

Mitarbeit im CEN TC 250 – konstruktiver  
Brandschutz

**T 2633**

T 2633

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00  
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

**Dr.-Ing. M. Kersken-Bradley**

Beratende Ingenieure VBI  
IHK Sachverständige, für  
baulichen Brandschutz

Kersken+Partner Pienzenauer Str. 18 81679 München (90)

Tel. (089) 988 039  
fax (089) 9810 215

**Auftrag IV 1-5-664/92**

**Mitarbeit im CEN TC 250  
Konstruktiver Brandschutz**

**Schlußbericht**

München, den 10.10.94

Bearbeiter: Dr. M. Kersken-Bradley

## Zusammenfassung

Dieses Vorhaben diente der ergänzenden Unterstützung zur

- Durchführung der Entwurfsarbeiten im Rahmen des project teams für Eurocode 1 Teil 2-2: Einwirkungen auf Tragwerke bei Brandbeanspruchung, sowie zur Leitung des project teams
- Durchführung der Entwurfsarbeiten im Rahmen des project teams für Eurocode 5 Teil 1-2: Konstruktiver Brandschutz von Holztragwerken
- Leitung der sog. "Horizontalen Gruppe Konstruktiver Brandschutz", welche die Arbeiten an allen brandschutztechnischen Teilen der Eurocodes koordinierte.

Die Arbeiten sind abgeschlossen. Alle brandschutztechnischen Teile der Eurocodes werden innerhalb der nächsten Wochen herausgegeben. Dieser Bericht enthält u.a. eine Dokumentation zum Eurocode 1 Teil 2-2.

## Summary

This project was intended as a supplementary support for the

- editorial work within the project team for Eurocode 1 Part 2-2: "Actions on structures exposed to fire" and the work associated with the convenership for this project team
- editorial work within the project team for Eurocode 5 Part 1-2: Structural Fire Design of timber structures
- the work associated with the convenership for the "Horizontal Group for Structural Fire Design", entrusted with the coordination of all Eurocode Parts dealing with fire design.

The work is completed. All structural fire parts of the Eurocodes will be issued as ENVs within the next weeks to come. This report also gives a documentation on Eurocode 1 Part 2-2.

## Resumé

Ce projet a été fait comme une support supplémentaire pour

- les travaux de conception au sein des équipes de projet pour l'Eurocode 1 part 2-2: "Les actions pour les structures exposées au feu" ainsi que la direction de ces équipes
- les travaux de conception au sein des équipes de projet pour l'Eurocode 5 part 1-2 "Dimensionnement des structures en bois aux actions du feu"
- la direction du "Group Horizontal - dimensionnement des structures aux actions du feu", responsable pour la coordination des travaux concernant toutes les aspects feu des différents Eurocode.

Les travaux sont terminés, Tout les sous-codes concernant les aspects feu des Eurocodes seront publiés pendant les prochaines semaines. Ce rapport contient aussi une documentation à l'Eurocode 1 part 2-2.

## 1. Aufgabenstellung

Dieses Vorhaben diene in erster Linie der ergänzenden Unterstützung zur Durchführung folgender Arbeiten:

- Leitung des project teams und der Entwurfsarbeiten für Eurocode 1 Teil 2-2: "Einwirkungen auf Tragwerke bei Brandbeanspruchung". Aufbauend auf dem Entwurf von 1990 sollte ursprünglich bis Ende 1992 - defacto bis Mitte 1993 - ein Entwurf zur Abstimmung im SC 1 und Annahme als ENV erarbeitet werden.
- Mitwirkung bei Entwurfsarbeiten im Rahmen des project teams für Eurocode 5 Teil 1-2: Konstruktiver Brandschutz von Holztragwerken; wie beim Eurocode 1, sollte der EC 5 - Entwurf von 1990 überarbeitet und dem SC 5 zur Abstimmung und Annahme als ENV vorgelegt werden; dies erfolgte Mitte 1993.
- Leitung der sog. "Horizontalen Gruppe Konstruktiver Brandschutz", welche die Arbeiten an allen brandschutztechnischen Teilen der Eurocodes koordinierte. Neben den Arbeiten innerhalb der Eurocodes, galt es auch, mit anderen CEN Gremien, insbesondere TC 127 und der BTS1 zusammenzuarbeiten.

Beim EC 1 und bei der Horizontalen Gruppe gehörte auch die Berichterstattung und Abstimmung mit deutschen Fachkollegen zu diesem Auftrag.

Lesehilfe

Da im Zuge der Arbeiten sich die Bezeichnungen der Dokumente änderte, seien folgende Hinweise gegeben

Eurocode 1            = EC 1            = EN(V) 1991  
Eurocode 1 Teil X            = EN(V) 1991 - 2-2

Eurocode 5            = EC 5            = EN(V) 1995  
Eurocode 5 Teil X oder Teil 10 = EN(V) 1995 - 1-2

## 2. Wie soll ein Schlußbericht bei diesem Auftrag aussehen?

Bei diesem Auftrag handelt es sich nicht um einen Forschungsauftrag, bei dem im Schlußbericht mehr oder minder erfolgreich über die gewonnenen Erkenntnisse berichtet werden kann.

Das wesentliche Ergebnis dieses Auftrags sind die als ENV verabschiedeten Dokumente, die zudem auch noch einigermaßen koordiniert erscheinen.

Nun könnte ein Schlußbericht zu einem solchen Vorhaben durchaus volumnös eindrucksvoll gestaltet werden, in dem sämtlich Entwürfe, die erhaltene Stellungnahmen, Antworten auf Stellungnahmen, Anzahl der Sitzungen, Sitzungsprotokolle und Aktennotizen beigeheftet werden. Man könnte auch die Durchsetzungserfolge (in ausführlicher Form) und die Niederlagen (in knapper Form) darlegen.

Da satzsaam bekannt ist, wie Normungsarbeit verläuft und da unnötige Papierverteilung mir nicht vertretbar erscheint, wird hier ein anderer Weg beschritten: Über die im nachfolgenden Abschnitt 3 aufgeführten allgemeinen Hinweise, werden folgende Berichte vorgelegt.

#### **ENV 1991-2-2**

Da hier war der Antragsteller "convener" des "project teams" war und ungewiß ist, wer die Gruppe in der EN-Phase führen wird, wurden in Anlage 1 im Sinne einer Dokumentation Hintergründe und Ergänzungsbedarf zu den einzelnen Regelungen des ENV zusammengestellt. Die Dokumentation richtet sich zunächst an den potentiellen Anwender, so dieser sich findet. Sie richtet sich auch an die Gremien, die das NAD zu ENV 1991-2-2 schreiben und schließlich an Kollegen, die ggf. die Arbeiten in der EN-Phase weiterführen.

In Anlage 2 sind dann - aus meiner Sicht - Hinweise für das NAD für ENV 1991-2-2 gegeben.

#### **ENV 1995-1-2**

Hier war der Auftragnehmer nur "einfaches" PT Mitglied. Die detaillierte technische Zuarbeit wurde über den Auftrag "Vergleichrechnungen" der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung abgedeckt. Im dortigen Schlußbericht findet sich die Dokumentation zu ENV 1995-1-2 und die technischen Hinweise für das NAD.

Daher sind hier in Anlage 3 nur ein Diskussionspapier zur Frage der Sicherheitsbeiwerte bei ENV 19951-2 beigelegt.

#### **HG SFD**

In den Anlagen 4 ff sind Schriftstücke zusammengestellt, die im Sinne einer Dokumentation auch für die EN Phase von Bedeutung sind. Dies sind

- Anlage 4 Model Clauses
- Anlage 5 Documentation note on partial safety factors
- Anlage 6 Tabulation/Calculation methods

### 3. Allgemeine Hinweise

#### ENV 1991-2-2

Leider wurde insgesamt - bei den Beratungen im project team wie auch bei den Stellungnahmen - immer am Anfang des Dokumentes begonnen, so daß gerade noch der Haupttext bewältigt wurde. Die Anhänge blieben - mehr oder minder unberaten. Insofern sind sie zurecht nur "informative".

Als informative Anhänge sind sie noch ohne jede Bedeutung. Im Rahmen der EN Phase muß aber eine Meinungsbildung stattfinden, wie sog. Ingenieurverfahren bei uns - bauaufsichtlich - gehandhabt werden sollen.

Betrachtet man den Bereich der Brandraummodelle zur Ermittlung thermischer Einwirkungen auf Bauteile im Brandfall (in der einfachsten Form nach DIN 18230) so kann man feststellen:

Bei Industrielasten behilft sich der Prüfenieur oft mit der Feststellung "als zutreffend unterstellt". Zumindest im Industriebau ist eine unzutreffende Annahme z.B. bei Kranlasten zumindest genauso schwerwiegend wie eine unzutreffende Annahme bei den thermischen Einwirkungen im Brandfall.

Außer den Industrielasten sind allerdings Lastannahmen relativ umfassend vorgeschrieben. Somit hat die bei uns sich anbahnende Vorgehensweise nämlich Industriebauten (im Rahmen der IndBauR) anders zu behandeln als andere Nutzungen, durchaus seine Entsprechung bei den normalen Lasten.

Bezüglich der Anwendung anderer Brandraummodelle oder die Anwendung auf andere Nutzungen, so kann man

- diese ausschließen/verbieten oder
- Vorkehrungen für eine unsachgemäße Anwendung treffen

Die 2. Lösung führt zur Frage der Qualifikation, denn das Problem ist mit lizenzierten Computer-Programmen nicht gelöst: Die Rechenergebnisse müssen auch richtig/kritisch bewertet werden.

*Anm.: Die Frage der Qualifikation wird allerdings derzeit bei uns so gehandhabt, daß Fachkollegen, auch bei Fachbehörden, eifrigst dabei sind sich gegenseitig zu disqualifizieren - anstatt über Qualitätsmaßstäbe nachzudenken.*

#### ENV 1995-1-2

Die Beratungen im project team wie auch die nationalen Stellungnahmen erschöpften sich anfänglich am Streit zwischen den beiden Bemessungsverfahren

- abgeminderte Querschnitte ( $\Delta d$ -Verfahren)
- abgeminderte Festigkeiten ( $\Delta f$ -Verfahren)

beide gleichsam wissenschaftlich falsch aber praktisch brauchbar.

In der zweiten Phase stand das Problem, daß mit den Normbrandprüfungen eigentlich bislang Mittelwerte ermittelt wurden - und nicht wie anfänglich optimistisch unterstellt 5 % -Fraktilen - im Vordergrund.

Bei den Verbindungsmitteln kam es zu keiner fachlichen Diskussion, da andere Länder nahezu keine Regeln für die brandschutztechnische Bemessung für Verbindungsmittel haben. In der EN Phase, wenn in anderen Ländern mehr Vergleichsrechnungen durchgeführt sein werden, mag es hier noch Probleme geben.

Ebenso gab es zu den Regelungen für Decken und Wände keine fachliche Diskussion, da andere Länder kein allgemeines Bewertungsverfahren für den Raumabschluß haben. Im übrigen wird auch seitens Braunschweig das Verfahren kritisch beurteilt, da es zu sehr auf der sicheren Seite liege. Mittels der "boxed values" besteht die Möglichkeit, wenn Prüfungen von Decken und Wänden nach CEN Normen vorliegen, das Bewertungsverfahren exakter zu justieren.

