8.4 Zusammenfassende Wertung

Vorbemerkung

Wesentliche Voraussetzung für die bauaufsichtliche Anerkennung und Einführung der brandschutztechnischen Nachweise der Eurocodes ist deren Gleichwertigkeit mit den bisher in Deutschland verwendeten tabellarischen Bemessungsvorgaben in DIN 4102 Teil 4. Der vorliegende Bericht liefert nun die erforderlichen Hintergrundinformationen und Vergleichsrechnungen, mit denen das Sicherheitsniveau der Brandschutzteile der Eurocodes eingeschätzt werden kann. Er kann auch als Hilfe bei der Anwendung in der Praxis dienen.

Im Rahmen des Forschungsauftrags des Deutschen Instituts für Bautechnik an das Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der TU Braunschweig wurden auch die Federführenden der 6 Arbeitskreise des zuständigen Spiegelausschusses NABau 00.32.00 beteiligt. Die repräsentativen Anwendungsbeispiele sowie die Erläuterungen zu den Nationalen Anwendungsdokumenten zu den einzelnen Eurocode-Teilen wurden auf diese Weise mit den jeweiligen Arbeitskreisen abgestimmt.

Einleitung

Im vorliegenden Forschungsbericht wird das Grundkonzept der Brandschutzbemessung nach den Brandschutzteilen der Eurocodes und deren wesentliche Inhalte vorgestellt. Dabei werden einführende Erläuterungen zu den drei Nachweisstufen und eine generelle Betrachtung zur Sicherheitsphilosphie angestellt sowie eine Übersicht über die Erarbeitung der Nationalen Anwendungsdokumente (NAD´s) gegeben. Anschließend erfolgt für die Eurocodes 1 bis 6 eine nähere Betrachtung der brandschutztechnischen Bemessungsregeln mit Kommentaren zum technischen Hintergrund der Regeln und einer Bewertung der vereinfachten Rechenverfahren. Abweichende Regelungen im NAD werden begründet. Die Nachweisverfahren werden abschließend auf repräsentative Beispiele angewendet. Dabei wird für alle Eurocodes folgende Untergliederung vorgenommen:

- Erläuterungen und Anwendungshilfen für die brandschutztechnische Bemessung
- Erläuterungen, Änderungs- und Ergänzungsvorschläge für das NAD
- Berechnung von repräsentativen Anwendungsbeispielen

Allgemeines

Die seit 1995 als Europäische Vornormen (ENV) vorliegenden Eurocodes sollen in einer dreijährigen Erprobungsphase im Hinblick auf Vollständigkeit, Anwendungsfreundlichkeit und das vorhandene Sicherheitsniveau in den Mitgliedsstaaten überprüft werden. In absehbarer Zeit sollen die Brandschutzteile der Eurocodes 1 bis 6 als deutsche Vornormen in Verbindung mit den

entsprechenden NAD's zur probeweisen Anwendung in Deutschland - neben der klassischen Brandschutznorm DIN 4102 Teil 4 - freigegeben werden. Bisher sind folgende Brandschutzteile der Vornormen veröffentlicht worden:

DIN V ENV 1991-2-2 - Grundlagen und Einwirkungen

DIN V ENV 1992-1-2 - Tragwerksbemessung für Stahlbeton- und Spannbetontragwerke

DIN V ENV 1993-1-2 - Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten

DIN V ENV 1994-1-2 - Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton

DIN V ENV 1995-1-2 - Bemessung und Konstruktion von Holzbauten

DIN V ENV 1996-1-2 - Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten

In den Eurocodes sind erstmals für Deutschland auch rechnerische Nachweisverfahren zur brandschutztechnischen Bemessung von Bauteilen und Tragwerken enthalten, die sich eng an die Bemessung für die Gebrauchslastfälle bei Normaltemperatur („Kaltbemessung") der baustoffbezogenen Eurocodes anlehnen. Voraussetzung für die bauaufsichtliche Anerkennung und Einführung der brandschutztechnischen Nachweise der Eurocodes in Deutschland ist deren Gleichwertigkeit mit den bisher verwendeten tabellarischen Bemessungsvorgaben in DIN 4102 Teil 4.

