

Philipp Müller-Donges

Bemessung von Stahlkonstruktionen im Brandfall nach dem Naturbrandkonzept

Diplomarbeit

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 2000 Diplomica Verlag GmbH
ISBN: 9783832430269

Philipp Müller-Donges

Bemessung von Stahlkonstruktionen im Brandfall nach dem Naturbrandkonzept

Philipp Müller-Donges

Bemessung von Stahlkonstruktionen im Brandfall nach dem Naturbrandkonzept

Diplomarbeit
an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
Lehrstuhl für Stahlbau Prof. Dr. Ing. G. Sedlacek
Oktober 2000 Abgabe



Diplomarbeiten Agentur
Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey
Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke
und Guido Meyer GbR

Hermannstal 119 k
22119 Hamburg

agentur@diplom.de
www.diplom.de

ID 3026

Müller-Donges, Philipp: Bemessung von Stahlkonstruktionen im Brandfall nach dem Naturbrandkonzept / Philipp Müller-Donges - Hamburg: Diplomarbeiten Agentur, 2001
Zugl.: Aachen, Technische Universität, Diplom, 2000

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden, und die Diplomarbeiten Agentur, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey, Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke & Guido Meyer GbR
Diplomarbeiten Agentur, <http://www.diplom.de>, Hamburg 2001
Printed in Germany



Diplomarbeiten Agentur

Wissensquellen gewinnbringend nutzen

Qualität, Praxisrelevanz und Aktualität zeichnen unsere Studien aus. Wir bieten Ihnen im Auftrag unserer Autorinnen und Autoren Wirtschaftsstudien und wissenschaftliche Abschlussarbeiten – Dissertationen, Diplomarbeiten, Magisterarbeiten, Staatsexamensarbeiten und Studienarbeiten zum Kauf. Sie wurden an deutschen Universitäten, Fachhochschulen, Akademien oder vergleichbaren Institutionen der Europäischen Union geschrieben. Der Notendurchschnitt liegt bei 1,5.

Wettbewerbsvorteile verschaffen – Vergleichen Sie den Preis unserer Studien mit den Honoraren externer Berater. Um dieses Wissen selbst zusammenzutragen, müssten Sie viel Zeit und Geld aufbringen.

<http://www.diplom.de> bietet Ihnen unser vollständiges Lieferprogramm mit mehreren tausend Studien im Internet. Neben dem Online-Katalog und der Online-Suchmaschine für Ihre Recherche steht Ihnen auch eine Online-Bestellfunktion zur Verfügung. Inhaltliche Zusammenfassungen und Inhaltsverzeichnisse zu jeder Studie sind im Internet einsehbar.

Individueller Service – Gerne senden wir Ihnen auch unseren Papierkatalog zu. Bitte fordern Sie Ihr individuelles Exemplar bei uns an. Für Fragen, Anregungen und individuelle Anfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung. Wir freuen uns auf eine gute Zusammenarbeit

Ihr Team der *Diplomarbeiten Agentur*

Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey —
Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke —
und Guido Meyer GbR —

