

02/06 steeldoc

Brandschutz im Stahlbau

Grundlagen
Brandschutzplanung
Bemessung



tec 02

Inhalt

I Brandschutz im Stahlbau

1 Einführung	4
1.1 Die Schweizerischen Brandschutzvorschriften	4
1.2 Brandschutz für Stahltragwerke	4
2 Grundlagen des Brandschutzes	5
2.1 Brandverlauf	5
2.2 Schutzziele	5
2.3 Brandschutzanforderungen	5
2.4 Brandschutzmassnahmen	6
3 Brandschutzkonzepte	6
3.1 Standardkonzepte	6
3.2 Objektbezogene Konzepte	6
3.3 Technischer und organisatorischer Brandschutz	7
3.4 Brandabschnitte und Fluchtwege	7
4 Feuerwiderstand	7
4.1 Feuerwiderstandsklassen	7
4.2 Brandverhalten von Stahl	8
4.3 Anforderungen an den Feuerwiderstand	8
4.4 Feuerwiderstand von Stahlbauteilen	9
4.5 Nachweis des Feuerwiderstandes	9
5 Baulicher Brandschutz	11
5.1 Ungeschützter Stahl	11
5.2 Brandschutzanstriche	11
5.3 Verkleidungen	13
5.4 Spritzputze	13
5.5 Stahl-Beton-Verbundkonstruktionen	14
5.6 Stahl-Holz-Verbundkonstruktionen	14
5.7 Blech-Verbunddecken	15
5.8 Slim-Floors	15
5.9 Wasserdurchflossene Profile	15
6 Besondere Konstruktionskonzepte	16
6.1 Tragende und nicht tragenden Elemente	16
6.2 Redundante Systeme	16
6.3 Dilatationsfugen und Sollbruchstellen	16
6.4 Membranwirkung	17
6.5 Tragstruktur im Aussenraum	17
7 Technische Brandschutzmassnahmen	18
7.1 Einsatz von Sprinkleranlagen	18
7.2 Weitere technische Brandschutzmassnahmen	18
8 Brandschutzplanung in der Praxis	18
8.1 Wahl von Brandschutzlösungen	18
8.2 Auswahlkriterien für Konzeptentscheide	18
8.3 Kostenvergleich von Brandschutzlösungen	19
8.4 Grobkosten von Brandschutzmassnahmen	19
9 Objektbeispiele	20

II Bemessung

1 Nachweis des Feuerwiderstandes	23
2 Euronomogramm	24
3 Euronomogramm-Anwendung	28
4 Besondere Verfahren	31
5 Nachweisformular	33
6 Bezeichnungen und Einheiten	34

Anhang

1 Übersicht von Bauformen und Abmessungen	35
2 Dämmschichtbildende Brandschutzanstriche	36
3 Profilmfaktoren für Walzprofile	37
4 Literaturverzeichnis, Quellenangaben	38

Kompetenz im Stahlbau

Das Stahlbau Zentrum Schweiz ist das Schweizer Kompetenz-Forum für den Stahlbau. Als Fachorganisation vereint das SZS die wichtigsten stahlverarbeitenden Betriebe, Zulieferfirmen und Planungsbüros der Schweiz und erreicht mit seinen Aktionen mehr als 8'000 Architektinnen, Bauplaner, Entscheidungsträger und Institutionen. Das SZS informiert das Fachpublikum, fördert die Forschung, Entwicklung und Zusammenarbeit im Stahlbau, pflegt internationale Verbindungen und unterstützt die Aus- und Weiterbildung von Fachleuten. Seine Mitglieder profitieren von einem breiten Leistungsangebot zu günstigen Konditionen.

Steeldoc ist die Bautendokumentation des Stahlbau Zentrums Schweiz und erscheint periodisch mindestens viermal pro Jahr. Sonderhefte mit einem technischen Schwerpunkt können auch einzeln oder als separate Reihe bezogen werden.

Stahlbau Zentrum Schweiz
Centre suisse de la construction métallique
Centrale svizzera per le costruzioni in acciaio

www.szs.ch

Editorial



Für Bauwerke, in denen Menschen leben und arbeiten, müssen Planer brandsichere Konzepte entwickeln. Lange schien die Verkleidung von Stahlbauten die einfachste Methode zum konstruktiven Brandschutz zu sein — mit dem Nachteil allerdings, dass der Stahlbau selbst unter der Verkleidung verschwand. Heute erlaubt eine Vielzahl technisch und wirtschaftlich interessanter Brandschutzmassnahmen und Berechnungsverfahren das brandsichere Bauen mit sichtbarem Stahl.

Per 2005 sind die revidierten, einheitlichen Schweizerischen Brandschutzvorschriften VKF in Kraft getreten, die für den Stahlbau einige Erleichterungen, mehr Planungssicherheit und neue Gestaltungsmöglichkeiten bringen. Interessant sind namentlich Kombinationen von baulichem Brandschutz mit technischen Massnahmen wie Sprinkleranlagen. So können Stahlkonstruktionen auch in Innenräumen sichtbar bleiben, und die Kosten für den Brandschutz lassen sich markant reduzieren.

Mit der vorliegenden Ausgabe von Steeltec steht nun eine zusammenfassende Publikation zum Thema Brandschutz im Stahlbau zur Verfügung, die von der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen als Stand der Technik anerkannt wird. Sie zeigt einfache, übersichtliche Konzepte für den Bauwerks-Entwurf und leicht verständliche Verfahren für die Berechnung des Feuerwiderstandes. Für die detaillierte Brandschutzplanung sind zusätzlich die Brandschutzrichtlinien mit den ergänzenden Anhängen anzuwenden.

Das Stahlbau Zentrum Schweiz hat jahrelang intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeit zum Thema Brandschutz geleistet — auch auf europäischer Ebene. So sind anwenderfreundliche Nachweisverfahren für den Feuerwiderstand von Stahlbauteilen entwickelt worden, die auf wissenschaftlichen Versuchsergebnissen und geprüften Rechenmodellen beruhen. Im vorliegenden Heft sind diese Nachweisverfahren an die Schweizerischen Brandschutzvorschriften VKF und die SIA-Normen angepasst worden.

Eine Projektgruppe des Stahlbau Zentrums Schweiz hat sich mit der Konzipierung und kritischen Begleitung der vorliegenden Publikation befasst. Substantielle Beiträge stammen vom Institut für Baustatik und Konstruktion (IBK) der ETH Zürich. Diese Publikation wurde durch die im Anhang aufgeführten Firmen und Institutionen unterstützt. Wir danken allen beteiligten Fachpersonen und Firmen für ihren Beitrag.

Evelyn C. Frisch

Der Inhalt dieser Publikation wurde durch die Technische Kommission Brandschutz der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen auf materielle Übereinstimmung mit der VKF-Brandschutznorm und den VKF-Brandschutzrichtlinien, Ausgabe 2003 geprüft und als Stand der Technik verabschiedet.

1 Einführung

1.1 Die Schweizerischen Brandschutzvorschriften

Die hoheitlichen Aufgaben im Brandschutz der Schweiz liegen in der Kompetenz der Kantone. Eine wesentliche Vereinheitlichung erfolgte in der Schweiz erstmals 1993 durch die von der Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF) herausgegebenen, harmonisierten Brandschutzvorschriften. Diese wurden jedoch nicht durch alle Kantone vollständig übernommen, und es blieben einige regionale Besonderheiten.

Revision der Brandschutzvorschriften

Per 2005 sind in der Schweiz revidierte, einheitliche Brandschutzvorschriften in Kraft getreten. Vom interkantonalen Konkordat IVTH (Interkantonale Vereinbarung zum Abbau technischer Handelshemmnisse) verabschiedet, gelten sie mit geringfügigen Ausnahmen für alle Kantone einheitlich. Ihre Vorteile sind effiziente Planung, Rechtsgleichheit und einfacher Vollzug.

In der Hand der kantonalen Brandschutzbehörden liegen der Vollzug der Vorschriften, die Auflagen im Bewilligungsverfahren, die Beratung und fachliche Unterstützung der Planenden und die Überprüfung der Sicherheitsstandards.

Die Schweizerischen Brandschutzvorschriften VKF bestehen aus den Gesetzestexten¹:

- Brandschutznorm (Sicherheitsstandards)
- Brandschutzrichtlinien (Ergänzungen)
- Prüfbestimmungen für die Zulassung von Brandschutzprodukten

Sie werden ergänzt durch¹:

- Brandschutzerläuterungen
- Brandschutzarbeitshilfen
- Dokumente zum Stand der Technik

Die neuen Schweizerischen Brandschutzvorschriften VKF bieten mehr Spielraum für optimierte Lösungen, die Bezug nehmen auf den Schutz der Personen und Sachen.

Wesentliche Neuerungen sind:

- Vereinheitlichung der Standardanforderungen
- Berücksichtigung von Sprinklern ohne rechnerischen Nachweis mit einer Reduktion des geforderten Feuerwiderstandes um 30 Minuten².
- Grössere Akzeptanz von objektbezogene Lösungen mit entsprechenden Nachweisverfahren

Die Technische Kommission der VKF legt fest, was im Brandschutz Stand der Technik ist. Vorliegendes Steeltec Brandschutz wurde von der VKF als Stand der Technik für den Nachweis des Feuerwiderstandes von Stahltragwerken anerkannt und zur Anwendung freigegeben.

1.2 Brandschutz für Stahltragwerke

Stahl ist nicht brennbar und trägt auch nicht zur Brandbelastung und Brandentwicklung bei. Allerdings sind die mechanischen Materialeigenschaften von Stahl temperaturabhängig. Brandschutzmassnahmen für Stahltragwerke zielen deshalb vor allem auf den Schutz des Stahls vor Hitzeinwirkung. Dieser Schutz kann durch bauliche und technische Massnahmen wie beispielsweise Sprinkleranlagen gewährleistet werden.

Für den Stahlbau bringen die Schweizerischen Brandschutzvorschriften VKF [1] einige Erleichterungen, mehr Planungssicherheit und neue Gestaltungsfreiheit für Architekten, insbesondere durch bauliche Konzepte mit Brandschutzanstrichen oder technische Konzepte mit Sprinkleranlagen, sowie durch Kombination dieser Konzepte. Massgebende Neuerungen für den Stahlbau sind zudem:

- Vergrösserung der Brandabschnittsflächen von Büro- und Gewerbebauten. Für die meisten zweigeschossigen Bauten mit geringer und mittlerer Brandlast (bis 1000 MJ/m², bezogen auf die Grundfläche) bestehen keine Anforderungen an den Feuerwiderstand².
- Keine Anforderungen an den Feuerwiderstand bei Parkhäusern mit mindestens 25% Öffnungsgrad der Fassaden (dank Wärmeabfuhr)².

Weiterhin zugelassen sind Nachweisverfahren für die Planung von objektbezogenen Brandschutzkonzepten, insbesondere unter Naturbrand. Vermehrt zum Einsatz gelangen dämmschichtbildende Brandschutzanstriche bis zur Feuerwiderstandsklasse R 60. In diesem Steeltec Brandschutz werden die für den Stahlbau gängigen Nachweisverfahren vorgestellt.

Lit.: Alle Ziffern in eckigen Klammern [1] beziehen sich auf das Literaturverzeichnis im Anhang 4.



¹ Die Schweizerischen Brandschutzvorschriften VKF [1] und die ergänzenden Dokumente sind auf der Internetseite der VKF www.vkf.ch oder <http://bsvonline.vkf.ch> abrufbar.

