der Strecke wurden neue Triebwagen beschafft, um die im Durchschnitt 43 Jahre alten S-Bahn-Züge zu ersetzen. Dass dies nicht immer ohne Probleme passierte, haben die Nachrichten der Jahre 2009 und 2010 gezeigt, als die S-Bahn aufgrund von „herstellerbedingte[n] Fahrzeugmängel[n] und Managementfehler[n] im Unternehmen“ in eine Krise rutschte und zeitweise unter erheblichen Leistungseinschränkungen litt.

(http://www.s-bahn-berlin.de/unternehmen/firmenprofil/historie_teil3.htm)

Dennoch ist und bleibt die Strecke der Stadtbahn mit ihren Viaduktbögen und Brückentragwerken ein Novum der Ingenieurskunst im innerstädtischen Bau. Und wie es schon 1882 hieß, ist „dieser großartige Bau der Neuzeit schon jetzt für den Berliner ein nützliches und angenehmes Verkehrsmittel, für den Fremden eine der hervorragendsten Sehenswürdigkeiten der [Hauptstadt]“ (<http://www.berlinstreet.de/1439>)

Bearbeitung der Aufgabenstellung

2 Erläuterung der Aufgabe und Abgrenzung

2.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen der brandschutztechnischen Betrachtung sämtlicher Viaduktbögen und Brückentragwerke der DB Netz AG in Berlin erweist es sich als erforderlich eine Checkliste zu erstellen, die bei der Brandlastberechnung zugrunde gelegt werden soll. Ziel ist es, nur so viel Brandlasten in den S-Bahnbögen zuzulassen, dass die Gefahr eines langfristigen Betriebsausfalls aufgrund aufwendiger Sanierungen des Tragwerks nach einem Brandereignis ausgeschlossen werden kann.

Dieses Thema wird in engem Zusammenwirken mit der DB Services Immobilien GmbH erarbeitet, da im Ergebnis der Arbeit eine in der Praxis anzuwendende Übersicht entstehen soll, mit der die Mitarbeiter der DB Netz AG vor Ort eigenständig die Brandlast eines Raumes bestimmen können.

Als Grundlage hierfür soll der Brand an sich näher betrachtet werden und welchen Einfluss der Heizwert eines Stoffes auf die Brandlast besitzt. Danach wird auf Grundlage der DIN 18230 „Baulicher Brandschutz im Industriebau“ und in Anlehnung an die TGL 10685 „Bau-technischer Brandschutz“ eine Checkliste erarbeitet. Es werden Beispiele der Anwendung aufgezeigt und Empfehlungen zur Handhabung gegeben. Ferner ist der Feuerwiderstand der Viaduktbögen zu untersuchen und der Bezug zur zulässigen Brandlast herzustellen.

2.2 Abgrenzung des Themas

In dieser Arbeit wird nicht auf Versuche zur Ermittlung von Heizwerten eingegangen. Es werden keine Untersuchungen zu Abbrandraten gemacht und kein Versuchsbrand in einem der Bögen vorgenommen. Es werden weiterhin keine Sanierungsvorschläge nach einem Brandfall angegeben und kein Bezug zum Einfluss eines Brandes auf den Bahnverkehr genommen. Es sind auch keine Handlungsempfehlungen für den abwehrenden Brandschutz durch die Feuerwehr enthalten.

3 Grundlagen zum Brand

3.1 Brand in der Natur und in der Norm

Als Brand versteht man ein nicht bestimmungsgemäßes Brennen, also kein Kamin- oder Kerzenfeuer, sondern ein ungewolltes Brennen, das zum Schaden führt. Hierbei werden Licht und Wärme an die Umgebung abgegeben. („Handbuch Brandschutzatlas“, Mayr/Battran) Damit es überhaupt zum Brand kommt, müssen gewisse Vorbedingungen geschaffen werden.

Die Voraussetzung für die Entstehung eines Brandes sind im sogenannten „Feuerdreieck“ dargestellt (siehe Abb. 4)

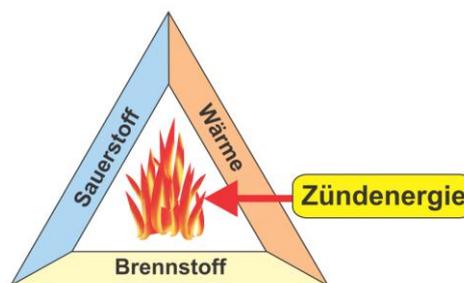


ABB. 4 - FEUERDREIECK

Um ein Feuer überhaupt möglich zu ermöglichen muss genügend Brennstoff in einer zündfähigen Zusammensetzung vorhanden sein. Der für die Verbrennung nötige Sauerstoff muss in ausreichendem Maße den Brennstoff erreichen können und schließlich durch eine Wärmezufuhr die zur Entzündung benötigte Energie eingebracht werden. Sind diese Voraussetzungen gegeben, kann ein Brand entstehen.

Der in der Natur vorkommende Brand lässt sich in seinem Verhalten nur schwer in Gesetzmäßigkeiten fassen. Durch die hohe Anzahl an Variationen der Brandentwicklung, des Temperaturganges und der Randbedingungen, wie Ventilation, existiert keine einheitliche Kurve für den Brandverlauf. Die DIN 4102 Teil 2 gibt deswegen eine Einheits-Temperatur-Zeit-Kurve (siehe Abb. 5), kurz ETK vor, die als Grundlage für alle den Brand betreffenden Schutzmaßnahmen dient. Vorteil dieses Verfahrens ist, dass „keine besonderen Kenntnisse erforderlich sind, um den baulichen Brandschutz bei der Planung zu berücksichtigen“ („Der Ingenieurbau – Grundwissen Band 7“, Mehlhorn):

- der Verlauf des Brandes ist durch die ETK gegeben
- die in der Kurve anzusetzende Einwirkungsdauer ergibt sich aus den Bauteilanforderungen (z.B. F60 – 60 min Dauer)
- dadurch lassen sich die thermischen Einwirkungen (Raumtemperatur) ablesen
- im Versuch werden dann die Bauteile im Brandverhalten getestet und nach DIN 4102 Teil 1 in Feuerwiderstandsklassen eingeteilt
- die Baustoffe erhalten dann einen Verwendbarkeitsnachweis oder sind nach DIN 4102 Teil 4 schon einer Feuerwiderstandsklasse zugeordnet

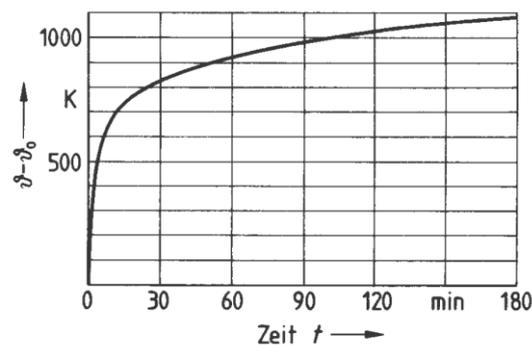


ABB. 5 - EINHEITSTEMPERATURZEITKURVE NACH DIN 4102 TEIL 2

Nachteilig wirken sich hier die nicht betrachteten physikalischen Bedingungen vor Ort aus. Eine Überprüfung der Brandbelastung („Brennstoff“) und der Ventilationsverhältnisse („Sauerstoff“) findet nicht statt, obwohl ihr Einfluss auf den Brand alles andere als gering zu werten ist. Schwierig wird es auch vor allem im Altbau bei der brandschutztechnischen Sanierung, wenn die Bausubstanz vor Ort die Bauteilanforderungen nicht mehr erfüllt und eine Umrüstung unmöglich ist. Die dann nach Vorschrift nötige „Erleichterung“ der Anforderungen ist eine reine Ermessensfrage der Bauaufsichtsbehörde.

3.2 Brandlast und Heizwerte

3.2.1 Definition von Brandlast

Die Brandlast wird nach DIN EN ISO 13943:2000-10 als „Summe der Wärmeenergie, die bei der Verbrennung aller brennbaren Stoffe in einem Gebäudebereich einschließlich der Bekleidungen von Wänden, Decken und Fußboden sowie aller brennbaren Gebäudeinhalte wie z.B. Arbeitsmittel frei werden könnte“ definiert.

Diese Definition wird vor allem im vorbeugenden Brandschutz wichtig, wenn brandlastfreie Bereiche zu schaffen sind. Für die Beurteilung der Brandlast relevant sind nicht nur die ungeschützten sondern auch die geschützten Brandlasten, die während des Brandereignisses frei werden können. Der Schutz aus Behälterlagerung oder Verkleidung kann durch die äußeren Einwirkungen aufgehoben werden und dadurch zusätzliche Brandlasten entstehen lassen.

3.2.2 Spezifische Brandlasten und Mittelwerte

Bei der Brandschutzbegehung vor Ort gibt es generell zwei Möglichkeiten die vorhandenen Brandlasten zu benennen. Die aufwendigere Methode, aber zugleich die genauere ist eine Bestimmung der spezifischen Brandlasten. Dafür werden für jeden brennbaren Stoff im Bereich ein Heizwert und die dazugehörige Mengenangabe erfasst. Das Produkt aus den beiden ergibt dann die im Brandfall freiwerdende Wärmemenge. Diese Wärmemenge der einzelnen Stoffe wird dann durch die Grundfläche des Bereiches geteilt und man erhält eine durchschnittliche Brandlastdichte des Raumes (siehe Tab. 1).

TAB. 1 - BRANDLASTERMITTLUNG MIT SPEZIFISCHEN HEIZWERTEN

Stoff / Material	Heizwert	Mengeneinheit	Vorgefundene Menge	Resultierende Wärmemenge
Aktenschrank	325,7	kWh/St	4 Stück	1302,8 kWh
Baumwolle	4,8	kWh/kg	50 kg	240 kWh
Ethanol	5,9	kWh/l	20 Liter	11,8 kWh
Motorenöl	11,6	kWh/kg	100 kg	1160 kWh
Rasierwasser	7,0	kWh/kg	10 kg	70 kWh
			Summe	2784,6 kWh
			Grundfläche	100 m ²
			Brandlastdichte	27,8 kWh/m²

Die zweite Möglichkeit ist die Einordnung des untersuchten Bereiches in einen vorhandenen Mittelwert für die jeweilige Nutzung. Diese Werte stammen aus vorangegangenen Untersuchungen zu spezifischen Brandlasten und wurden statistisch ausgewertet um einen Durchschnittswert zu finden. Die dabei entstandenen Mittelwerte geben den für die vorgefundene Verwendung anzutreffenden 90 % - Quantilwert wieder. Das heißt, in 90 % der Räume mit dieser Nutzung ist diese Brandlastdichte dort vorhanden. Solche Werte findet man vor allem

bei Feuerversicherungen, die damit ihre Prämienhöhen bestimmen (siehe Tab. 2). Aber auch in den Normen, bspw. in der DIN EN 1991-1-2 NA sind Angaben zu nutzungsbedingten Brandlasten gemacht worden (siehe Tab. 3).

TAB. 2 - AUSZUG DER FLÄCHENBEZOGENEN BRANDLASTDICHTEN DER „VKF“

Nutzung	Immobil kWh/m²	Mobil kWh/m²	Gesamt kWh/m²
Ausstellung	69,5	138,9	208,4
Büros	55,6	166,7 – 222,2	222,2 – 277,8
Geschlossene Parkhäuser	27,8 – 55,6	83,3 – 166,7	111,1 – 222,2
Verkaufsgeschäfte	111,1	111,1	222,2
Lager	13,9 – 83,3	166,7 – 13890	180,6 – 13973,3

TAB. 3 - AUSZUG DER BRANDLASTDICHTEN AUS DIN EN 1991-1-2 NA, TAB. BB.1

Nutzungsbedingte Brandlast	Mittelwert kWh/m²	Standardabweichung kWh/m²	90%-Quantil kWh/m²
Wohngebäude	216,7	65,0	301,4
Bürogebäude	116,7	35,0	162,2
Bibliothek, Bücherei	416,7	125,0	579,8
Verkaufsstätte, Einkaufszentrum	166,7	50,0	232,0

Vor allem in Tab. 2 wird deutlich, dass keine eindeutige Angabe möglich ist, wenn man versucht flächenbezogene Brandlastdichten für bestimmte Nutzungen anzugeben. Es gibt durchaus repräsentative Mittelwerte und man kann diese ggf. als Überschlag oder Vorabschätzung nutzen. Es wird aber davon abgeraten diese Werte ohne eine weitere Überprüfung als vorhanden zu setzen, da die Abweichungen durchaus immens sein können. In Tab. 3 in der dritten Spalte sind Standardabweichungen aufgeführt, die im Schnitt ca. 30% des Mittelwertes ausmachen. Daher wird auch empfohlen bei der Variante der spezifisch ermittelten Brandlasten den Wert am Ende um 25% zu erhöhen, um auf der sicheren Seite zu liegen.

Im Regelfall sollte bei der Verwendung von Pauschalwerten der 90 % - Quantilwert genutzt werden. Das Problem dabei ist allerdings der Mangel an ausgewerteten Ergebnissen für unterschiedliche Nutzungen. Die Variation bei Verkaufsstätten bspw. kann vom Juwelier über Kaffeespezialitäten bis hin zu Textilfachgeschäften reichen und dementsprechend ein breites Spektrum an vorhandenen Brandlasten bieten. Da diese sich mehr oder weniger dem Quantilwert von oben oder unten annähern, ist es irgendwann unumgänglich konkrete Brandlastdichten zu ermitteln.

3.2.3 Einfluss von Heizwerten

Das Ermitteln spezifischer Brandlasten erfolgt zwangsweise über die Heizwerte von Stoffen und Materialien. Ziel ist es den vorhandenen Einrichtungen und Einbauten möglichst konkret einen Heizwert zuzuordnen. Es kommt aber öfters vor, dass man vor Ort keine genaue Bestimmung vornehmen kann. Bei Schränken entscheiden oftmals die exakten Abmaße darüber, welche Wärmemenge bei der Verbrennung frei wird. Es ist jedoch viel zu umständlich für jede Art von Schrank einen eigenen Heizwert zu ermitteln und eine Übertragung der Schrankmasse in Holzvolumen ist nur bedingt tauglich, da es keinerlei Betrachtung über den zeitlichen Ablauf der Wärmefreisetzung bietet.