Hermannstal 119 k —
22119 Hamburg —

Fon: 040 / 655 99 20 —
Fax: 040 / 655 99 222 —

agentur@diplom.de —
www.diplom.de —

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Überblick über die vorhandenen bauaufsichtlichen Anforderungen und Bemessungsregeln	3
2.1	Vorgaben der Bauordnungen und Richtlinien	3
2.2	DIN 4102	5
2.3	Industriebaurichtlinie und DIN 18230	6
2.4	Europäische Regelungen	12
2.4.1	Eurocode-Brandschutzteile	15
2.4.1.1	EC1 Teil 2-2 (Brandeinwirkungen auf Tragwerke)	16
2.4.1.2	EC3 Teil 1-2 (Tragwerksbemessung von Stahlbauten im Brandfall)	24
3	Naturbrandsicherheitskonzept „Natural Fire Safety Concept“	31
3.1	Ziel des Naturbrandsicherheitskonzeptes	31
3.2	Aufbau und Ablauf des Naturbrandsicherheitskonzeptes	31
3.3	Brandmodelle	34
3.3.1	„One Zone“ Modelle	36
3.3.2	„Two Zone“ Modelle	38
3.4	Äquivalente Branddauer	39
3.5	Brandcharakteristika für die Bemessung mit Naturbränden	40
3.6	Statistische Untersuchungen und ihre Berücksichtigung zur Bestimmung der Bemessungsbrandlast	44
4	Erstellung der Bemessungsrichtlinie	47
4.1	Konzept der Bemessungsrichtlinie	47
4.2	Grundlagen	48
4.3	Werkstoffe	50
4.4	Einwirkungen	51
4.5	Berechnung der Bauteilerwärmung	55
4.6	Nachweis der Standsicherheit	56
5	Überprüfung des erstellten Richtlinien-Vorschlages	59
5.1	Gebäudebeschreibung	59
5.2	Einwirkungen	61
5.2.1	Mechanische Einwirkungen	61
5.2.2	Naturbrand-Einwirkungen	64
5.3	Nachweis der Standsicherheit	70
6	Bemessungshilfen	71
6.1	Betrachtete Konzepte	71
6.2	Gewählte Konzepte	72
6.2.1	Naturbrandbemessungsdiagramme	72
6.2.2	Äquivalente Branddauerermethode und „NFSC“	79
7	Zusammenfassung und Ausblick	83
8	Literaturverzeichnis	86

Anhang A - Richtlinien-Vorschlag

Anhang B - Bemessungshilfen (Bemessungsdiagramm und Excel-Arbeitsblatt)

1 Einleitung

Der Einsatz von Stahlkonstruktionen zur Erstellung von Gebäuden, die brandschutztechnische Anforderungen erfüllen müssen, ist sehr unwirtschaftlich, weil sie für den Brandfall nicht realitätsnahe bemessen werden können.

Der Nachweis ausreichender Standsicherheit von Tragkonstruktionen im Brandfall erfolgt zur Zeit durch Klassifizierung von Bauteilen unter Zugrundelegung der Einheitstemperaturkurve. Diese Klassifizierung durch Bauteilversuche hat zur Folge, dass Stahlkonstruktionen in der Regel nicht ungeschützt zur Erstellung eines Bauwerkes eingesetzt werden können. Der erforderliche Schutz der Stahlbautragwerke in Form von Brandschutzverkleidung oder Beschichtung führt zur Unwirtschaftlichkeit von Stahlkonstruktionen. Nicht selten sind die Kosten der Schutzmaßnahmen vergleichbar hoch wie die der gesamten Stahlkonstruktion.

Die Klassifizierung von Bauteilen unter Zugrundelegung der Einheitstemperaturkurve berücksichtigt nicht die Randbedingungen unter denen sich ein Brand entwickelt und ausbreitet. Die Einheitstemperaturkurve verhält sich wie ein Brand, dem unendlich viel Brennstoff zur Verfügung steht. Ein solches Brandszenario führt jedoch zu sehr konservativen und unrealistischen Anforderungen an eine Tragkonstruktion. Diese Anforderungen sind besonders für Stahlkonstruktionen sehr ungünstig, weil normaler Baustahl ab einer Bauteiltemperatur von ca. 550 °C seine Tragfähigkeit verliert.

Auf europäischer Ebene werden seit einiger Zeit Bemessungsverfahren, die einen rechnerischen Nachweis der Standsicherheit im Brandfall ermöglichen, entwickelt. Sie basieren auf statistischen Auswertungen realer Brandereignisse und einer Vielzahl von Versuchen und Parameterstudien und berücksichtigen damit die tatsächlich zu erwartenden thermischen Einwirkungen (Naturbrand-Einwirkungen) im Brandfall. Bei der Bestimmung dieser Naturbrand-Einwirkungen werden auch aktive Brandschutzmaßnahmen, wie vorhandene Sprinkleranlagen, berücksichtigt. Dies führt zu brandschutztechnisch sichereren Gebäuden, weil die so erforderlichen aktiven Brandschutzmaßnahmen für die Sicherheit der Gebäudenutzer höher zu bewerten ist als eine brandschutzverkleidete Tragkonstruktion, die 90 min Einheitstemperaturkurveneinwirkung widerstehen kann.