² siehe Tabelle der erforderlichen Feuerwiderstände (Abb. 5)

2 Grundlagen des Brandschutzes

2.1 Brandverlauf

Ein typischer Brandverlauf unterteilt sich in eine Brandentwicklungsphase (bestehend aus Zünd- und Schwelbrandphase), eine Vollbrand- und eine Abkühlungsphase. In der Brandentwicklungsphase erwärmt sich das Material, an dessen Oberfläche treten Gase aus und entflammen sich, ein offener Brand mit Rauch und toxischen Gasen entsteht und breitet sich zunehmend rasch aus. Wenn die Temperatur der Brandgase ca. 500 bis 600 °C überschreitet, kommt es zum Feuersprung (Flash over), bei dem sich alle brennbaren Oberflächen im Raum schlagartig entzünden. In der anschliessenden Vollbrandphase steigen die Temperaturen weiter an und erreichen ihren Maximalwert. Danach beginnt wegen des Brennstoffmangels die Abkühlungsphase, und der Brand erlischt.

Die Dauer der Vollbrandphase und die dabei erreichte Maximaltemperatur hängen ab von der Art und Menge des brennbaren Materials (Brandlast), von der Grösse des Raumes und der Sauerstoffzufuhr. Wichtig ist auch die Wärmeabfuhr in Decken und Wände sowie durch Öffnungen. Nicht jeder Brand führt zu einem Flash over. Insbesondere in grossen Räumen mit geringer bis mittlerer Brandbelastung bleiben Brände häufig lokal und führen zu geringeren Temperaturen, die für das Tragwerk ungefährlich sind.

Normbrand

Um das Brandverhalten einzelner Bauteile vergleichen zu können, wurde die Normbrandkurve ISO 834 eingeführt und später als Einheits-Temperaturkurve unverändert in EN 1363-1 übernommen (vgl. Abb. 2). Brandschutz-Zulassungen für Verkleidungen und dämmschichtbildende Brandschutzanstriche beispielsweise beruhen auf dieser Normbrandkurve.

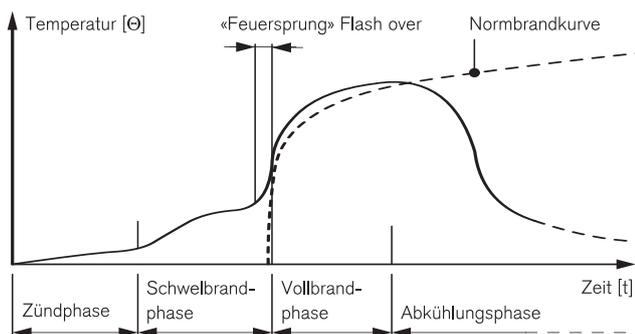


Abb. 1: Phasen eines Brandverlaufes [18]

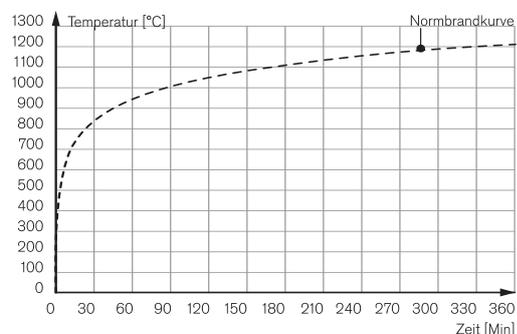


Abb. 2: Normbrandkurve ISO 834 / EN 1363-1 (gemäss [9])

2.2 Schutzziele

Brandschutzmassnahmen haben zwei Ziele: das Entstehen eines Brandes zu verhindern und bei einem dennoch entstandenen Brand die Folgen zu minimalisieren. Bauten und Anlagen sind gemäss Brandschutznorm so zu erstellen, zu betreiben und instand zu halten, dass

- die Sicherheit von Personen und Tieren gewährleistet ist
- der Entstehung von Bränden und Explosionen vorgebeugt und die Ausbreitung von Flammen, Hitze und Rauch begrenzt wird
- die Ausbreitung von Feuer auf benachbarte Bauten und Anlagen begrenzt wird
- die Tragfähigkeit während eines bestimmten Zeitraums erhalten bleibt
- eine wirksame Brandbekämpfung vorgenommen werden kann und die Sicherheit der Rettungskräfte gewährleistet wird.

2.3 Brandschutzanforderungen

Die Brandgefährdung (Schadenerwartung) ergibt sich aus dem Verhältnis der möglichen Gefahren zu den dagegen getroffenen Schutzmassnahmen. Das Brandrisiko ist das Produkt aus Brandgefährdung und Aktivierungsgefahr (Eintretenswahrscheinlichkeit) des Brandes. Die Anforderungen an den Brandschutz in Bauten und Anlagen werden insbesondere bestimmt nach Massgabe von

- Bauart, Lage, Nachbarschaftsgefährdung, Ausdehnung und Nutzung
- Geschosszahl
- Personenbelegung
- Brandbelastung und Brandverhalten der Materialien sowie Verqualmungsgefahr
- Aktivierungsgefahr (Zündquellen)
- Brandbekämpfungsmöglichkeit durch die Feuerwehr.

2.4 Brandschutzmassnahmen

Die Brandschutzmassnahmen sind so zu planen, dass sie den Schutzziele gemäss Kapitel 2.2 sowie den Unternehmenszielen gerecht werden. Die Brandschutznorm [1] unterscheidet zwischen baulichen und technischen Brandschutzmassnahmen.

Für den baulichen Brandschutz sind massgebend:

- Baustoffe
- Feuerwiderstand von Tragwerken und Bauteilen
- Schutzabstände
- Brandabschnitte und Fluchtwege

Zum technischen Brandschutz zählen insbesondere:

- Automatische Löscheinrichtungen (Sprinkler-, Sprühflut- und Gaslöschanlagen)
- Brand- und Gasmeldeanlagen
- Rauch- und Wärmeabzugsanlagen

Sie werden ergänzt durch baustoffunabhängige organisatorische Brandschutzmassnahmen. Die Kombination dieser Massnahmen führt zum Begriff des Brandschutzkonzeptes.

Lit.: Alle Ziffern in eckigen Klammern [1] beziehen sich auf das Literaturverzeichnis im Anhang 4.

3 Brandschutzkonzepte

Der Brandschutz muss frühzeitig in die Gesamtplanung des Gebäudes einbezogen werden. Im Normalfall richten sich Brandschutzkonzepte nach den Standardmassnahmen gemäss Schweizerischen Brandschutzvorschriften VKF [1]. Diese unterscheiden zwischen rein baulichem Konzept und Sprinklerkonzept. Im Normalfall wird das Schutzziel mit den vorgeschriebenen Standardmassnahmen erreicht. Die Anforderungen an den Feuerwiderstand der Bauteile sind für Standardkonzepte detailliert vorgeschrieben ³.

Alternativen zu den Standardmassnahmen sind bei objektbezogenen Konzepten möglich, erfordern jedoch einen entsprechenden Brandsicherheitsnachweis und die Einwilligung der Brandschutzbehörde. Objektbezogene Konzeptlösungen umfassen je nach Gebäude neben dem baulichen Brandschutz auch technische und organisatorische Massnahmen. Erst das Zusammenspiel aller Brandschutzmassnahmen ermöglicht das Erreichen der Schutzziele.

3.1 Standardkonzepte

Bauliche Standardkonzepte

Der bauliche Brandschutz der gesamten Konstruktion oder einzelner Bauteile wird durch Massnahmen wie Überdimensionierung, Verkleidung, Beschichtung oder Verbundbauweise erreicht.

Sprinkler-Standardkonzepte

Sprinkleranlagen können im Rahmen von Standardkonzepten bei bestimmten Gebäudenutzungen ohne weiteren rechnerischen Nachweis bei der Festlegung des Feuerwi-

derstandes von Tragwerken bis zur Hochhausgrenze angemessen berücksichtigt werden, soweit sie nicht bereits nutzungsbedingt oder aus anderen Gründen vorgeschrieben sind (vgl. Abb. 5).

3.2 Objektbezogene Konzepte

Objektbezogene Brandschutzkonzepte enthalten aufeinander abgestimmte Massnahmen für ein Einzelobjekt, welche anstelle von Standardanforderungen treten können, soweit das Schutzziel gleichwertig erreicht wird. Sie benötigen die Einwilligung der zuständigen Brandschutzbehörde und müssen anhand einer Brandrisikobewertung oder einer anderen VKF-anerkannten Berechnungsmethode beurteilt werden ⁴.

Das Schutzziel lässt sich durch die Kombination von baulichen, technischen und organisatorischen Massnahmen erreichen. Wichtige Elemente eines objektbezogenen Brandschutzkonzeptes sind Nutzung, Brandlast, Fluchtwege, Brandabschnittsgrössen und Feuerwiderstand der Bauelemente.

Berücksichtigt werden z.B.:

- Globale Tragwerkskonzepte zur Sicherstellung der Tragfähigkeit (z.B. redundante Systeme oder Membranwirkung)
- Geringe Brandgefährdung (Nutzung, Brandlast) durch Nachweis mit Naturbrand
- Geringe Brandabschnittsgrössen
- Technische und organisatorische Brandschutzmassnahmen

3.3 Technischer und organisatorischer Brandschutz

Weil Personen schon vor der Vollbrandphase durch Wärme und vor allem durch Rauch gefährdet sind, kommt technischen Brandschutzmassnahmen eine grosse Bedeutung zu: Brandmelder erlauben ein frühzeitiges Erkennen des Brandes und eine rasche Alarmierung der Nutzer und der Feuerwehr, Sprinkler wirken schon in der Brandentwicklungphase, verhindern den Temperaturanstieg und die Brandausbreitung oder löschen sogar das Feuer. Neben den Brandschutzbehörden sind auch die Sachversicherer sehr an technischen Brandschutzmassnahmen interessiert, weil sie das Schadenrisiko auf einen Bruchteil verringern. Auch der organisatorische Brandschutz (z.B. betriebliche Brandschutzorganisation, Ausbildung, Ordnung und Unterhalt) spielt bei Brandschutzkonzepten eine wichtige Rolle.

3.4 Brandabschnitte und Fluchtwege

Zu einem Brandschutzkonzept gehört die Festlegung von Brandabschnitten und Fluchtwegen. Brandabschnitte verhindern die Ausbreitung von Feuer und Rauch auf andere Gebäudeteile. Sprinkleranlagen dürfen auch bei der Festlegung der zulässigen Ausdehnung von Brandabschnitten berücksichtigt werden. Brandabschnittsbildend sind entsprechend konstruierte raumabschliessende Bauteile wie

Wände und Decken, inkl. Brandschutzabschlüsse und Abschottungen. In Brandabschnitte abzutrennen sind insbesondere

- aneinandergebaute und ausgedehnte Bauten und Anlagen
- einzelne Geschosse
- Korridore und Treppenanlagen, die als Flucht- und Rettungswege dienen
- Vertikalverbindungen wie Aufzugs-, Lüftungs-, Installationsschächte
- Technische Räume
- Räume unterschiedlicher Nutzung, insbesondere bei unterschiedlicher Brandgefahr.

Flucht- und Rettungswege sind in der entsprechenden Brandschutzrichtlinie⁵ geregelt. Sie enthält detaillierte Angaben zur Planung von Fluchtwegen. Treppenhäuser, die als Fluchtwege dienen, sind als Brandabschnitte mit dem für das Tragwerk erforderlichen Feuerwiderstand, mindestens aber REI 60 (nbb) zu erstellen und von den einzelnen Geschossen durch Brandschutzabschlüsse abzutrennen. Für Korridore, die als Fluchtweg dienen, gelten dieselben Anforderungen, mindestens aber der Feuerwiderstand EI 30 (nbb).

3 Brandschutzrichtlinie «Tragwerke» [1]

4 siehe Kapitel 4.5, Abschnitt «Brandrisikobewertung»

5 Brandschutzrichtlinie «Flucht- und Rettungswege» [1]

4 Feuerwiderstand

4.1 Feuerwiderstandsklassen

Entsprechend der VKF-Brandschutzrichtlinie⁶ werden zum einen die Baustoffe und zum anderen die Bauteile brandschutztechnisch klassiert.