Vielfach wird deswegen auf die Grundlagen des DDR-Rechts zurückgegriffen. Dort herrschte „für den Anwendungsbereich der Brandlastberechnungen und die dafür zu verwendenden Grundlagen Rechtsverbindlichkeit“ („Bautechnischer Brandschutz“, Beilicke). Die Menge an laborgeprüften Heizwerten aus der Zeit ist viel größer als die Vorgaben der DIN 18230 Teil 3 enthalten. Viele Systemmöbel und Standardprodukte wurden damals auf ihren Heizwert hin untersucht. Daher basiert auch ein großer Teil der in dieser Arbeit verwendeten Werte auf den Grundlagen der TGL 10685. Sie lassen in den meisten Fällen Analogieschlüsse zu und geben damit einen repräsentativen Wert wieder.

Ein zweites Problem der Anwendung mit konkreten Heizwerten ist die direkte Bestimmung des vorgefundenen Stoffes. Im Textilfachgeschäft mag es noch möglich sein bei den Pullovern und Hosen nach Baumwolle und Seide zu unterscheiden, steht man aber in einem Geschäft für Nähzubehör wird die Zuordnung des Materials schnell komplex. Meist kann der Betreiber vor Ort durch seine Sachkunde noch Aufschluss geben. Sollte dies aber einmal nicht möglich sein liegt es im eigenen Ermessen abzuwägen.

Sollte der Fall eintreten, dass man weder das Problem fehlender Heizwerte noch das Problem der materiellen Zuordnung hat, kann es durchaus schwierig sein die konkrete Menge, auf die

sich der Wert bezieht, festzustellen. Ein Heizwert für Textilien in kWh pro kg ist nur soweit nützlich, wie man die Masse auch wirklich bestimmen kann. Aus praktischen Gründen wird bei einer Brandschutzbegehung zur Brandlastbestimmung aber nicht jedes Laborinstrument mitgebracht. So kann es bei der Feststellung vor allem von kg-Werten wortwörtlich schwer werden eine exakte Menge anzugeben. Für Abb. 6 bspw. kann man direkt einen Heizwert zuordnen. Dieser liegt für Textilien im Mittel bei 5,8 kWh/kg. Allerdings wird es selbst für ein geschultes Auge schwer hieraus eine annähernd exakte Menge zu erfassen. Deswegen gilt i.A. der Grundsatz eher zur sicheren Seite abzuschätzen und stichprobenartig die Plausibilität der Werte zu überprüfen.



ABB. 6 - VERKAUFSTISCH IM TEXTILFACHGESCHÄFT

4 Brandlastberechnung nach Norm

Bei der Bestimmung von Brandlasten sind die Vorgaben der DIN 18230 „Brandschutz im Industriebau“ bestimmend. In keiner anderen Norm werden so detaillierte Anforderungen an die Brandlastermittlung gestellt. Ergänzend hierzu wurde die TGL 10685/02 „Bautechnischer Brandschutz – Brandlast, Brandlaststufen“ herangezogen. Vor- und Nachteile beider Normen werden in Kapitel 4.3 im Vergleich vertiefend behandelt.

4.1 Ansatz der TGL 10685/2 von 1982

4.1.1 Zielsetzung der Brandlastermittlung

Das Ziel der Berechnung der Brandlast ist die Bestimmung der thermischen Belastung der Konstruktion. Daraus werden dann weitere Schutzmaßnahmen abgeleitet. Zusätzlich dazu ist die Höhe der Brandlast ausschlaggebend für die Ableitung sinnvoller Brandabschnitte. Dadurch soll die Brandausbreitung risikogerecht minimiert werden. Die Brandlast „stellt also innerhalb des Systems des bautechnischen Brandschutzes eine sehr wichtige Hilfsgröße dar“ („Bautechnischer Brandschutz“, Beilicke).

Die aus der Brandlast abgeleitete Brandlaststufe (kurz BS, siehe Tab. 4) bildete in der TGL die Grundlage zur Bestimmung der Feuerwiderstandsdauer (TGL 10685/07), der zulässigen Brandabschnittsgröße (TGL 10685/08), des Löschwasserbedarfs (TGL 10685/05) und der Rauch- und Hitzeableitung (TGL 10685/09).

TAB. 4 - AUS TGL 10685/02, TAB. 4

Brandlast q_m in MJ/m²	Brandlaststufe
bis 300	BS 300
über 300 bis 500	BS 500
über 500 bis 1000	BS 1000
über 1000 bis 2000	BS 2000
über 2000	BS 3000

4.1.2 Berechnung der Brandlast

Die Gleichung zur Berechnung der Brandlast lautet wie folgt:

$$q_j = q_{jT} + q_{jB} \quad \text{in MJ/m}^2 \quad \text{Gleichung 1}$$

Hierbei bildet q_j die gesamte Brandlast des betrachteten Raumes und q_{jT} und q_{jB} jeweils die Teilsummen aus Technologie und Ausstattung sowie aus Baukonstruktion und bautechnischer Gebäudeausrüstung im Raum.

$$q_{jT} = \frac{v_j \cdot \sum_{i=1}^n (a_i \cdot M_i \cdot Q_i)}{A_{Rj}} \quad \text{in MJ/m}^2 \quad \text{Gleichung 2}$$

$$q_{jB} = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i \cdot Q_i)}{A_{Rj}} \quad \text{in MJ/m}^2 \quad \text{Gleichung 3}$$

q_{jT}	Brandlast des betrachteten Raumes j aus Technologie und Ausstattung
q_{jB}	Brandlast des betrachteten Raumes j aus Baukonstruktion und bautechnischer Gebäudeausrüstung
v_j	Verteilungsfaktor nach TGL 10685/02, Tab. 3
a_i	Faktor für den anzurechnenden Teil des Masse des brennbaren Stoffes i nach TGL 10685/02, Tab. 2
M_i	Masse des brennbaren Stoffes i in kg
Q_i	Heizwert des brennbaren Stoffes i in MJ/kg
A_{Rj}	Nettofläche des betrachteten Raumes j in m ²

Aus den Brandlasten der einzelnen Räume wird eine gesamte Brandlast für den Brandabschnitt gebildet:

$$q_m = \frac{\sum_{j=1}^n (q_j \cdot A_{Rj})}{\sum_{j=1}^n A_{Rj}} \quad \text{in MJ/m}^2 \quad \text{Gleichung 4}$$

Am Ende ist die im Brandabschnitt festgestellte Brandlast nach Tab. 4 (siehe S. 20) in die jeweilige Brandlaststufe einzuordnen. Sollte die ermittelte Brandlast eine Stufe nur um 20% überschreiten, kann unter der Bedingung der Ausbildung von Brandsektionen für Teilbereiche mit höheren Brandlasten, der Brandabschnitt in die überschrittene Brandlaststufe eingeordnet werden.

4.1.3 Anrechenbare und nicht anrechenbare Brandlasten

Für die Bestimmung der Brandlast sind die vor Ort gefundenen brennbaren Stoffe und Materialien zugrunde zu legen. Es gibt aber Ausnahmen in Technologie und Ausstattung, wo aufgrund der Beschaffenheit oder Lagerung die Stoffe unberücksichtigt bleiben.

Während Lagergüter, brennbare Medien, die im Havariefall austreten können und Möbel, Gardinen und Dekorationen mitsamt des Inhalts zu berücksichtigen sind, bleiben z.B. brenn-

bare Lagergüter innerhalb von Silobauten und Obst, Gemüse, Fleisch und Fisch in frischem Zustand unberücksichtigt.

In den Silos wird dabei von verschlechterten Gasaustauschbedingungen und erschwertem Sauerstoffzugang ausgegangen. Stoffe in feuchtem oder nassem Zustand und Stoffe mit zu geringem Heizwert ($< 8,5 \text{ MJ/kg} = 2,4 \text{ kWh/kg}$) bleiben generell unberücksichtigt. Ihr Einfluss ist als sehr gering einzustufen, da die zur Entzündung notwendige Wärmeenergie meist größer als die freiwerdende ist.

Bei der Ermittlung der bautechnischen Brandlasten müssen allerdings die Konstruktionen berücksichtigt werden, welche im Brandfall auf das Haupttragwerk einwirken. Das beinhaltet „z.B. Trennwände, Unterdecken, Fußböden mit Hohlräumen, Wand- und Deckenbekleidungen, Türen und Fenster in Trennwänden, bautechnische Gebäudeausrüstung einschließlich der Rohrleitungen und deren Dämmstoffe“ (TGL 10685/02, S.2, Punkt 3.3). Brennbare Stoffe außerhalb von Gebäuden, sogenannte Freianlagen, und Bauteile, die ihre Verbrennungswärme ins Freie abgeben (z.B. Außenfenster, -türen) bleiben aber weiterhin unberücksichtigt. Hier hat die im Brandfall entstehende Wärme nicht den geforderten Einfluss auf die Haupttragkonstruktion.

4.1.4 Einfluss der Teilfaktoren

Mit dem Verteilungsfaktor v_j und dem Anteil anzurechnender Masse a_i soll der Einfluss der Streuung der Brandlast aus Ausstattung über die Fläche und der Auflockerungsgrad des Stoffes berücksichtigt werden.

Der Verteilungsfaktor steigt bei gleicher Brandlast mit zunehmender Fläche. Es wird davon ausgegangen, dass diese technologische Brandlast punktuell konzentriert auftritt und der Wert durch die große Fläche verfälscht wird. Eine Erhöhung bringt hier ein zusätzliches Maß an Sicherheit.

Beim Anteil anzurechnender Massen bestimmt der Zustand des Stoffes den Faktor. Durch dichte Lagerung oder Lagerung in Behältern wird a_i kleiner und damit die Brandlast abgemindert. Der Stoff nimmt dabei nur noch in gewissem Maß am Brand teil oder seine Verbrennung wird stark verzögert und der Einfluss auf die zu erwartende Temperatur damit geringer.

Im Gesamtwert der technologischen Brandlast q_{jT} sind diese Teilfaktoren nicht mehr sichtbar. Ob der Wert hauptsächlich über die Menge an brennbaren Material, dem Heizwert, dem Verteilungsfaktor oder der anzurechnenden Masse entstanden ist, lässt sich so nicht mehr nach-

vollziehen. Ohne Kenntnis der Ursprungsrechnung kann es daher schwer werden geeignete Schutzmaßnahmen abzuleiten („Bautechnischer Brandschutz“, Beilicke). Als Beispiel sind in Tab. 5 verschiedene Varianten der ermittelten Werte mit am Ende gleicher Brandlast als Ergebnis dargestellt.

TAB. 5 - VARIATIONSMÖGLICHKEITEN FÜR DIE BRANDLASTBERECHNUNG

Masse (M_i) in kg	Heizwert (Q_i) in MJ/kg	Faktor für den Anteil anzu- rechnender Masse (a_i)	q_{jT} in MJ/m²
400	10,00	0,25	1000
110	22,28	0,45	1000
50	30,77	0,65	1000
25	40,00	1,00	1000

Je nach Ausgangslage kann es zu unterschiedlichen Brandausbreitungen oder Temperaturanstiegen kommen wobei hier der Verteilungsfaktor als risikoe erhöhende Komponente noch nicht eingerechnet wurde.

4.2 Ansatz der DIN 18230-1 von 2010

4.2.1 Ziel der Norm

„Ziel dieser Norm ist die Bereitstellung von Daten für eine einheitliche brandschutztechnische Bemessung von Industriebauten mit festlegbarer Brandbelastung in Bezug auf die Standsicherheit im Brandfall. Aspekte der Brandentstehung sind nicht Gegenstand dieser Norm.“ (DIN 18230-1, Vorwort)

In der DIN 18230-1 wird zur Erreichung dieses Zieles eine erforderliche Feuerwiderstandsdauer t_F bestimmt. Dadurch soll ein Versagen der Tragstruktur vermieden und ein Löschangriff im Inneren des Gebäudes ermöglicht werden. Grundlage dafür bildet der in der DIN 4102-2 definierte Normbrand als Beanspruchung. Durch zusätzliche Faktoren und Beiwerte werden dann in den Brandbekämpfungsabschnitten (kurz BBA) die erforderlichen Feuerwiderstandsdauern ermittelt. Die zur Ermittlung nötigen Brandlasten sind vor Ort nach Größe und Anordnung zu bestimmen. Eine Änderung der Brandbelastung, der Brandschutzinfrastruktur oder der für die Beiwerte wichtigen betrieblichen Maßnahmen sind baugenehmigungspflichtig.

4.2.2 Rechengang zur Ermittlung der t_F

Die erforderliche Feuerwiderstandsdauer der Konstruktion ergibt sich aus dem Produkt der äquivalenten Branddauer, dem Sicherheitsbeiwert γ und dem Zusatzbeiwert α_L (siehe Gleichung 5).

$$\text{erf } t_F = t_{\ddot{a}} * \gamma * \alpha_L \quad \text{in min} \quad \text{Gleichung 5}$$

$t_{\ddot{a}}$	Zeit in Minuten, bei der näherungsweise dieselbe Wirkung beim Schadenfeuer wie beim Normbrand erreicht wird
γ	Sicherheitsbeiwert, erfasst die mit zunehmender Fläche erhöhte Versagens- und Eintrittswahrscheinlichkeit von Bränden
α_L	Zusatzbeiwert, der den Einfluss aus brandschutztechnischer Infrastruktur berücksichtigt

Die aus den drei Faktoren ermittelte Dauer bildet die Grundlage für die Ausbildung der Schutzmaßnahmen. Mit dem Ergebnis F0, F30, F60, oder F90 lassen sich entsprechend der DIN 4102 die konstruktionstechnischen Tragstrukturen ausbilden. Eine F120 oder höher wird durch die Muster-Industriebau-Richtlinie ausgeschlossen. Die Anforderungen an die Konstruktion würden zu immens sein und rechtfertigen den Aufwand dafür nicht.