Brandschutztechnische Nachweisverfahren

Die Brandschutzteile der baustoffbezogenen Eurocodes 2 bis 6 sehen grundsätzlich brandschutztechnische Nachweisverfahren auf drei Stufen vor:

- tabellarische Daten (Nachweisstufe 1)
- vereinfachte Rechenverfahren (Nachweisstufe 2)
- allgemeine Rechenverfahren (Nachweisstufe 3).

Die Nachweisverfahren mittels tabellarischer Daten beschränken sich in der Regel darauf, die Querschnittsabmessungen des zu untersuchenden Bauteils (und z. B. bei Betonbauteilen den Achsabstand der Bewehrung) mit Werten zu vergleichen, die nach Brandversuchsergebnissen zum Erreichen der vorgesehenen Feuerwiderstandsdauer erforderlich sind.

Mit den vereinfachten Rechenverfahren wird in der Regel nachgewiesen, daß alle maßgebenden Lasteinwirkungen auch nach Ablauf der vorgeschriebenen Feuerwiderstandsdauer eines Bauteils ohne Versagen aufgenommen werden können. Dafür werden u. a. Vereinfachungen bei der Temperaturer-

mittlung für die Bauteilquerschnitte und bei der Beschreibung des Versagenszustandes im Brandfall getroffen.
Mit Hilfe der allgemeinen Rechenverfahren wird für eine vorgegebene Feuerwiderstandsdauer das tatsächliche Tragvermögen, gegebenenfalls auch das Verformungsverhalten der Bauteile, ermittelt. Unter Verwendung dieser exakten Berechnungsmethoden kann neben der Simulation von Brandversuchen auch die Traglast eines Bauteils bei vorgegebener Temperaturzeitkurve für den Brandraum bestimmt werden. Bei lokal begrenzter Brandbeanspruchung kann das Brandverhalten von Teil- oder Gesamttragwerken mit beliebiger Temperaturzeitkurve untersucht werden.

Eurocode 1 Teil 2-2

Im Eurocode 1 Teil 2-2 werden Rechengrundlagen zur Ermittlung der Temperatur- und Lasteinwirkungen geregelt. Der Brandfall wird als ein „außergewöhliches Ereignis" angesehen, das nicht mit anderen, davon unabhängigen außergewöhnlichen Ereignissen überlagert zu werden braucht. Auch zeit- und lastabhängige Einflüsse auf das Tragverhalten, die vor Auftreten des Brandfalls wirksam werden, müssen nicht berücksichtigt werden. Dadurch ist es z. B. zulässig, das Trag- und Verformungsverhalten von Betonstützen im Brandfall ohne Berücksichtigung von Kriech- und Schwindeinflüssen zu ermitteln, die bis zum Zeitpunkt der Brandbeanspruchung bereits aufgetreten sind.
Bei der brandschutztechnischen Bemessung ist es in der Regel nicht erforderlich, die Abkühlphase des Brandes zu berücksichtigen.

Im Folgenden wird durch einen Vergleich der globalen Sicherheitsbeiwerte für die einzelnen Baustoffe gezeigt, daß das Sicherheitsniveau der brandschutztechnischen Nachweise nach den Eurocodes sich gegenüber DIN 4102 Teil 4 im Mittel gesehen nicht verschieben wird. Dazu wird das Lastniveau bei der Brandschutzbemessung nach DIN 4102 Teil 4 durch Division der Beanspruchbarkeit bei Normaltemperatur durch einen globalen Sicherheitsbeiwert γ bestimmt. Für die baustoffbezogenen Eurocodes kann ein entsprechendes Lastniveau aus den festgelegten Teilsicherheitsbeiwerten auf der Beanspruchbarkeitsebene γ_M und dem o. g. Reduktionsfaktor η_{fi} für die Beanspruchungsseite errechnet werden. η_{fi} wird in folgender Tabelle für einzelne Baustoffe mit $\eta_{fi} = 0{,}70$ und $\eta_{fi} = 0{,}65$ angegeben, wobei der im entsprechenden NAD empfohlene Wert kursiv hervorgehoben ist.