Klassierung von Baustoffen

Bei der Klassierung der Baustoffe nach EN sind das Brandverhalten, die Rauchentwicklung und das brennende Abtropfen/Abfallen massgebend. Man unterscheidet zwischen brennbaren und nichtbrennbaren Baustoffen. Vorläufig gelten in der Schweiz aber immer noch die alten Bezeichnungen der Brennbarkeits- und Qualmgrade.

Klassierung von Bauteilen

Nach europäischem Muster wird der Feuerwiderstand von tragenden und/oder brandabschnittsbildenden Bauteilen nach drei Kriterien beurteilt:

- R** Tragfähigkeit (Standicherheit, R = résistance)
- E** Raumabschluss (Dichtigkeit, E = étanchéité)
- I** Wärmedämmung (Isolationsfähigkeit, I = isolation)

Das gesamte Tragwerk bzw. alle tragenden Bauteile werden nach dem Kriterium R und die Brandabschnitte zudem nach den Kriterien E I beurteilt. Stahltragwerke sind in der Regel tragend und nicht brandabschnittsbildend.

Zu den Angaben R E I kommt die Angabe der Feuerwiderstandsdauer in Minuten hinzu (30, 60, 90, 120, 180 oder 240), während der ein Bauteil die Anforderungen unter ISO-Normbrand erfüllen muss. Ausserdem stehen für weitere Kriterien zusätzliche Kennbuchstaben zur Verfügung. In diesem Zusammenhang von Bedeutung ist das Kriterium «nichtbrennbar» (Kennbuchstaben nbb), das von allen Stahltragwerken naturgemäss erfüllt wird.

Bauteil	Anforderung	Feuerwiderstandsklassen
Tragende Stütze	R	R 30, R 60,
Tragende brandabschnittsbildende Decke	REI	REI 30, REI 60,

Abb. 3: Klassierungsbeispiele

4.2 Brandverhalten von Stahl

Bauteile aus Stahl sind nicht brennbar und tragen nicht zur Brandbelastung und Brandentwicklung bei. Die mechanischen Materialeigenschaften von Stahl sind jedoch temperaturabhängig. Die rechnerische Streckgrenze (oberhalb 400 °C) und der Elastizitätsmodul (oberhalb 200 °C) reduzieren sich mit steigender Temperatur ⁷. Dies muss bei der Bemessung von Stahlkonstruktionen im Brandfall berücksichtigt werden.

Nach dem Erlöschen des Brandes gewinnt Baustahl seine ursprüngliche Festigkeit und seine übrigen Eigenschaften wieder zurück. Hochfeste und thermomechanisch gewalzte Stähle können jedoch dauerhaft geschädigt bleiben und erfordern Materialuntersuchungen nach dem Brand.

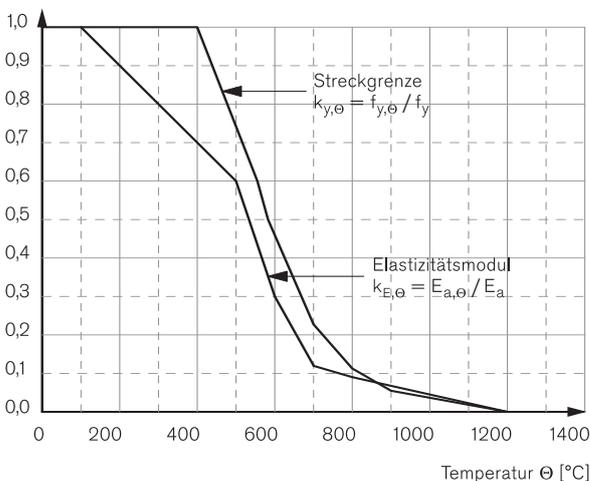


Abb. 4: Materialeigenschaften von Baustahl im Brandfall, Abminderungsfaktoren $k_{y,\theta}$ und $k_{E,\theta}$

Nichtrostende und spezielle brandsichere Stähle weisen dank Legierungselementen ein günstigeres Brandverhalten auf als normaler Baustahl, was bei der Bemessung des Feuerwiderstandes eine Bedeutung haben kann ⁸.

Die Erwärmung von Stahlquerschnitten ist abhängig von den Verhältnissen im Brandraum und vom Profilfaktor A/V (Oberfläche A / Volumen V).

Als kritische Temperatur bezeichnet man die Stahltemperatur, bei der die Streckgrenze unter die vorhandene Spannung im Querschnitt absinkt (in der Regel 500-700 °C).

Bauliche Massnahmen zur Verlängerung der Feuerwiderstandsdauer von Stahltragwerken sind dort bedeutungsvoll, wo sich in einem Brandabschnitt ein Vollbrand bilden kann, der die Stahlteile über die kritische Temperatur erwärmt.

4.3 Anforderungen an den Feuerwiderstand

Tragwerke sind so zu bemessen und zu erstellen ⁹, dass

- ihre Standsicherheit unter Brandbeanspruchung ausreichend erhalten bleibt
- weder das vorzeitige Versagen eines einzelnen Bauteils noch die Auswirkung von Wärmedehnungen auf gleicher Ebene oder in anderen Geschossen zum Einsturz führen
- keine unverhältnismässigen Schäden in angrenzenden Brandabschnitten entstehen.

Die Brandschutzrichtlinie «Tragwerke»¹⁰ gibt für Standardkonzepte den erforderlichen Feuerwiderstand von Bauteilen vor. Massgebend sind insbesondere:

- Geschosshöhe
- Brandbelastung (immobiler und mobiler)
- Bauart, Lage, Ausdehnung und Nutzung von Bauten, Anlagen oder Brandabschnitten.

Sprinkleranlagen können bei der Festlegung des Feuerwiderstandes von Tragwerken in der in Abbildung 5 angegebenen Weise berücksichtigt werden (Sprinklerkonzept als Standardlösung – weitere Reduktionen des Feuerwiderstandes sind nur gestützt auf Art. 11 der Brandschutznorm und mit entsprechendem Nachweis möglich).

6 Brandschutzrichtlinie «Baustoffe und Bauteile» [1]

7 vgl. Abb. 4

8 siehe Teil II Bemessung, Abb. 57 und 58

9 gemäss Brandschutzrichtlinie «Tragwerke» [1]

10 Brandschutzrichtlinie «Tragwerke» [1], Anforderungen für Stahlbauteile siehe Abb. 5 auf Seite 10 dieses Hefts

Keine Anforderungen an den Feuerwiderstand werden gestellt bei eingeschossigen Bauten und Anlagen über Terrain, beim obersten Geschoss von mehrgeschossigen Bauten und Anlagen ¹¹, sowie bei Parkieranlagen mit mindestens 25% Öffnungsgrad der Fassaden (Wärmeabfuhr).

4.4 Feuerwiderstand von Stahlbauteilen

Im wesentlichen dienen im Stahlbau Wärmedämmung, Wärmeabfuhr in kühle Betonteile oder besondere Konstruktionskonzepte (z.B. Kühlung mittels Wasser), um den geforderten Feuerwiderstand zu erreichen.

Normalerweise erreichbare Feuerwiderstände für tragende Bauteile in Stahl:

- ungeschützt: bis R 30
- mit Verkleidungen (z. B. Platten, Verputze): R 30, R 60, R 90 und mehr
- mit dämmschichtbildenden Anstrichen: R 30 und R 60
- Stahl-Verbundbau (z.B. Verbunddecken): R 30, R 60, R 90 und mehr

4.5 Nachweis des Feuerwiderstandes

Auf Verlangen der Brandschutzbehörde ist der Feuerwiderstand von Tragwerken oder Einzelbauteilen durch genormte Prüfungen (Klassierung gemäss Brandschutzregister) oder rechnerisch nach VKF-anerkannten Berechnungsmethoden nachzuweisen. Die Nachweise sind der Brandschutzbehörde vor Baubeginn mit den notwendigen Unterlagen zur Genehmigung einzureichen ¹².

Bei Standardkonzepten wird der Feuerwiderstand für Normbrandeinwirkung nach ISO 834 / EN 1363-1 nachgewiesen. Werden Nachweise mit Naturbränden oder objektbezogene Brandschutzkonzepte angewendet, so erfordern diese den Nachweis der Gleichwertigkeit und die Zustimmung der Brandschutzbehörde. Solche Nachweise können vor allem bei grösseren Objekten erhebliche Einsparungen bei den Brandschutzkosten bringen.

Berechnung mit Euronomogramm

Ein praktisches Hilfsmittel für die Bestimmung der Feuerwiderstandsdauer eines unverkleideten oder verkleideten Stahlprofils stellt das Euronomogramm dar. Auch für verkleidete oder beschichtete Stahlprofile lohnt es sich, die Schichtdicke rechnerisch zu bemessen. Das Euronomogramm liefert zugleich ein einheitliches, übersichtliches Nachweisformat für die Prüfung durch die Brandschutzbehörden. Es beruht auf der Normbrandkurve¹³. Das Nachweisverfahren wird im Teil II Bemessung ausführlich beschrieben.

Berechnung mit Naturbrandkurven

Bei geringer Brandlast, hohen Räumen oder ausreichendem Wärmeabzug bleiben die Temperaturen im Brandraum gering und die kritische Temperatur wird im ungeschützten Tragwerk auch beim Vollbrand oftmals gar nicht erreicht, so dass keine Massnahmen erforderlich sind. Die Normbrandkurve¹³ beschreibt in solchen Fällen den wirklichen Brand nur unzureichend, da sie beispielsweise keine Abkühlungsphase berücksichtigt. Deshalb lässt die Brandschutzrichtlinie «Tragwerke» die Anwendung von Naturbrandkurven für rechnerische Nachweise ausdrücklich zu ¹⁴. Die erforderlichen Parameter sind vorgängig mit der Brandschutzbehörde festzulegen. Ein Bemessungsbeispiel zu Naturbrand findet sich im Teil II Bemessung.

Brandrisikobewertung

Insbesondere bei geringer Brandlast oder dem Einsatz von technischen Massnahmen kann eine zum Standardkonzept gleichwertige Brandsicherheit auch mit reduziertem Feuerwiderstand erreicht werden. Entsprechende Nachweise sind detailliert zu erbringen. Zur Beurteilung von Brandgefahr, Brandrisiko und Brandsicherheit kann die Brandrisikobewertung [11] oder eine andere VKF-anerkannte Berechnungsmethode beigezogen werden.

Analytische Nachweisverfahren, beispielsweise die wirklichkeitsnahe numerische Brandsimulation, sind effiziente Wege für den Brandsicherheitsnachweis.

Die Akzeptanz der Brandrisikobewertung und anderer analytischer Verfahren hängt von der zuständigen Brandschutzbehörde ab.