Mit der Einführung der Sicherheits- und Zusatzbeiwerte in die Berechnung sollen die speziellen im Industriebau vorzufindenden Effekte erfasst werden. Durch das γ wird ein statistischer Anstieg der Eintrittswahrscheinlichkeit von Bränden behandelt. Dabei wird davon ausgegangen, dass mit zunehmender Fläche und Geschossigkeit ein Entstehungsfeuer zu einem Schadensfeuer wird. Zusätzlich dazu werden an die einzelnen Konstruktionsteile gemäß ihrer Brandsicherheitsklasse (SK_b1 , SK_b2 , SK_b3) erhöhte Anforderungen gestellt. Diese Brandsicherheitsklassen stammen aus der Muster-Industriebau-Richtlinie und beurteilen die Bauteile nach ihrer Wertigkeit zum Erhalt der Standfestigkeit des Gebäudes.

In der SK_b1 werden Bauteile des Dachtragwerkes zusammengefasst, bei denen davon ausgegangen wird, dass ihr Versagen „nicht zum Einsturz der übrigen Dachkonstruktion des Brandbekämpfungsabschnitts führt“ (MIndBauRI).

Bei der SK_b2 sind es:

- Bauteile, deren Versagen nicht zum Einsturz der tragenden Konstruktion oder der Konstruktion des Brandbekämpfungsabschnittes führen
- Bauteile der Dachkonstruktion, deren Versagen nicht zum Einsturz der übrigen Dachkonstruktion des Brandbekämpfungsabschnittes führen kann
- Durchführungen in trennenden Bauteilen mit geforderter Feuerwiderstandsklasse (z.B. Schottungen, Lüftungsleitungen, Installationsschächte)

Und in der SK_b3 werden gemäß ihrer Bedeutung die höchsten Anforderungen an die nachfolgenden Bauteile gestellt:

- Wände und Decken, die Brandbekämpfungsabschnitte trennen
- tragende und aussteifende Bauteile, deren Versagen zum Einsturz der tragenden Konstruktion oder der Konstruktion des BBA führt
- Durchführungen, die Brandbekämpfungsabschnitte überbrücken (z.B. Schottungen, Lüftungsleitungen, Installationsschächte)
- Stützkonstruktionen von Behältern mit geschützten Brandlasten

Je nachdem welche Bauteile betrachtet werden und welche Grundfläche dem Brandbekämpfungsabschnitt zugrunde gelegt wird, kann γ zwischen 0,50 und 1,60 variieren. Für die SK_b3 ist $\min \gamma = 1,0$. Der Beiwert bildet damit eine Risikosteigerung aufgrund dessen sich erhöhte Anforderung an die Feuerwiderstandsdauer der Konstruktion ergeben können.

Der Faktor α_L dagegen beurteilt zusätzliche Schutzmaßnahmen gegen die Ausbreitung von Schadensfeuern und deren Entstehung. Dabei wird berücksichtigt, ob sich eine Werkfeuerwehr vor Ort befindet, ob eine Brandmeldeanlage flächendeckend eingebaut wurde und ob eine Löschanlage installiert ist. Je nachdem wie diese einzelnen Komponenten gestaltet sind, ergibt sich daraus ein mehr oder weniger großer Wert für α_L (siehe Tab. 6).

Tab. 6 - DIN 18230-1, Punkt 10.1, Tab.3

1			2	3	4	5
Werkfeuerwehr			flächen- deckende automa- tische Brand- melde- anlagen	flächen- deckende halbsta- tionäre Lösch- anlagen	flächen- deckende selbsttätige Feuerlösch- anlage	Gesamt- bewertung der Maß- nahmen α_L^a
Schichtstärke (Personen)	haupt- beruflich	neben- beruflich				
keine	1,0	1,0	0,90	1,0 ^b	0,60	Produkt der Spalten (1)· (2)· (3) oder (1)· (2) (4)
1 Staffel (6)	0,90	0,95	0,95	0,85		
1 Gruppe (9)	0,85	0,90				
2 Staffeln (12)	0,80	0,85				
3 Staffeln (18)	0,70	0,80				
4 Staffeln (24)	0,60	0,75				

^a Sofern zu den Spalten 1 bis 4 keine anrechenbaren Maßnahmen vorhanden sind, ist der Tabellenwert jeweils mit 1,0 anzusetzen.

^b 0,95 mit Zustimmung der zuständigen öffentlichen Feuerwehr.

ANMERKUNG Die Aufschaltung auf eine ständig besetzte Stelle (Brandmeldung) ist bei selbsttätigen Feuerlöschanlagen bereits im Zusatzbeiwert $\alpha_L = 0,6$ berücksichtigt, d. h., der zusätzliche Wert 0,90 bzw. 0,95 nach Tabelle 3, Spalte 2, bleibt in der Regel ohne Ansatz (Ausnahme siehe 10.3), sofern keine zusätzliche automatische Brandmeldeanlage verwendet wird.

Das Ergebnis ist dann ein abmindernder Faktor, der je nach Ausstattung zwischen 1,0 und 0,342 rangiert. Damit verringert α_L die Anforderungen an die Konstruktion und bildet eine Möglichkeit, den Brandschutz abseits rein konstruktiver Maßnahmen zu verbessern.

Die nächste Stufe beinhaltet dann die Bestimmung der äquivalenten Branddauer $t_{\ddot{a}}$. Sie wird aus dem Produkt der Brandlastdichte q_R , einen Umrechnungsfaktor c und dem Wärmeabzugsfaktor w berechnet (siehe Gleichung 6).

$$t_{\ddot{a}} = q_R * c * w \quad \text{in min} \quad \text{Gleichung 6}$$

- q_R im Brandfall durch die Brandlast freigesetzte Wärmemenge bezogen auf die Fläche
- c Umrechnungsfaktor, berücksichtigt den Wärmeabzug aus Umfassungsflächen
- w Wärmeabzugsfaktor, berücksichtigt Wirkung der Wärmeabzugsflächen auf die Temperatur

Ab diesem Rechenschritt halten die Brandlasten Einzug in die Bestimmung der Feuer-widerstandsdauer. Dabei wird Bezug auf die vorhandene Menge genommen und wie der Wärmefluss durch die Umfassungsbauteile beeinflusst wird.

Die Brandlastdichte q_R selbst berechnet sich aus der Summe der geschützten und ungeschützten Brandlasten (siehe Gleichung 7). Dabei wird eine rechnerische Mindestbrandlast von $q_R = 15 \text{ kWh/m}^2$ vorausgesetzt.

$$q_R = q_{R,u} + q_{R,g} \quad \text{in kWh/m}^2 \quad \text{Gleichung 7}$$

Zu den ungeschützten Brandlasten zählen „alle brennbaren Einrichtungen, Betriebs- und Lagerstoffe, Verpackungen sowie alle brennbaren Baustoffe von Bauteilen einschließlich Bekleidungen (Baustoffklasse B nach DIN 4102-1)“ (DIN 18230-1, Punkt 6.4.4).

Ausnahmen bei der Berücksichtigung finden bspw. Stoffe in wassernassem Zustand, durch nicht brennbare Stoffe umhüllte brennbare Bauteile, sofern der Schutz für die zu erwartende Einwirkungsdauer erhalten bleibt, und Kabel in nicht brennbaren Schaltschränken, wenn sie auf dem Boden aufstehen. Diese Aufzählung ist nicht vollständig und kann in der DIN 18230-1 unter Punkt 6.4.2 nachgelesen werden.

Für Brandlasten, welche durch Einrichtungsschutz- und Löschanlagen gesichert sind, gibt es auch Abschwächungen gemäß DIN 18230-1, Punkt 6.4.6 und 6.4.7, die hier aber nicht explizit erläutert werden.

Alle Brandlasten, welche nicht in den Bereich der Ausnahmen fallen, werden zusammengestellt und nach Gleichung 8 zu einer Gesamtlast ungeschützter Brandlasten addiert.

$$q_{R,u} = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i \cdot H_{ui} \cdot m_i)}{A_B} \quad \text{in kWh/m}^2 \quad \text{Gleichung 8}$$

$q_{R,u}$	Gesamtbrandlast ungeschützter Stoffe
M_i	Menge der ungeschützten Brandlast i
H_{ui}	Heizwert der ungeschützten Brandlast i
m_i	Abbrandfaktor der ungeschützten Brandlast i
A_B	Fläche des betrachteten Brandabschnittes

Die vor Ort gefundene Menge der Brandlast wird mit ihrem zugehörigen Heizwert und einem aus der DIN 18230-3 gegebenen Abbrandfaktor multipliziert. Das Produkt ist dann durch die Brandabschnittsfläche zu teilen, um einen flächenbezogenen Mittelwert zu bekommen.

Der Abbrandfaktor **m**, als dimensionsloser Beiwert, muss für jeden Stoff nach „Form, Verteilung, Lagerungsdichte und Feuchte“ (DIN 18230-1, Punkt 3.11) neu bestimmt werden. Die Art der Ermittlung ist nach DIN 18230-2 vorgegeben. Bereits ermittelte Werte sind in der DIN 18230-3 zusammengefasst. Der Abbrandfaktor ergibt in der Mehrheit der vorhandenen Versuchsergebnisse einen Wert $< 1,0$ und wirkt daher hauptsächlich abmindernd. Nur in wenigen Ausnahmen, vor allem bei schaumartigen Materialien und losem Papier, ist er $> 1,0$ und bewirkt dadurch eine erhöhte Energiefreisetzung und damit eine größere Brandlast.

Zu den geschützten Brandlasten zählen alle „brennbaren Stoffe in geschlossenen Systemen aus Stahl oder anderen im Brandverhalten vergleichbaren Werkstoffen“ (DIN 18230-1, Punkt 6.4.5). Sollten andere Behälterwerkstoffe zum Einsatz kommen, muss ihre Feuerwiderstandsdauer mindestens der ermittelten äquivalenten Branddauer entsprechen. Von dieser Definition ausgehend sind:

- brennbare Flüssigkeiten in Behältern mit $V \leq 450$ l ohne Druckentlastung
- Brandlasten in zerbrechlichen oder brennbaren Behältern oder Rohrleitungen

als ungeschützt zu betrachten.

Die Berechnung der als geschützt betrachteten Brandlasten erfolgt nach Gleichung 9.

$$q_{R,g} = \frac{\sum_{i=1}^n (\Psi_i * M_i * H_{ui} * m_i)}{A_B} \quad \text{in kWh/m}^2 \quad \text{Gleichung 9}$$

$q_{R,g}$	Gesamtbrandlast ungeschützter Stoffe
M_i	Menge der ungeschützten Brandlast i
H_{ui}	Heizwert der ungeschützten Brandlast i
m_i	Abbrandfaktor der ungeschützten Brandlast i
A_B	Fläche des betrachteten Brandabschnittes
Ψ_i	Kombinationsbeiwert der geschützten Brandlast i für das Zusammenwirken geschützter Brandlasten

Anders als in der Gleichung 8 für ungeschützte Brandlasten wurde hier ein zusätzlicher Wert Ψ eingeführt. Dieser wird für die ungünstigste geschützte Brandlast i.A. als $\Psi = 0,8$ festgesetzt und jede weitere geschützte Brandlast bekommt den Wert $\Psi = 0,55$. Dadurch wird die geringere Wahrscheinlichkeit verdeutlicht, dass Behälter zum Brandgeschehen beitragen. Der erhöhte Kombinationsbeiwert für Ψ ist in der Erfahrung begründet, dass „in der Regel der Brand nur von einem Behälter oder von der ungeschützten Brandlast ausgeht und auch primär im Regelfall nur ein Behälter am Brandgeschehen teilnimmt“ (DIN 18230-1, Anhang E, Punkt E.9)

Sollte die ungeschützte Brandlast $q_{R,U} \leq 45 \text{ kWh/m}^2$ sein und die vom Brand betroffenen geschützten Brandlasten einen Flammpunkt über 100°C aufweisen, so wird für die ungünstigste geschützte Brandlast $\Psi = 0,8$ angenommen und für alle weiteren $\Psi = 0$. Die Zündwahrscheinlichkeit in diesem Sonderfall wird als so gering betrachtet, dass eine Beteiligung am Brand nur durch Leckage erfolgen könnte. Daher reicht es aus nur für den größten Behälter ein Leck anzusetzen.

Weiterhin wird zur Ermittlung der äquivalenten Brandlast der Umrechnungsfaktor c benötigt. Dieser wird nach Tab. 7 gebildet.

TAB. 7 - UMRECHNUNGSFAKTOR C

c min · m ² /kWh	Einflussgruppe der Umfassungsbauteile ^a
0,15	I
0,20	II
0,25	III
^a Die Umfassungsbauteile werden entsprechend dem Wärmeabfluss im Brandfall wie folgt eingestuft: Einflussgruppe I: Bauteile bzw. Baustoffe mit großem Wärmeabfluss wie: Verglasungen, Aluminium, Stahl. Einflussgruppe II: Bauteile bzw. Baustoffe mit mittlerem Wärmeabfluss wie: Beton, Leichtbeton mit einer Rohdichte > 1 000 kg/m ³ , wie z. B. Kalksandstein, Bauteile mit Putz, Mauerziegel. Einflussgruppe III: Bauteile bzw. Baustoffe mit geringem Wärmeabfluss wie: Baustoffe mit einer Rohdichte ≤ 1 000 kg/m ³ , wie z. B. Faserdämmstoffe, Porenbeton, Holz, Holzwolle- Leichtbauplatten, Leichtbeton, Dämmputz, mehrschichtige Bauteile. Wenn die dämmende Wirkung der Umfassungsbauteile bei Brandeinwirkung (Vollbrand) durch Zerstörung verloren geht, darf $c = 0,15$ gesetzt werden.	

Dabei werden die Umfassungsflächen in die Einflussgruppen I bis III zusammengefasst und ein flächengewichtetes Mittel von c bestimmt. Dieses kann dann im Bereich $0,15 \leq c \leq 0,25$ variieren. Dadurch soll die abmindernde Wirkung der Umfassungsbauteile auf die Temperaturentwicklung im Brand berücksichtigt werden.