#### **HG SFD**

Die Neuerung im Rahmen der Eurocodes - gegenüber vielen nationalen Regelungen - war die Anbindung der Brandschutzbemessung an den jeweiligen Bemessungscode, anstelle eines eigenständigen Brandschutz-Codes. Damit sollte erreicht werden, daß "kalte" und "heiße" Bemessung besser aufeinander abgestimmt werden. Über die "Horizontal Group Structural Fire Design" sollte die notwendige Koordination der einzelnen Teile hergestellt werden.

War bei den 1990-er Entwürfe die Abstimmung kalt/heiß noch recht dürftig, so ist in den ENV-Fassungen die Abstimmung kalt/heiß doch recht weit gediehen - u.U. zu Lasten der Koordination der einzelnen Brandschutztechnischen Teile untereinander. Im Sinne einer Iterationsprozedur könnte dieser Aspekt dann in den EN-Fassungen wiederum verbessert werden.

Mit der Anbindung der Brandschutzteile an die Bemessungscodes sind allerdings auch Probleme verbunden, die mit der Frage der Sachkunde im Brandschutz gekoppelt sind.

Auf der einen Seite stehen die "kalten" Tragwerksplaner. Sie sind in Normenausschüssen so auch CEN hochqualifiziert vertreten. So wird die kalte Bemessung sehr anspruchsvoll geregelt, wobei die Materialminimierung im Vordergrund steht. Kritische Bemerkungen hierüber, stehen dem Auftragnehmer in diesem Rahmen nicht zu.

Im Rahmen der SCs sind es letztlich die "kalten" Tragwerksplaner, die auch über die brandschutztechnischen Teile befinden. Nun ist es ganz



normal (und auch vernünftig), daß man - in einem Bereich, in dem man sehr versiert ist - auch komplizierte Regeln akzeptiert. In einem Bereich, in dem man nicht so sehr versiert ist, wünscht man sich möglichst einfache Regeln - noch dazu wenn es sich nur um eine "Unfallsituation" handelt.

So war zunächst der Widerstand gegenüber jeglicher Regel, die über die Anweisung "... man nehme x cm mehr Material ..." hinausgeht, recht groß und auch die Regelungsdichte von DIN 4102 Teil 4 wurde als unzumutbar erachtet.

Das Problem konnte zumindest teilweise gelöst werden, indem drei Verfahren ("assessment methods") eingeführt wurden

- der Bauteilnachweis, entsprechend DIN 4102 Teil 4
- der Teiltragwerksnachweis
- der globale Nachweis, entsprechend einer heißen Tragwerksanalyse.

Der Bauteilnachweis kann mit einfachen Bemessungshilfen, sprich Tabellen, Diagrammen durchgeführt werden. Insofern ist der Bauteilnachweis unstrittig. Bemessungshilfen sind in den ENV nicht oder nicht vollständig enthalten, so daß bei uns DIN 4102 Teil 4 auch weiterhin gefragt sein wird - wenn auch langfristig ggf. nur als "Bemessungshilfe"

Der Bauteilnachweis mit Bemessungshilfen war schon immer Aufgabe des normalen Tragwerksplaners und die Überprüfung Aufgabe des Prüfsingenieurs. Da die HOAI aufwendigere brandschutztechnische Nachweise nicht vorsieht, werden aufwendigere Nachweise die Ausnahme bleiben. Wenn sie aber erstellt werden, stellt sich auch bei uns zumindest die Frage, wer sie prüfen kann.

Letztlich mag man sowohl im Hinblick auf die Umsetzung als auch für die praktische Weiterarbeit im Rahmen von CEN vielleicht darüber nachdenken, ob der Brandschutz nicht doch "geteilt" werden sollte:

- Die Bauteilbemessung bleibt bei den brandschutztechnischen Teilen dem jeweiligen Eurocode zugeordnet
- Weitergehende Verfahren sowie ein Großteil von ENV 1991-2-2 bilden einen eigenen Fire Code, der dann auch weitere Ingenieur-Verfahren aufnimmt.

Dabei ist auch folgendes zu bedenken: Dem TC 250 war die "Horizontal Group Structural Fire Design" im zunehmenden Maße ein Dorn im Auge. Paßte sie doch - noch weniger als die Koordinierungsgruppe - nicht in die CEN-Struktur. Bei der Koordinierungsgruppe hatte man schließlich nach einigen Jahren erreicht, daß sie sich auf redaktionelle und organisatorische Koordination beschränkte und sich nicht mehr um fachliche Angelegenheiten der einzelnen TCs kümmerte. Die HG SFD hatte keine Weisungsbefugnisse an die TCs hinsichtlich der jeweiligen brandschutztechnischen Teile, aber dennoch wurde der Einfluß der Brandschutzexperten offensichtlich als zu stark erachtet. Längerfristig wird es wohl eine horizontale Gruppe in dieser Form nicht mehr geben, so

daß die fachliche Betreuung ausschließlich davon abhängt, wie sich die Brandschutzexperten in den project teams und den SCs durchsetzen können.

Mit der Annahme sämtlicher brandschutztechnischen Teile im Laufe des Jahres 1993 wurde die Leitung der HG SFD seitens des Auftragnehmers niedergelegt bzw. an einen französischen Kollegen übergeben.

## **Anlage 1**

### **Dokumentation zu EC1 ENV 1991-2-2**

Die nachfolgende Dokumentation bezieht sich auf die Fassung August 1994, wie sie vom Sekretariat zur Korrektur vorgelegt wurde

#### **Vorwort**

Das Vorwort wurde vom Sekretariat geschrieben und ist bei allen Teilen von ENV 1991 in etwa gleich. Am Ende des Vorworts wird auf die Bauproduktenrichtlinie Bezug genommen und diese zitiert. Es stand ENV 1991 nicht zu, die mangelnde Logik bei den Grundanforderungen zu korrigieren: Alle Grundanforderungen sind als Schutzziele formuliert, bis auf die 1. Grundanforderung: Die Tragfähigkeit müsse apriori gewährleistet sein, ungeachtet ob dies zum Erreichen der Schutzziele erforderlich ist oder nicht - aber das nur nebenbei.

Im weiteren Verlauf des Vorworts wird die Tür in Richtung "Ingenieurverfahren" geöffnet, aber gleich wieder geschlossen - zu recht, denn die Lastannahmen im Brandfall mit der Bauteilbemessung sind wirklich nur ein kleiner Bestandteil der gesamten brandschutztechnischen Auslegung von Gebäuden.

Insofern ist ENV 1991-2-2 ein etwas halbherziges Dokument: Für die tägliche Bemessung ist es zu kompliziert - eigentlich überflüssig - aber ohne klare Absichtserklärung dahingehen, daß es längerfristig eben nicht nur der Bauteilbemessung sondern allen brandschutztechnischen Dimensionierungen als Grundlage dienen soll. Dies sollte bei der nächsten Überarbeitung deutlicher werden.

#### **1.1 Geltungsbereich**

1.1.1 gilt wiederum für alle Teile von ENV 1991.

1.1.2 Hier ist die Feststellung wichtig, daß die Regeln von ENV 1991-2-2 nur in Verbindung mit den brandschutztechnischen Bemessungsregeln von ENV 1992 ff verwendet werden dürfen. Dies gilt insbesondere hinsichtlich der Lastkombination, die - zumindest dann, wenn nationale Normen nicht auf dem Teilsicherheitsbeiwert-Format gründet - unmittelbar ohnehin nicht anwendbar ist. Das Umrechnen verschiedener Formate ist schon eine gewisse akademische Gymnastik, die nicht ohne weiteres fehlerfrei gelingt.

Im Gegensatz zu anderen Teilen von ENV 1991 ist die Einschränkung der Gültigkeit von Teil 2-2 für die Bewertung bestehender Gebäude weniger relevant.

1.1.3 bis 1.3 sind wiederum Standardtexte für alle ENV 1991.

Anmerkung Es war nicht im Sinne des project teams, daß erst auf (Maschinen-)Seite 18 die ersten konzeptionellen Hinweise zur brandschutztechnischen Auslegung kommen. Hier wird deutlich, wie die ursprünglich vernünftige Idee von sog. "model clauses", d.h. Formulierungen, die zur Vermeidung von Widersprüchen in allen Teilen einer Norm in gleicher Form wiederholt werden, zur unnötigen Umfangsmehrung beitragen können.

## **1.4 Definitionen**

Die Definitionen in diesem Abschnitt dienen nicht nur als Lesehilfe sondern deuten auch Bemessungskonzepte an.

Die "external fire curve" ist nichts anderes als der Temperaturverlauf der bei uns zur Klassifizierung von Brüstungen und Außenwänden als W 30, W 90 verwendet wird.

Die Unterscheidung der Temperatur-Zeit-Verläufe nach

- nominellen und
- parametrischen Verläufen

ist hinsichtlich der Wortwahl vielleicht ein Kunstgebilde; es soll nichts anderes zum Ausdruck kommen, daß in einem Fall die Temperaturverläufe vorgegeben/vereinbart sind und im anderen Fall abhängig gemacht werden beispielsweise von der Brandlast.

## **2. Bemessungsverfahren**

Hier werden den o.g. Temperatur-Zeit-Verläufen die möglichen Formen der Bauteilbemessung gegenübergestellt.

## **3. Bemessungssituationen**

Der Vermerk unter der Überschrift besagt - auf deutsche Verhältnisse übertragen: Wenn ein Gebäude den Anforderungen der Landesbauordnungen oder der (aufgrund dieser erlassenen) einschlägigen Verordnungen entspricht, kann davon ausgegangen werden, daß die Regeln dieses Abschnittes eingehalten werden (oder: ... gelten die Regeln als erfüllt).

Vielleicht bedarf es in der Endfassung für diese Formulierung eines juristischen Beistands. Klarer wäre vielleicht der Umkehrschluß: Wird - im Einzelfall nicht entsprechend den Anforderungen der Landesbauordnungen gebaut, dann sind - zumindest - nachfolgende Regeln zu beachten.

Ggf. sollten jegliche Ausführungen dieser Art auch den NADs vorbehalten werden. Die Formulierung mußte jedoch zunächst - aufgrund heftigen Einspruchs Frankreichs - aufgenommen werden.

3.1 (3) und (4) So muß nicht unterstellt werden, daß z.B.

- Erdbeben und Feuer zufällig gleichzeitig eintreten, aber Feuer infolge Erdbeben ist ggf. zu besorgen.
- Ausfall der Stromversorgung und Feuer zufällig gleichzeitig auftreten, aber es sind vielleicht Maßnahmen erforderlich, damit
  - bei Bränden bestimmte Verbraucher versorgt werden (Funktionserhalt) oder
  - bei Stromausfall keine Brände ausbrechen.

3.1 (5) Bei Normbrandversuchen wurden bislang immer "neue" Bauteile geprüft; Alterung, Ermüdung, Kriechen wurden bei der Klassifizierung von Bauteilen nicht berücksichtigt. Diese Vereinfachung soll weiterhin gelten, obgleich konzeptionell über summarische Korrekturen eigentlich "mittelalte" Bauteile betrachtet werden sollten.

3.2 (3) Mit der Einschränkung "specified" space ist eine Betrachtung von Teilflächenbränden möglich; da hier auch nicht "burn-out" verlangt wird (vgl. jedoch Anhang A) könnte jedes Feuer - außer dem Schwelbrand - betrachtet werden. Vernünftiger wäre es zu verlangen, daß beim Ansatz eines (oder mehrerer) Bemessungsfeuer klar gesagt wird, was mit dem Ansatz abgedeckt oder besser nicht abgedeckt ist und womit der Ansatz begründet wird.