11 vgl. VKF-Brandschutzrichtlinie «Tragwerke» Art. 3.3 [1]

12 siehe Teil II Bemessung

13 Normbrandkurve nach ISO 834 / EN 1363-1, vgl. Abb. 2

14 Brandschutzrichtlinie «Tragwerke» Art. 6.2 [1]

Abb. 5: Erforderliche Feuerwiderstände von tragenden Stahlbauteilen gemäss Standardkonzept

Nutzung/Stockwerkzahl/Fläche¹⁾	Feuerwiderstand ohne Sprinkler	Feuerwiderstand mit Sprinkler
Untergeschosse allgemein	min. R 60 (nbb)	min. R 60 (nbb)
Einfamilienhäuser (samt UG)	kein	kein
Eingeschossige Gebäude	kein	kein
Oberstes Geschoss (bei allen Gebäuden)	kein	kein
Einbauten (z.B. Galerie, Treppentragwerk)	kein	kein
Hochhäuser ²⁾	R 90 (nbb)	R 90 (nbb)
Wohn-, Büro-, Schulbauten:		
– 2-geschossig ≤ 1200 m ²	nbb	nbb
– 2-geschossig > 1200 m ² (im EG)	R 30 (nbb)	nbb
– 3-geschossig	R 30 (nbb)	nbb
– 4-geschossig	R 60 (nbb)	R 30 (nbb)
– 5- und mehrgeschossig ³⁾	R 60 (nbb)	R 60 (nbb)
Industrie-/Gewerbebauten bis 1000 MJ/m ²		
– 2-geschossig ≤ 1200 m ²	nbb	nbb
– 2-geschossig > 1200 m ² (im EG)	R 30 (nbb)	nbb
– 3-geschossig	R 30 (nbb)	nbb
– 4-geschossig	R 60 (nbb)	R 30 (nbb)
– 5- und mehrgeschossig ³⁾	R 60 (nbb)	R 60 (nbb)
Industrie-/Gewerbebauten über 1000 MJ/m ²		
– 2-geschossig ≤ 1200 m ² (im EG)	R 30 (nbb)	nbb
– 2-geschossig > 1200 m ² (im EG)	R 60 (nbb)	R 30 (nbb)
– 3-geschossig	R 60 (nbb)	R 30 (nbb)
– 4- und mehrgeschossig ³⁾	R 90 (nbb)	R 60 (nbb)
Krankenhäuser, Alters- und Pflegeheime	R 60 (nbb)	R 60 (nbb)
Hotels, Pensionen, Ferienheime:		
– bis 3-geschossig	R 60 (nbb)	R 30 (nbb)
– 4- und mehrgeschossig ³⁾	R 60 (nbb)	R 60 (nbb)
Bauten mit grosser Personenbelegung und Verkaufsgeschäfte:		
– 2-geschossig ≤ 1200 m ² (im EG)	R 30 (nbb)	nbb
– 2-geschossig > 1200 m ² (im EG)	R 30 (nbb)	R 30 (nbb)
– 3- und mehrgeschossig ³⁾	R 60 (nbb)	R 60 (nbb)
Einstellräume für Motorfahrzeuge:		
– offen gebaut (unverschiessbare Öffn. > 25%)	nbb ⁴⁾	nbb ⁴⁾
– 1-geschossiges UG, nicht überbaut	R 30 (nbb)	R 30 (nbb)
– 2-geschossig ≤ 1200 m ² (geschl. gebaut)	nbb	nbb
– 2-geschossig > 1200 m ² (geschl. gebaut)	R 30 (nbb)	nbb
– 3-geschossig (geschlossen gebaut)	R 30 (nbb)	nbb
– 4-geschossig (geschlossen gebaut)	R 60 (nbb)	R 30 (nbb)
– 5- und mehrgeschossig (geschl. gebaut) ³⁾	R 60 (nbb)	R 60 (nbb)

Legende zu Abb. 5:

nbb nicht brennbar

1) Als Geschosse zählen alle oberirdischen Voll-, Dach und Attikageschosse.
Die Flächenangabe gilt pro Geschoss.

2) Bauten, die nach der Baugesetzgebung als Hochhaus gelten oder deren oberstes Geschoss mehr als 22 m über dem der Feuerwehr dienenden angrenzenden Terrain liegt bzw. mehr als 25 m Traufhöhe aufweist

3) ohne Hochhäuser

4) Tragwerk R 30 (nbb) in Bereichen mit > 35 m Abstand zur nächsten unverschiessbaren Öffnung

5 Baulicher Brandschutz

Für den baulichen Brandschutz von Stahlbauten werden hier verschiedene Arten oder Kombinationen von feuerwiderstandsfähigen Bauteilen gezeigt. Sie sollen frühzeitig in das Gesamtkonzept des Bauvorhabens einbezogen werden.

5.1 Ungeschützter Stahl

Ungeschützte Stahltragwerke sind üblicherweise in Aussenräumen sowie bei Gebäuden oder Geschossen ohne erforderlichen Feuerwiderstand anzutreffen. Durch statische Überdimensionierung der Konstruktion kann in manchen Fällen ein Feuerwiderstand von 30 Minuten erreicht werden, insbesondere bei kompakten Profilen oder bei nur dreiseitig beflamten Trägern (z.B. Verbund-Träger). Zudem können auch höherfeste Stahlprofile oder eventuell eine warmfeste Stahlsorte eingesetzt werden. Hinweise auf mögliche Querschnittsabmessungen enthält der Anhang 1.

Die erforderliche Feuerwiderstandsdauer muss rechnerisch nachgewiesen werden¹⁵. Dieser Nachweis kann mit Hilfe des Euronomogramms auf einfache Art geführt werden¹⁶. Dabei werden die temperaturabhängigen Materialeigenschaften und die statische Ausnutzung des Tragwerks berücksichtigt. Eine geringe statische Ausnutzung ist günstig und im Brandfall häufig gegeben, beispielsweise infolge Umnutzung, hoher Erdbeben- oder Windbeanspruchung und wenn Durchbiegungen oder Schwingungen massgebend werden. Im weiteren dürfen Nutzlasten für den Lastfall Brand reduziert werden¹⁷.

5.2 Brandschutzanstriche

Brandschutzanstriche sind in der Schweiz nur für Feuerwiderstände R 30 und R 60 zugelassen¹⁸. Sie erlauben das sichtbare Konstruieren mit Stahlprofilen.

Brandschutzanstriche unterscheiden sich dank glatter Oberfläche optisch kaum von konventionellen Korrosionsschutzbeschichtungen. Die relativ weichen Beschichtungen unterliegen jedoch gewissen Anwendungsbeschränkungen. Exponierte Teile sind gegen mechanische Beschädigung zu schützen, und in Wohnbauten sind unter Umständen zusätzliche feuerpolizeiliche Massnahmen zu ergreifen¹⁹.

Funktionsweise

Brandschutzanstriche sind ein Beschichtungssystem, bestehend in der Regel aus einer systemgeprüften Grundbeschichtung als Korrosionsschutz, dem eigentlichen dämmschichtbildenden Anstrich und einer systemgeprüften



Abb. 6: Ungeschütztes Stahltragwerk, Administrative Office Building Arcelor Long Commercial, Differdingen, Luxemburg

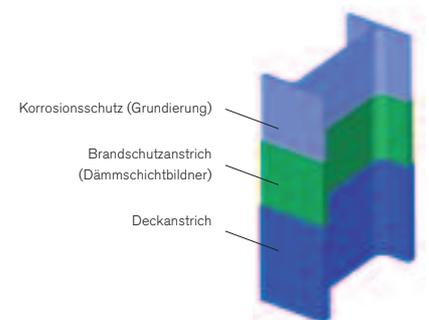


Abb. 7: Dämmschichtbildende Brandschutzanstriche bestehen aus der Korrosionsschutz-Grundbeschichtung (meistens Zinkphosphat), dem dämmschichtbildenden Anstrich mit einer Dicke entsprechend dem geforderten Feuerwiderstand (ca. 0.3 bis 3.5 mm) und der Deckbeschichtung.

¹⁵ auf der Basis von SIA 263 Ziffer 4.8, SIA 260 Ziffer 3.3.6 und SIA 261 Ziffer 15 [4,5,6]. Dabei sind die temperaturabhängigen Materialeigenschaften zu berücksichtigen. Bei diesem rechnerischen Nachweis darf mit reduzierten Nutzlasten gemäss SIA 260 Ziffer 4.4.3.5 und 4.4.3.7 [4] und bei Stützen mit reduzierten Knicklängen gerechnet werden, vgl. Teil II Bemessung.

¹⁶ siehe Teil II Bemessung

¹⁷ mit dem Beiwert ψ_2 gemäss SIA 260 [4], Ziffer 4.4.3.5 und Tabelle 2

¹⁸ in Deutschland bis R 90, in Grossbritannien bis R 120

¹⁹ vgl. VKF-Brandschutzerläuterung «Dämmschichtbildende Brandschutzanstriche» [2]

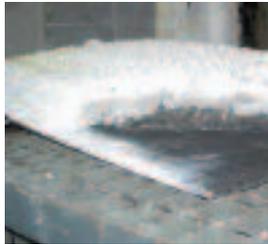


Abb. 8: Im Brandfall schäumt der Brandschutzanstrich auf das rund 50-fache seiner ursprünglichen Dicke auf und bildet eine isolierende Schicht.



Abb. 9: Spritzapplikation an einer Hohlprofil-Fassadenstütze (Max Schweizer AG)



Abb. 10: Brandschutzanstrich bei einer historischen Gussstütze im Zürcher Löwenbräu-areal: Feuerwiderstand 60 Minuten



Abb. 11: Messeturm Basel: Brandschutzanstrich R 60 bei der zweigeschossigen, weiten Auskragung; im Hochhausbereich konventionelle Plattenverkleidungen R 90 sowie Verbundstützen.



Abb. 12: Kuppeldach der Universität Zürich: Hohlkastenprofile mit Brandschutzanstrich R 30 (Stucortec AG)

ten, farblich frei wählbaren Deckbeschichtung. Für zweischichtige Systeme ist das Aufbringen eines Decklackes nicht zulässig. Ab einer Oberflächentemperatur von 120-200 °C schäumen Brandschutzanstriche auf und bilden einen isolierenden Schaum, dessen Dicke das vierzig- bis fünfzigfache der aufgetragenen Trockenschichtdicke erreicht.

Anwendung

Dämmschichtbildende Brandschutzanstriche erfordern eine Zulassung der VKF. Zugelassene Produkte sowie die erforderlichen Dicken sind im Schweizerischen Brandschutzregister publiziert²⁰. Die dort vorgegebenen Standardwerte der Schichtdicken können mit einem rechnerischen Nachweis²¹ unter Berücksichtigung des Ausnutzungsgrades optimiert werden.

Die Anwendung von dämmschichtbildenden Brandschutzanstrichen ist in der entsprechenden Brandschutzermächtigung geregelt²² und erfordert eine Bewilligung der zuständigen Brandschutzbehörde. Gesuche sind mittels Formular des Stahlbau Zentrums Schweiz (SZS) einzureichen²³.

Die Grundbeschichtung wird im Werk aufgetragen, die Brandschutz- und die Deckbeschichtung idealerweise vor Ort, d.h. auf der Baustelle. Das Aufbringen dämmschichtbildender Brandschutzanstriche setzt voraus, dass

- der Untergrund bei Neukonstruktionen gestrahlt ist
- bei Altbauten und Sanierungen der bestehende Anstrich gut haftend und systemverträglich ist.

Exponierte, mit dämmschichtbildenden Brandschutzanstrichen geschützte Stahlbauteile sind gegen mechanische Beschädigung dauerhaft zu schützen. Der mechanische Schutz muss genügend Abstand zum Anstrich aufweisen, damit dieser ungehindert aufquellen kann²⁴.

Die Anwendung muss unter Aufsicht von Personen erfolgen, die vom Stahlbau Zentrum Schweiz (SZS) ausgebildet wurden und die Verantwortung für die fachgerechte Applikation tragen. Das SZS führt ein Verzeichnis der zugelassenen Applikateure (www.szs.ch).

20 Brandschutzregister [3], siehe www.vkf.ch oder <http://bsronline.vkf.ch>

21 gemäss Teil II Bemessung

22 VKF-Brandschutzermächtigung «Dämmschichtbildende Brandschutzanstriche» [2]

23 Ein entsprechendes Formular kann beim SZS bezogen werden (www.szs.ch)

24 siehe Checkliste für Brandschutzanstriche im Anhang 2

5.3 Verkleidungen

Die Verkleidung von tragenden Stahlteilen ist eine gängige Brandschutzmassnahme. Nachteilig ist jedoch, dass dabei der Baustoff Stahl nicht sichtbar bleibt.