Als letzter Teilfaktor für die Ermittlung von $t_{\text{ä}}$ wird der Wärmeabzugsfaktor w berechnet. Hier wird der Einfluss von Öffnungen und deren Wirksamkeit im Brandgeschehen näher bestimmt. Dabei ist zu unterscheiden, ob sich die Öffnungen im vertikalen Wandbereich oder im horizontalen Deckenbereich befinden. Auch die Raumhöhe spielt hierbei eine Rolle. Dennoch gibt es Einschränkungen in der Anrechenbarkeit der Flächen. Vor allem die Feuerwiderstandsdauer und die Zerstörbarkeit während des Brandgeschehens haben Einfluss auf den Wert. Das betrifft hauptsächlich Öffnungen, welche durch Kunststoff oder Glas verschlossen wurden. Hier wird über die Dauer der Einwirkung festgelegt, ab wann die betrachtete Fläche als vollwertige Öffnung zählt. Bei Zweischeibenisoliervglas wird bspw. erst nach 30 Minuten Brandeinwirkung die volle Öffnungsfläche als Wärmeabzugsfläche anerkannt, da vorher nicht von einer thermischen Zerstörung ausgegangen werden kann. Detailliertere Angaben dazu sind in der DIN 18230-1, Punkt 8.2 zu finden. Die dazugehörigen Gleichungen zur Bestimmung der Wärmeabzugsflächen stehen unter Punkt 8.3.

Insgesamt kann der Wert von w zwischen 0,5 bis etwa 3,25 schwanken. Damit bewegt sich der Einfluss der Öffnungsflächen zwischen risikoerhöhend oder abmindernd und sollte in jedem Fall genau betrachtet werden.

4.3 Vergleich der Normen

Trotz der unterschiedlichen Entstehungsjahre gibt es zwischen den beiden Normen ähnliche Ansätze. Bei beiden wird der spezifische Heizwert als Grundlage zur konkreten Bestimmung von Brandlasten verwendet. Während diese bei der TGL in eine technische und eine konstruktionsbedingte Brandlast gegliedert wird, baut die DIN auf geschützten und ungeschützten Brandlasten auf. In beiden Normen sind dazu lagerungsbedingte Faktoren berücksichtigt und in beiden wird ein flächenbedingtes Risiko der Brandlastserhöhung einbezogen.

Anhand der vorgefundenen Brandlast ist dann nach TGL eine Brandlaststufe zur weiteren Arbeit festzulegen, durch die – ähnlich der Gebäudeklassen – anhand von sogenannten Brandgefahrenklassen Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer der Bauteile gestellt

werden. Die DIN hingegen belegt die ermittelte Brandlast mit zusätzlichen Beiwerten und errechnet direkt eine Feuerwiderstandsdauer für den Brandabschnitt.

Vorteile der DIN 18230 ggü. der TGL 10685:

- genauere Untersuchung der Randbedingungen
- ggf. wirtschaftlichere Lösung aufgrund detaillierterer Analysen
- größere Einflussnahme auf die Feuerwiderstandsdauer durch die Beiwerte möglich

Nachteile der DIN 18230 ggü. der TGL 10685:

- deutlich aufwendigere Rechnung, die abseits der vorgestellten Methode auch noch in einer umfangreicheren Variante möglich ist
- aufgrund des Mangels an Werten für den Abbrandfaktor m großer Versuchsaufwand bei speziellen Brandlasten
- kaum Vorgaben von Heizwerten ggü. der Fülle an Daten der TGL

Obwohl die Herangehensweisen in beiden Normen auf ähnlichen Grundlagen basieren, haben sich in den Jahren andere Rechnungsmethoden durchgesetzt. Auch dank neuerer Analysen und Versuchsaufbauten besitzt die DIN 18230 einen deutlicheren Bezug zur Konstruktion des Bauwerkes gefunden und bietet für die Brandlastermittlung ein größeres Potenzial für ökonomisches ingenieurmäßiges Arbeiten.

Deutlich ist aber auch der daraus resultierende erhöhte Anspruch an Versuchsreihen und Messwerten. Vor allem in der Differenzierung der Heizwerte und der Anzahl der bekannten Abbrandfaktoren muss zusätzlicher Forschungsaufwand betrieben werden.

5 Herangehensweise zur Erstellung der Checkliste

Das Ziel einer Checkliste ist eine grundlegende Erfassung der ihr zugrunde gelegten Daten und zwar so, dass auch ein Nichtfachmann diese verstehen kann. Sie soll alle wesentlichen Untersuchungspunkte enthalten, übersichtlich sein und die gesammelten Informationen qualifiziert zusammen führen. Anhand dieser Grundsätze werden, angepasst an die Brandlastermittlung, verschiedene Lösungsansätze erarbeitet.

5.1 Entwicklung der Gliederung und des Aufbaus

Im Ansatz der Entwicklung der Checkliste wurde ein Beispiel aus dem Buch „Bautechnischer Brandschutz“ von Prof. Dr.-Ing. Gert Beilicke zum Arbeiten mit der TGL 10685 genutzt. Dabei war ein tabellenartiger Aufbau vorgeschrieben, der die Brandlasten nach technischer und konstruktiver Herkunft unterteilte. Diese Tabelle wurde ergänzt durch die Werte für den „Anteil anzurechnender Masse“ und den „Verteilungsfaktor“ aus der TGL. Anhand dieser Zusammenstellung war dann raumweise alles an Brandlasten aufzunehmen (siehe Tab. 8). Für jeden Raum wurde eine Gesamtwärmefreisetzung errechnet (siehe Tab. 9). Diese musste am Ende über den Brandabschnitt gemittelt werden (siehe

Tab. 10).

TAB. 8 - BRANDLASTEN IM RAUM

Wert	Raum- bzw. Bereichsnummer (j)	Raum- bzw. Bereichsfläche ($A_{R;j}$)	Material- bzw. Stoffart	Heizwert (Q_i)	Anteil anzurechnender Masse (a_i)	Menge (M_i)
Berechnung	-	-	-	-	-	-
Mengeinheit	-	-	-	MJ / ME	-	ME
Spaltennummer	1	2	3	4	5	6
Erläuterung		auf Brandabschnitt aufsummiert				

Tab. 9 - Ermittelte Brandlastdichte des Raumes

Wert	$Q_i \cdot M_i$	$Q_i \cdot M_i \cdot a_i$	$(Q_i \cdot M_i \cdot a_i) / A_{R,j}$	Verteilungsfaktor (v_j)	$q_{j,T}$	$q_{j,B}$
Berechnung	Sp.4 * Sp.6	Sp.4 * Sp.5 * Sp.6	Sp.8 / Sp.2	-	Sp.9 * Sp.10	Sp.7 / Sp.2
Mengeinheit	MJ	MJ	MJ/m ²	-	MJ/m ²	MJ/m ²
Spaltennummer	7	8	9	10	11	12
Erläuterung	Raum- bzw. Bereichsweise aufsummieren	Raum- bzw. Bereichsweise aufsummieren	Berechnung 1x je Raum bzw. Bereich unter Verwendung der Summen aus Sp.7 und 8			
	aus Konstruktion	aus Rauminhalt				

TAB. 10 - BRANDLASTDICHTEN IM BRANDABSCHNITT

Wert	$q_j = q_{j,T} + q_{j,B}$	$q_j \cdot A_{R,j}$	q_m
Berechnung	Sp.11 + Sp.12	Sp.13 * Sp.2	Sp.14 / Sp.2
Mengeinheit	MJ/m ²	MJ	MJ/m ²
Spaltennummer	13	14	15
Erläuterung	Berechnung 1x je Raum bzw. Bereich unter Verwendung der Summen aus Sp.7 und 8		Berechnung 1x je Brandabschnitt unter Verwendung der Summen aus Sp.2 und 14
	auf Brandabschnitt aufsummiert		

Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass man vor Ort nicht groß differenzieren muss, welche Art von Brandlast vorliegt. Eine detaillierte Auflistung der vorgefundenen Materialien reicht vollkommen aus und jegliche weiterführende Rechnung kann dann im Büro vorgenommen werden.

Der hier genannte Vorteil ist aber auch gleichzeitig der größte Nachteil dieser Brandlastermittlung. Jeder einzelne brennbare Stoff muss schriftlich in Art, Menge und vorliegender Lagerungsart erfasst werden. Der Schreibaufwand ist hier natürlich enorm. Dazu kommt noch, dass man erst im Nachhinein den Heizwert kompliziert aus einer Heizwerttabelle ermitteln muss. Nicht immer ist dann die vor Ort gefundene Brandlast auch unter dem gleichen Begriff oder in der notierten Lagerungsart aufgelistet. Das macht das Arbeiten unnötig aufwendig und stellt nicht den Sinn einer Checkliste dar.

Auf Grundlage dieser Erkenntnis wurde vorerst angestrebt eine bessere Übersicht über vorhandene Heizwerte zu gewinnen. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass eine Zuordnung zu den vorgefundenen Brandlasten leichter erfolgen kann. Als sehr umfangreiche Quelle hat sich hier weiterhin das Buch „Baulicher Brandschutz“ von Prof. Dr.-Ing. Beilicke herausgestellt. Seine Sammlung zu Heizwerten und Brandlasten ist auch heute noch eine, wenn nicht sogar die umfassendste deutschsprachige Zusammenstellung vorhandener Werte. Die meisten anderen gefundenen Buchquellen beziehen sich weitestgehend auf dieses Werk und ergeben kaum neue Versuchsergebnisse.

Vereinzelt konnten auch Werte aus der DIN 18230-3 übernommen werden. Auch im dazugehörigen Beuth-Kommentar sind einige enthalten. Beide Quellen sind aber nicht erschöpfend und geben nur grob stoffliche Gruppierungen vor, so dass allerhöchstens Analogieschlüsse möglich sind.

Als vergleichende Quelle wurde auch das „SFPE Handbook of Fire Protection Engineering“ genutzt. Das vor allem in den USA prominente Buch der National Fire Protection Association (kurz NFPA) enthält viele Heizwerte für Materialien und Stoffe. Es listet aber vor allem Werte für eine Vielzahl von chemischen Substanzen und Zusammensetzungen auf. Dadurch lassen sich Brandlasten aus Kunststoffen besser erfassen. Viele dieser Heizwerte wurden im Buch von Prof. Beilicke bereits erwähnt, daher ist das „SFPE Handbook“ nur als Vergleich zur Bestätigung bekannter Brandlastwerte herangezogen worden.

Ergänzend zu dieser angehenden Liste der spezifischen Heizwerte wurden flächenbezogene Mittelwerte für Brandlasten gesucht, um einen Aufwand-Nutzen-Vergleich zwischen spezifischer Ermittlung und pauschaler Bewertung zu vollführen. Fündig wird man zu Mittelwerten vor allem in den Schweizer Normen. Hier hat die „Vereinigung kantonaler Feuerversicherer“ (kurz VvF) Nachforschungen durchgeführt und damit einen umfangreichen Katalog von zu erwartenden Brandlasten in verschiedenen Industriezweigen zusammengestellt. Zusätzlich dazu ist auch die mittlerweile nicht mehr gültige SIA Dok81 des „Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins“ verwendet worden. Auch hier sind Brandlasten pro Quadratmeter als Mittelwert über die Fläche aufgeführt. In den DIN-Normen bietet lediglich die DIN EN 1991-1-2 vereinzelte Angaben an zu erwartenden Brandlasten in verschiedenen Nutzungseinheiten, bspw. für Wohnungen, Krankenhäuser oder Büros.

Das Ergebnis dieser Recherche war eine umfangreiche Liste der bekannten spezifischen Heizwerte im Brandschutz (siehe Tab. 11). Die gefundenen pauschalen Durchschnittswerte für verschiedene Nutzungen sind dort nicht eingeflossen, werden aber in einem späteren Abschnitt noch einmal aufgegriffen.

TAB. 11 - AUSZUG DER LISTE SPEZIFISCHER HEIZWERTE

Kategorie	Unterkategorie	Unterkategorie2	Material- /Stoffbezeichnung	ME	MJ / ME	kWh / ME
Möbel und Einrichtung						
	allgemein					
			Holzmöbel, lufttrocken	kg	15,7	4,4
			Korb- und Flechtwaren (Mittelwert)	kg	16,8	4,7
	Schrankmöbel, Regale					
	allgemein					
			Einbauschränk, mit Inhalt	St	672,0	186,7
			Wandschränk, mit Inhalt	m ²	1.184,2	329,0
	Bibliotheksmöbel, Bücher					
			Bücher	kg	16,8	4,7
			Bücher auf Holzregal	kg	13,4	3,7
Textilien / Leder						
	Kleidung					
		Kleider				
			Mittelwert	kg	16,8	4,7
			Kleider auf der Stange	m	505,0	140,3
Chemische Stoffe und Erzeugnisse						
	Plaste, Kautschuk, Gummi					
	Reifen					
			Reifenstapel	kg	27,7	7,7
Konstruktion und Baustoffe						
	Holz					
	allgemein					
			frisch	kg	8,2	2,3
			trocken	kg	19,5	5,4

Ausgehend von dieser Zusammenstellung der spezifischen Heizwerte wurde eine Gliederung in verschiedene Kategorien und danach eine Differenzierung in Teilbereiche vorgenommen. Die übergeordneten Kategorien sind:

- Möbel und Einrichtung
- Elektrik, Elektronik, Licht
- Textilien, Leder
- Lebensmittel
- Chemische Stoffe und Erzeugnisse
- Konstruktion und Baustoffe
- Heiz- und Brennstoffe
- Sonstige

Jede Kategorie wurde dann weiter differenziert in Untergruppen, im Bereich Möbel und Einrichtung bspw. in Betten, Schränke, Sitzmöbel. Diese wurde aufgrund der Vielzahl der Heizwerte wiederum weiter gegliedert in zusätzliche Unterkategorien, bei den Schränken bspw. in Schränke für Bibliotheken, Büros, Küchen und Schulen. Durch diese große Differenzierung können gesuchte Werte schneller gefunden und neue besser einsortiert werden.

Nachdem die aufwendige Recherche abgeschlossen ist kann das Konzept zur Erstellung der Checkliste neu angegangen werden. Grundlage einer Checkliste sollte die leichte Handhabbarkeit sein. Die im ersten Versuch aufgetretene Masse an Schreibarbeit behindert nur unnötig das Arbeiten und sollte vermieden werden. Daher wird ein Aufbau ähnlich eines Multiple-Choice Fragebogens angestrebt. Ein direktes Setzen von Kreuzen ist aber durch die Aufgabenstellung ausgeschlossen, da konkrete Massen ermittelt werden sollen. Der Grundgedanke der Vorgabe von möglichen „Lösungsvorschlägen“ soll aber erhalten bleiben. Daher wird die gesamte Liste aller vorhandenen Heizwerte durchforstet und auf ein für das Objekt relevante Maß reduziert. Ziel hierbei ist die Vorhersage von zu erwartenden Brandlasten, wodurch vor Ort nur noch diese Massen aufgenommen werden müssen. Weitere nicht erwähnte Brandlasten müssen dann gesondert gelistet werden oder durch Analogien auf die sichere Seite gerechnet werden.