3.3 (2) Klar ist, daß bei der Bewertung des Raumabschlusses jeweils nur eine Seite als brandbeansprucht unterstellt wird. Bei tragenden und raumabschließenden Bauteilen ist es in einigen europäischen Ländern möglich, z.B. eine Decke als R 90 und EI 30 zu klassifizieren, d.h. bis zu 30 Minuten erfolgt jeweils nur einseitige Beaufschlagung und anschließend beidseitige Beaufschlagung. Für öffnungslose, vollflächige Bauteile ist dies i.a. uninteressant, aber für tragende Wände und Decken mit Feuerschutzabschlüssen durchaus vernünftig und üblich (z.B. F 90 Wand mit T 30 Türen - auch wenn der Hintergrund einer solchen Regelung bislang ein anderer war)

3.3 (3) Hiermit wird nicht geregelt, daß außenliegende Bauteile geringer beansprucht werden, sondern nur, daß je nach Ausbildung der Fassade und der Dachdecke außenliegende Bauteile beansprucht werden, z.B. Beflammung einer außenliegenden Abspannung der Dachkonstruktion durch eine RWA-Öffnung.

3.3 (4) Die erste Satzhälfte entspricht der bisherigen normalen F-Klassifizierung, die 2. Satzhälfte der bisherigen W- oder F-Klassifizierung, je nach Anordnung.

3.4 (1) Eine Beurteilung der Wiedergebrauchsfähigkeit erfolgt normalerweise nach einem Schadensfeuer. In Sonderfällen mag es aber schon sinnvoll sein durch konstruktive Maßnahmen oder durch nominelle Erhöhung der Beanspruchung(sdauer) die Voraussetzungen für eine Wiedergebrauchsfähigkeit zu verbessern.

3.4 (2) Für erf  $t_F = 90$  darf rechnerisch für  $t > 90$  Minuten Versagen eintreten; Abkühlen nach 90 Minuten braucht auch nicht berücksichtigt zu werden. Diese Regel wurde aufgenommen um zu vermeiden, daß bei einer nominellen Beanspruchung weitere Verfeinerungen verfolgt werden, die in Anbetracht der stark vereinfachten nominellen Beanspruchungen nicht gerecht werden.

Allerdings sollte eine Einschränkung eingeführt werden: Das Abrutschen von Trägern von Auflagern (beim Abkühlen) soll konstruktiv verhindert werden.

#### 4. Thermische Einwirkungen

4.1 liebt sich zugegebenermaßen wie ein Vorlesungsskript, aber ohne die Grundgleichungen können die Faktoren nicht eindeutig festgelegt werden.

Der Faktor  $\Phi$  berücksichtigt Abschattungen aufgrund der Querschnittsgeometrie und ist bei Stahlprofilen aus geometrischen Gründen und aus der Not jede mögliche Minderung von  $\Delta T$  nutzen zu müssen, aktuell.

4.1 (10) Die Angabe von  $\alpha_c$  als ein "boxed value" in Verbindung mit den Faktoren  $\gamma_n$  in Gl. 4.3 ist redundante Freigabe für nationale Festlegungen, die aufgrund massiver englischer Einsprüche aufgenommen werden mußte, unlogisch aber unschädlich ist.

4.2.1 (1) Es gibt nun offiziell 3 Normbrände

- der Normbrand, der schon immer Normbrand war (ETK)
- der Normbrand, der bei uns als abgeminderte ETK für die W-Klassifizierung üblich ist
- die Hydrokarbonkurve, die im Bereich der Offshore-Technik für Ölbrände entwickelt wurde

Der jeweilige Anwendungsbereich ist in den NADs festzulegen

4.2.1 (2) Damit rechnerische und experimentelle Ermittlung kompatibel sind, sollten mit Gl. (4.3) für eine Übergangszeit, die bisherigen (nationalen) Unterschiede der Prüföfen hinsichtlich des Wärmestroms auf Prüfkörper berücksichtigt werden. Vgl. auch Hinweis zu 4.1 (10) bezüglich  $\alpha_c$  in den folgenden Abschnitten und  $\gamma_n$ .

4.2.1 (3) Für jedes beliebige Oberflächenmaterial sollte  $\epsilon_m = 0.9$  gesetzt werden; für Stahl und Beton vgl. dann ENV 1992 und 1993. Unter dieser Voraussetzung kann dann  $\epsilon_f = 0.8$  belassen werden.

4.2.3 (1) und 4.2.4 (1) Leider konnte mit CEN TC 127 keine Einigung dahingehend gefunden werden, daß die Kommastellen in einer Relation zur Genauigkeit der Aussage stehen sollten

4.3 Der Anwendungsbereich von Verfahren, wie sie in den Anhängen gegeben sind, ist in den NADs zu regeln.

## 5. Mechanische Einwirkungen

In der Fassung August 92 hatte das Sekretariat eigenmächtig das Kapitel 5 auseinandergerissen - alt 5.2 blieb im Haupttext, der Rest wurde in einen Anhang F ausgelagert bzw. in ENV 1991 -1 verbannt. Da die redaktionelle Endfassung unbekannt ist werden nachfolgend nur die Themengruppen abgehandelt.

### Allgemein

Mechanische Einwirkungen sind nur für die Bemessung tragender Bauteile von Belang. Es wird unterschieden zwischen

- den Einwirkungen (Lasten) aus der normalen Bemessung
- den indirekten Einwirkungen aufgrund der Temperaturbeanspruchung
- etwaigen zusätzlichen Einwirkungen aufgrund von Teilversagen

### Zu den Einwirkungen aus der normalen Bemessung

(1) Zunächst gilt, daß alle Einwirkungen aus der normalen Bemessung wie Eigengewicht, Schnee, Wind, Verkehrslasten anzusetzen sind.

(2) Die Wahrscheinlichkeit, daß just zum Zeitpunkt des Feuers z.B. hohe Wind- oder Schneelasten anstehen, wird durch Abminderung der Lasten mit den Beiwerten  $\psi$  in der Unfallkombination berücksichtigt.

(3) Eine Gewichtsminde rung von beispielsweise Lagergütern oder Produktionseinrichtungen durch Abbrand darf nicht berücksichtigt werden.

Nicht explizit ausgeschlossen aber wird die Möglichkeit das Eigengewicht z. B. von Holzbauteilen entsprechend dem Abbrand abzumindern.

(4) Die Frage der Schneelast stellt sich insbesondere bei Dachträgern bzw. beim Dachtragwerk. Eine verbindliche Regelung kann nicht angegeben werden; so muß Schneewasser auch abfließen können und bei einem hohen Schneelastanteil muß ggf. ein zeitlicher Verlauf betrachtet werden.

(5) Hierunter werden in der Regel nur Horizontallasten oder Schwingungen fallen.

In der Regel werden die Einwirkungen aus der normalen Bemessung, wie sie zum Zeitpunkt  $t = 0$ , also zu Brandbeginn angesetzt werden, während der Brandbeanspruchung als unveränderlich beibehalten.

### Zusätzliche Einwirkungen

(1) Dies betrifft in erster Linie die Bildung horizontaler Abschnitte, z.B. mehrgeschossige Brandbekämpfungsabschnitte im Industriebau, bei denen die Lagesicherung von Produktionseinrichtungen bei Brandbeanspruchung nicht sichergestellt ist. Hier wären Trümmerlasten zu besorgen.

(3) Die 3000 Nm entsprechen den Vorgaben von DIN 41202 T.3; zwischenzeitlich ist das Kriterium "M" (mechanical resistance) generell in CEN als Leistungskriterium - gegen anfänglichen Widerstand - aufgenommen worden.

### Indirekte Einwirkungen

Auch bei konstanter Belastung des Tragwerks verändert sich bei Brandbeanspruchung der Verformungszustand und der Schnittgrößenverlauf im Tragwerk. Unter indirekten Einwirkungen können alle Erscheinungen subsumiert werden, welche diese Veränderungen verursachen.

Dabei handelt es sich um thermische Dehnungen und Dehnungsunterschiede, welche behindert werden oder zu einer Veränderung von Lastlinien führen. Es ist eine sehr akademische Frage ob hierzu auch Schnittgrößenumlagerungen aufgrund Veränderungen von Steifigkeiten gehören. Die Antwort ist wohl negativ, aber praktisch ohne Bedeutung. Dgl. gilt für Eigenspannungen aufgrund von Temperaturgradienten im Querschnitt.

Bei der Bauteilbemessung bleiben indirekte Einwirkungen unberücksichtigt (oder aber sind durch die Bemessungsregeln abgedeckt, wie z.B. im Fall der durchlaufenden Stahlbetonplatte). Bei der "globalen heißen Tragwerksanalyse" welche thermische Dehnungen und Steifigkeitsänderungen berücksichtigt, sind die indirekten Einwirkungen eigentlich das Resultat der Analyse. (Insofern könnte man auch hier - wie bei der Vorspannung - eine lange Diskussion darüber führen ob der Begriff der Einwirkung hier korrekt ist oder nicht).

Dieser Abschnitt in ENV 1991-2-2 hat auch ein wenig missionarischen Charakter. Da über Jahrzehnte die brandschutztechnische Bemessung sich in der Verwendung klassifizierter Bauteile erschöpfte, kam die ingenieurmäßige Betrachtung des Verformungsverhaltens einer brandbeanspruchten Konstruktion zu kurz. Dabei geht es in erster Linie darum, Dehnungen, Krümmungen und Verschiebungen sowie ihre Auswirkungen auf das Tragverhalten abzuschätzen um diese (auch) konstruktiv abzudecken. Bei den Bemessungsnormen finden sich allerdings noch zu wenige Konstruktionsregeln um den Schwerpunkt von klassifizierten Bauteilen in Richtung einer konstruktiven Auslegung zu verschieben.



## Anhang A

Eine generelle Normung von physikalischen Modellen oder Teilmodellen für Brandraumberechnungen soll und darf nicht vorgenommen werden.

So wird die Schnittgrößenermittlung schließlich auch nicht abschließend in den Bemessungsnormen geregelt, da es sich einerseits um mechanische Prinzipien handelt und andererseits um Fragen der geeigneten Idealisierung des Tragwerks. Beides gilt als Sache der Ausbildung des Ingenieurs.

Nun sind zwar weder die physikalischen Gesetze noch die geeigneten Idealisierungen des Brandverlaufs i.a. Gegenstand der Ausbildung des Ingenieurs. Dies kann aber kein Grund sein, generell die Brandraum-Modellierung zu verbieten oder aber die Brandraum-Modellierung erschöpfend normativ zu regeln.

Die Frage der Ausbildung stellt sich aber gleichermaßen für viele Spezialgebiete des (Bau-) Ingenieurwesens, z.B. für spezielle Fragen des Grundbaus und der Bodenmechanik oder der Beurteilung schwingungsanfälliger Tragwerke. Der Unterschied zum Bereich Feuer ist allerdings, das spätestens der nächste Herbststurm als Probelastung zeigt, ob die Schwingungen zutreffend vorhergesagt wurden. Beim Feuer tritt eine "Probelastung" vielleicht nie ein und wenn, dann ist schwer nachzuweisen ob die Temperaturen zutreffend vorhergesagt wurden.