Mit Hilfe von Verkleidungen lassen sich alle erforderlichen Feuerwiderstandsdauern erzielen. Für die Verkleidung zugelassene Produkte finden sich im Schweizerischen Brandschutzregister ²⁵.

Bei Tragwerken mit integriertem Raumabschluss können Fassadenelemente, Wandpaneele und Unterdecken gleichzeitig als Brandschutzverkleidung oder Abschirmung ausgebildet werden.

Für die im Brandfall übliche unvollständige statische Ausnutzung und bei geometrischen oder anderen Besonderheiten empfiehlt es sich, die erforderlichen Verkleidungsdicken mit einem rechnerischen Nachweis der Feuerwiderstandsdauer mit Hilfe des Euronormogramms zu bestimmen ²⁶. Dadurch lassen sich geringere als die im Schweizerischen Brandschutzregister angegebenen Verkleidungsdicken erzielen.

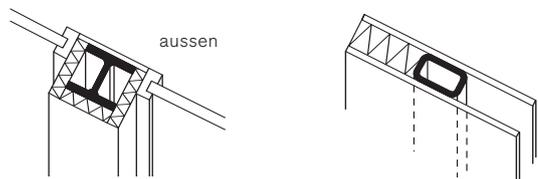


Abb. 16: Integrierte Stützen in Fassadenelementen oder Wandpaneelen, die gleichzeitig als Brandschutzverkleidung oder Abschirmung dienen.

5.4 Spritzputze

Spritzputze sind kostengünstig und werden im Ausland sehr häufig eingesetzt. Das Stahlprofil wird mit Hilfe von Spritzputz profilfolgend isoliert ²⁷. Spritzputze stellen immer dann eine wirtschaftliche Lösung dar, wenn die Stahlkonstruktion keinen ästhetischen Anforderungen genügen muss oder anschliessend verkleidet wird.

Auch hier kann die erforderliche Schichtdicke entweder mit dem Schweizerischen Brandschutzregister oder rechnerisch gemäss Teil II Bemessung bestimmt werden. Die zugelassenen Verputze finden sich im Schweizerischen Brandschutzregister ²⁸.

kastenförmige Brandschutzplatten-Verkleidung	für alle Profile geeignet
	typische Verkleidungsdicken: ca. 18 mm für R 30 ca. 30 mm für R 60 ca. 40 mm für R 90
(z.B. für Stützen)	

Abb. 13: Brandschutzverkleidungen



Abb. 14: Fabrikhalle in Dietikon mit Brandschutzverkleidung (Rigips AG)



Abb. 15: Fachwerkkonstruktion eines Messegebäudes mit Brandschutzverkleidung (Promat AG)

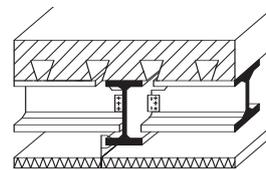


Abb. 17: Unterdecke wirkt als Brandschutz oder Abschirmung für die Deckenträger

profilfolgende Spritzputz-Ummantelung	für alle Profile geeignet
	typische Spritzputzdicken: ca. 20 mm für R 30 ca. 30 mm für R 60 ca. 45 mm für R 90
(z.B. für Träger)	

Abb. 18: Spritzputze



Abb. 19: Spritzputzapplikation an T-Fassadenstützen, Postgebäude Freiburg

²⁵ [3], siehe <http://bsronline.vkf.ch>

²⁶ siehe Teil II Bemessung

²⁷ siehe Abb. 18

²⁸ [3], siehe <http://bsronline.vkf.ch>



Abb. 20: Kammerbetonierter Träger auf betongefüllter Hohlprofilstütze



Abb. 21: Freigestellte Profilkanten, Sonderquerschnitte für Stützen



Abb. 22: Brandschutzstützen (Tuchschmid-Atlant) in einer Tiefgarage



Abb. 23: Brandsichere Geilinger-Stütze® mit Stahlpilz (Spannverbund Bausysteme GmbH)



Abb. 24: Stahl-Holz-Verbundkonstruktion im Verwaltungsgebäude der Landesvertretung Nordrhein-Westfalen, Berlin

5.5 Stahl-Beton-Verbundkonstruktionen

Stahl-Beton-Verbundkonstruktionen erlauben Feuerwiderstandsdauern von über R 90. Dabei werden Stützen und Träger aus H-Profilen mit Kammerbeton gefüllt oder Stützen aus Stahlhohlprofilen ausbetoniert, wo nötig bewehrt oder mit einem Vollstahlkern verstärkt. Der hohe Feuerwiderstand gelingt dank dem statisch und bauphysikalisch günstigen Zusammenwirken von Stahl und Beton. Die Bemessung dieser auch im Kaltzustand äusserst leistungsfähigen und damit schlanken Bauteile ist in den SIA-Normen geregelt ²⁹.

Bei Stahl-Beton-Verbundkonstruktionen bieten sich vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten, beispielsweise auch durch das Freistellen der Profilkanten oder mit Sonderquerschnitten. Stahlpilze in Betonflachdecken erreichen R 60 auch ohne Schutz der Pilz-Unterflansche (vergleiche Abb. 22 und 23).

5.6 Stahl-Holz-Verbundkonstruktionen

Holz als brennbarer Baustoff ist bis zur Feuerwiderstandsdauer R 60 anwendbar. Stahltragwerke lassen sich mit flächigen, brandabschnittsbildenden Holzbauelementen kombinieren und z.B. in Slim-Floor-Verbunddecken einsetzen. Stahl als Tragwerk und Holz als Flächenelement führen zu schlanken, wirtschaftlichen und ökologisch interessanten Verbundkonstruktionen.

Auch für den Feuerwiderstand von Stahl-Holz-Verbundkonstruktionen sind rechnerische Nachweise möglich. Die Stahl-Holz-Verbundbauweise bietet noch ungenutzte Entwicklungsmöglichkeiten. Umfangreiche Informationen enthalten die Brandschutz-Dokumentationen der Lignum ³⁰.

²⁹ Norm SIA 264 Ziffer 4.4 und SIA 264/1 [7,8]. Die Norm SIA 264/1 enthält ausführliche Bemessungstabellen für Brand in Ziffer 3. Hinweise auf mögliche Querschnittsabmessungen liefert der Anhang 1 dieses Hefts.

³⁰ Lignum: Lignatec 17/2005 «Brandschutz-Anforderungen» und Lignatec 18/2005 «Bauteile in Holz – Feuerwiderstandsdauer 30 und 60 Minuten»

5.7 Blech-Verbunddecken

Blech-Verbunddecken erreichen in der Regel einen Feuerwiderstand von 30 Minuten ohne weitere Massnahmen. Bereits die für die Rissesicherung erforderliche Minimalbewehrung genügt, um in der Regel R 60 zu erreichen. Die minimalen Querschnittsabmessungen für REI 30 bis REI 180 finden sich in Abbildung 25.

Feuerwiderstand	Erforderliche Dicke h_{eff} [mm]
R 30	≥ 60
R 60	≥ 80
R 90	≥ 100
R 120	≥ 120
R 180	≥ 150

Wirksame Deckendicke h_{eff} [mm] und Anwendungsbereich

$$\text{für } h_2/h_1 \leq 1.5: h_{eff} = h_1 + 0.5 h_2 \left(\frac{L_1 + L_2}{L_1 + L_3} \right) + h_3$$

$$\text{für } h_2/h_1 \geq 1.5: h_{eff} = h_1 \left[1 + 0.75 \left(\frac{L_1 + L_2}{L_1 + L_3} \right) \right] + h_3$$

Anwendungsbereich: $h_1 > 40$ mm
 h_3 ist mit ≤ 20 mm einzusetzen

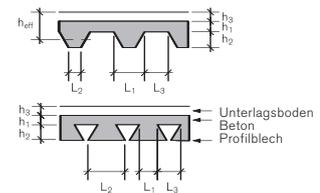


Abb. 25: Wärmedämmkriterium: Erforderliche wirksame Dicke h_{eff} von Blechverbunddecken, gemäss [12]

5.8 Slim-Floors

Decken mit integrierten Trägern (Slim-Floors) zeichnen sich durch ihre schlanke Bauweise aus. Da in der Regel nur der Untergurt der Stahlprofile der Brandeinwirkung ausgesetzt ist, kann durch Einlegen einer «Kammerbewehrung» ein Feuerwiderstand von R 60 bis R 90 erreicht werden. Slim-Floor-Konstruktionen können in Kombination mit Blechverbunddecken, Spannbetonfertigteilen oder vorgefertigten Holzelementen ausgeführt werden. Wie bei konventionellen Flachdecken ist eine freie Installationsführung gewährleistet. Der Anhang 1 zeigt empfohlene Stützweiten von Slim-Floor-Decken aus Spannbetonfertigteilen.

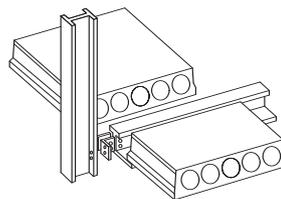
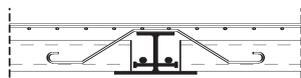


Abb. 26: Swisscom Tower in Winterthur, das zweithöchste Gebäude in der Schweiz: Flachdecken mit integrierten Stahlträgern (Slim-Floors) und Verbundstützen.



Abb. 27: Konstruktionsprinzip von Slim-Floor-Decken

5.9 Wasserdurchflossene Profile

Eine eher selten angewandte Massnahme zur Erzielung eines hohen Feuerwiderstandes ist die Kühlung von Stützen und Trägern aus Hohlprofilen mittels Wasser. Bei dieser Lösung führt das im Tragsystem zirkulierende Wasser im Brandfall die Wärme ab.

Abb. 28: Dieses Gebäude in Hannover besitzt eine wasserdurchflossene Tragstruktur. Im Brandfall zirkuliert das Wasser und kühlt den Stahl.



6 Besondere Konstruktionskonzepte

Mit geeigneten konstruktiven Massnahmen lassen sich weitgehend ungeschützte Stahltragwerke brandsicher erstellen. Redundante Systeme und Lastumlagerungen bewirken, dass das Gesamttragwerk unter Brandeinwirkung nicht einstürzt, auch wenn dabei grössere Verformungen einzelner Bauteile auftreten.

6.1 Differenzierung von tragenden und nicht tragenden Elementen

Tragelemente, die für die Lastaufnahme und Lastabtragung sowie die Stabilisierung notwendig sind, müssen samt ihrer Verbindungen einen geforderten Feuerwiderstand aufweisen. Sekundäre Elemente (z.B. Geländer, Gitterroste, Wandriegel, Tragelemente von Galerien und Treppen) ohne Einfluss auf das Gesamttragverhalten des Bauwerks und ohne brandabschnittsbildende Funktion dürfen ungeschützt bleiben.

6.2 Redundante Systeme

Redundante Systeme, beispielsweise doppelt geführte Stabilisierungsverbände, erlauben den Ausfall einzelner Elemente im Brandfall, ohne dass es zum Einsturz des gesamten Tragwerks kommt. Der Einbau zusätzlicher Tragsysteme und eine detaillierte Betrachtung der Bemessungssituation Brand erlauben, auf weitere Brandschutzmassnahmen zu verzichten, beispielsweise wenn sich Stahlstützen im ausgesteiften Dachgeschoss aufhängen lassen.

6.3 Dilatationsfugen und Sollbruchstellen

Im Brandfall erlauben Dilatationsfugen und Sollbruchstellen eine zwängungsfreie Temperaturexpansion und vermeiden bei einem allfälligen Versagen einzelner Träger das Mitreissen der anschliessenden, noch tragfähigen Bauteile.