Als Grundlage für die Begehung wurden zuerst die Nutzungen der Stadtbahnbögen näher erfasst. Die Bandbreite reicht hier von bahneigener Nutzung als Stromversorgung der Stadtbahn, über Gastronomie- und Ladengeschäften bis hin zu Kfz-Werkstätten und Büros. Die aus der Nutzung resultierende Breite an möglichen Brandlasten führte in einer ersten Checkliste zu knapp 300 enthaltenen Werten, die über 11 Seiten verteilt waren. Die oben genannten Kategorien waren dabei allesamt vertreten. Es wurde lediglich eine zusätzliche Grobgliederung in „Mobile Brandlasten“ und „Immobil Brandlasten“ analog zur TGL 10685 eingeführt, das sollte verdeutlichen welchen Stellungswert der nutzungsbedingte „mobile“ technologische Anteil der Brandlasten gegenüber dem „immobil“ aus der Baukonstruktion hat. Diese Betrachtung erfolgte auch im Hinblick auf die später erwartete obere Grenze der zulässigen Brandlast, da bei Überschreiten des Grenzwertes eine direkte Verringerung meist nur über die frei beweglichen brennbaren Stoffe erfolgen kann. Eine Abminderung der geschützten Brandlast, wie sie die DIN 18230 über die Beiwerte vorsieht, wurde hier noch außer Acht gelassen. Auch die Einbeziehung des Abbrandfaktors m bleibt hier unberücksichtigt.

5.2 Praxistest in der Begehung

Am 07. und 08.05.2012 erfolgte dann der erste Praxistest mit der neu entstandenen Checkliste. Teilnehmende der Begehung waren Herr Heidig von der DB Service Immobilien GmbH als Betreuer der Brandschutzunterlagen, Herr Weilbacher vom Eisenbahnbundesamt als Aufsicht und Herr Najork von der pmb-net AG als Beauftragter für die Brandschutzbegehungen. Die Abarbeitung der Checkliste erfolgte parallel zur regulären brandschutztechnischen Begehung. Damit sollte auch ein zeitlicher Vergleich des Aufwandes geschaffen werden. Bei diesem ersten Test wurden Bögen im Bereich Ostbahnhof bis Hackescher Markt begangen.

Begonnen wurde am 07. Mai chronologisch mit dem Bogen Nr. 1. Er wird von der DB als Stromversorgung für die S-Bahn genutzt. Die Brandlasten bestanden hier hauptsächlich aus einer Vielzahl ummantelter Stromkabel unter dem aufgeständerten Kabelboden und in den Schaltschränken. Die daneben liegenden Bögen 2 und 3 konnten nicht begangen werden. Des Weiteren wurden die Bögen 79 bis 87 zwischen den Haltestellen Jannowitzbrücke und Alexanderplatz besichtigt. Diese waren allerdings leerstehend und ergaben kaum Brandlasten. Eine Erfassung der unter „Elektrik“ in der Checkliste geführten Heizwerte für „Steckdosen“ und „laufende Meter Kabel“ ergaben eine Gesamtbrandlast unterhalb der rechnerischen Mindestbrandlast.



ABB. 7 - SPIELOTHEK

Am 08. Mai wurden die Bögen 76, 106, 107, ein Teil des Bogens 117, die Bögen 123, 124 und die 140, 141 bearbeitet. Im ersten der genannten Bögen ist eine Spielothek ansässig. Der Bogen ist in zwei Etagen gegliedert und mit Teppich und aufwendiger Wandverkleidung versehen (siehe Abb. 7) Insgesamt befinden sich dort 22 Spielautomaten, 2 Zigarettenautomaten und diverse andere elektronische Geräte. Die brandlasttechnische Erfassung des Innenausbau

gestaltete sich aufgrund der Vielzahl an Raumtrennungen, Zwischenwänden und Dekorationen als schwierig. Es konnte auch keine Zuordnung von Heizwerten für Spielautomaten u.ä. erfolgen. Eine genaue Vermessung der Grundfläche war ohne elektronische Hilfsmittel nicht innerhalb der regulären Begehungszeit machbar.

Im weiteren Verlauf wurde in den Bögen 106 und 107 eine Kfz-Werkstatt mit Reifenlager im Keller begangen. Die erfassten Brandlasten aus PKW-Stellplätzen, Altöllager, Reifen und sonstiger Einrichtung überschritten die 100 kWh/m² deutlich. Im Bogen 106 waren es 126 kWh/m² und im Bogen 107 mit 262 kWh/m² mehr als das Anderthalbfache. Die Werte liegen damit eher im zu erwartenden Bereich für geschlossene Parkhäuser. Das im Bogen 106 aufgebaute Tanksystem für Altöl gilt nach DIN 18230 als geschützte Brandlast, wurde aber in dieser ersten Erfassung in voller Höhe ohne abmindernde Beiwerte angerechnet. Vor allem aber die Brandlast aus dem Bogen 107 ist aufgrund des Reifenlagers (siehe Abb. 8) höher als der im Durchschnitt zu erwartende Wert für Kfz-Werkstätten mit 105 kWh/m² ± 63 kWh/m² („Bautechnischer Brandschutz“, Ulf-Jürgen Werner). Da noch kein konkreter Grenzwert der zulässigen Brandbelastung bekannt ist, kann hier noch nicht beurteilt werden, wie kritisch diese Last für die Tragwirkung zu sehen ist.



ABB. 8 - REIFENLAGER BOGEN 107

Im darauf begangenen Bogen neben 117 befindet sich unterhalb der Überbrückung der Tramstrecke am Alexanderplatz eine Gaststätte. Die Gesamtfläche reicht hier nicht über die 70 m² und es ist kaum Platz für 20 Personen. Der Innenausbau ergibt aber mit Holztafelung, dem hölzernen Tresen und den Barhockern mit Stoffbezug auf dem kleinen Raum gerechnet eine nicht zu unterschätzende Brandlast von 130,4 kWh/m².

Ein Sonderfall bot sich in den Bögen 123 und 124. Sie bilden eine gemeinsame Nutzungseinheit für eine Diskothek. Durch die hohe Anzahl möglicher Gäste (175 Sitzplätze und 77 m² an ausgewiesener Tanzfläche) fällt sie damit in die „Musterverordnung über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten“ (kurz MVStättV) und benötigt ein vollwertiges Brandschutzkonzept. Eine einfache brandschutztechnische Erfassung durch Begehung reicht somit nicht mehr aus. Die Ermittlung der Brandlast wurde dennoch durchgeführt, da auf diese Weise eine vom Brandschutzkonzept unabhängige statische Sicherheit der Bögen gewährleistet werden soll. Das Ergebnis war aber mit 31,2 kWh/m² in Bogen 123 und 53,0 kWh/m² in Bogen 124 gering. Der Grund hierfür lag hauptsächlich an der großzügig gestalteten Tanzfläche sowie der Verwendung von nicht brennbaren Baustoffen für die Sitzplätze.

Zuletzt wurde in den Bögen 140 und 141 ein Elektrofachgeschäft für Lampen und Licht begangen. Die vor Ort gefundenen Brandlasten blieben im erwarteten Bereich für Verkaufsstätten und brachten keine neuen Erkenntnisse für die Verbesserung der Checkliste.

Aus dieser Praxisanwendung heraus haben sich im Verlauf der zwei Tage verschiedene Probleme der Checkliste aufgezeigt. Zum einen ist das Außerachtlassen der Gliederung in geschützte und ungeschützte Brandlasten in der Begehung unvorteilhaft. Spätestens bei der abschließenden Gesamtbeurteilung nach DIN 18230 müssen die Zuordnungen klar sein. Zum anderen sollte das Problem der fehlenden Heizwerte diverser vor Ort gefundener Brandlasten gelöst werden. Vorteilhaft für zukünftige Begehungen ist auf jeden Fall auch die Mitnahme von optischen Distanzmessern für die genauere und zügigere Ermittlung von Flächen.

5.3 Überarbeiten der Inhalte

Als Resultat der gewonnenen Erkenntnisse wurde zunächst der Umfang der Checkliste verringert. Die in der ersten Rohfassung verwendeten elf Seiten sind in weit über 80% der Fälle leer geblieben. Daraus lässt sich schließen, dass es weniger wirklich benötigte Werte gibt als ursprünglich angenommen. Die Reduzierung auf ein für das Objekt relevantes Maß war noch nicht exakt genug und die Menge der vorgegebenen Heizwerte kann durchaus ohne Nachteile weiter gekürzt werden. Zusätzlich dazu sind viele der zwar vorhandenen aber nur in geringen Mengen angetroffenen Brandlasten aus der Checkliste gestrichen worden. Ihr Anteil an der Gesamtbrandlast des Abschnittes bzw. Bogens ist als so niedrig zu werten, dass er keinen Einfluss hat.

Was die Problematik der fehlenden Heizwerte betrifft, hat eine weitere umfassende Nachforschung zum Erwerb neuer Heizwerte keine Resultate erbracht. Eine Anfrage bei der „Bundesanstalt für Materialforschung“ (BAM) endete in den weiter oben bereits erwähnten Quellen der NFPA und der SIA. Der Vorschlag von der BAM sich dann weiter an die „Hochschule Magdeburg“ zu wenden endete in der Empfehlung des schon genutzten Buches von Prof. Beilicke. Insofern scheinen alle relevanten Quellen erschlossen zu sein. Eine eigene Forschung wird nicht betrieben.

Aufgrund dieser Erkenntnis soll ein ingenieurgerechterer Ansatz gewählt werden. Dieser muss auch in Zusammenhang mit der Kürzung der Checkliste stehen und für eine Vielzahl von fehlenden Heizwerten anwendbar bleiben. Das geschieht auch aus der Überlegung heraus, dass viele der verwendeten Heizwerte, vor allem im Bereich Möbel, aus der DDR stammen und in dieser Form nicht mehr vor Ort anzutreffen sind. Daher wird eine Lösung gewählt, bei der anhand struktureller Analogien zur sicheren Seite hin abgeschätzt werden kann. Die Brandlastermittlung gerät dabei etwas mehr in Richtung Ermessensfrage, was aber für diesen Anwendungsfall durchaus als legitim zu bewerten ist. Die Heizwerte an sich ändern sich nicht, lediglich die Einordnung in eine vorgegebene Form wird dadurch angestrebt. Mit diesem Ansatz können alle Brandlasten auf der wichtigen sicheren Seite erfasst werden, was zu einem deutlich geringeren Umfang der Checkliste führt. Der damit verbundene Anstieg in gewissen Bereichen ist durchaus statistisch vertretbar und geht mit der am Ende rechnerisch um 25% zu erhöhenden Gesamtbrandlast konform.

Ein weiteres Problem war die fehlende Gliederung der Brandlasten in geschützt und ungeschützt. Für die korrekte Berechnung der Brandlast nach DIN 18230 muss nach der Begehung erkennbar sein, welche Lasten als geschützt gelten und welche davon die größte Brandlast darstellt. Dies ist wichtig für den Kombinationsbeiwert Ψ , um eine korrekte Minderung dieser Lasten für das Brandgeschehen zu erhalten. Dafür wird eine zusätzliche Spalte in die erste Rohfassung der Checkliste eingefügt. Die finale Berechnung der Brandlast wird so wieder, wie von der DIN vorgesehen, in geschützt und ungeschützt auf gesplittet.

Insgesamt ist damit der Grundstein für eine effektivere Anwendung durch geringeren Umfang und mit flexiblerer Handhabung gelegt worden. Inwieweit sich das in der Praxis bewahrheitet hat, ist durch weitere Begehungen erschlossen worden.

6 Vorstellen der Checkliste

Mit der zweiten Fassung ist der Umfang auf fünf Seiten zurück gegangen. Damit ist sie nicht einmal mehr halb so lang wie die erste. An der Aufteilung in „mobile“ und „immobile“ Brandlasten wurde aber nichts verändert. Die Grobgliederung in die unter Kapitel 5.1 genannten Punkte ist auch geblieben.

Verändert haben sich allerdings die „inneren Werte“. Die durch die Checkliste vorgegebenen Heizwerte sind eingekürzt worden. Teilweise wurden durch Veränderung der Bezeichnung einzelne Werte zusammengefasst, da der Unterschied marginal war. In einigen Kategorien, in der die Abweichung in einem kleinen nicht relevanten Bereich lag, wurden nur die zugehörigen Mittelwerte der Heizwerte verwendet. Für die immobil verbauten Brandlasten aus Verkleidung und Belägen ist letztlich der Abbrandfaktor nach DIN 18230-3 mit in die Rechnung einbezogen worden. Wieso und warum das geschieht wird in den weiteren Abschnitten aufgezeigt.

6.1 Erläuterung und Auswirkung der Änderung

Mit den oben genannten Änderungen ist die Handhabung einfacher geworden. Der Schwerpunkt wird mehr in Richtung Mengenermittlung geschoben und weniger in Richtung der Suche nach dem passenden Heizwert in der Checkliste. Das ist für die Anwendung vor Ort sehr wichtig, da wie schon im Kapitel 3.2.3 erläutert, die Mengen nicht immer leicht zu bestimmen sind. Es macht in der Brandlastbestimmung kaum einen Unterschied, ob das Fett tierisch ($H_u = 11,1 \text{ kWh/kg}$) oder pflanzlich ($H_u = 11,7 \text{ kWh/kg}$) ist. Viel wichtiger ist es dann doch rauszufinden, ob dort 10 oder 20 kg lagern.

Der Einfluss aus der Abweichungen bei Verwendung von Mittelwerten bspw. in der Kategorie „Textilien, Leder“ ist ebenfalls als – vernachlässigbar – gering einzuschätzen. Die Werte für „Pelze“, „Sporttextilien, verpackt“ und „Polyvinylchlorid (PVC-S)“-Fasern entsprechen alle dem für Textilien geltenden Mittelwert von $H_u = 5,2 \text{ kWh/kg}$. Die Abweichungen der Mehrheit der textilen Heizwerte beläuft sich dabei auf $\pm 1 \text{ kWh/kg}$. Die Verwendung des Mittelwertes ist damit bei den zu erwartenden Mengen innerhalb der Viaduktbögen durchaus zu vertreten.