Es kann daher sinnvoll sein, Modelle die sich bewährt haben, als Beispiele aufzuführen (wie Anhang B)

Ergänzend - und dann könnte Anhang A zu einem normativen Anhang werden - wäre es sinnvoll, einen Satz von Naturbrand-Kurven aufzunehmen, die als Eichkurven für Brandraumberechnungen dienen. Dies sollte während der EN Phase vorgenommen werden.

## Anhang B

Im Sinne der Ausführungen zu Anhang A ist das Modell des Anhangs B als Beispiel anzusehen. Eigentlich handelt es sich nicht um ein Modell im engen Sinn; vielmehr wurden die Ergebnisse von Simulationen durch empirische Beziehungen angenähert.

Das zugrundeliegende Modell für die Simulationen ist das Vollbrandmodell (nach flash-over). Für kleine Räume mit nur vertikalen Öffnungen kann das zugrundeliegende Modell als "bewährt" gelten und wird seit Jahren in den nordischen Ländern (Pettersson, Magnusson) vertreten und angewandt.

Die Qualität der empirischen Näherung wurde im project team punktuell überprüft.

Alternativ zur empirischen Näherung könnten auch unmittelbar die Simulationsergebnisse als Temperaturverläufe für verschiedene Parametersätze gegeben werden, wie sie von O. Petterson oder O. Hönig veröffentlicht wurden. Letztere stehen auch als Datensätze zur Verfügung.

Dreh- und Angelpunkt simulierter oder angenäherter Temperaturkurven ist die angesetzte Brandbelastung.

Für eine Übergangsphase und auch im Hinblick auf eine bauaufsichtliche Akzeptanz könnte gefordert werden,

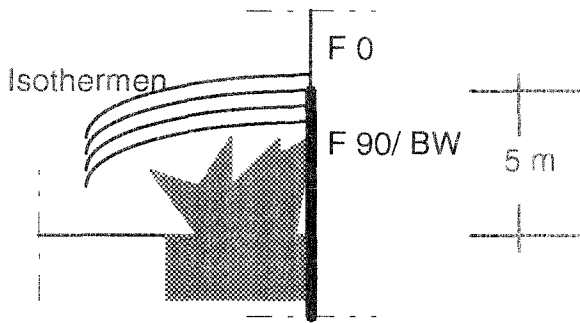
- daß die angesetzte Brandbelastung  $q_{t,d}$  mit der Genehmigungsbehörde abgestimmt wird (unter Berücksichtigung der Sicherheitsanforderungen je nach Gebäudeklass), oder aber
- daß Bauteile/Tragwerke die aufgrund solcher Temperaturverläufe brandschutztechnisch bemessen wurden auch nach DIN 4102 T. 4 klassifiziert werden müssen; die sich ergebende Klassifizierung darf z.B. nicht um mehr als XXX Minuten von der bauaufsichtlich geforderten Feuerwiderstandsdauer abweichen.

Allerdings wird festgestellt, daß bei realistisch angesetzter Brandbelastung - auch ohne o.g. Einschränkung - die Anwendung sich kaum "lohnend" wird, wenn Sicherheitsbeiwerte nach Gebäudeklassen entsprechend vorgegeben werden.

### Anhang C

Dieser Anhang ist sehr stahlbauspezifisch: Dabei geht es um die Temperaturbeanspruchung außenliegender Stahlbauteile in Abhängigkeit geometrischer Bedingungen und der Ventilationsbedingungen im Brandraum. Da Erleichterungen für außenliegende Bauteile grundsätzlich von Braunschweig abgelehnt werden, soll hier gar nicht erst der Versuch gemacht werden, die Inhalte hier zu begründen.

Allerdings wird darauf hingewiesen, daß die Regelungen bei uns auch nicht sehr befriedigend sind. Man kann sicherlich die sog. "5 m -Regel" hinsichtlich Raumabschluß (aus den Anforderungen an Brandwände) als Vereinfachung eines steilen Temperaturgradienten vor Öffnungen in diesem Abstand interpretieren. Dies gilt vielleicht auch noch für 135° - Regel



Grundriß

Nicht ganz einsichtig ist es, wenn die 5m-Regel angewandt auf Gebäudeabstände (ungeachtet planungsrechtlicher Abstände) unabhängig davon gilt, ob es sich um ein Hochregallager handelt, mit Stahltrapez-Fassade oder um einen normalen Geschößbau mit Lochfassade aus Mauerziegeln. Man kann davon ausgehen, daß die 5 m-Regel wohl für die klassische Lochfassade eben mit begrenzter Öffnungsfläche als Erfahrungswert in die Bauordnungen Eingang fand. Man hat versäumt, die Regel an Bedingungen zu knüpfen.

Insofern bestünde die Möglichkeit hier - ohne Belastung der Bauordnungen - anstelle des jetzigen umfangreichen Inhalts, einfache Regelungen für Außenwände, Öffnungsgrößen und Abstände zusammenzustellen.

#### Anhang D

Bis auf D.3 entspricht der Inhalt den Regelungen zur Brandlastermittlung wie sie in DIN 18230 stehen. Der Abbrandfaktor  $m$  (D.2.5) konnte wie schon früher im CIB W 14 so auch hier nicht durchgesetzt werden.

Zu Brandbelastungen für Nutzungskategorien: Untersuchungen bei uns hatten ergeben, daß mit solchen Angaben - gegenüber der Anforderungen der Bauordnungen - i.a. keine günstigeren Anforderungen abgeleitet werden können. D.h. der praktische Nutzen einer solchen Klassifizierung ist gering; andererseits wäre eine solche Klassifizierung dann auch unbedenklich und könnte die Transparenz von Anforderungen erhöhen.

#### Anhang E

Dieser Anhang ist wiederum praktisch identisch mit den Regelungen in DIN 18230.

## Anlage 2

### Hinweise für das NAD ENV 1991-2-2

#### sogenannte boxed values

4.1 (10)  $\alpha_c = 9 \text{ W/m}^2\text{°C}$

4.2.1 (2)  $\gamma_{n,c} = \gamma_{n,r} = 1.0$

4.2.1 (3) Für jedes beliebige Oberflächenmaterial sollte  $\epsilon_m = 0.9$  gesetzt werden; für Stahl und Beton vgl. dann ENV 1992 und 1993  
Unter dieser Voraussetzung kann dann  $\epsilon_f = 0.6$  belassen werden.

4.2.2 (2), 4.2.3 (2), 4.2.4 (2)  $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Kap. 5 oder Anhang F:  $\gamma_{GA} = 1.0$

#### Zu Kapitel 3

Wird - im Einzelfall nicht entsprechend allen Anforderungen der Landesbauordnungen und der hierauf erlassenen Verordnungen gebaut (Antrag auf Ausnahme), dann sind - zumindest - die Regeln des Kapitel 3 bei der Festlegung und Begründung von Bemessungssituationen zu beachten.

3.4 (2) Es sind konstruktive Vorkehrungen für ein Abrutschen von Trägern nach Abkühlen zu treffen.

#### Zu Kapitel 4

4.2.1 (1) Anwendungsbereich der drei Normbrandkurven

- Grundsätzlich immer die ETK nach 4.2.2
- Für den Raumabschluß von Außenwänden und aufgesetzten Brüstungen,... darf der Temperaturverlauf nach 4.2.3 gesetzt werden
- Der Temperaturverlauf nach 4.2.4 muß nicht für Gebäude angesetzt werden

4.3 Anwendungsbereich der Verfahren, s.u.

#### Anhänge

Sämtliche Anhänge werden nicht eingeführt; sie dienen nur der Information.

## EC 5 - FEUER - SICHERHEITSBEIWERTE

Zur Diskussion

### Zusammenfassung

In den letzten Entwürfen des Teils 1-2 werden indirekt Teilsicherheitsbeiwerte

$$\gamma_{M,F} = 0.77 \dots 0.71$$

vorgesehen, um an die bisherige "Mittelwerts-Rechnung" anzupassen.

"EC 5-Holz" ist jedoch nicht vergleichbar mit "4102-Holz"; die Streuung von EC-5 Holz ist geringer als 1052-Holz. Für 1052-Holz wäre ein Teilsicherheitsbeiwert in der Größenordnung von  $\gamma_M = 1.6$  erforderlich (statt 1.3). Für das Verhältnis zwischen charakteristischem Wert und Mittelwert gilt hingegen:

$$\text{EC5-Holz: } R_k/R_m = 0.78$$

$$\text{1052-Holz: } R_k/R_m = 0.64$$

Für 1052-Holz mit  $\gamma_M = 1.6$  (kalt) wird bei der Brandschutzbemessung mit  $\gamma_{M,F} = 1.0$  im Mittel das gleiche Sicherheitsniveau wie nach 4102 erreicht: Die günstiger angesetzten Lasten gleichen den Unterschied zwischen bislang angesetztem Mittelwert und charakteristischem Wert aus.

Bei Bauteilprüfungen mit EC-5 Holz und 1052-Holz würden erstere einfach wegen des geringen Abstands zwischen charakteristischem Wert und Mittelwert nur 82 % der Feuerwiderstandsdauer von 1052-Holz erreichen. Insofern müssen die Mindestabmessungen nach EC 5 größer sein als nach 4102. Dies wird bei Ansatz von

$$\gamma_{M,F} = 1.0$$

(statt Werten  $< 1.0$  wie derzeit vorgesehen) statistisch korrekt erreicht.

### Erläuterung

Nach DIN 1052/4102 ist

kalt

vorh  $\sigma$  < zul  $\sigma$

$$S(G_n + Q_{n,1} + Q_{n,i})$$

$$S(G_k + Q_{k,1} + Q_{k,i})$$

$$< R_n$$

$$< R_n$$

$$\text{mit } S_n \sim S_k$$

heiß vorh  $\sigma < 3.5$  zul  $\sigma$

$$S(G_k + Q_{k,1} + Q_{k,i}) < 3.5 R_n(t) = R_m(t)$$

**Nach EC 5 ist**

$$\begin{aligned} \text{kalt} \quad S(\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_{k,1} + \gamma_Q \psi_{0,i} Q_{k,i}) &< k_{\text{mod}} R_k / \gamma_M \\ S(G_k + Q_{k,1} + Q_{k,i}) &< k_{\text{mod}} R_k / \gamma_M \gamma_F \end{aligned}$$

$$\text{heiß} \quad S(G_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \psi_{2,i} Q_{k,i}) < k_{\text{mod},F} R_k(t) / \gamma_{M,F}$$

**wenn EC 5 kalt ~ 1052 kalt,**

dann muß

$$R_n = k_{\text{mod}} R_k / \gamma_F \gamma_M$$

sein; für  $\gamma_M = 1.3$ ,  $k_{\text{mod}} = 0.9$ , einer veränderlichen Einwirkung mit  $\xi = G_k / Q_k = 1$  ( $\gamma_F = 1.42$ ) wird

$$R_n = k_{\text{mod}} R_k / 1.85 = R_k / 2.05$$

Dabei bedingt der kalte Sicherheitsbeiwert  $\gamma_M = 1.3$  theoretisch einen Variationskoeffizienten von 0.15 (bei Lognormalverteilung).