In der vorliegenden Arbeit sind die europäischen Forschungsergebnisse ausgewertet worden und auf ihrer Grundlage ist ein Bemessungsrichtlinien-Vorschlag entworfen worden. Dieser Richtlinien-Vorschlag umfasst die Brandeinwirkungen nach Naturbrandkonzept und Nachweise der Standsicherheit von Stahlkonstruktionen. Weiterhin wurden Bemessungshilfen entwickelt, die die Anwendung des Richtlinien-Vorschlages unterstützen und eine leichte Abschätzung der erforderlichen Brandschutzmaßnahmen in der Entwurfs- und Angebotsphase einer Baumaßnahme ermöglichen.

Mit diesen rechnerischen Bemessungsverfahren kommt es zu zum einen zu einer höheren Sicherheit für die Gebäudenutzer und zum anderen zu einer wirtschaftlicheren Bemessung von Stahlkonstruktionen im Brandfall.

2 Überblick über die vorhandenen bauaufsichtlichen Anforderungen und Bemessungsregeln

2.1 Vorgaben der Bauordnungen und Richtlinien

Grundlage der bauaufsichtlichen Brandschutzvorschriften sind die Landesbauordnungen. Sie basieren auf der Musterbauordnung (MBO) [1] des Bundes. Das Hauptschutzziel der Bauordnungen ist in § 3 Abs. 1 MBO wie folgt beschrieben:

„Bauliche Anlagen sowie andere Anlagen und Einrichtungen im Sinne von § 1 Abs. 1 Satz 2 sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instandzuhalten, dass die öffentliche Sicherheit oder Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit oder die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden.“

Dieses Hauptschutzziel wird bezüglich des Brandschutzes in § 17 Abs.1 MBO wie folgt weiter konkretisiert:

„Bauliche Anlagen müssen so beschaffen sein, dass der Entstehung eines Brandes und der Ausbreitung von Feuer und Rauch vorgebeugt wird und bei einem Brand die Rettung von Menschen und Tieren sowie wirksame Löscharbeiten möglich sind.“

§ 17 MBO fordert vorbeugende Brandschutzmaßnahmen, die das vorrangige Schutzziel von § 1 MBO, den Schutz von Leib und Leben konkretisieren. Dies bedeutet den Schutz der Gebäudenutzer und der Rettungsmannschaften vor Feuer, Rauch und dem Zusammenbruch der Gebäudekonstruktion im Brandfall. Eine angemessene Standsicherheit des Gebäudes und besonders der Rettungswege ist deswegen für die Rettung der Gebäudenutzer und die Arbeit der Feuerwehr- und Rettungsmannschaften Bestandteil des Schutzziels von § 1 MBO.

In den Bauordnungen sind Vorschriften enthalten, die genaue Materialanforderungen, wie z.B. „feuerbeständig“, an die Baustoffe und Bauteile eines Gebäudes stellen. Diese Anforderungen sollen einer Brandentstehung und -ausbreitung vorbeugen. Sie sind in Abhängigkeit der Gebäudehöhe und der Nutzungsart abgestuft und werden mit Sonderbauverordnungen und Richtlinien, wie der Hochhausverordnung oder der Industriebaurichtlinie, konkretisiert. Hierzu sei angemerkt, dass in einigen Landesbauordnungen z.B. LBO NRW die bisher gebräuchlichen Bezeichnungen der Materialanforderungen „feuerhemmend und feuerbeständig“ durch die Normenbezeichnungen nach DIN 4102 ersetzt worden sind:

F 30: feuerhemmend

F 30-AB: feuerhemmend und in den wesentlichen Teilen aus nicht brennbaren Baustoffen

F 90-AB: feuerbeständig

Über § 3 Abs. 3 MBO, der folgendes festlegt:

„Die von der obersten Bauaufsichtsbehörde durch öffentliche Bekanntmachung als Technische Baubestimmungen eingeführten technischen Regeln sind zu beachten. Bei der Bekanntmachung

kann hinsichtlich ihres Inhalts auf die Fundstelle verwiesen werden. Von den Technischen Baubestimmungen kann abgewichen werden, wenn mit einer anderen Lösung in gleichem Maße die allgemeinen Anforderungen des Absatzes 1 erfüllt werden; § 20 Abs. 3 und § 23 bleiben unberührt.“

werden, die zur Erfüllung der Grundanforderungen des Baurechts gemäß § 1 Abs. 1 MBO erforderlichen technischen Regeln (dazu zählen auch die Richtlinien) der Bautechnik als „Technische Baubestimmungen“ eingeführt. Es kann aber, so fern eine gleichwertige Lösung gefunden wird, von den „Technischen Baubestimmungen“ abgewichen werden. Die Bekanntmachung dieser „Technischen Baubestimmungen“ erfolgt in den einzelnen Bundesländern als Verwaltungsvorschrift in Form einer Musterliste der „Technischen Baubestimmungen“. Diese Musterliste gibt jedoch nur über technische Regeln für die Planung, Bemessung und Konstruktion baulicher Anlagen und ihrer Teile Auskunft. Die technischen Regeln für Bauprodukte und Bauarten werden hingegen vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) bekanntgegeben und in der Bauregelliste A zusammengefasst. Diese bauprodukt- bzw. bauartbezogenen technischen Regeln gelten ebenfalls als „Technische Baubestimmungen“ [4].

Aus dem § 3 und § 17 der MBO und den „Technischen Baubestimmungen“ ergeben sich konkrete Forderungen, die im Zuge des bauaufsichtlichen Verfahrens berücksichtigt werden müssen. Wie in Bild 2.1 dargestellt, können diese Forderungen in vier Hauptgruppen gegliedert werden.

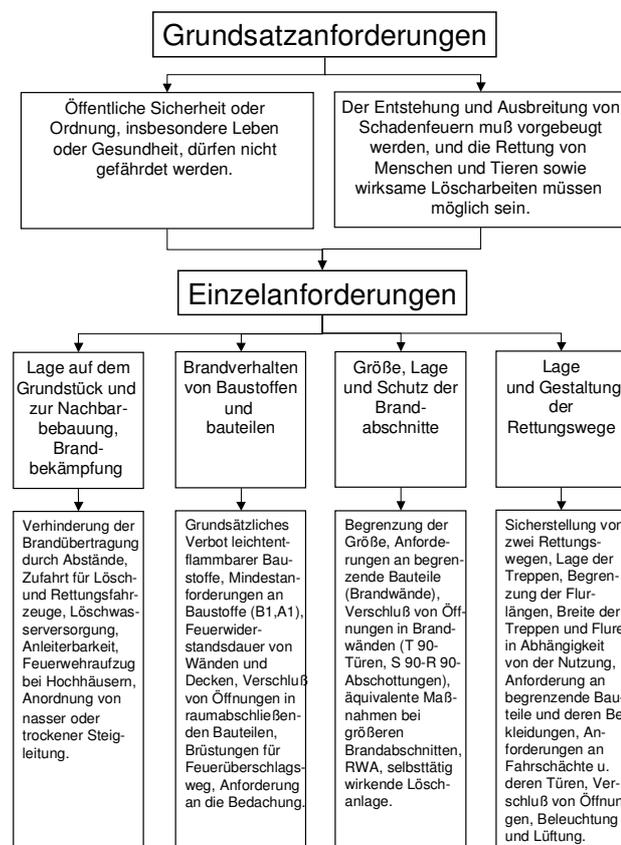


Bild 2.1: Anforderungen nach Musterbauordnung [8]

Die aus den Bauordnungen abgeleiteten konstruktiven Brandschutzanforderungen werden über die Bauregelliste A Teil 1 mit den Feuerwiderstandsklassen der DIN 4102 verknüpft.

2.2 DIN 4102

In der DIN 4102 [18] werden Bauteile und Baustoffe nach ihrem Brandverhalten klassifiziert, indem die Feuerwiderstandsdauer der Baustoffe und Bauteile anhand der Einheitstemperaturkurve (EKT) geprüft wird. Für tragende Bauteile stehen die Klassen F 30, F 60, F 90, F 120 und F 180 zur Verfügung. Die Baustoffe werden in die Klassen A (nichtbrennbare Baustoffe), B (brennbare Baustoffe) und AB (in wesentlichen Teilen aus nichtbrennbaren Baustoffen bestehend) eingeteilt. Das Versagensmodell dieser Prüfung ist je nach der vom Bauteil erwarteten Schutzwirkung im Brandfall, Tragfähigkeit oder Raumabschluß, in Tabelle 2.1 zusammengestellt.