Aus den Auswertungen der ersten Begehungen hat sich herausgestellt, dass selbst Bögen, die komplett leer standen, auf dem Papier eine ungewöhnlich hohe Brandlast besaßen. Das gilt vor allem dann, wenn die Wände aufwendig verkleidet sind oder bspw. der Fußboden mit

Parkett ausgelegt wurde. Die dazugehörigen Heizwerte, z.B. bei „Spanplatten (19mm)“ an Wänden, sind mit $H_u = 82 \text{ kWh/m}^2$ relativ hoch. Wenn diese dann noch umlaufend bis auf Kopfhöhe verbaut wurden und ein Parkettfußboden o.ä. mit angerechnet wird, erreicht man schnell Werte um die 90 kWh/m^2 an Brandlastdichten für den ganzen Raum. Das würde einem Durchschnittswert für normale Wohnungen oder Verkaufsgeschäfte entsprechen, obwohl sich eigentlich nichts in dem Raum befindet. Ein für den Versuchsaufbau zur Ermittlung des Heizwertes zugrunde gelegter Brand nach der Einheitstemperaturkurve kann so nicht erwartet werden. Daher wurde der im Kapitel 5.1 noch unberücksichtigte Abbrandfaktor **m** hier mit einbezogen. Das bedeutet für Verkleidungen von Wänden, Decken und Fußböden wird aus der DIN 18230-3 ein Wert für **m** gewählt, um den tatsächlich verminderten Einfluss dieser Konstruktionen auf die Brandlast entsprechend wiederzugeben. Ihre Beteiligung am Brandgeschehen ist aufgrund der meist nur einseitigen Beaufschlagung durch das Feuer geringer und das sollte auch in der Checkliste so zum Tragen kommen.

Insgesamt ergibt sich durch die Zusammenlegung der Werte auch eine bessere Handhabbarkeit in der Anwendung. Umständliches blättern entfällt aufgrund der verringerten Seitenanzahl größtenteils. Die komplette Checkliste ist im Anhang 1 beigelegt.

6.2 Ermittlung der Brandlastdichte am Beispiel

6.2.1 Begehung des Objektes

6.2.1.1 Brandlastermittlung

Beispiel 1: Bogen Nummer 98 – Verkaufsgeschäft (siehe Abb. 9)



ABB. 9 - VERKAUF VON TEXTILIEN

Das erste Beispiel ist ein gängiges Geschäft für Textilien und Outdoor-ausrüstung, wie es mehrere entlang der Stadtbahn gibt. Die Sachen sind meist auf Kleiderstangen oder in Auslagen sortiert. Es gibt ein Schaufenster und gefüllte Regale entlang der Wände. In diesem Beispiel kommt noch ein Keller als Schau-raum mit abgetrenntem Lager dazu.

Im Lager selbst sind fast alle Vorräte auf Stangen sortiert.

Als Erstes kann gleich im oberen Teil der Seite 1 der Checkliste die Bogen-Nummer vermerkt werden. Ermittelte Flächen und die Nutzung als Verkaufsgeschäft sind dort einzutragen (siehe Abb. 10).

ANLAGE 3 zur Entscheiderhilfe zur Feststellung über die Art der Nachweisführung der Brandsicherheit			
Festgestellte vorhandene Brandlasten:		Nutzungsart	
Bogen-Nr.		Fläche EG	
		Fläche Keller	

ABB. 10 - KOPF DER CHECKLISTE

Mit „Teil 1: Mobile Brandlasten aus Nutzung“ beginnt dann die eigentliche Arbeit. Nach Kategorie „Möbel und Einrichtung“ sind offensichtlich keine Betten oder Liegemöbel vorhanden. Dafür stehen vor Ort Schrankmöbel der Sorte „Gaderobenschrank mit Inhalt (110x42x183)“ und „Hängeregale“. Die Einordnung in die Schrankvariante erfolgt nach eigenem Ermessen, da vor Ort die gegebenen Maße und die Füllmenge des Schrankes beurteilt werden müssen. Es wäre auch möglich gewesen, die Schränke als „Dielenschrank (120x46x165)“ zu deklarieren, da die Maße ähnlich sind. Die Heizwerte beider Varianten unterscheiden sich aber um den Faktor 1,8. Da die Auslage vor Ort sehr offen gestaltet und der Inhalt überschaubar bleibt, tendiert der Wert eher zum kleineren. Dieser ist namentlich schon mit Inhalt gerechnet worden, während beim Dielenschrank offen bleibt, ob er ausgefüllt ist.

Bei der Erfassung von Hängeregalen ist es, wichtig auf die Anzahl zu achten. Die Maße des Regals sind nicht konkret vorgegeben, man kann aber davon ausgehen, dass Abmessungen von 1m x 2m x 0,5m wohl nicht mehr als hängendes Regal angebracht werden. Daher sollte man sich etwa im Bereich der Abmessungen eines zweitürigen Hängeschrankes bewegen. Zum Vergleich: der Wert für „Hängeschrank (je Tür)“ beträgt 49,2 kWh/St, der des Hängeregals 69,1 kWh/St. Wenn man gedanklich zwei Hängeschränke annimmt und die Tür rechnerisch außer Acht lässt, erreicht man in etwa den entsprechenden Wert für die Regalvariante. Diese Art von Einordnung ist bei vielen Teilen der Checkliste sinnvoll, da der exakte Ursprung des Wertes allein aus der Begrifflichkeit nicht immer nachvollziehbar ist. Auf lange Sicht wird das Arbeiten dadurch praktikabler und zeiteffizienter.

Nach Auflistung aller Möbel und dem geringen Anteil an Elektronik vor Ort beginnt der wohl erwartungsgemäß umfangreichste Abschnitt – die Erfassung der Kategorie „Textilien, Leder“. Hilfreich ist hier vor allem der Wert „Kleidung auf Stange“, der einen Heizwert pro laufenden Meter Textilien auf der Kleiderstange wiedergibt. Dadurch sind in diesem Beispiel die meisten der textilen Brandlasten leicht erfassbar. Sogar dem Lager lässt sich aufgrund der Struktur damit schnell eine gesamte Brandlast zuordnen. Für die übrigen auf den Tischen ausliegenden Sachen muss allerdings ein anderer Wert gesucht werden. Hier empfiehlt es sich den allgemeinen Mittelwert von 5,8 kWh/kg zu verwenden. Die Schwierigkeit besteht jetzt darin eine relativ exakte Annahme für die Masse der ausgelegten Stapel Pullover, T-Shirts usw. zu treffen. Beim Heranziehen der Herstellerangaben von Textilprodukten und der Annahme von ca. 1m² verarbeitetem Stoff pro Kleidungsstück, kommt man dabei auf die Werte der Tab. 12.

TAB. 12 - TEXTILGEWICHTE

T-Shirt	160-210 g
Sweatshirt / Pullover	270 g
Poloshirt	185 g
Sportsachen	100-155 g

Auf dieser Grundlage kann man überschläglich davon ausgehen, dass ein Stapel von fünf Kleidungsstücken in etwa 1 kg entspricht. Dadurch lassen sich auch ohne großen Aufwand die Mengen per Kopfrechnung erfassen.

Eine Besonderheit in diesem Laden war die Abteilung für Bergsteigerausrüstung. Die dort angebotenen Seile bestehen hauptsächlich aus Kunststoff. Ein Wert dafür konnte in der Checkliste nicht ohne Weiteres zugeordnet werden. Die Menge wurde kurzerhand aufgenommen und dann später im Büro mit einem Heizwert versehen. Dies ist durchaus kein Problem bei der Begehung, solange es sich nur um ein oder zwei fehlende Werte handelt. Wenn sich bei einer Brandschutzbegehung herausstellen sollte, dass die Mehrheit der Brandlasten in der Checkliste nicht zuzuordnen sind, muss diese dem Objekt angepasst werden, nicht umgekehrt.

Im weiteren Verlauf waren keine großen relevanten mobilen Brandlasten mehr vorzufinden, daher wird nun der Teil der „Immobilien Brandlasten aus Konstruktion“ aufgenommen. Der

Bogen weist insgesamt kaum fest verbaute Brandlasten auf. Die Ziegelwände und -decken sind gestrichen, die Menge an verbauten Türen und Trennwänden ist verschwindend gering, lediglich der Fußboden weist eine hochwertige Verkleidung auf. Im hinteren Bereich existiert ein podestartiger Aufbau inklusive Schuhabteilung. Aufgrund des qualitativ aufwendig wirkenden Bodenbelags und des Podestes, dessen Unterkonstruktion nicht sichtbar ist, wird für den Fußboden „Parkett“ mit $103,8 \text{ kWh/m}^2$ angenommen. Es wäre auch möglich „Laminat“ ($26,6 \text{ kWh/m}^2$) als hochwertigen Bodenbelag mit „Holzunterbau (Podest)“ ($39,1 \text{ kWh/m}^2$) für den Podestaufbau zu kombinieren. Dadurch hätte man auf den ersten Blick durch die Differenzierung detaillierter gearbeitet und es hätte sich ein kleinerer Gesamtwert ergeben ($39,1 + 26,6 = 65,7 < 103,8$). Aufgrund der Verwendung des Abbrandfaktors m für Verkleidungen ist es aber genau umgekehrt. Während sich beim Parkett der Wert auf ein Fünftel reduziert, wird bei der zweiten Variante dem Podest mehr Bedeutung zugemessen, da keine Abminderung durch m stattfindet. Auch wenn das Laminat mit $m = 0,5$ noch auf die Hälfte des Ausgangswertes gesenkt wird, ergibt sich daraus eine Brandlast von 4668 kWh . Für das Parkett dagegen sind lediglich 4235 kWh anzusetzen. Außerdem wäre es falsch, die Brandlast der Unterkonstruktion unter der durch m verringerten Brandlast voll anzurechnen.

Insgesamt ist damit auch die immobile Brandlast vollständig aufgeführt und die Gesamtbrandlast des Objektes kann bestimmt werden.

Beispiel 2: Bogen Nummer 96/97 – Asiatisches Restaurant (siehe Abb. 11)



ABB. 11 - SITZPLÄTZE IM RESTAURANT

Das zweite Beispiel behandelt ein Restaurant mit asiatischer Küche für ca. 130 Gäste. Die Einrichtung besteht im Wesentlichen aus Tischen und Sitzbänken mit Polsterkissen. Insgesamt sind hier zwei Bögen durch einen Verbindungsgang zusammengeschlossen. Im ersten Bogen befindet sich ein Tresen mit der dahinter separat abgetrennten Küche. Der zweite Bogen besteht aus-

schließlich aus Sitzmöglichkeiten. Im Bereich des Verbindungsganges sind die Toiletten angeordnet. Beide Bögen haben eine Unterkellerung. Diese ist nur von außen über eine gesonderte Treppe begehbar.

Bogennummer und Fläche werden wieder jeweils in die oberen Felder der Checkliste eingetragen. Der Bogen 96 ist mit der Küche und einem Teil des Sanitärbereiches deutlich kleiner. Vorgefunden wurden bei den „Mobilen Brandlasten“ mehrere Dielenschränke, Holzregale und natürlich Sitzmöbel. Da die vor Ort verwendeten Sitzbänke kein direktes Äquivalent in der Checkliste haben, wird ein „Stuhl, gepolstert, Holzgestell“ mit 52,1 kWh/St für jede Sitzfläche angenommen. Insgesamt ergeben sich dadurch 34 Sitzplätze für den einen und 95 Sitzplätze für den anderen Bogen. Die Bögen werden hier trotz des Verbindungsganges getrennt erfasst, da die jeweiligen Brandlasten sich auf den Bereich des Bogens beziehen. Eine Summierung aller Lasten über beide Bögen würde das Ergebnis verfälschen. Erst am Ende wird aus beiden Ergebnissen ein flächengewichteter Mittelwert für den ganzen Brandabschnitt gebildet. Von einer Trennung in zwei separate Brandabschnitte kann aufgrund der Brandausbreitung über den Verbindungsgang nicht ausgegangen werden.

Zusätzlich zu den Sitzplätzen sind dann noch die Tische und der Tresen zu erfassen. Da es aufgrund der Vielzahl an Aufbauvarianten keinen einheitlichen Wert für Tresen gibt, muss der Heizwert aus den einzelnen Komponenten summiert werden. Dies ist aber nur solange zulässig, wie die dafür genutzten Heizwerte auch verbaut annähernd die gleiche Angriffsfläche für das Feuer bieten. Bei verschachtelten Bauarten mit Fächern und zusätzlichen Verkleidungen kann das Abbrandverhalten auf diese Weise nicht mehr verglichen werden. In diesem Fall waren keine komplizierten Konstruktionen verbaut und es wurden ca. 7 m² an Spanplatte für die Arbeitsfläche und die vertikale Schale gemessen.

Da weder im Gästeraum noch in der Küche ungeschützte Brandlasten vorhanden waren und es keine Wand- oder Deckenverkleidungen gab, blieb lediglich das Laminat als „Immobilie Brandlast“. Die Erfassung ist damit abgeschlossen.

6.2.1.2 Gesamtbrandlast und Brandabschnittsgröße

Wie aus den beiden Beispielen ersichtlich wird, kann eine Erfassung von Brandlasten sowohl umfangreich als auch überschaubar sein. Wenn dann alle relevanten Brandlasten erfasst sind müssen am Ende die jeweiligen Werte für $q_{R,g}$ und $q_{R,u}$ nach Gleichung 8 und Gleichung 9

bestimmt werden. Dafür ist auf der letzten Seite der Checkliste noch einmal eine Kurzfassung der Berechnung der Gesamtbrandlast gegeben.