### **Beziehung 3.5 zul $\sigma = \sigma_m$**

Betrachtet man nun die Gleichsetzung 3.5 zul  $\sigma = \sigma_m$ , wird

$$\begin{aligned} 3.5 R_n &= 3.5 k_{\text{mod}} R_k / \gamma_F \gamma_M = 2.46 k_{\text{mod}} R_k / \gamma_M \\ &= k_{\text{mod}} R_m \end{aligned}$$

$$\gamma_M \cdot R_m / R_k = 2.46$$

Die Bedingung kann für einen Sicherheitsbeiwert von 1.3 (bzw. Variationskoeffizienten von 0.15) nicht erfüllt werden. Bei Ansatz von  $V = 0.28$  (wieder Lognormalverteilung) wird

$$\gamma_M \cdot R_m / R_k = 2.21 = 1.6 \cdot 1.54$$

D.h. die Gleichsetzung 3.5-zul  $\sigma = \sigma_m$  bedingt für 1052-Holz einen Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_M = 1.6$  und für die Relation zwischen char. Wert  $R_k$  und Mittelwert  $R_m$  den Faktor  $1/1.54 = 0.64$ .

Dann wird für  $k_{\text{mod}} = 0.9$

$$R_n = k_{\text{mod}} R_k / 2.27 = R_k / 2.52 \quad (\text{statt } R_k / 2.05)$$

### EC 5-Holz ./ 1052-Holz (heiß)

Eine veränderliche Einwirkung und  $\xi = G_k/Q_k = 1$

	EC 5-Holz	1052-Holz
4102:		
$S(G_k + Q_{k,1}) < 3.5 R_n(t)$	$1.70 R_k(t)$	$1.39 k_{\text{mod}} R_k(t)$

EC 5:

$$S(G_k + \psi_{1,1} Q_{k,1}) = S(G_k + Q_{k,1}) [(1 + \psi_{1,1} \xi)/(1 + \xi)]$$

Q = Schnee ( $\psi_{1,1} = 0.2$ )

$$S(G_k + \psi_{1,1} Q_{k,1}) = S(G_k + Q_{k,1}) [0.6]$$

$$S(G_k + Q_{k,1}) < k_{\text{mod},F} R_k(t) / [0.6 \cdot \gamma_{M,F}] \\ = 1.66 R_k(t) / \gamma_{M,F}$$

Hieraus erf. $\gamma_{M,F}$ damit wie 4102:	0.98	1.20
---	------	------

Q = Verkehrslast Kat. C ( $\psi_{1,1} = 0.7$ )

$$S(G_k + \psi_{1,1} Q_{k,1}) = S(G_k + Q_{k,1}) [0.85]$$

$$S(G_k + Q_{k,1}) < k_{\text{mod},F} R_k(t) / [0.85 \cdot \gamma_{M,F}] \\ = 1.17 R_k(t) / \gamma_{M,F}$$

Hieraus erf. $\gamma_{M,F}$ damit wie 4102:	0.69	0.84
---	------	------

D.h. für 1052-Holz mit  $\gamma_M = 1.6$  wird mit  $\gamma_{M,F} = 1.0$  im Mittel das Niveau von 4102 hergestellt.

Für EC 5-Holz müßten Sicherheitsbeiwerte zwischen 0.69 und 0.98 liegen, wobei für  $\gamma_{M,F} < 0.78 = R_k/R_m$  man Festigkeitswerte erhält, die kleiner sind als der Mittelwert.

Dabei ist zu berücksichtigen, daß sich EC 5-Holz im Brandversuch statistisch anders verhalten wird 1052-Holz. Einfach aufgrund des Unterschiedes zwischen charakteristischem Wert und Mittelwert, wird EC 5-Holz entsprechend früher versagen:

EC5-Holz: $R_k/R_m = 0.78$	1052-Holz: $R_k/R_m = 0.64$
----------------------------	-----------------------------

Bei proportionalem Einfluß von Festigkeits- und Verformungseigenschaften würden Feuerwiderstandsdauern von EC 5-Holz nur 82 % der Werte von 1052-Holz betragen. Insofern dürfen mit EC 5-Holz garnicht die "alten" Holzabmessungen herauskommen.

Design Procedure

- (1) A full analytical procedure for structural fire design would take into account the behaviour of the structural system at elevated temperatures, the potential heat exposure and the beneficial effects of active fire protection systems, together with the uncertainties associated with these three features and the importance of the structure (consequences of failure).
- (2) At the present time it is possible to undertake a procedure for determining adequate performance which incorporates some, if not all, of these parameters and to demonstrate that the structure, or its components, will give adequate performance in a real building fire.

However, the principal current procedure in European countries is one based on results from standard fire resistance tests. The grading system in regulations, which call for periods of fire resistance, take into account (though not explicitly) the features and uncertainties described above.

- (3) Due to the limitations of the test method, further tests or analysis may be used. Nevertheless, the results of standard fire tests form the bulk of input for calculation ~~models~~ for structural fire design. This prestandard therefore deals in the main with the design for the standard fire resistance. <sup>H methods</sup>
- (4) Application of this part of Eurocode n with the thermal actions given in Part 2.7 of Eurocode 1 is illustrated in the following table. For design according to this part of Eurocode n, Part 2.7 of Eurocode 1 is required for ... (as relevant for Ecn, -table may also be adapted accordingly)

Thermal actions given in EC 1, Part 2.7:	according to national specifications: for verifying	design by prescriptive rules/ tabulated data given in this part of ECn	design by calculation <del>models</del> methods given in this part of EC n
standard temperature-time curve	standard fire resistance requirements	as relevant 1) or from fire resistance tests	as relevant 1)
other nominal temperature-time curves	other nominal fire resistance requirements	mainly from fire resistance tests	as relevant 1)
standard temperature-time curve	fire resistance - for equivalent time of fire exposure	as relevant 1)	as relevant 1)
parametric fire exposure	fire resistance - for specified period of time or - for entire fire duration	not applicable	as relevant 1)

Model Clauses  
~~January~~ 1993 <sup>March</sup>

PREFACE/FOREWORD

(MATTERS SPECIFIC TO THIS PRESTANDARD)

Safety requirements

- (1) The general objectives of fire protection are to limit risks with respect to the individual and society, neighbouring property, and where required, directly exposed property, in the case of fire.
- (2) Construction Products Directive 89/106/EEC gives the following essential requirement for the limitation of fire risks:

"The construction works must be designed and built in such a way, that in the event of an outbreak of fire

- the load-bearing capacity of the construction can be assumed for a specified period of time
- the generation and spread of fire and smoke within the works are limited
- the spread of fire to neighbouring construction works is limited
- the occupants can leave the works or can be rescued by other means
- the safety of rescue teams is taken into consideration"

- (3) According to the Interpretative Document "Safety in Case of Fire" the essential requirement may be observed by following various fire safety strategies, including passive and active fire protection measures.
- (4) The Structural Eurocodes deal with specific aspects of passive fire protection in terms of designing structures and parts thereof for adequate load-bearing capacity and for limiting fire spread as relevant.
- (5) Required functions and levels of performance are generally specified by the national authorities - mostly in terms of standard fire resistance rating. Where fire safety engineering for assessing passive and active measures is accepted, requirements by authorities will be less prescriptive and may allow for alternative strategies.
- (6) This Part ... together with Part 2.7 of Eurocode 1 gives the supplements to Part 1.1 of Eurocode n which are necessary so that structures designed according to this set of Structural Eurocodes may also comply with structural fire resistance requirements.

Anlage 4



- ....  
EN yyy1 "Fire tests for building materials"  
Part 1 "Fire resistance, general requirements"  
Part 2 "Fire resistance, additional requirements"
- EN yyy3 "Test methods for fire resistance of load bearing elements"  
Part 1 "Fire resistance of internal walls"  
Part 2 "Fire resistance of external walls"  
Part 3 "Fire resistance of floors"  
Part 4 "Fire resistance of roofs"  
Part 5 "Fire resistance of beams"  
Part 6 "Fire resistance of columns"
- .....  
*for separating members still to be includes*
- EN yyy5 "Fire tests on elements of building construction"  
Part 1 "Test method for determining the contribution of the fire resistance of structural members by protective membranes"  
Part ...
- 1  
ENV 1993 "Basis of design and actions on structures"  
Part 2.7 "Actions on structures exposed to fire" 1

(2) Normative reference is made to the following ISO standard

ISO 1000 "SI Units"

**1.3 DEFINITIONS**

*Note: of the following definitions (the list is an abstract from the list of definitions in the EC Actions:) only those which are required in EC n should be included here. Other definitions relevant for EC n should be supplemented.*

P(1) For the purpos of this Part ... of Eurocode n, the following definitions apply:

CONFIGURATION FACTOR or view factor  $\Phi$  [-]: Ratio between the solid angle by which, from a certain point of the member surface, the radiating environment can be seen, and  $2\pi$

CONVECTIVE HEAT TRANSFER COEFFICIENT  $\alpha_c$  [W/m<sup>2</sup>C]: Convective heat flux to the member related to the difference between the bulk temperature of gas boardering the relevant surface of the member and the temperature of that surface

CRITICAL STEEL TEMPERATURE: For a given load level, the temperature at which failure is expected to occur in a steel element for a uniform temperature distribution.

1) depending on the assessment methods included in the respective fire parts and the relevant scope of application

Table .... Design Procedures (optional)

- DESIGN AIDS (optional)
- (1) Where simple calculation ~~models~~ <sup>methods</sup> are not available, the Eurocode fire parts give design solutions in terms of tabulated data (based on tests or general calculation ~~models~~ <sup>methods</sup>) which may be used within the specified limits of validity.
- (2) ... this document....
- (3) It is expected, that design tables based on the calculation ~~models~~ <sup>methods</sup> given in this Eurocode will be prepared by interested external organizations.

**1. INTRODUCTION**

**1.1 Scope**

P(1) This Part ... of Eurocode n deals with the design of .....structures for the accidental situation of fire exposure and shall be used in conjunction with Part ... of Eurocode n and Part 2.7 of Eurocode 1. This Part ... only identifies differences from, or supplements to, normal temperature design.

P(2) This document deals only with passive methods of fire protection. Active methods are not covered.

P(3) This Part ... applies to structures which for reasons of general fire safety, are required to fullfill certain functions in exposure to fire, in terms of  
- avoiding premature collapse of the structure (load-bearing function)  
- limiting fire spread (flames, hot gases, excessive heat) beyond designated areas (separation function)

*note: abbreviated in EC 3*

P(4) This Part ... gives Principles and Application Rules (see ... in Part 1.1 of Eurocode n) for designing structures for specified requirements in respect to the aforementioned functions and levels of performance.

P(5) This document only applies to structures or parts of structures which are within the scope of Eurocode n Part 1.1 and are designed accordingly.

*(supplemented as relevant for EC n).*

**1.2 NORMATIVE REFERENCES**

(1) Normative reference is made to the following CEN Standards:

**NET HEAT FLUX  $h$  ( $W/m^2$ ):** Energy per unit time and surface area absorbed by members within and enclosing the fire compartment. The net heat flux may be determined from specified gas temperature-time curves or from more general fire models including energy and mass balance.

**NORMAL TEMPERATURE DESIGN:** Ultimate limit state design for ambient temperatures according to Part 1.1 of Eurocodes n for the fundamental combination (see Eurocode 1 Part 1)

**PROTECTED MEMBERS:** Members for which measures are taken to reduce the temperature rise (or to inhibit charring in EC 5) in the member due to fire.