Vergleich der globalen Sicherheitsbeiwerte von DIN 4102 Teil 4 und Eurocode

Baustoff	DIN 4102 Teil 4: $E_N = R_N / \gamma$		Eurocode: $E_{fi,d,t} = \eta_{fi} \cdot R_k / \gamma_M$		
	γ	**$1/\gamma$**	γ_M	η_{fi}	η_{fi} / γ_M
Beton	2,1	**0,48**	1,5	*0,7*	***0,47***
Betonstahl	1,75	**0,57**	1,15	0,7	**0,61**
				0,65	***0,57***
Baustahl	1,71	**0,58**	1,1	0,70	**0,64**
				0,65	***0,59***
Holz	3,5	**0,29**	1,3	0,70	**0,31*)**
				0,65	***0,29*)***
			*) $E_{fi,d,t} = 0{,}9 \cdot 0{,}64 \cdot \eta_{fi} \cdot R_k / \gamma_M$ bei Holz		

Eurocode 2 Teil 1-2

Im vorliegenden Forschungsvorhaben, daß sowohl repräsentative Anwendungsbeispiele, aber auch eine kritische Untersuchung der Grundlagen des vereinfachten Rechenverfahrens umfaßt, wurde die Gleichwertigkeit der Nachweisverfahren des Eurocodes 2 Teil 1-2 mit den tabellarischen Nachweisen für Stahlbeton- und Spannbetonbauteile nach DIN 4102 Teil 4 bestätigt.

Die Gleichwertigkeit der tabellarischen Nachweise von DIN 4102 Teil 4 und Eurocode 2 Teil 1-2 ist offenkundig, da die Tabellen im wesentlichen unverändert aus DIN 4102 Teil 4 in den Eurocode worden sind.

Die brandschutztechnische Bemessung nach dem vereinfachten Rechenverfahren ist für stabförmige Bauteile in der Regel ohne großen Aufwand durchführbar. Anders als bei den tabellarischen Nachweisen läßt sich die noch vorhandene Tragreserve in Abhängigkeit von der Branddauer direkt angeben.

Die Bemessungsregeln des Eurocodes 2 Teil 1-2 können zur Zeit nicht vollständig angewendet werden, deshalb müssen im NAD Einschränkungen vorgenommen werden. Dies betrifft insbesondere die brandschutztechnische Bemessung von Tragwerken aus Hochleistungsbeton und die Verwendung nicht-linearer Verfahren zur Schnittgrößenermittlung im Brandfall. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf, um die brandschutztechnischen Bemessungsregeln entsprechend zu erweitern.

Gegen eine bauaufsichtlichen Zulassung der Nachweisstufen 1 und 2 des Eurocodes 2 Teil 1-2 bestehen aus Sicht der Verfasser keine Bedenken, wenn die vorstehenden Erläuterungen und Ergänzungsvorschläge in Verbindung mit der Nationalen Anwendungsrichtlinie beachtet werden.

Eurocode 3 Teil 1-2

Im Eurocode 3 Teil 1-2 wird auf die Angabe klassifizierter Bekleidungen wie in DIN 4102 Teil 4 in Form von Bemessungstabellen verzichtet.

Für Einzelbauteile gibt Eurocode 3 Teil 1-2 zwei Näherungsverfahren zur vereinfachten brandschutztechnischen Bemessung an. Bei beiden Verfahren ist für eine geforderte Feuerwiderstandsdauer t nachzuweisen, daß die Einwirkungen im Brandfall $E_{fi,d}$ nach Eurocode 1 Teil 2-2 kleiner oder gleich dem entsprechendem Bemessungswert der Beanspruchbarkeit zum Zeitpunkt t $R_{fi,d,t}$ sind.