Bei den ungeschützten Brandlasten wird lediglich die ermittelte Menge mit den dazugehörigen Heizwerten und entsprechenden Abbrandfaktoren multipliziert, das Ganze aufsummiert und dann durch die Brandabschnittsfläche geteilt. Bei den ungeschützten Brandlasten kommt zusätzlich noch der Ψ -Faktor dazu. Dieser muss erst abhängig von den vorgefundenen ungeschützten Brandlasten bestimmt werden. Sind sowohl $q_{R,g}$ als auch $q_{R,u}$ berechnet, kann aus der Summe beider nach Gleichung 7 die Gesamtbrandlast für den Brandabschnitt angegeben werden

Wichtig ist es am Ende bei mehreren Brandabschnitten im Bereich diese entsprechend ihrer Fläche gewichtet anzurechnen. Zusätzlich muss bei einer Abweichung der Brandlast auf Teilflächen ggü. der Gesamtfläche um den Faktor 1,6 ein zusätzlicher Teilflächennachweis geführt werden. Am Beispiel 2 lässt sich das gut demonstrieren:

- Bogen 96 besitzt eine kleinere Grundfläche für die Gäste, Bogen 97 ist in voller Größe mit Sitzplätzen ausgestattet
- Aufgrund des Verbindungsganges werden beide Brandabschnitte zu einem zusammengefasst, da von einer Brandausbreitung ausgegangen werden muss.
- Brandlast im Bogen 96: $q_{R,T} = 64,3 \text{ kWh/m}^2$ auf 84 m^2
- Brandlast im Bogen 97: $q_{R,T} = 90,6 \text{ kWh/m}^2$ auf 204 m^2
- über den gesamten Brandabschnitt nach Flächen gewichtet ist der Mittelwert $q_R = 82,9 \text{ kWh/m}^2$
- nach DIN 18230-1, Punkt 6.2 muss für $q_{R,T} > 1,6 \cdot q_R$ ein Teilflächennachweis geführt werden
- $q_{R,T} = 90,6$
- $q_R = 1,6 \cdot 82,9 = 132,7$
- $90,6 > 132,7$ f.A. Bedingung ist nicht erfüllt!

Da die Brandlast immer noch die Grundlage für die spätere Berechnung der Feuerwiderstandsdauer ist, kann bei Erhöhung dieser auf Teilflächen die Konstruktion gegen Feuer unterbemessen sein. Daher ist diese Überprüfung vor allem bei verbundenen Bögen wichtig.

Für das Beispiel 1 trifft das in ähnlicher Form zu. Hier ist der Keller mit der zusätzlichen Brandlast dem gesamten Brandabschnitt anzurechnen. Er erfüllt nicht die Anforderungen be-

züglich einer wirksamer Abtrennung nach DIN 18230-1, Anhang A.2.1 und ist mit seiner Brandlast auf die obere Fläche zu addieren. Dadurch ergibt sich hier eine Brandlast von 179,4 kWh/m².

6.2.2 Berechnung der Feuerwiderstandsdauer

Nachdem die Brandlast des Abschnittes nun bekannt ist, können die weiteren Schritte zur Bestimmung der erforderlichen Feuerwiderstandsdauer eingeleitet werden. Dafür muss als Erstes die äquivalente Branddauer nach Gleichung 6 berechnet werden. Die Brandlast wurde schon ermittelt. Es fehlen noch die Werte für den Umrechnungsfaktor c und den der Wärmeabzugsflächen w . Da diese anhand der örtlichen Gegebenheiten aus der Konstruktion abgeleitet werden, sind die Möglichkeiten hier sehr vielfältig. Vereinfacht werden daher die drei primär vorkommenden Varianten vorgestellt:

- Variante 1: Straßenseite Schaufensterfront aus Glas, Rückseite mit Lichtband im oberen Krümmungsbereich des Bogens
- Variante 2: beide Seiten komplett mit Glasfront
- Variante 3: beide Seiten geschlossen (eventuelle Einzelfenster werden vernachlässigt)

Zu beachten ist hierbei, dass die Art des Glases entscheidend für den Wärmeabfluss ist. Aufgrund des negativen Einflusses beim Wärmeabzug und der vor Ort vorgefundenen Fenster wird handelsübliches Zweischiebenisolierverglas vorgegeben. Für die Bestimmung der anrechenbaren Öffnungsfläche wurde iterativ vorgegangen (siehe DIN 18230-1, Pkt. 8.2 e). Dadurch ergeben sich über die Bogenmaße, den Eigenschaften der Umfassungsbauteile sowie den Fensteröffnungsflächen und deren Beschaffenheit folgende Werte:

TAB. 13 - FAKTOREN DER 3 VARIANTEN

	Umrechnungsfaktor c	Wärmeabzugsfaktor w
Variante 1	0,19	0,70
Variante 2	0,18	0,56
Variante 3	0,20	2,73

Die einzelnen Rechenschritte sind im Anhang 2 ausführlich nachzulesen. Anhand dieser Faktoren lässt sich für jede der drei Varianten ein t_a ermitteln. Damit ist aber nur eine rechneri-

sche Branddauer in Anlehnung an die Einheitstemperaturkurve bestimmt worden. Um die erforderliche Feuerwiderstandsdauer t_F zu erhalten muss noch mit zusätzlichen Faktoren nach Gleichung 5 erweitert werden. Beide Faktoren, α_L und γ , sind aber aufgrund der besonderen Bauweise der Stadtbahn mit 1,0 anzusetzen. Weder gibt es Löschanlagen, noch Werkfeuerwehren und die Fläche überschreitet auch nicht die mindestens zugrunde gelegten 2500 m² (siehe DIN 18230-1, Tab.2 und 3). Daher ergibt sich in diesem speziellen Fall, dass **erf** $t_F = t_a$ ist.

Für die vorgestellten Beispiele oben kann jetzt die Feuerwiderstandsdauer berechnet werden. Aufgrund der Bauweise würden beide in die Variante 1 fallen. Zum Vergleich sind aber auch die Ergebnisse für Variante 2 und 3 mit der vorgefundenen Brandlast aufgeführt:

TAB. 14 - ERFORDERLICHE FEUERWIDERSTANDSDAUER

	erf t_F in min	
	Beispiel 1 Verkaufsraum	Beispiel 2 Restaurant
Variante 1 (Schaufenster + Lichtband)	24	11
Variante 2 (beide Seiten Fenster)	19	9
Variante 3 (beide Seiten geschlossen)	98	45

Deutlich sichtbar ist hier die Abstufung von „beide Fenster“ auf „keine Fenster“. Von „keine erforderliche Feuerwiderstandsfähigkeit“ auf „hoch feuerhemmend“ (siehe DIN 18230-1, Punkt 11) im Beispiel 2 ist die Gewichtung von Wärmeabzugsflächen gut erkennbar. Vor allem hier sollte sich die Erkenntnis zeigen, wie sehr die ermittelte Feuerwiderstandsdauer vom vorgefundenen Zustand abhängt und das jede Veränderung gravierende Folgen für die Sicherheit haben kann.

Mit der feststehenden Feuerwiderstandsdauer lässt sich nun ganz regulär der vorbeugende Brandschutz nach DIN 4102 abarbeiten. Die errechneten erforderlichen Feuerwiderstandsdauern werden gemäß DIN 18230-1, Punkt 11 den Begrifflichkeiten der Bauregelliste zugeordnet, das heißt bspw. für $15 \leq \text{erf } t_F \leq 30$ in feuerhemmend. Zusätzlich kann über die MIndbauRl, Tabelle 8 eine detaillierte Vorgabe der Feuerwiderstandsklassen anhand von **erf** t_F erfolgen.

Inwiefern die durch die Brandlast gegebene nötige Feuerwiderstandsdauer Auswirkungen auf die Standfestigkeit der Gesamttragkonstruktion des Bogens hat, soll noch einmal gesondert in Kapitel 6.2.3 betrachtet werden.

6.2.3 Grenzwertbetrachtung der zulässigen Brandlast

Zur Ermittlung der maximal zulässigen Brandlast wurde ein Statiker mit Erfahrungen im Brandschutz beauftragt. Anhand der Materialkennwerte der Stadtbahnbögen ist so mittels FEM-Methode eine virtuelle Heißberechnung vorgenommen worden. Die Beaufschlagung des Bogentragwerkes mit thermischen Beanspruchungen nach der Einheits-Temperatur-Zeit-Kurve ergaben zusätzliche Zwangsspannungen im Tragwerk, welche sogar zu einer vertikalen Hebung der Fahrbahn führen würden. Ein Versagen des Bauwerkes konnte aber auch nach 90 Minuten Einwirkung nicht nachgewiesen werden.

Für die Brandlast bedeutet es, dass mindestens eine Feuerwiderstandsdauer von F90 angenommen werden kann. Setzt man jetzt $\text{erf } t_F = 90$ Minuten so ist über die Gleichungen 5 bis 9 ein Rückschluss auf die maximal zulässige Brandbelastung möglich. Anhand der verschiedenen betrachteten Varianten im Anhang 2 sind die Randbedingungen schon gegeben. Die Ergebnisse der Rechnung sind in Tab. 15 dargestellt.

TAB. 15 - RÜCKWÄRTSRECHNUNG DER BRANDLAST

Umkehrrechnenvorgang						
Variante	Spalte1	Spalte2	Spalte3	Spalte4	Spalte5	Spalte6
	q_R kWh pro m^2	erf t_F in min	c	w	γ	α_L
	Sp.2/(Sp.3*Sp.4*Sp.5*Sp.6)					
	113,35	15		0,19	0,70	1,0
1	226,71	30		0,19	0,70	1,0
Fensterfront + hinteres Lichtband	453,42	60		0,19	0,70	1,0
	680,13	90		0,19	0,70	1,0
2	286,07	30		0,19	0,56	1,0
Fenster auf Vorder- und Rückseite	572,15	60		0,19	0,56	1,0
	858,22	90		0,19	0,56	1,0
3	54,95	30		0,20	2,73	1,0
Seiten geschlossen	109,90	60		0,20	2,73	1,0
	164,85	90		0,20	2,73	1,0
4	45,93	30		0,20	3,27	1,0
Keller (geringere Höhe ggü. Var. 3)	91,85	60		0,20	3,27	1,0
	137,78	90		0,20	3,27	1,0

Maximal zulässige Brandlast

MindBauRI begrenzt die erf t_F auf 90min

Dadurch lassen sich für die einzelnen Objekte die Grenzwerte der zulässigen Brandlasten ablesen. Maßgebend wird hier der Wert für $\text{erf } t_F = 90$ min.

Auswertung und Zusammenfassung

7 Kritische Betrachtung

7.1 Vor- und Nachteile der Checkliste

Vorrangiges Ziel der Checkliste war eine umfassende, verständliche Erfassung der Brandlasten vor Ort. Dies wurde durch übersichtliche Gliederung und einfache Strukturen weitestgehend erfüllt. Die Möglichkeit sich schnell einzuarbeiten und der geringe technische Aufwand sind ein weiterer positiver Aspekt. Selbst als Nichtfachmann ist es nach kurzer Einweisung in die Anwendung möglich, die Checkliste richtig zu handhaben. Somit kann dem Verantwortlichen bei der Begehung auch eine zusätzliche Hilfsperson ohne Fachkenntnisse beiseite gestellt werden.

Nachteilig wirkt es sich stattdessen aus, wenn man alleine unterwegs ist. Zum Ausfüllen der Checkliste wird im Regelfall mindestens die gleiche Zeit wie für die eigentliche Begehung benötigt. Der erhöhte Zeitaufwand macht es manchmal schwer, die gesetzte Anzahl an Bögen pro Begehungstag zu erreichen. Hierbei ist auch die inhaltliche Bindung der Checkliste an die Gegebenheiten der Stadtbahnbögen zu beachten. Die Heizwerte wurden den zu erwartenden Werten angepasst, das heißt, man kann die Liste nicht ohne Weiteres auf andere Objekte übertragen, da dort vorhandene Brandlasten durchaus nicht aufgeführt sein können. Dafür müsste die Checkliste angepasst werden, wenn man nicht wieder alles gesondert erfassen möchte.

Auch wenn es vereinzelt noch Lücken an Heizwerten gibt, so können diese mit der Zeit durch neuere Forschungsergebnisse ergänzt werden. Beachten sollte man aber, dass selbst wenn die Brandlast keine kritischen Einwirkungen auf das Bauwerk hat, es immer noch eine Gefahr für die Personen vor Ort gibt. Die für die meisten Todesopfer bei Bränden verantwortliche Rauchentwicklung ist in keiner Weise betrachtet worden und kann auch durch das Ergebnis der ermittelten Gesamtbrandlast nicht bestimmt werden. In der grundlegenden Anwendung für die gesetzte Aufgabenstellung ist aber ein gutes Ergebnis erzielt worden.

7.2 Probleme der DIN 18230

Grundlage für die Entwicklung der Checkliste ist die Norm zum Brandschutz im Industriebau. Allerdings hat diese im Vergleich noch recht junge Norm mit einigen Problemen zu kämpfen.

Die flächenmäßige Beurteilung von Brandlasten und die damit verbundene Bildung von Mittelwerten kann durchaus ein Sicherheitsrisiko sein. „Eine gleichmäßig verteilte Brandlast existiert praktisch nicht. Wählt man den betrachteten Teilbereich nur hinreichend klein, erhält man immer eine Abweichung [...].“ (RiskCon Praxisbericht, S.16) Welche Folgen das für die Beanspruchung der Konstruktion haben kann, ist nicht ohne Weiteres abzuschätzen.

Einige Themen werden in der DIN 18230 auch schlichtweg nicht behandelt. So gibt es keine konkreten Vorgaben für Gefahrstofflager, für „Lager mit besonderer Brandlast in Krankenhäuser, Warenhäuser, etc.“ (RiskCon Praxisbericht, S.19) und es mangelt, wie schon in Kapitel 4.3 erwähnt, an Werten für den Abbrandfaktor m . Zusätzlich kommt hinzu, dass die schon mehrfach genannte pauschale Erhöhung der festgestellten Brandlast um 25% ein Erfahrungswert aus der Praxis ist, der sich dort als sinnvoll behauptet hat, aber in der Norm keine Anwendung findet.

Im Wesentlichen ist die DIN 18230 „keine Risikoberechnungsmethode, sondern eine Teil-Gefährdungsbemessung zur Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer (als Teilaspekt einer Brandgefahrenermittlung)“ (RiskCon Praxisbericht, S.41). Die damit verbundene schwierige Beurteilung von Schutzbereichen, Brandentstehungs- und Brandausbreitungsrisiken und anderen Aspekten stellen den Brandschutz-Fachingenieur vor eine große Aufgabe, die meist nur durch verantwortungsvolle interdisziplinäre Planung gelöst werden kann.