**RESULTING EMISSIVITY  $\epsilon$  [-]:** The ratio between the actual radiative heat flux to the member and the net heat flux that would occur if the member and its radiative environment can be considered as black bodies

**SEPARATING FUNCTION:** The ability of a member to prevent fire spread by passage of flames or hot gases (cf. integrity) or ignition beyond the exposed surface (cf. thermal insulation) during the relevant fire

**SEPARATING MEMBERS:** Structural and non-structural members (walls or floors) forming the enclosure of a fire compartment.

**STANDARD FIRE RESISTANCE:** The ability of a structure or part of it (usually only members) to fulfill required functions (loadbearing function, and/or separating function), for the standard fire exposure - for a stated period of time. Normally, standard fire resistance requirements are expressed in terms of periods of time such as 30, 60 or more mins.

**STRUCTURAL MEMBERS:** The load-bearing members of a structure including bracings

**SUBASSEMBLY ANALYSIS:** The structural analysis of parts of the structure exposed to fire in which the respective part of the structure is considered as isolated with appropriate support and boundary conditions. Indirect fire actions within the subassembly are considered, but no time-dependent interaction with other parts of the structure.

Where the effects of indirect fire actions within the subassembly are negligible, then subassembly analysis is equivalent to member analysis.

Where the effects of indirect fire actions between subassemblies are negligible, then subassembly analysis is equivalent to global structural analysis.

**SUPPORT AND BOUNDARY CONDITIONS:** Effects of actions and restraints at supports and boundaries when analysing isolated parts of the structure (members, subassemblies)

**DESIGN FIRE LOAD DENSITY  $q_d$  [ $MJ/m^2$ ]:** The fire load density considered for determining thermal actions in fire design; the value of  $q_d$  makes allowance for uncertainties and safety requirements.

**DESIGN FIRE:** A specified fire development assumed for design purposes

**EFFECTS OF ACTIONS E:** Moments, forces, stresses, deformations, displacements (as compared to ACTION EFFECTS S: Only internal forces and moments)

**EXTERNAL MEMBERS:** Members located outside the building enclosure which may be exposed to fire through facades or roofs.

**FIRE COMPARTMENT:** A space in a building over one or several floors which is enclosed by separating members such, that fire spread beyond the compartment is prevented during the relevant fire exposure.

**FIRE LOAD DENSITY  $q$  ( $MJ/m^2$ ):** The fire load per unit area; related to the floor area:  $q_f$   
related to the surface area of the total enclosure, including openings:  $q_t$ ;

**FIRE RESISTANCE:** The ability of a structure or part of it to fulfill required functions (load bearing function, and/or separating function) for a specified fire exposure.

**FIRE WALL:** A separating member with adequate stability and resistance to lateral loads, such that, in case of fire and failure of the structure on one side of the wall, fire spread beyond the wall is avoided.

**GLOBAL STRUCTURAL ANALYSIS:** The analysis of the entire structure, where either the entire structure or only parts of the structure are exposed to fire. Indirect fire actions are considered throughout the structure.

**INDIRECT FIRE ACTIONS:** Thermal expansions or thermal deformations causing forces and moments

**INTEGRITY CRITERION:** A criterion by which the ability of a separating member to prevent passage of flames and hot gases is assessed.

**LOAD BEARING FUNCTION:** The ability of a structure or member to sustain actions during the relevant fire

**MEMBER ANALYSIS (for fire):** The thermal and mechanical analysis of structural members exposed to fire in which the member is considered as isolated with appropriate support and boundary conditions. Indirect fire actions are not considered, apart from those resulting from thermal gradients

	$R_{fi,d}(t)$	
$R_d(\Theta)$	design load bearing capacity ( <i>resistance</i> ) at uniform elevated material temperature $\Theta$	
$S_{fi,d}$	internal design forces and moments in the fire situation	
$X_k$	characteristic value of strength or deformation property	
$X_{fi,d}$	design strength or deformation property in the fire situation	
$t$	time in fire exposure [min.]	
$t_{fi,d}$	design value of standard fire resistance of member	
$t_{fi,requ}$	required standard fire resistance [min.]	
R 30	or R 60, ... a member meeting the load bearing criterion for 30, or 60 ... minutes in standard fire exposure	
E 30	or E 60, ... a member meeting the integrity criterion for 30, or 60 ... minutes in standard fire exposure	
I 30	or I 60, ... a member meeting the thermal insulation criterion for 30, or 60 .. minutes in standard fire exposure	
....		

(2) Supplementary to Part 1.1 of Eurocode n, the following subscripts are used:

$f_i$	identifies values relevant for fire design
$p$	fire protection material
...	

## 1.5 Units

P(1) SI units shall be used in conformity with ISO 1000

(2) Supplementary to Part 1.1 the following units should be used in calculations

temperature:	°C
specific heat:	J/kg°C
coefficient of heat transfer:	W/m <sup>2</sup> °C
coefficient of thermal conductivity:	W/m°C

## 2. BASIC PRINCIPLES

### 2.1 PERFORMANCE REQUIREMENTS

P(1) Where mechanical resistance in the case of fire is required, structures shall be designed and constructed in such a way that they maintain their load bearing function during the relevant fire exposure - Criterion "R" *omitted in EC 3*

(2) Deformation criteria should be applied only where the relevant product specifications for means of protection require consideration of the deformation of the load bearing structure.

TEMPERATURE ANALYSIS: The procedure of determining the temperature development in members on the basis of the thermal actions, the thermal material properties of the members and of protective surfaces, where relevant. Calculation of thermal expansions and deformations are considered as part of the structural analysis.

TEMPERATURE-TIME CURVES: Gas temperatures in the environment of member surfaces as a function of time. They may be

- NOMINAL, in terms of conventional curves, adopted for classification/ verification of fire resistance, e.g. the standard temperature-time curve
- PARAMETRIC, i.e. determined on the basis of fire models and the specific physical parameters describing the conditions in the fire compartment

THERMAL ACTIONS: Actions on the structure described by the net heat flux to the members

THERMAL INSULATION CRITERION: A criterion by which the ability of a separating member to prevent excessive transmission of heat is assessed.

## 1.4 SYMBOLS

P(1) Supplementary to Part 1.1 of EC n the following symbols are used:

*alternatively all indices  $f_i, d, k$  could be omitted if included in the list for indices*

*Note: index "fi" was suggested by the terminology group (M. Laravoir - because "F" is action and "f" is strength and flexure in some cases). as well as the sequence of indices "first the situation".*

$A_d$	design actions from fire exposure (accidental action)
$A$	cross-sectional area
$A_m$	surface area of member per unit length
$c$	specific heat (characteristic value) [J/kg°C]
$d_p$	thickness of fire protection material <i>if possible vs. Part 1.1</i>
$E_{fi,d}$	design effects of actions in the fire situation
$f_{fi,d}$	design strength property in the fire situation: more specific: $f_{fi,d}(t)$
$f_d(\Theta)$	design strength at elevated material temperature $\Theta$
$k(\Theta)$	= $X_k(\Theta)/X_k$ relative value of strength or deformation property $X$ at elevated material temperature;
$\lambda$	thermal conductivity (characteristic value) [W/m°C]
$\Theta$	temperature [°C] ( cf. $T$ temperature [K])
$\mu(t)$	= $E_{fi,d}/R_{fi,d}(t)$ degree of utilization in the fire situation at time $t = 0$
$\eta_{fi}$	= $E_{fi,d}/E_d$ reduction of design load level in the fire situation
$R_{fi,d}$	design load bearing capacity ( <i>resistance</i> ) in the fire situation: more specific:

$k(\Theta)$  is the reduction factor for a strength or deformation property ( $X_k(\Theta)/X_k$ ) dependent on the material temperature, see ...

$\gamma_{M,fi}$  is the partial safety factor for the relevant material property in fire design

- (2) For thermal and mechanical properties of ... the partial safety factor for fire design should be taken as

$$\gamma_{M,fi} = [1.0]$$

supplemented as relevant for EC n;

## 2.4 ASSESSMENT METHODS

- (1) Analysis may be performed by one of the methods  
2.4.1 Global structural analysis given in 2.4.1, 2.4.2 and 2.4.3

- P(1) The structural model adopted for design to this Part ... of Eurocode n shall reflect the expected performance of the structure in fire exposure.

- (2) The global structural analysis should take into account the relevant failure mode in fire exposure, the temperature-dependent material properties and stiffnesses, and effects of thermal expansions and deformations (indirect fire actions).

- P(3) It shall be verified that

$$E_{fi,d}(t) \leq R_{fi,d}(t)$$

wherein

$E_{fi,d}(t)$  is the design effect of actions in the fire situation, determined from the general combination rule given Part 2.7 of EC 1, including indirect fire actions

$R_{fi,d}(t)$  is the corresponding design resistance at elevated temperatures

$t \geq 0$  is the relevant duration of exposure

### 2.4.2 Analysis of parts of the structure

- (1) As an approximation to the global structural analysis of the entire structure for various fire situations, a structural analysis of parts of the structure (subassemblies) may be performed, where the subassemblies are exposed to fire and analysed in accordance with 2.4.1.

- (2) Subassemblies should be specified on the basis of the potential thermal expansions and deformations such, that their interaction with other parts of the structure can be approximated by time-independent support and boundary conditions during fire exposure.

- P(3) Where compartmentation is required, the respective members shall be designed and constructed in such a way, that they maintain their separating function during the relevant fire exposure, i.e.

- no integrity failure due to cracks, holes or other openings, which are large enough to cause fire penetration by hot gases or flame- Criterion "E"
- no insulation failure due to temperatures of the non-exposed surface exceeding ignition temperatures - Criterion "I".

- (4) The permissible average temperature rise at the non-exposed surface is limited to 140 K and the maximum rise to 180 K.

- P(5) Members shall comply with criteria R, E and I as follows:  
separating only: E and I  
loadbearing only: R  
separating and load bearing: R, E and I.

## 2.2 ACTIONS

- P(1) The thermal and mechanical actions shall be obtained from Part 2.7 of Eurocode 1.

- (2) Where rules given in this Part ... of Eurocode n are only valid for the standard fire exposure, this is identified in the relevant clauses.

## 2.3 DESIGN VALUES OF MATERIAL PROPERTIES

- P(1) Design values of thermal and mechanical material properties  $X_{fi,d}$  are defined as follows:

- thermal properties for thermal analysis

if an increase of the property is favourable for safety  
 $X_{fi,d} = X_k(\Theta) / \gamma_{M,fi}$

if an increase of the property is unfavourable for safety  
 $X_{fi,d} = X_k(\Theta) \cdot \gamma_{M,fi}$

- strength and deformation properties for structural analysis

$$X_{fi,d} = k(\Theta) \cdot X_k / \gamma_{M,fi}$$

where

$X_k(\Theta)$  is the characteristic value of a material property in fire design, generally dependent the material temperature - see ...

$X_k$  is the characteristic value of a strength or deformation property (generally  $f_k$  or  $E_k$ ) for normal temperature design to Eurocode n Part 1.1

*As relevant for EC n*

### 3. MATERIAL PROPERTIES

#### 3.1 GENERAL

- (1) The thermal and mechanical material properties should be determined from the following clauses. For materials not included herein, reference is made to the relevant CEN standards or European technical approval.
- (2) The values of material properties given hereafter should be treated as characteristic values, see 2.3 (1).

#### 3.2 STRENGTH AND DEFORMATION PROPERTIES

.....