Abb. 29: Geschäftshaus in Lausanne mit aufgehängten Fassadenstützen.

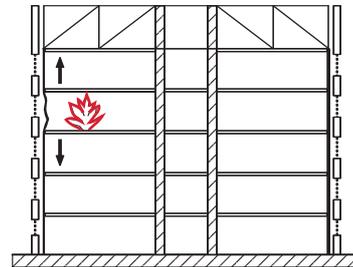


Abb. 30: Redundantes Tragwerk mit schlanken, ungeschützten Fassadenstützen, druck- und zugfest ausgeführt. Fallen im Brandfall die Stützen eines Geschosses aus, so übernehmen die darunter und darüber liegenden Stützen die Kräfte [17].

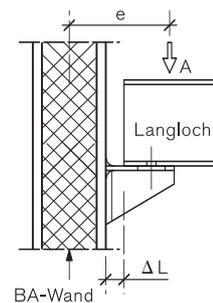


Abb. 31: Trägerauflager mit Dilatationsfuge und Sollbruchstelle an brandabschnittsbildender Wand

6.4 Membranwirkung

Durch Ausnutzung der Membranwirkung von Beton- und Blechverbunddecken können Stahlsekundärträger dieser Deckensysteme ungeschützt gelassen werden. Nur die Randträger solcher Membranfelder sind zu schützen, beispielsweise mit Kammerbeton oder mit Brandschutzanstrichen. Dadurch sind beträchtliche Einsparungen bei den Brandschutzkosten möglich.

Die Membranwirkung von Verbunddecken wurde in den Neunziger Jahren mit Brandversuchen an einem achtstöckigen Gebäude nachgewiesen (Testgebäude in Cardington, GB). Die ungeschützten Stahlträger bildeten mit der Verbunddecke ein Membranfeld aus, das die vorhandenen Lasten aufnehmen konnte. Dieser Effekt führte zu einem Bemessungsverfahren, welches die Traglastreserve der Membranwirkung von Verbunddecke und Verbundträger im Brandfall nutzt ³¹.

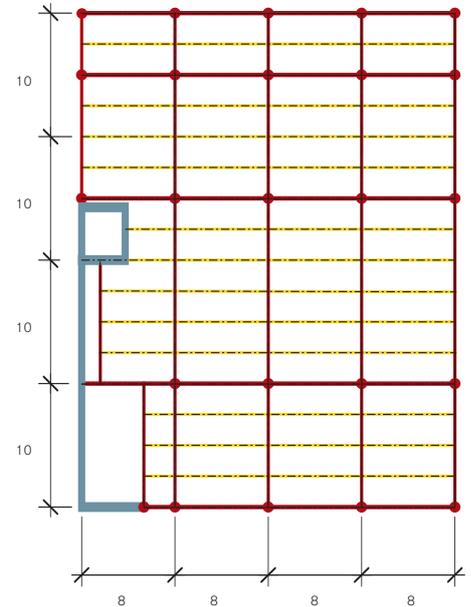


Abb. 32: Globopharm Stäfa, Zwischenboden R 60, Verbunddecke mit Membranfeldern (Grundriss), nur Stützen und rote Träger sind brandgeschützt.

6.5 Tragstruktur im Aussenraum

Stahltragwerke im Aussenraum sind der Brandwärme grossenteils entzogen, so dass sie in der Regel ungeschützt bleiben können ³². Gegen Fenster und andere Öffnungen müssen sie allerdings einen genügenden Abstand aufweisen oder feuerwiderstandsfähig abgeschirmt werden. Im Kaltzustand sind zudem die Wärmebrücken zu beachten.



Abb. 33: Membranwirkung von Verbunddecke und Verbundträger bei einem der Cardington-Tests



Abb. 34: Im Aussenbereich stehende Stützen bei der Gewerblich-Industriellen Berufsschule Bern (GIBB)



Abb. 35: La Ferriera, fünfgeschossiges Bürohaus in Locarno mit ausserliegender Tragstruktur (Prix Acier 2005)



³¹ Details siehe SZS-Brandschutzkurs-Dokumentation 2005 [13] sowie Publikation SCI-P288 «Fire safe design» [14]

³² zur Bemessung siehe Teil II, Kapitel 6.2

7 Technische Brandschutzmassnahmen



Abb. 36: Sprinklerköpfe

7.1 Einsatz von Sprinkleranlagen

Sprinkleranlagen sind im technischen Brandschutz nicht mehr wegzudenken. Was früher eher für die Industrie und das Gewerbe vorbehalten war, erweist sich auch in vielen anderen Nutzungen als sehr vorteilhaft. Die Sicherheit von Personen sowie der Sachwertschutz können dank dieser technischen Massnahme auf hohem Niveau gehalten werden.

Der Einsatz von Sprinkleranlagen verhindert die Brandentwicklung zum Vollbrand, so dass eigentlich keine Anforderungen an den Feuerwiderstand des Tragwerks nötig wären. Zudem verhindert er die Brandausbreitung und erlaubt somit grössere Brandabschnitte.

Auswirkungen auf das Tragwerk

Mit Sprinklern wird der Einsturz eines Stahlbaus wirksam verhindert, weil die Temperaturen nie so hoch ansteigen, dass der Stahl seine Festigkeit verliert. Sprinkleranlagen dürfen deshalb bei der Festlegung des Feuerwiderstands von Tragwerken und brandabschnittsbildenden Wänden und Decken berücksichtigt werden. In den Standardkonzepten wird ohne rechnerischen Nachweis gegenüber dem baulichen Brandschutzkonzept eine Reduktion des geforderten Feuerwiderstands für die meisten Nutzungen von 30 Minuten gewährt (siehe Abb. 5).

In Absprache mit den Behörden und bei entsprechender Nachweisführung kann der Sprinklerschutz im Rahmen von objektbezogenen Konzepten auch zu einer weiteren Reduktion des geforderten Feuerwiderstands führen.

Kostenoptimierung

Die Kosten für den Einbau einer Sprinkleranlage sind mit ca. 20-30 CHF/m² relativ bescheiden. Sprinkler reduzieren auch die Folgekosten des Brandes, da Personen und Güter wirkungsvoll geschützt werden und die weitere Objektnutzung kaum behindert wird. Die meisten Versicherer belohnen Sprinkleranlagen zudem mit wesentlich günstigeren Prämien und sogar mit Beiträgen an die Investitionskosten.

7.2 Weitere technische Brandschutzmassnahmen

Dass auch andere technische Brandschutzmassnahmen möglich sind, sei hier nur am Rande erwähnt: Durch Sauerstoffreduktion oder durch Freisetzen von Löschgasen kann der Feuersprung ebenfalls verhindert werden. Brandmeldeanlagen entdecken einen Brand frühzeitig, alarmieren Nutzer und Feuerwehr, verkürzen die Interventionszeit und verhelfen so zu einem rascheren Löschen des Feuers. Technische Brandschutzmassnahmen sind Teil eines globalen Brandschutzkonzeptes und können die Brandsicherheit wesentlich verbessern.

8 Brandschutzplanung in der Praxis

8.1 Wahl von Brandschutzlösungen

Bei der Wahl von Brandschutzlösungen hat sich in der Praxis folgende Vorgehensweise bewährt:

1. Bauvorhaben definieren, Nutzungsvereinbarung festlegen
2. Gefährdungsbilder erkennen, Schutzziele festlegen
3. Standardkonzepte nach VKF-Vorschriften [1]
 - bauliches Konzept definieren
 - Sprinklerkonzept definieren
4. Standardkonzepte (SK) beurteilen:
 - Schutzziele erfüllt?
 - Nutzungswünsche mit den SK vereinbar?
 - Gestaltungswünsche mit den SK erfüllbar?
 - Brandschutzkosten der SK vertretbar?
 - Terminplan mit den SK einzuhalten?

5. Eventuell objektbezogene Konzepte prüfen:
 - Varianten optimieren
 - Kontakt mit Brandschutzbehörde
6. Brandschutzpläne erstellen
7. Baubewilligung
 - Genehmigung von Abweichungen
8. Ausführung und Qualitätssicherung
9. Abnahme und Schlusskontrollen
10. Überwachung und Unterhalt

8.2 Auswahlkriterien für Konzeptentscheide

- Flexibilität und Nutzungsfreiheit
- Termine (Planung, Bewilligung, Ausführung)
- Robustheit und Unterhalt
- Kostenvergleich

8.3 Kostenvergleich von Brandschutzlösungen

- Planungskosten
- Investitionskosten für Brandschutzmassnahmen (I):
Feuerwiderstand für Brandabschnitte und Tragwerke, Türen, Klappen, Brandmelder, Sprinkler, Löschposten, Rauch- und Wärmeabzugsanlagen, etc.
- Investitionskosten für Konzeptanpassungen (I):
Gebäudeabstände, Materialwahl, Treppenanlagen, Korridore, Brandabschnitte, etc.
- Betriebskosten für Personal (B):
Sicherheitsbeauftragter, Betriebsfeuerwehr, Ausbildung, Kontrollen, Übungen, etc.
- Betriebskosten für Unterhalt (B):
Brandmeldeanlage, Sprinkleranlage, Brandschutzanstriche, Klappen, Abschottungen, Rauch- und Wärmeabzugsanlagen, etc.
- Betriebskosten durch Erschwernisse (B):
Kleine Brandabschnitte, Türen, Brandlastbegrenzungen
- Betriebskosten für Alarmübermittlung (B):
Mietleitungen, Alarmzentralen, etc.
- Versicherungskosten (Prämien) (V):
Versicherungen decken im Idealfall die gesamten Schadenserwartungen durch Brand (materielle Schäden am Gebäude, am Inhalt und durch Betriebsausfall, Imageschaden, Marktzugangsschaden)

- Amortisationskosten (A):
Investitionskosten / Lebensdauer
- Einsparungen (E):
Prämienrabatte (Gebäude, Mobiliar, Haftpflicht, Betriebsunterbruch, etc.)
Fehlervermeidung beim Bau (strenge Qualitätssicherung und Kontrollen beim Brandschutz wirken positiv auf übrige Bauqualität)

Ein üblicher Entscheidungsansatz besteht in der Minimalisierung der jährlich wiederkehrenden Kosten:

$$\text{Kosten} = \sum (\mathbf{I}) \times \text{Zinssatz} + \sum (\mathbf{B}) + \sum (\mathbf{V}) + \sum (\mathbf{A}) - \sum (\mathbf{E})$$

Bei Brandschadenserwartungen, die nicht durch Versicherungen abgedeckt sind, werden die Risiken als Zusatzkosten erfasst, gemäss der Beziehung:

$$\text{Risiko} = \text{Schaden} \times \text{Eintretenswahrscheinlichkeit}$$

Als Auftretenshäufigkeit ist pro Million m² Nutzfläche nach statistischem Zahlenmaterial in der Schweiz mit 1 Brandfall pro Jahr [20] zu rechnen.