Trotz der Probleme der DIN 18230 in der Anwendung bietet sie für die Aufgabenstellung genug rechtlichen Halt und gibt zusammen mit den anderen verwendeten Normen und Theoriegrundlagen den derzeitigen Stand der Technik wieder.

8 Ausblick

Durch die Anwendung in der Praxis und die dadurch gewonnene Erfahrung wird auch das Normenwerk weiter entwickelt. Neue Erkenntnisse werden umgesetzt und Mängel beseitigt. Die DIN 18230 ist seit ihrer bauaufsichtlichen Einführung als Vornorm ab 1989 in den verschiedenen Bundesländern stetig erweitert worden. Auch die damit verbundene Muster-Industriebau-Richtlinie hat im Laufe der Zeit Anpassungen erfahren. Dennoch gibt es, wie in Kapitel 7.2 erwähnt, immer noch Verbesserungsmöglichkeiten.

Auch das Thema Brandlasten wurde bei Weitem noch nicht erschöpfend behandelt. Der derzeitige Stand an dafür benötigten spezifischen Heizwerten ist gering und wird teilweise durch die Flächenmittelwerte ersetzt, die vor allem in den EDV-gestützten Ingenieurmethoden im Brandschutz Anwendung finden.

Die zur Brandlastermittlung benötigten **m**-Faktoren bedürfen ebenfalls verstärkter Versuchsforschung. Ihre Variabilität aufgrund unterschiedlicher Lagerung und Zusammensetzung ist noch nicht vollends erschöpfend erfasst worden.

Was die Anwendung der Checkliste betrifft, wird auch hier die Praxis zeigen, inwiefern Erweiterungen und Ausbesserungen nötig sind. Das beinhaltet ebenfalls die Anpassung an neue zu bewertende Objekte und deren Brandlasten. Dafür muss auch weiterhin die Liste der bekannten spezifischen Heizwerte erweitert und gepflegt werden.

Im Zusammenhang mit der Beurteilung der DIN 18230 in der Praxis und der Hilfestellung für entsprechende Fachplaner wird im September 2012 ein neuer Kommentar vom Beuth-Verlag erwartet.

9 Zusammenfassung / Abstract

Ziel dieser Arbeit ist es eine Checkliste zur Erfassung der Brandlasten in den Bögen der Berliner Stadtbahn zu erarbeiten. Die Stadtbahn bezeichnet den Bereich vom heutigen Ostbahnhof bis hin zum Bahnhof Savignyplatz durch das Berliner Stadtzentrum. Seit der Eröffnung durch Kaiser Wilhelm I. im Jahre 1882 sind die gemauerten Viaduktbögen immer wieder an die neuen Verkehrslasten angepasst worden. Im Laufe der Jahre wurden die ursprünglich offen gestalteten Bogentragwerke geschlossen und zu kleinen Märkten und Einkaufsmöglichkeiten umgestaltet.

Die in den Bögen angesiedelten Geschäfte bringen aber auch Gefahren mit sich, die über die Schutzziele des Bauordnungsrechtes hinausgehen. Mögliche Brände könnten den darüber fahrenden S-Bahn und Fernbahnverkehr beeinträchtigen oder gar zum Erliegen bringen. Deshalb muss durch eine Begrenzung der Brandintensität mittels einer maximal zulässigen Brandlast ein Ausfall der Strecke vermieden werden. Um dies zu bewerkstelligen ist mit Hilfe der zu erarbeitenden Checkliste die tatsächliche Brandbelastung zu erfassen.

Basierend auf der TGL 10685, der DIN 18230 sowie der Muster-Industriebaurichtlinie geht es um die Ausarbeitung verschiedener Lösungsansätze zur Brandlastermittlung. Dafür sind einige Ausschnitte der genannten Normen näher erläutert. Anhand erster Entwürfe und der Erfahrungen aus der Praxisanwendung findet eine Abgrenzung der Vor- und Nachteile in den Ansätzen statt. Mit der finalen Version der Checkliste wird dann an ausgesuchten Beispielen die Vorgehensweise erklärt.

Am Ende werden die Arbeit und ihre Grundlage noch einmal kritisch betrachtet, um mögliche Anwendungsfehler aufzuzeigen und zu vermeiden.

Literaturverzeichnis

Bücher

- „Bautechnischer Brandschutz - Brandlastberechnung“
Prof. Dr.-Ing. Gert Beilicke BBV Beilicke Brandschutz Verlag, erw. Reprint, 2010
- „Handbuch Brandschutzatlas – Grundlagen, Planung, Ausführung“
Mayr / Battran Feuertrutz GmbH Verlag, 2009
- „Bautechnischer Brandschutz – Planung, Bemessung, Ausführung“
Ulf-Jürgen Werner, Birkhäuser Verlag, 2004
- „Brand- und Explosionsschutz von A-Z“
Henry Portz, Vieweg+ Teubner, 2005
- „Der Ingenieurbau – Grundwissen Band 7: Bauphysik, Brandschutz“
Gerhard Mehlhorn, Ernst & Sohn Verlag, 1996
- „Bauphysik Kalender“
Nabil A. Fouad, Ernst & Sohn Verlag, 2011
- „SFPE Handbook of Fire Protection“
Phillip J. DiNunno, National Fire Protection Association, 2002

Verwendete Normen

- DIN 18230 – Baulicher Brandschutz im Industriebau
 - Teil 1: 2010-09
 - Teil 2: 1999-01
 - Teil 3: 2002-08
- Kommentar zu DIN 18230, 2. erweiterte Auflage 1999, Beuth Verlag GmbH
- DIN EN 1991-1-2 NA – Brandeinwirkung auf Tragwerke, 2010-12
- DIN EN ISO 13943 – Brandschutz Vokabular, 2000-10
- DIN 4102 – Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen
 - Teil 1 – Baustoffe, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen, Mai 1998
 - Teil 2 – Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen, Sept 1977
 - Teil 4 – Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile, März 1994
- MIndbauRI – Muster-Industriebaurichtlinie, März 2000

- Vereinigung kantonaler Feuerversicherer – VvF-Vorschrift 115-03
- TGL 10685 – Bautechnischer Brandschutz
 - 10685/02 – Brandlast, Brandlaststufen, April 1982
 - 10685/05 – Löschwasserversorgung [...], April 1982
 - 10685/07 – Feuerwiderstandsklassen, April 1982
 - 10685/08 – Brandabschnittsgrößen, April 1982
 - 10685/09 – Rauch- und Hitzeableitung, April 1982
- MVStättV – Muster-Versammlungsstättenverordnung, Juni 2005

Internetquellen und Downloaddokumente

- „Die Kaiserliche Reichshauptstadt“
http://www.berlin.de/berlin-im-ueberblick/geschichte/kaiserliche_hauptstadt.de.html
Abruf: 05.06.2012, 10:03
- „Berliner Stadtbahn“
http://de.wikipedia.org/wiki/Berliner_Stadtbahn
Abruf: 05.06.2012, 11:34
- „Berliner Verbindungsbahn“
http://de.wikipedia.org/wiki/Berliner_Verbindungsbahn#Betrieb_und_Ersatz_durch_die_Ringbahn
Abruf: 05.06.2012, 14:10
- „Reichsbahnstreik in Berlin“
http://library.fes.de/FDGB-Lexikon/texte/sachteil/r/Reichsbahnstreik_in_Berlin_%281980%29.html
Abruf: 06.05.2012, 09:15
- „Vom Mauerfall bis zur Gegenwart“
http://www.s-bahn-berlin.de/unternehmen/firmenprofil/historie_teil3.htm
Abruf: 06.05.2012, 11:00
- „Auf der Berliner Stadtbahn, 1882“
<http://www.berlinstreet.de/1439>
Abruf: 06.05.2012, 13:30
- Merkblatt zur Berechnung von Brandlasten, Ackermann Cable Management, 01/2008
<http://www.obo-bettermann.com/downloads/de/merkblaetter/Berechnung%20von%20Brandlasten.pdf>
Abruf: 21.05.2012, 09:24
- Technik aktuell – Elektrische Leitungen in Rigips Wänden
http://www.rigips.de/download/ta_elektrische_leitungen_in_rigips_waenden.pdf
Abruf: 21.05.2012, 09:50
- VdS Publikation – Verbrennungswärme der Isolierstoffe von Kabeln und Leitungen
http://vds.de/fileadmin/vds_publicationen/vds_2134_web.pdf
Abruf: 21.05.2012, 10:25

- RiskCon – Brandschutzkonzept gemäß Industriebaurichtlinie und DIN 18230
http://www.riskcon.de/pdf/brandsch_din_18230.pdf
Abruf: 21.05.2012, 11:00
- VdS Publikation – Kunststoffe, Eigenschaften, Brandverhalten, Brandgefahren
http://vds.de/fileadmin/vds_publicationen/vds_2516_web.pdf
Abruf: 21.05.2012, 12:05
- FeuerTRUTZ Magazin, Ausgabe 04/2008
http://www.feuertrutz.de/fileadmin/user_upload/3_Magazin/Download/verdichteter_sprinklerschutz_4_08.pdf#
Abruf: 21.05.2012, 14:20

Bildquellen

Deckblatt

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c3/Berlin_SBahn_HackescherMarkt_east.jpg

Abb. 1 + 2 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9b/Berliner_Ringbahn1885.jpg

Abb. 3 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a0/Karte_berlin_akzisemauer.png

Abb. 4 „Handbuch Brandschutzatlas“, Abb. 1.1-2

Abb. 5 DIN 4102-2, 2009-09, Bild 3

Abb. 6 eigenes Foto, 23.05.2012, 15:08

Abb. 7 eigenes Foto, 08.05.2012, 11:33

Abb. 8 eigenes Foto, 08.05.2012, 10:58

Abb. 9 eigenes Foto, 23.05.2012, 13:42

Abb. 10 eigenes Foto, 23.05.2012, 11:29

Tabellenquellen

Tab. 1 eigene Tabelle

Tab. 2 Auszug aus der Vkf-Vorschrift 115-03

Tab. 3 Auszug aus der DIN EN 1991-1-2 NA, Tab. BB.1

Tab. 4 Auszug aus der TGL 10685/02, Tab.4 (April 1982)

Literaturverzeichnis

Tab. 5	eigene Tabelle
Tab. 6	DIN 18230-1, Tab. 3 (2010-09)
Tab. 7	DIN 18230-1, Tab. 1 (2010-09)
Tab. 8+9+10	„Bautechnischer Brandschutz“, Beilicke, Tab. 23
Tab. 11	eigene Tabelle
Tab. 12	eigene Tabelle
Tab. 13	eigene Tabelle
Tab. 14	eigene Tabelle

Anlagen

Anlage 1

Checkliste Brandlasten

Anlage 2

Berechnung der Beiwerte für die primären Varianten

TAB. 16 - ABMESSUNGEN VIADUKTBOGEN

Abmessungen							
Grundfläche		Höhe Seitenwand		Raumhöhe (Rechteck+Bogen)			
b	l	h					
17,0	12,0	2,2	4,0				
Frontfenster							
Rechteckige Fläche		oberer Bogen					
b	h	Bogensehne = b	Bogenhöhe	Winkel α	Radius	Bogenlänge	Fläche
17,0	2,2	17,0	1,8	0,835	21,0	17,5	20,6

TAB. 17 - VARIANTE 1

Variante 1 - Bögen am Alexa --> Schaufensterfront, hinteres Lichtband							
Öffnungsfläche		hintere obere		Bogenmantelfläche			
Frontfenster		Bogenöffnung		Seitenwände	Rückwand	Decke	
57,98		20,6		52,8	37,4	210,0	
Umrechnungsfaktor c für den jeweiligen Materialwert						vorhandene Flächen	
I	Verglasung etc			0,15		78,6	
II	Beton, Ziegel, etc			0,20		300,2	
III	Holz, Dämmstoffe, etc			0,25			
c =		0,19 <i>Flächengewichteter Mittelwert</i>					
Wärmeabzugsfaktor w							
Wärmeabzugsflächen (Av, Ah)							
<i>horizontal</i>	<i>vertikal</i>	av	ah	β_w	α_w	w_0	w
0,0	39,3	0,025	0,19	24,20	1,129	0,62	0,70

TAB. 18 - VARIANTE 2

Variante 2 - Leerstand zw. Alex und Janowitzbrücke--> Fensterfront vorn und hinten							
Öffnungsfläche		Bogenmantelfläche					
Fenster vorn und hinten		Seitenwände			Decke		
115,96		52,8			210,0		
Umrechnungsfaktor c für den jeweiligen Materialwert						vorhandene Flächen	
I	Verglasung etc			0,15		116,0	
II	Beton, Ziegel, etc			0,20		262,8	
III	Holz, Dämmstoffe, etc			0,25			
c =		0,18 <i>Flächengewichteter Mittelwert</i>					
Wärmeabzugsfaktor w							
Wärmeabzugsflächen (Av, Ah)							
<i>horizontal</i>	<i>vertikal</i>	av	ah	β_w	α_w	w_0	w
0,0	116,0	0,025	0,57	24,20	1,129	0,50	0,56

TAB. 19 - VARIANTE 3

Anlagen

Variante 3 - Werkstatt etc., komplett zu--> Fenster vernachlässigbar klein							
Bogenmantelfläche							
Seitenwände		Decke					
52,8		210,0					
Umrechnungsfaktor c für den jeweiligen Materialwert					vorhandene Flächen		
I	Verglasung etc		0,15				
II	Beton, Ziegel, etc		0,20	262,8			
III	Holz, Dämmstoffe, etc		0,25				
c =		0,20			<i>Flächengewichteter Mittelwert</i>		
Wärmeabzugsfaktor w							
Wärmeabzugsflächen (Av, Ah)							
<i>horizontal</i>	<i>vertikal</i>	av	ah	β_w	α_w	w ₀	w
0,0	0,0	0,025	0,00	24,20	1,129	2,42	2,73

Die detaillierte Berechnung der einzelnen Werte kann mit den Gleichungen der DIN 18230-1 im Kapitel 8.5 nachzuvollziehen.

Erklärung zum eigenständigen Verfassen

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung verwendet.

Berlin, Datum

eigenhändige Unterschrift