*Note: For EC 2, 3 and 4 the same technical contents should be written using the same words! This applies to all chapters.*

- (3) Effects of (permanent and variable) actions at supports and boundaries - as determined for  $t = 0$  - may be assumed to be valid during fire exposure.
- (4) As an approximation to performing a global structural analysis for  $t = 0$ , effects of (permanent and variable) actions at supports and boundaries may be obtained from the normal temperature design by using:

$$E_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad (XX)$$

where  $E_d$  is the design effect of actions from ultimate limit state design to Part 1.1 using the fundamental combination

$\eta_{fi} = ([1.0] + \psi_{1,1} \cdot \xi) / (\gamma_G + \gamma_Q \cdot \xi)$  is a reduction factor, depending on  $\xi = Q_k / G_k$ , which is the global ratio between the main variable and permanent actions applied to the structure.  
*or give  $\eta_{fi}$  directly !!*

- (5) For  $\xi \Rightarrow$  .... (as relevant for EC n)  $\eta_{fi} = \dots$  (as relevant for EC n) may be used.

*Note:  $\eta_{fi}$  needs to be a "boxed" value because  $\gamma_{GA} = [1.0]$  is boxed*

#### 2.4.3 Member Analysis

- (1) The support and boundary conditions of members - corresponding to those at  $t = 0$  - may be assumed to be valid during fire exposure. Where different conditions apply, this is identified in the relevant clauses.
- (2) Clause (4) of 2.4.2 applies likewise for member analysis
- (3) Only indirect fire actions resulting from thermal gradients need to be considered. They are accounted for by the rules given in ...  
*not relevant for EC 5*
- (4) For verifying standard fire resistance requirements, <sup>a)</sup> member analysis is sufficient.

#### 2.4.4 Design assisted by testing

- (1) *As an alternative to the use of calculation methods, Where the structural behaviour in fire exposure cannot be reliably assessed by acknowledged rules, tests should be performed. design may be based on the results of tests*
- Note: Guidance on the planning and evaluation of tests for determining fire resistances or for supplementing calculation methods should be given in an annex, but there is no contract to cover this work*

#### 2.5 Basic design procedure

**DOCUMENTATION NOTE ON  
PARTIAL SAFETY FACTORS  
IN STRUCTURAL FIRE DESIGN•****1. INTRODUCTION**

The safety level in structural fire design is traditionally established by  
- firstly, the fire resistance requirements  
- secondly, the testing and classification procedure

For given fire resistance requirements, the calculation rules of the structural fire parts of the Eurocodes ENV 1991 to 1996 and 1999 should render approximately the same design solutions as established on the basis of test results. This equivalency can be checked without statistical considerations - just by comparative assessment. Doing so, it turns out that safety factors smaller than unity may be required.

The following statistical considerations are used to explain why safety factors smaller than unity are justified and to establish their order of magnitude.

Reference is made to the CIB W 14 Workshop report [1] and Design Guide [2], where the respective statistics are explained in more detail.

**2. UNITS AND SYMBOLS**

$t_f$	fire resistance time in min
$t_{f,N}$	nominal value of fire resistance
$t_u$	lower bound to fire resistance class R(t <sub>u</sub> )
$X_k$	characteristic value of material property
$\gamma$	safety factor

**3. STATISTICS RELATED TO TRADITIONAL TEST RESULTS****3.1 General**

Traditional testing involves performing one or two tests on members -subject to a nominal loading - for determining the relevant fire resistance class. For nominal loading, cf. 5.

Thus established fire resistance values correspond to fractiles as identified below. In relation to these fractiles it should be noted, that e.g. a 33 % fractile does not correspond to a general failure probability of 0.33; only if the nominal loading is attained, then the failure probability would be 0.33.

In specifying the following fractiles it is assumed that fire resistances  $t_f$  are normally distributed. Assuming another type of distribution, e.g. a lognormal distribution, would give slightly different fractiles; since we are concerned with rather large fractile values, the sensitivity to-

wards types of distribution is less than for normal temperature design. Hence, no comparative studies are presented. For more details on mathematical derivations, cf. [1, 2].

### 3.2 Minimum of two test results

A nominal value of the standard fire resistance is generally defined as the minimum of two test results  $t_1$  and  $t_2$ :

$$t_{f,N} = \min \{t_1, t_2\} = \bar{t} - 0.7 s$$

where  $\bar{t}$  is the estimated mean and  $s$  the standard deviation. If no prior information is used, i.e.  $t_{f,N}$  is exclusively specified by two test results only, then this value corresponds to (an estimate for) the following fractiles:

statistical uncertainties	$t_{f,N}$ corresponds to a
not considered	24 % - fractile
considered, but assuming a KNOWN variance,	29 % - fractile
considered accounting for an UNKNOWN variance	33 % - fractile

Table 1 Nominal fire resistance time from two test results

The 24 % fractile (for statistical uncertainties not considered) is given only for illustration, since uncertainties due to the limited number of test results need to be considered.

If the fire resistance time were used directly, i.e. without classification, it is the 29 % - or more realistic - the 33 % fractile which is established by testing. However, testing generally results in classification as  $R(t_u)$  - thus "adding some safety".

The procedure of classification gives

$$t_u \leq t_{f,N} < t_0 \text{-----} \rightarrow \text{class } R(t_u)$$

The lower class bound  $t_u$  corresponds to the following fractiles for an average distances  $dt = k\sigma$  or  $dt = ks$  between  $t_{f,N}$  and  $t_u$  (i.e.  $t_{f,N} = t_u + dt < t_0$ )

statistical uncertainties	tu corresponds to a	
not considered	dt = 0.0	24 % - fractile
considered, but assuming a KNOWN variance $\sigma^2$	dt = 0.0 $\sigma$	29 %
	dt = 0.3 $\sigma$	21 %
	dt = 0.5 $\sigma$	17 %
	dt = 0.7 $\sigma$	13 %
	dt = 1.0 $\sigma$	8 %
considered accounting for an UNKNOWN variance $s^2$	dt = 0.0 s	33 %
	dt = 0.3 s	28 %
	dt = 0.5 s	22 %
	dt = 0.7 s	20 %
	dt = 1.0 s	17 %
	dt = 1.3 s	15 %

Table 2 Fire resistance class resulting from two test results

In principle it is only the unknown variance which is relevant. For  $(t_2 - t_1) < 30$  min. implying  $s < 21$  min. giving  $dt = 0.0 \dots 1.4$  s, giving fractiles in the range 33 ...13 %.

### 3.3 One test result

The characteristic/nominal value of the standard fire resistance is defined as

$$t_{f,N} = t_1 - x_t$$

where  $x_t = k\sigma$  may be a specified margin, e.g. 10 minutes. Where only one test is performed, inference on fractile is only possible by assuming a known variance. If no (other) prior information is used, i.e.  $t_{f,N}$  is exclusively specified by one test result, then this value corresponds to (an estimate for) the following fractiles:

statistical uncertainties	$t_{f,N}$ corresponds to a	
not considered, assuming a KNOWN variance $\sigma^2$	$x_t = 0.0 \sigma$	50 %
	$x_t = 0.5 \sigma$	30 %
	$x_t = 1.0 \sigma$	16 %
	$x_t = 1.3 \sigma$	10 %
considered assuming a KNOWN variance $\sigma^2$	$x_t = 0.0 \sigma$	50 %
	$x_t = 0.5 \sigma$	36 %
	$x_t = 1.0 \sigma$	25 %
	$x_t = 1.3 \sigma$	19 %

Table 3 Nominal fire resistance time from 1 test result

Again values for statistical uncertainties not considered are given only for illustration. For actually unknown variance, (and assuming a prior distribution for  $\sigma^2$ ) larger fractiles are obtained..



The procedure of classification gives

$$t_u \leq t_{f,N} < t_0 \rightarrow \text{class R}(t_u)$$

For an average distance  $dt = k\sigma$  between  $t_{f,N}$  and  $t_u$  (i.e.  $t_{f,N} = t_u + dt < t_0$ )  $t_u$  corresponds to fractiles equivalent to the previous table, where  $x_t$  is replaced by  $x_t + dt$

statistical uncertainties	t <sub>u</sub> corresponds to a	
not considered, assuming a KNOWN variance $\sigma^2$	$x_t + dt = 0.0 \sigma$	50 %
	$x_t + dt = 0.5 \sigma$	30 %
	$x_t + dt = 1.0 \sigma$	16 %
	$x_t + dt = 1.3 \sigma$	10 %
considered assuming a KNOWN variance $\sigma^2$	$x_t + dt = 0.0 \sigma$	50 %
	$x_t + dt = 0.5 \sigma$	36 %
	$x_t + dt = 1.0 \sigma$	25 %
	$x_t + dt = 1.3 \sigma$	19 %

Table 4 Fire resistance class resulting from 1 test result

### 3.4 Conclusions

Tabulated data based on tests performed for a nominal load level correspond to fractiles as mentioned above. They are well in the range of 25% and more.

The need to consider statistical uncertainties for a global assessment of safety level may be questioned. However, model uncertainties, variations from furnace to furnace etc. are not considered in the above statistical considerations; they will be well in excess of the statistical uncertainties. As a reference value,

25 % is suggested.

However, where according to national rules, classification was based on one test result, adaptations to render a 40 % fractile may be required.

Hence, for calculations to be compatible with "old" tabulated data, the calculated fire resistance should correspond to these fractiles - given the nominal loading.

## 4. PARTIAL SAFETY FACTORS FOR MATERIALS

When calculating fire resistances on the basis of characteristic values of material properties (i.e. safety factors set to unity), the fire resistance  $t_{f,k}$  conceptually corresponds to the fractile associated with the characteristic values - generally a 5 % fractile - model uncertainties not specifically accounted for.

If design values for fire resistances  $t_{f,d}$  should correspond to roughly a 25 % fractile (for the nominal load), then the fire resistance should be adapted according to

$$t_{f,d} = t_{f,k} \times \gamma_t$$

$$\gamma_t = \exp(k_t V_t - k_x V_x)$$

where  $V_x$  is the coefficient of variation of material properties accounted for in the specification of the characteristic values

$$k_x = 1.645 \text{ for the 5 \% fractile}$$

$V_t$  is the coefficient of variation of fire resistance

$$k_t = 0.7 \text{ for the 25 \% fractile (0.25 for the 40 \% fractile)}$$

(Because of simpler format, safety factors are specified for a lognormally distributed  $t_f$ )  
 $V_t$  is the coefficient of variation as would be observed in ideal testing (but nominal loading), i.e. no model uncertainties in testing; the variation reflecting the variation of material properties  $V_x$  plus model uncertainties.  $V_t$  is modelled as

$$V_t^2 = V_x^2 + V_{rd}^2$$

where  $V_{rd}$  is assumed to be in the same order as  $V_x$  so that  $V_t = V_x \sqrt{2}$ .