Im ersten Verfahren (Tragfähigkeit) wird der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit $R_{fi,d,t}$ zum Zeitpunkt t für die Temperaturverteilung im Querschnitt durch Anpassen der Beanspruchbarkeit unter Normaltemperatur nach Eurocode 3 Teil 1-1 ermittelt, wobei die mechanischen Eigenschaften von Stahl unter erhöhter Temperatur zu berücksichtigen sind.

Alternativ darf die Bemessung im zweiten Verfahren (kritische Temperatur) unter Annahme gleichförmiger Temperaturverteilung auf Temperaturebene durchgeführt werden, indem die kritische Stahltemperatur $\Theta_{a,cr}$ bestimmt wird.

Bei bekleideten Stahlkonstruktionen kann im Anschluß an beide Verfahren die Bekleidungsstärke für die angestrebte Feuerwiderstandsdauer errechnet werden. Die dem Berechnungsverfahren zugrunde liegenden thermischen Stoffkennwerte der Bekleidungen sollen künftig nach europäischen Vornormen bestimmt werden. Für in DIN 4102 Teil 4 geregelte bekleidete Stahlkonstruktionen werden im Forschungsbericht temperaturunabhängige thermische Materialeigenschaften der Brandschutzmaterialien angegegeben, mit denen bei einer vereinfachten Berechnung nach Eurocode 3 Teil 1-2 unter Berücksichtigung der Randbedingungen eine Gleichwertigkeit der Nachweise nach DIN 4102 Teil 4 erreicht wird.

Im Abschlußbericht sind exemplarisch Diagramme dargestellt, aus denen man in Abhängigkeit von der kritischen Stahltemperatur, vom Profilfaktor U/A des Stahlprofils sowie von der angestrebten Feuerwiderstandsdauer t_F die brandschutztechnisch erforderliche einlagige Plattendicke d_p für Stützen und für Träger entnehmen kann. Alternativ kann eine klassifizierte Bekleidung entsprechend DIN 4102 Teil 4 gewählt werden, die jedoch überdimensioniert wird, wenn die kritische Temperatur nach Eurocode 3 Teil 1-2 deutlich über 500°C liegt.

Eurocode 4 Teil 1-2

Für Stützen aus vollständig einbetonierten Stahlprofilen existieren keine vereinfachte Berechnungsverfahren, die Feuerwiderstandsdauer hängt allein von der Betonüberdeckung des Stahlprofils ab.

Eine vergleichende Betrachtung für betongefüllte Hohlprofilstützen kann nicht durchgeführt werden, da das vereinfachte Berechnungsverfahren in Eurocode 4 Teil 1-2 für eine breite Anwendung nicht geeignet ist.

Verbunddecken benötigen eine Allgemeine Bauaufsichtliche Zulassung, daher sind die Bemessungsverfahren in Eurocode 4 Teil 1-2 nur zur Vorbemessung einsetzbar.

Dem vereinfachten Bemessungsverfahren für Verbundträgern mit ungeschützten Stahlprofilen kommt nur eine geringe praktische Bedeutung zu, da die Einstufung in Feuerwiderstandsklassen nur bei unwirtschaftlich geringer Lastausnutzung der Stahlprofile im Kaltzustand möglich ist.
Der Vergleich der Ergebnisse der Beispielrechnungen von kammerbetonierten Verbundträgern und Verbundstützen aus kammerbetonierten Stahlprofilen (zentrische und exzentrische Beanspruchung) hat ergeben, daß mit den Bemessungtabellen und den vereinfachten Berechnungsverfahren des Eurocodes 4 Teil 1-2 ein der tabellarischen Bemessung nach DIN 4102 Teil 4 gleichwertiges Sicherheitsniveau erreicht wird. Die punktuellen Ergebnisse der Anwendungsbeispiele entsprechen dem tendenziellen Verlauf der in der Literatur dokumentierten umfangreichen Vergleichsbetrachtungen zur Absicherung vereinfachter Rechenverfahren, die im Mittel eine gute Übereinstimmung zu Versuchsergebnissen und exakten Berechnungsergebnissen ergaben.
Durch Anwendung vereinfachter Berechnungsverfahren für Verbundkonstruktionen wird eine wirtschaftlichere brandschutztechnische Bemessung für ein größeres Anwendungsspektrum bei relativ geringem Berechnungsaufwand möglich. Die Bemessungstabellen der DIN 4102 Teil 4 bieten keine Nachweismöglichkeiten für Durchlaufsysteme und Anschlüsse.
Aus Sicht der Verfasser bestehen gegen die bauaufsichtliche Zulassung der beschriebenen Nachweisverfahren der Stufen 1 und 2 des Eurocodes 4 Teil 1-2 bei Beachtung der gegebenen Hinweise und Erläuterungen und der Festlegungen im Nationalen Anwendungsdokument keine Bedenken.