8.4 Grobkosten von Brandschutzmassnahmen

Massnahmen	Investitionskosten CHF/m ²	Lebensdauer Jahre	Betriebskosten und Unterhalt	Prämienrabatte
Verkleidung R 30	20 - 60	50 - 100	---	
Verkleidung R 60	20 - 120	50 - 100	---	
Brandschutzanstrich R 30	35 - 45	20 - 50	<0.5% Investitionskosten	
Brandschutzanstrich R 60	80 - 140	20 - 50	<0.5% Investitionskosten	
Brandmeldeanlage Neubau	15 - 25	15 - 25	2-4% Investitionskosten, Mietleitung ca. CHF 1'500/Jahr	5 - 35%
Brandmeldeanlage Sanierung	25 - 35	15 - 25	2-4% Investitionskosten, Mietleitung ca. CHF 1'500/Jahr	5 - 35%
Sprinkleranlage Neubau	20 - 35	50 - 100	<0.5% Investitionskosten, Mietleitung ca. CHF 1'500/Jahr	40 - 80%
Sprinkleranlage Sanierung	30 - 45	50 - 100	<0.5% Investitionskosten, Mietleitung ca. CHF 1'500/Jahr	40 - 80%

Abb. 37: Approximative Mehrkosten von Brandschutzmassnahmen gegenüber einer ungeschützten Ausführung

9 Objektbeispiele

9.1 Bürogebäude, Basel

Als Beispiel für ein objektbezogenes Brandschutzkonzept dient das im Jahr 2005 fertiggestellte Bürohaus der Architekten Diener & Diener in Basel. Das fünfgeschossige Gebäude in Stahl-Beton-Verbundbauweise ist rund 85 m lang, 25 m breit und 22 m hoch. Die Geschosse mit einer Fläche von je 1'200 m² sind miteinander über einen Pflanzenraum und eine imposante Wendeltreppe atriumartig verbunden und weisen zusammenhängende Grossraumbüros und einzelne verglaste Büroräume auf.

Brandschutzkonzept

Das Brandschutzkonzept baut auf der VKF-Brandschutz-erläuterung «Atriumbauten» auf. Es handelt sich um ein Atrium Typ A mit offenen Verbindungen ohne feuerwiderstandsfähige Brandabschnitte. An technischen Massnahmen verfügt das Gebäude über eine schnellansprechende Sprinkleranlage, eine Brandmeldeanlage mit Vollüberwachung sowie eine Alarmierungsanlage mit Sprachmeldung. Der Feuerwiderstand des Tragwerkes beträgt R 60.

Nachweis des Feuerwiderstandes

Der Nachweis des Feuerwiderstandes erfolgte in verschiedenen Schritten:

1. In der ersten Planungsphase wurde für den Konstruktionsentscheid ein Brandschutzanstrich R 60 festgelegt. Damit konnte Planungssicherheit erreicht werden, denn die Anforderung einer sichtbaren Stahlkonstruktion mit Feuerwiderstand R 60 wird erfüllt.
2. Während der weiteren Planungsphase erfolgte eine Optimierung auf der Basis der globalen Tragwirkung. Unter Berücksichtigung der Membranwirkung und einer gewissen Zusatzbewehrung in den Decken war es möglich, die Sekundärträger ungeschützt zu belassen. Auch die Stützen, welche infolge der Erdbebenbeanspruchung und Rahmenwirkung eine geringe Ausnutzung unter vertikalen Lasten aufweisen, konnten bis auf wenige Ausnahmen ungeschützt belassen werden.
3. Auf eine weitere Reduktion der baulichen Brandschutzmassnahmen unter Einbezug von Naturbrand wurde wegen enger Terminvorgaben verzichtet. Hingegen konnten bereits mit den oben erwähnten Optimierungen erhebliche Brandschutzkosten gespart werden, ohne die Sicherheit zu reduzieren.

Ort St. Johann, Basel

Architekten Diener & Diener, Basel

Bauingenieure Ernst Basler + Partner, Zürich

Brandschutzplaner Prof. Mario Fontana, Neuhausen

Stahlbauunternehmer Josef Meyer Stahl+Metall AG, Emmen

Baujahr 2004

Stahltragwerk 1'600 t



Abb. 38: Das Atrium ist grosszünftig begrünt

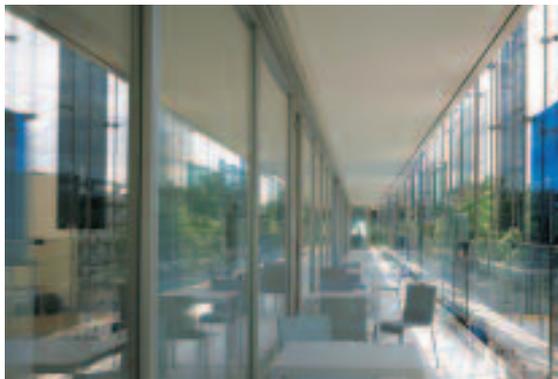


Abb. 39: Die bunte Glasfassade vor der eigentlichen Klimagrenze dient als Abschirmung vor Einblicken



Abb. 40: Deckentragwerk Stahl-Beton-Verbundbau, teils mit Brandschutzanstrich R 60, ungeschützte Sekundärträger dank Membranwirkung

9.2 Rolex-Gebäude, Genf

Im Genfer Aussenbezirk Plan-les-Ouates unweit des Messengeländes und des Flughafens steht der neue Grosskomplex von Rolex. Er besteht aus drei untereinander verbundenen Gebäudekörpern mit fünf oberirdischen und vier unterirdischen Vollgeschossen (insgesamt 157'000 m² Nutzfläche) und gehört zu den grössten mehrgeschossigen Stahlhochbauten der Schweiz.

Die 40'000 m² umfassende Produktionsfläche stellt erhöhte Anforderungen an die Tragstruktur und wurde mit einem System unterspannter Fachwerkträger realisiert, was grosse Spannweiten (12,5 m auf 7,5 m) zwischen den Innenstützen erlaubt. Dadurch wird eine grösstmögliche Flexibilität in der Nutzung und technischen Ausrüstung der Räume geboten. Die Decken wurden in Slim-Floor-Bauweise mit Betonfertigelementen und integrierten Stahlträgern erstellt und teilweise mit Ortbeton ausgefacht. Die fertige Decke ist lediglich 25 cm dick, bei einem Eigengewicht von maximal 6 kN/m² ist sie mit 10 kN/m² belastbar. Weitere Vorteile dieser Deckenkonstruktion sind die gute Reaktion auf dynamische Beanspruchungen (Vibrationen) sowie die extrem kurze Bau- und Montagezeit.

Brandschutzlösung

Das Brandschutzkonzept besteht aus der Kombination mehrerer Massnahmen. Der Einsatz einer Sprinkleranlage reduziert die Anforderungen an den Feuerwiderstand des gesamten Gebäudes. Die Fluchtwege und Brandabschnitte sind optimal organisiert. Zudem verfügt das Gebäude über eine Brand- und Rauchmeldeanlage und eine hauseigene Feuerwehr. Deshalb konnte auf konstruktive Brandschutzmassnahmen wie Verkleidung und Brandschutzanstriche verzichtet werden. Die vom Schweizerischen Institut zur Förderung der Sicherheit in Zürich durchgeführten Brandsimulationen bestätigen, dass die gewählten Massnahmen die Schutzziele erfüllen und einem Standardkonzept gleichwertig sind.



Abb. 41: Modellansicht des neuen Rolex-Gebäudes



Abb. 42: Decke mit unterspannten Stahlträgern, noch ohne Installationen

Bauherrschaft Rolex SA, Genf
Architekten R. Brodbeck & J. Roulet SA, Carouge
Bauingenieure Guscetti & Tournier SA, Genf
Brandschutzplaner Schweizerisches Institut zur Förderung der Sicherheit, Zürich
Stahlbauunternehmer ARGE Zwahlen & Mayr SA, Sottas SA, Josef Meyer Stahl+Metall AG, Jakem AG
Baujahr 2002-2005
Stahltragwerk 9'800 t
Abmessungen 131m x 130m x 31,8m

Abb. 43: Deckenträger im Auflagerbereich. Steglöcher und Gewindestange sichern den Verbund mit dem Ortbeton.

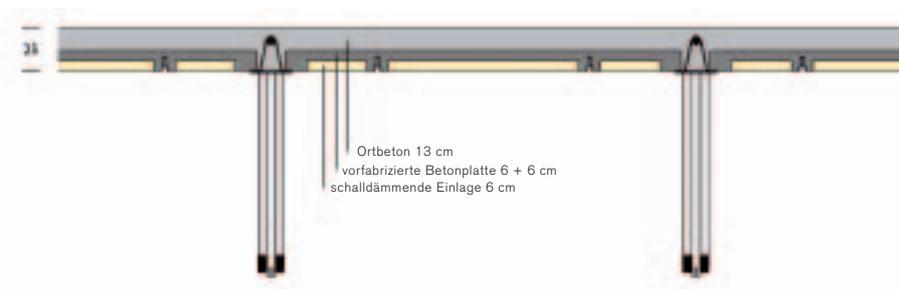


Abb. 44: Typischer Verbunddecken-Querschnitt.

9.3 Weitere Bauten



Objektname	Bürohochhaus Mobimo
Ort	Zürich
Abmessungen LxBxH	42/16/58 m
Stahltragwerk	Verstärkung Altbau: 46 t; Aufstockung dreigeschossig; Stockwerkrahmen, 128 t
Nutzung	Büros, oberstes Geschoss Kantine
Stockwerkzahl	15
Geschossfläche	720 m ²
Feuerwiderstand	R 90, R 60
Brandschutzlösung	Sprinklervollschutz; Stahl-Beton-Verbundstützen R 90; Verkleidung/Spritzputz R 90; Brandschutzanstrich R 60
Bauherrschaft	Mobimo AG, Luzern
Architekten	Läuppi Architects, Zürich; Industriebau Engineering AG, Zürich
Bauingenieure	Walt + Galmarini AG, Zürich
Brandschutzplaner	Braun Brandsicherheit AG, Winterthur
Stahlbau-Unternehmer	Schneider Stahlbau AG, Jona; Félix Constructions SA, Bussigny-Lausanne
Baujahr	Eröffnung 2001



Objektname	Messeturm Basel
Ort	Basel
Abmessungen LxBxH	Hochhaus: 40/20/105 m Auskrugung: 60/20/12 m
Stahltragwerk	Fassadenstützen aus Vollstahl, Deckenrandträger im Verbund mit Betondecke, 2'500 t
Nutzung	Büros, Hotel, Business Center, Restaurant, Konferenz-Säle, VIP-Bar (31. OG)
Stockwerkzahl	31
Geschossfläche	Gesamtfläche 38'000 m ²
Feuerwiderstand	R 90, Auskrugung R60
Brandschutzlösung	Stahlkern-Verbundstützen; Trägerflansche teilw. verkleidet, fassadenseitig Kammerbeton; restl. Elemente Brandschutzanstrich R 60
Bauherrschaft	Swiss Prime Site AG, Olten
Architekten	Morger & Degelo AG, Basel; Marques AG, Luzern
Bauingenieure	WGG Schnetzer Puskas Ingenieure AG, Basel
Brandschutzplaner	Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich
Stahlbau-Unternehmer	Josef Meyer Stahl + Metall AG, Emmen
Baujahr	2003



Objektname	Berufsschule GIBB
Ort	Bern
Abmessungen LxBxH	75/85/13 m
Stahltragwerk	Stahlstützen, Verbunddecken in Unterrichts- und Arbeitszonen, gekantete Blechdecken in öffentlichen Zonen
Nutzung	Berufsschule
Stockwerkzahl	4 + 1 UG
Geschossfläche	14'000 m ²
Feuerwiderstand	R 30
Brandschutzlösung	Sprinklervollschutz; Brandmelder-Teilüberwachung; Stahlkonstruktion auf R 30 bemessen, wo nötig mit Brandschutzanstrich
Bauherrschaft	Hochbauamt Stadt Bern
Architekten	Frank Geiser, Bern
Bauingenieure	H.P. Stocker + Partner AG, Bern
Brandschutzplaner	Braun Brandsicherheit AG, Winterthur
Stahlbau-Unternehmer	Gysin Stahl- und Apparatebau AG, Böckten; Mauchle Metallbau AG, Sursee
Baujahr	1997-1998