Tragfähigkeit	Raumabschluß
<ul style="list-style-type: none"> - Verlust der Tragfähigkeit durch Zusammenbrechen unter rechnerischer Gebrauchslast bei zweiseitiger, dreiseitiger oder vierseitiger Temperaturbeanspruchung - Überschreitung der Durchbiegungsgeschwindigkeit: $\frac{\Delta f}{\Delta t} = \frac{l^2}{9000 h}$ <p>Dabei ist: l Stützweite [cm] h Statische Höhe [cm] Δf Durchbiegungsintervall [cm] während eines Zeitintervalls Δt von einer [min] Δt Zeitintervall von einer [min] Δf / Δt Durchbiegungsgeschwindigkeit [cm/min]</p> - Bei nicht unter Last prüfbar Stahlstützen > 500 °C Temperatur an einer Meßmarke - Bei Stützen ≥ F 90, wenn Bekleidung dem Löschwasserstrahl nicht standhält bzw. Bewehrung freigelegt wird. 	<ul style="list-style-type: none"> - Durchgang des Feuers, dargestellt durch Entflammung eines Wattebausches - Überschreitung der Temperaturerhöhung ΔT auf feuerabgekehrter Seite von 140 K im Mittel, 180 K im Einzelwert - Verlust der Resttragfähigkeit, geprüft durch Kugelschlag, Kugel 15 bis 25 kg mit 20 Nm Stoßarbeit. <p>Bei Brandwänden nach Brandprüfung 90 min:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Verlust der Restfestigkeit geprüft durch 3 Stöße mit Bleischrotsack 200 kg mit 3000 Nm Stoßarbeit

Tabelle 2.1: Versagenskriterien der Bauteile unter EKT Beanspruchung [8]

Die Ermittlung der entsprechenden Feuerwiderstandsklassen erfolgt nach dem in Bild 2.2 dargestellten Schema.

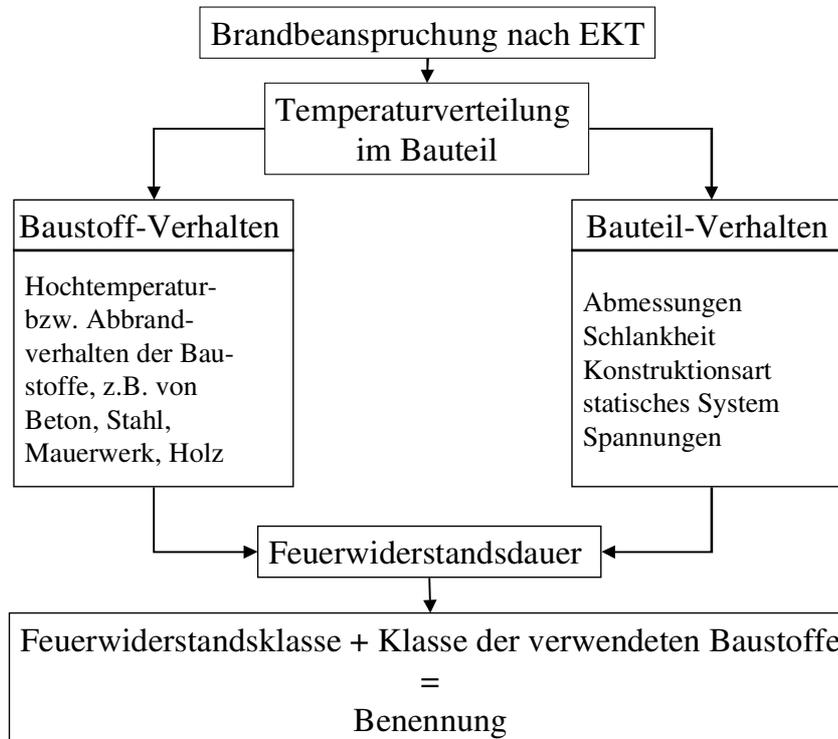


Bild 2.2: Ermittlung der Feuerwiderstandsklasse [8]