Eurocode 5 Teil 1-2

Im Eurocode 5 Teil 1-2 wird auf die Angabe klassifizierter Bekleidungen wie in DIN 4102 Teil 4 in Form von Bemessungstabellen verzichtet.
Für vereinfachte Tragfähigkeitsnachweise gibt Eurocode 5 Teil 1-2 zwei Bemessungsmethoden an. Bei der Bemessung mit ideellem Restquerschnitt wird die Abbrandtiefe d um einen Betrag erhöht, so daß für den verkleinerten Restquerschnitt mit den Festigkeits- und Verformungseigenschaften wie bei Raumtemperatur gerechnet werden kann.
Die Bemessung mit reduzierter Festigkeit und Steifigkeit für Normbrandbeanspruchung erfolgt mit temperaturabhängigen Festigkeits- und Verformungseigenschaften an einem Restquerschnitt, der durch die Abbrandtiefe d reduziert ist.
Die Ergebnisse der Vergleichsrechnungen zeigen, daß das Sicherheitsniveau des Eurocodes 5 Teil 1-2 im Vergleich zur DIN 4102 Teil 4 im Mittel bestehen bleibt. Es ist jedoch künftig zu untersuchen, ob die Verfahren verfeinert werden können, um bei einzelnen bewährten Konstruktionen keine Verringerung der Feuerwiderstandsdauern hinnehmen zu müssen, wenn der Nachweis nach Eurocode 5 Teil 1-2 größere Sicherheiten aufweist als die experimentell abgesicherten Nachweise nach DIN 4102 Teil 4.

Eurocode 6 Teil 1-2

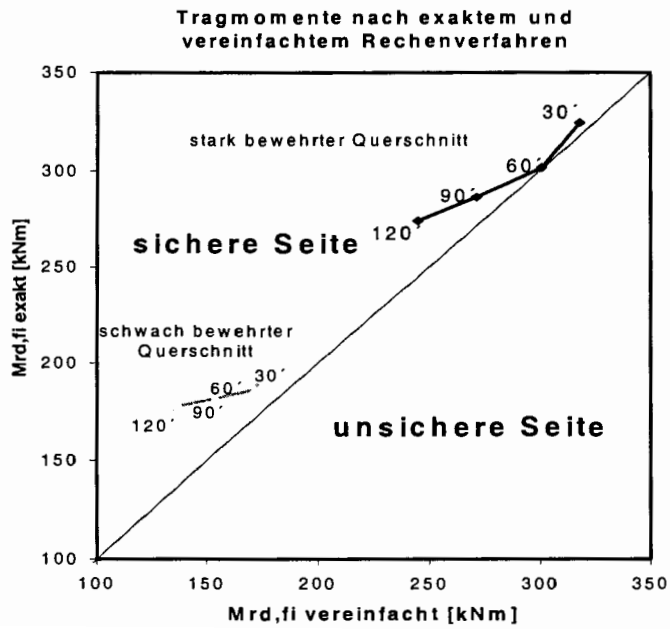
In Eurocode 6 Teil-1-2 liegen zur Zeit keine Grundlagen für die brandschutztechnische Bemessung von Mauerwerksbauten mittes tabellarischer Daten und rechnerischer Verfahren vor. Das NAD zu Eurocode 6 Teil-1-2 wird Tabellenwerte enthalten, die im wesentlichen aus DIN 4102 Teil 4 übernommen worden sind. Die Grundlagen für vereinfachte und allgemeine Rechenverfahren wurden in verschiedenen Forschungsvorhaben entwickelt. Eine ausreichende Absicherung dieser Verfahren durch Ergebnisse von Brandversuchen steht noch aus.