For a roughly linear relation between strength properties and fire resistance,  $\gamma_t$  is allocated to the strength property and  $\gamma_{M,f} = \gamma_t$

$$\gamma_{M,f} = \gamma_{m,f} \times \gamma_{Rd,f} = \exp(k_t V_t - k_x V_x) = \exp(k_t V_x - k_x V_x) \exp(k_t V_t - k_t V_x)$$

where  $\gamma_{Rd}$  partial safety factor for model uncertainties

For example:

$V_x = 0.2$	$V_t = 0.28$	$k_x = 1.65$	$k_t = 0.7$	$\gamma_{M,f} = 0.87$
$V_x = 0.1$	$V_t = 0.14$	$k_x = 1.65$	$k_t = 0.7$	$\gamma_{M,f} = 0.93$
$V_x = 0.1$	$V_t = 0.14$	$k_x = 2.1$	$k_t = 0.7$	$\gamma_{M,f} = 0.89$

If the loading due to  $S_{d,f}$  is lower than the the nominal loading  $S_N$  (cf 5), then  $\gamma_{M,f}$  needs to be corrected:

$$\gamma_{M,f} = \exp(k_t V_t - k_x V_x) S_N / S_{d,f}$$

Where given fire restance requirements are replaced by an analysis with parametric fire exposure, the exposure is specified such, that for an agreed reference application the same safety level is obtained.

$$\begin{aligned} & 1 \\ & 3.04 \cdot 1.27 \cdot V - 1.64 V = \text{ler } 1.3 \\ & 3.3 V \\ & 1.66 V = \end{aligned}$$

$$0,122$$

## 5. LOADING OF MEMBERS IN FIRE TESTS

### 5.1 Nominal loading

Testing members under nominal loading means

$$S_N = \eta R_N / \gamma$$

or translated into the partial safety factor format - if possible

$$S_N = \eta S_d / \gamma_F = \eta R_k / \gamma_F \gamma_M$$

where S represents the loading (action effect), R the bearing capacity of the member and the ratio  $\eta$  an optional reduction of the normal design load. Since the bearing capacity of an individual member corresponds to an estimate for the mean

### 5.2 Individual loading

Increasingly, tests are performed using load levels which are related to the actual bearing capacity of the member  $R_i$  - the latter being determined on the basis of actual strength properties of the member (at normal temperature).

$$S_i = \eta R_i(\underline{X}_i) / \gamma_F \gamma_M$$

Ideally strength properties  $\underline{X}_i$  are determined from specimens, cut from the ends of the member to be tested. Else properties are determined indirectly by non-destructive testing or from specimens of material "from the same lot".

Further alternatives involve testing of members at a nominal load level. Then material specimens are taken from the member after fire testing for inference on the original strength properties from which then the original bearing capacity and the actual ratio  $h$  is determined.

The individual loading may be considerably higher than the nominal loading, simply because the actual bearing capacity  $R_i$  is usually much higher than the bearing capacity  $R_k$  used for design. Lower fire resistances are obtained and individual test results provide an estimate for characteristic values in terms of 5 % fractiles. Moreover, the variation of the fire resistance is reduced by the variation attributed to the strength properties ( $V_t = V_{rd}$ )

Although this procedure - simply due to the smaller variability - is absolutely superior to the nominal loading, test results are not compatible with test results obtained from nominal loading.

Since there is no evidence, that safety levels need to be increased, similar safety factors as identified in sec. 4 need to be applied - larger coefficients of variation  $V_{rd}$  to be accounted for.

Similar considerations hold when fire tests are assisted by calculation models. More prior information need not be used to increase safety levels. All these considerations, however, are in the responsibility of TC 127.

## Application to timber

To account for a 25 % - fractile:

$$\gamma_{M,f} = \gamma_{m,f} \times \gamma_{Rd,f} = \exp(k_t V_t - k_x V_x)$$

$$V_x = 0.2 \quad V_t = 0.28 \quad k_x = 1.65 \quad k_t = 0.7 \quad \gamma_{M,f} = 0.87$$

To account for a 40% - fractile (for national adaption):

$$V_x = 0.2 \quad V_t = 0.28 \quad k_x = 1.65 \quad k_t = 0.25 \quad \gamma_{M,f} = 0.77$$

Check on loading:

Nominal load level

$$S_N = R_N / \gamma$$

E.g. for Germany, where the load level is still specified in the permissible stress format  
 $\gamma = 3.5$

$$S_{f,d} = 0.6 S_d = 0.6 R_k / \gamma_M$$

for  $\gamma_M = 1.3$

$$S_N / S_{d,f} = (2.16 / \gamma) (R_N / R_k)$$

If  $R_N = R_k / \gamma_M \gamma_F$  which would be the case if there is strict correspondence between both formats, then

$$S_N / S_{d,f} = 1.16 / \gamma < 1.0$$

**HG SFD  
Documentation - Summary**

**Partial safety factors for fire design**

general

$$\gamma_M = e^{\alpha \cdot \beta \cdot V_R - 1.64 \cdot V_x}$$

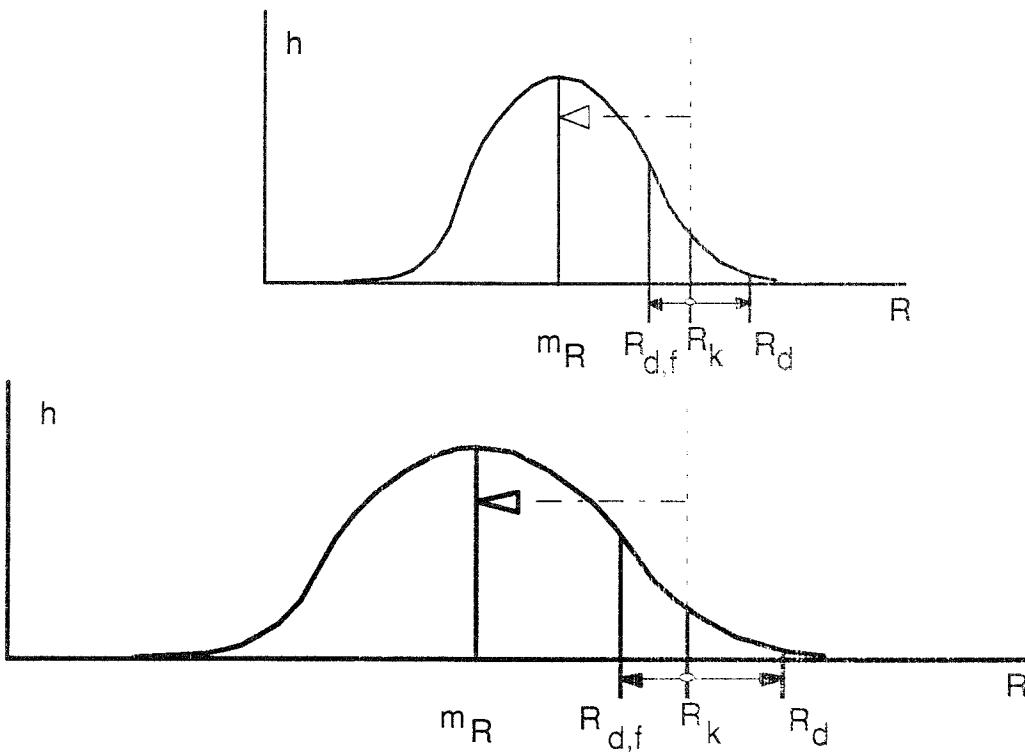
ultimate limit state

$$\gamma_M = e^{3.04 \cdot V_R - 1.64 \cdot V_x}$$

fire design - e.g. for  $R_{d,f}$  corresponding to a 25 % fractile

$$\gamma_M = e^{0.7 \cdot V_R - 1.64 \cdot V_x}$$

Illustration of design values for a small and large coefficient of variation; for a large coefficient of variation the distance between the characteristic value and another characteristic value (design value or mean value) is larger than for small coefficients of variation:



Dr.-Ing. Marita Kersken-Bradley

Beratender Ingenieur VBI

HK Sachverständiges für  
baulichen Brandschutz

IB Kersken ♦ Vilshofener Str. 6 ♦ 8000 München 80

Tel. Nr. 089 ♦ 98 80 39  
Fax Nr. 089 ♦ 98102 15

May 1992

## Structural Fire Design Tabulation/Calculation Methods

### 1. COLD DESIGN VERSUS FIRE PROTECTION

In cold design we are concerned with the performance of the entire structure, often using highly sophisticated computer codes for structural analysis and optimizing the structure. For fire protection this high-tech complex structure is considered in terms of archaic elements as beams and columns, for which some "repair" has to be done to comply with fire protection requirements - which in turn remain unquestioned by the designer.

On the one hand, this discrepancy is explained by the fact, that for a long time the assessment of fire resistance was limited to the testing of members in furnaces. The test results were only valid for the specific member tested, defined by its dimensions and detailing. And only this specific information could be given to the designer: A member which looks like fig. Y has 30 minutes of fire resistance (or is rated as R 30).

With increasing experience in testing, inter- and extrapolation of test results became possible and more information could be given to the designer: A member which looks like fig. Y has 30 to 60 minutes of fire resistance, depending on the following parameters ... . This manner of presenting information - in terms of "tabulated data" or "prescriptive approach" - has been the most common approach within the European countries for decades.

**The *advantage* of the prescriptive approach:**

1. Tabulated data are simple to use,
2. you need no special knowledge to perform (and to check) fire design.

**The *disadvantage* of a purely prescriptive approach:**

1. What to do, if your design is not included in the tabulated data?
2. Data do not apply e.g. to large size structures
2. Fire design remains to be a more or less costly "repair" and it is barely possible to optimize a design for "cold" and fire conditions.
3. It is difficult to overcome the educational gap between "cold" design and fire design

## 2. WHAT SHOULD BE CODIFIED?

With increasing knowledge in structural fire behaviour and gradually developing calculation methods, the amount of information which can be presented by tabulated data is enormously increasing. With regard to codification of structural fire design we could:

- a) Include all this information in codes or standards, giving increasing volumes of tables with increasing supplements to tables, accounting for various conditions
- b) Give only safe-side prescriptions which cover all unfavourable conditions which, however, will be uneconomic in most cases - by definition
- c) **Include tabulated data only for the most frequent cases (if at all) and give (calculation) rules for**
  - **setting up design aids (tabulated data) outside the code**
  - **direct fire design in special cases**
  - **including fire design in structural computer codes**

It is the third route which was originally intended.

## 3. FIRE PARTS OF EC 2-6

The fire parts (10) of EC 2-6 give rules on how to design a structure for the mechanical and thermal actions in fire exposure, as given in EC 1.

The main emphasis is on design rules for GIVEN FIRE RESISTANCE REQUIREMENTS in terms of exposure time to the standard time-temperature-curve. EC 3 also gives rules for designing external members for thermal actions on external members given in EC 1.

The performance requirements are

- the load bearing function (Criterion "R") of the structure.
- the separating function, which is associated with two criteria
  - integrity ("I")
  - thermal insulation ("E")

In principle, the load bearing function can be verified by calculations, accounting for the relevant actions and material properties at elevated temperatures.

The separating function is mainly depending on the detailing, as e.g. detailing of a vessel to be water-proof.

Basically relating to the load-bearing function three design procedures are envisaged

- 1. The prescriptive approach, i.e. tabulated data for individual members**
- 2. Calculation rules, where possible, similar to those used in normal design (which obviously is the most desirable procedure)**
- 3. General calculation models, which simulate the structural performance during fire exposure**

Depending on the extent to which calculation rules (2) are available and give economic designs, EC 2-6 differ with regard to the emphasis they place on the various procedures:

- **The main approach in EC 2 will be the prescriptive approach (1)**
- **EC 3 focusses on calculation models (2), no tabulated data**
- **EC 4 utilizes all three procedures**
- **EC 5 gives only calculation models (2)**
- **and EC 6, at present, is confined to tabulated data (1)**

It may be noted, that these differences in main procedures are also motivated by differences in sensitivity of structures to fire exposure, so that a more unified approach may not be necessary.

And it may not really matter, that EC 4 will give all information on concrete, whereas EC 2 gives only limited information.