Sind also z.B. feuerwiderstandsfähige Bauteile laut MBO erforderlich, kann ihre Bemessung mit der als „Technische Baubestimmung“ eingeführten Bemessungsnorm DIN 4102 Teil 4 für eine Feuerwiderstandsklasse (z.B. F 90) erfolgen oder es werden Bauteile der entsprechenden Feuerwiderstandsklasse gewählt, für die ein bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis in Form einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung oder eines bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses vorliegt. Die DIN 4102 Teil 4 enthält Angaben über Bauteile und Baustoffe, die bereits nach dem oben erläuterten Verfahren klassifiziert wurden.

2.3 Industriebaurichtlinie und DIN 18230

Ziel der Industriebaurichtlinie [2] ist es, die Mindestanforderungen an den baulichen Brandschutz von Industriebauten zu regeln. Dabei handelt es sich im Besonderen um

- die Feuerwiderstandsfähigkeit der Bauteile und die Brennbarkeit der Baustoffe
- die Größe der Brandabschnitte bzw. Brandbekämpfungsabschnitte
- die Anordnung und Länge der Rettungswege

Die rechtliche Grundlage der Industriebaurichtlinie ist § 51 (bauliche Anlagen und Räume besonderer Art oder Nutzung) der MBO. Er besagt, dass an „Bauliche Anlagen und Räume besonderer Art oder Nutzung“ zur Verwirklichung der Grundanforderungen nach § 3 MBO besondere Anforderungen

gestellt oder Erleichterungen von materiellen Vorschriften der MBO gestattet werden können. Abs. 1 des § 51 MBO lautet wie folgt:

„Können durch die besondere Art oder Nutzung baulicher Anlagen und Räume ihre Benutzer oder die Allgemeinheit gefährdet oder in unzumutbarer Weise belästigt werden, so können im Einzelfall zur Verwirklichung der allgemeinen Anforderungen nach § 3 Abs. 1 Satz 1 besondere Anforderungen gestellt werden. Erleichterungen können gestattet werden, soweit es der Einhaltung von Vorschriften wegen der besonderen Art oder Nutzung baulicher Anlagen oder Räume oder wegen besonderer Anforderungen nicht bedarf...“

Diese Aussage ist vor dem Hintergrund zu sehen, dass die materiellen brandschutztechnischen Anforderungen der MBO sich im engeren Sinne auf Nutzungsarten wie Wohnen und vergleichbare Nutzungen beziehen. Für die industrielle Nutzung sind diese in den meisten Fällen weder notwendig noch sinnvoll. Es geht hier vielmehr darum, die allgemeinen Schutzziele des baulichen Brandschutzes nach § 17 MBO (siehe Abschnitt 2.1) zu gewährleisten und diesen im Zusammenhang mit den verschiedenen industriellen Nutzungen Rechnung zu tragen [9].

Wird ein Gebäude aufgrund seiner besonderen Art und Nutzung als Industriebau eingestuft, kann die Industriebaurichtlinie und die DIN 18230 Teil 1 (Baulicher Brandschutz im Industriebau) angewendet werden. Nach 3.1 der Industriebaurichtlinie sind Industriebauten Gebäude oder Gebäudeteile, die der Produktion (Herstellung, Behandlung, Verwertung, Verteilung) oder der Lagerung von Produkten oder Gütern dienen [1].

Was die Anforderungen an Baustoffe und Bauteile sowie die Größe der Brandabschnitte betrifft, wird in der Industriebaurichtlinie ein „*Vereinfachtes Verfahren*“ ohne Brandlastermittlung von einem „*Rechenverfahren*“, bei dem die DIN 18230 zum Einsatz kommt, unterschieden [6].

Vereinfachtes Verfahren

In Abschnitt 6 der Industriebaurichtlinie werden die Anforderungen des „*Vereinfachten Verfahrens*“ hinsichtlich Baustoffen, Bauteilen und Brandabschnittsgröße, in Abhängigkeit der Sicherheitskategorie (K1-K4) und der Feuerwiderstandsklassen, mit der folgenden Tabelle 2.2 zusammengefasst.