Aus Gründen der Gleichbehandlung aller Brandschutzteile der Eurocodes wird von der Verfasserin des Kapitels zu Eurocode 6 Teil 1-2 empfohlen, dem demnächst vorliegenden NAD zum Eurocode 6 Teil 1-2 zuzustimmen, da das derzeitige Sicherheitsniveau im Mauerwerksbau erhalten bleibt.

Vergleichsrechnungen

Die repräsentativen Anwendungsbeispiele der Eurocodes 2 bis 5 decken einen Großteil der gängigen Anwendungen in der Baupraxis ab. Es wurden stabförmige Bauteile und Flächentragwerke, Biegebauteile und Druckglieder der unterschiedlichen Bauweisen untersucht. Bei der Bestimmung der Feuerwiderstandsklasse der Beispiele ergaben sich i. d. R. keine Abweichungen bei den Nachweisen nach DIN 4102 Teil 4 bzw. den entsprechenden Eurocodes. Die Gleichwertigkeit der Nachweisverfahren ist danach gegeben.

Am Beispiel unterschiedlich bewehrter Stahlbeton-Biegebauteile werden im folgenden Bild die nach dem vereinfachten Rechenverfahren ermittelten Traglasten (Bruchmomente) mit denen einer exakten Berechnung verglichen. Es zeigt sich, daß die vereinfachten Berechnungen stets auf der sicheren Seite liegen.



Fazit

Nicht alle Bemessungsregeln der Eurocodes können zur Zeit vollständig angewendet werden, in den NAD's müssen Einschränkungen vorgenommen werden. Beispielsweise bei der brandschutztechnischen Bemessung von Tragwerken aus Hochleistungsbeton und der Verwendung nicht-linearer Verfahren zur Schnittgrößenermittlung im Eurocode 2 Teil 1-2 besteht weiterer Forschungsbedarf, um die brandschutztechnischen Bemessungsregeln dem vorhandenen Sicherheitsniveau anpassen zu können. Aufgrund der Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens werden der Bauaufsicht folgende Vorgaben für die nationale Anwendung der Brandschutzteile der Eurocodes vorgeschlagen:

Die Nachweise mittels tabellarischer Daten unter Vorgabe einer Brandbeanspruchung nach der Einheitstemperaturzeitkurve (ETK) werden uneingeschränkt zugelassen.
Ebenso wird es bei den Nachweisen mit vereinfachten Rechenverfahren keine Einschränkung geben, solange ein ETK-Brand zugrunde gelegt wird und die „Kaltbemessung" ebenfalls nach Eurocode erfolgt ist. Abweichende Temperaturzeitkurven bedürfen der Zustimmung der Bauaufsicht.
Allgemeine Rechenverfahren dürfen aufgrund fehlender Anforderungsprofile und Bewertungsmaßstäbe nur nach Abstimmung mit der Bauaufsichtsbehörde angewendet werden. Die Nachweise sind von einem für derartige Brandschutznachweise besonders qualifizierten Prüfingenieur zu prüfen. Alle Regelungen in den Eurocodes und deren informativen Anhängen, die eine Abweichung von Brandschutzanforderungen der Bauordnung oder zusätzlich heranzuziehender Sonderverordnungen zum Ziel haben, sind vorerst nicht zur Anwendung zugelassen. Ausnahmen können im Einzelfall von der Bauaufsichtsbehörde gestattet werden.