Objektname	Hoferweiterung Jelmoli
Ort	Zürich
Abmessungen LxBxH	35/20/25 m
Stahltragwerk	Verbunddecke, Verbundträger, Verbundstützen aus Hohlprofilen, 440 t
Nutzung	EG - 4. OG: Laden; 5. OG: Fitness; 6. OG: Technik
Stockwerkzahl	7
Geschossfläche	Verkaufsfläche 3'100 m ²
Feuerwiderstand	R 60
Brandschutzlösung	Kombination aus Verkleidung und Brandschutzanstrich
Bauherrschaft	Jelmoli AG, Zürich
Architekten	Tilla Theus und Partner AG, Zürich
Bauingenieure	Henauer Gugler, Zürich
Brandschutzplaner	Zusammenarbeit Planerteam und Feuerpolizei
Stahlbau-Unternehmer	H. Wetter AG, Stetten
Baujahr	2003



Objektname	La Ferriera
Ort	Locarno
Abmessungen LxBxH	51/38/23 m
Stahltragwerk	Aussenliegendes, dreidimensionales Gitter, HEB-Träger, 960 t
Nutzung	Büros, Geschäfte
Stockwerkzahl	5 + 2 UG
Geschossfläche	1'300 m ²
Feuerwiderstand	nbb / R 30
Brandschutzlösung	Brandschutzkonzept: Sprinkleranlage, Brandmelder, Brandschutzanstrich, Nachweis mit Fire Modelling
Bauherrschaft	Swiss Life, Zürich
Architekten	Livio Vacchini, Locarno
Bauingenieure	Andreotti & Partners, Locarno
Brandschutzplaner	Istituto di Sicurezza, Lugano
Stahlbau-Unternehmer	Mauchle Metallbau AG, Sursee
Baujahr	2003



Objektname	Neue Messehalle
Ort	Basel
Abmessungen LxBxH	210/90/22 m
Stahltragwerk	Rahmentragwerk, Stahl-Beton-Verbunddecken, 11'000 t
Nutzung	Messe
Stockwerkzahl	2 + 1 UG
Geschossfläche	Nutzfläche EG+OG 36'000 m ²
Feuerwiderstand	R 60
Brandschutzlösung	Brandschutzanstrich, Brandmelder, Sprinkleranlage, Feuerlöschposten, Rauch- und Wärmeabzug
Bauherrschaft	Schweizer Mustermesse, Basel
Architekten	Theo Hotz AG Architekten und Planer, Zürich
Bauingenieure	Ernst Basler + Partner AG, Zürich
Brandschutzplaner	Gruner AG, Basel
Stahlbau-Unternehmer	ARGE: Jakem AG, Münchwilen; Tuchs Schmid AG, Frauenfeld; Aepli & Co. Stahlbau, Gossau
Baujahr	1999



Objektname	Cinemax Erweiterung
Ort	Zürich
Abmessungen LxBxH	18/45/22 m
Stahltragwerk	Verbunddecken, Stahlstützen aus H- und Hohlprofilen, 203 t
Nutzung	Kino
Stockwerkzahl	6 + 1 UG
Geschossfläche	810 m ²
Feuerwiderstand	R 60
Brandschutzlösung	Brandschutzanstrich R 60
Bauherrschaft	Cinemax AG, Zürich
Architekten	Architektenteam Cinemax, Dietlikon
Bauingenieure	Walt + Galmarini AG, Zürich
Brandschutzplaner	Zusammenarbeit Planerteam und Feuerpolizei
Stahlbau-Unternehmer	H. Wetter AG, Stetten
Baujahr	2003



Objektname	Kuppeldach Universität
Ort	Zürich
Abmessungen LxBxH	34/15/8,2 m
Stahltragwerk	Gekrümmte Kastenträger, 108 t
Nutzung	Innenhof, Bibliothek
Stockwerkzahl	-
Geschossfläche	-
Feuerwiderstand	R 30
Brandschutzlösung	Brandschutzanstrich
Bauherrschaft	Hochbauamt, Baudirektion Kanton Zürich
Architekten	Calatrava Valls SA, Zürich
Bauingenieure	Calatrava Valls SA, Zürich
Brandschutzplaner	in Zusammenarbeit mit der Feuerpolizei
Stahlbau-Unternehmer	Tobler Stahlbau AG, St. Gallen
Baujahr	2004

1 Brandfall-Bemessung und Nachweis des Feuerwiderstandes

Die Brandschutzbehörde kann einen Nachweis des Feuerwiderstandes verlangen¹. Dieser kann entweder auf der Grundlage der Klassierung gemäss Schweizerischem Brandschutzregister² oder mit einem rechnerischen Nachweis auf der Basis der SIA-Normen oder der Eurocodes erfolgen. Die nachstehenden Darlegungen beruhen auf den im Anhang 4 aufgeführten Grundlagen³. Gemäss den Normen SIA 260/261 und SIA 263/264 wird die Tragsicherheit wie folgt nachgewiesen:

Normalfall «kalt»

- $E_d \leq R_d$ (SIA 260 Ziffer 4.4.3.3)
- E_d gemäss SIA 260 Ziffer 4.4.3.4
- $\gamma_{M1} = 1.05$ gemäss SIA 263 Ziffer 4.1.3

Brand als aussergewöhnliche Leiteinwirkung «warm»

- $E_{d,fi} \leq R_{d,fi,\Theta}$ (SIA 263 Ziffer 4.8, speziell 4.8.5)
- $E_{d,fi}$ für Brand gemäss SIA 260 Ziffer 4.4.3.5
- $\gamma_{M,fi} = 1.0$ gemäss SIA 263 Ziffer 4.8.1.2

1.1 Vereinfachter Nachweis

Nachweis ohne Berechnung des Ausnutzungsgrades

Ohne genaueren Nachweis wird für Brandschutz-Zulassungen von Bauteilen üblicherweise eine kritische Temperatur von 500 °C angesetzt⁴. Man spricht in diesem Fall auch von Klassierung. Für Brandschutzanstriche und Brandschutzverkleidungen enthält das Schweizerische Brandschutzregister² auf dieser Grundlage festgelegte erforderliche Schichtdicken in Abhängigkeit von Produkt, Profilform und Profilmfaktor.

1.2 Verfeinerter Nachweis

Nachweis mit Berechnung des Ausnutzungsgrades

Grundsätzlich kann der Nachweis des Feuerwiderstandes anhand des Ausnutzungsgrades $\mu_{fi,t} = E_{d,fi} / R_{d,fi,t=0}$ erfolgen. Durch den Vergleich der beiden Nachweisformeln für die «kalte» und «warme» Bemessung und den Einbezug der für E_d bzw. $E_{d,fi}$ einzusetzenden Lastbeiwerte ergibt sich, dass das Verhältnis $E_d/E_{d,fi}$ in der Regel deutlich über 1.5 liegt. Es verbleiben deshalb ungenutzte Tragreserven für den Brandfall.

Der rechnerische Nachweis des Feuerwiderstandes erfolgt mit dem tatsächlich vorhandenen Ausnutzungsgrad:

$$\mu_{fi,t} = E_{d,fi} / R_{d,fi,t=0}$$

Dieser liegt wegen den Anforderungen der Kaltbemessung in der Regel unter 0.65. Für $\mu_{fi,t} = 0.65$ ergibt sich z.B. eine kritische Temperatur von 510 °C bis 630 °C je nach Beiwert κ , welcher ungleichmässige Temperaturverteilung oder Stabilitätsprobleme berücksichtigt (siehe Kapitel 2.1).

Die kritische Temperatur liegt also deutlich höher als der einer Klassierung zugrunde liegende Wert von 500 °C.

Wenn die statischen Verhältnisse im Brandfall mit den dabei vorhandenen Beanspruchungen $E_{d,fi}$ (gemäss SIA 260) berücksichtigt werden, sind Einsparungen gegenüber dem vereinfachten Nachweis mit Verwendung klassierter Bauteile gemäss Schweizerischem Brandschutzregister⁵ möglich. Der dabei zu beachtende Rechengang ist nachstehend dargestellt.

Rechengang

Die Normen SIA 260 und 263⁶ erlauben den Nachweis der Tragsicherheit für den Brand als aussergewöhnliche Einwirkung in der Form

$$E_{d,fi} \leq R_{d,fi,\Theta} \text{ mit } \gamma_{Mfi} = 1.0$$

Der Bemessungswert der Beanspruchung $E_{d,fi}$ wird gemäss SIA 260 Ziffer 4.4.3.5 ermittelt, und zwar in der Regel mit der Formel

$$E_{d,fi} = E \{ G_k, A_d, \psi_{2j} \cdot Q_{ki} \}$$

- G_k charakteristischer Wert der ständigen Einwirkungen
- ψ_{2j} Reduktionsbeiwert für quasi-ständige Einwirkungen (SIA 260, Anhang A)
- Q_{ki} charakteristischer Wert einer veränderlichen Einwirkung
- A_d Bemessungswert der aussergewöhnlichen Einwirkung Brand inkl. Beanspruchung aus Verformungen

Im Euronogramm (siehe Kapitel 2) berechnet sich der rechnerische Ausnutzungsgrad eines Bauteils zu:

$$\mu_{fi,t} = E_{d,fi} / R_{d,fi,t=0}$$

- $E_{d,fi}$ Bemessungswert der Beanspruchung im Brandfall gemäss Norm SIA 260
- $R_{d,fi,t=0}$ Bemessungswert des Tragwiderstands bei Brandbeginn, d.h. zur Zeit $t = 0$, bei Raumtemperatur $\Theta = 20$ °C, mit $\gamma_M = \gamma_{M,fi} = 1.0$

Der Beiwert κ für ungleichmässige Temperaturverteilung bzw. Stabilitätsprobleme wird durch angepasste Materialfestigkeitskurven im Euronogramm (vgl. Abb. 54) berücksichtigt.

Die Tragwiderstände $R_{d,fi,t=0}$ werden bei diesen verfeinerten Nachweisen für die im Brandfall oftmals günstigeren statischen Systeme ermittelt, wie die Abbildungen 45 und 46 beispielhaft zeigen.

1 VKF-Brandschutzrichtlinie «Tragwerke» Art. 6.3 [1]
 2 [3], siehe <http://bsronline.vkf.ch>
 3 SIA-Normen [4,5,6,7] (Swisscodes, siehe www.sia.ch), Eurocodes [9,9a], EKS-Faltblatt [10]
 4 vgl. VKF-Brandschutzrichtlinien «Baustoffe und Bauteile», «Tragwerke» [1]
 5 [3], siehe <http://bsronline.vkf.ch>
 6 [4,6] (Swisscodes), siehe www.sia.ch

Abb. 45: Stützeinspannung im Brandfall

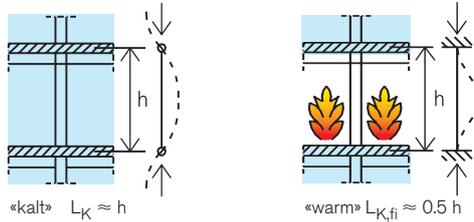
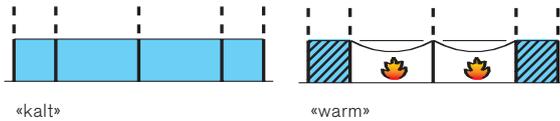


Abb. 46: Membrantragwirkung im Brandfall



Im Brandfall darf in der Regel mit einer Einspannung von Stützen in den biegesteifen Bereichen der anschliessenden kalten Geschosse gerechnet werden (d.h. allgemein $L_{K,fi} = 0,5 L$, $L_{K,fi} = 0,7 L$ für Stützen im obersten Geschoss z.B. bei Hochhäusern).

Bei den im Brandfall steigenden Temperaturen dehnen sich die Bauteile aus. Normalerweise sind die Beanspruchungen infolge behinderter Stützendehnungen vernachlässigbar, namentlich bei reinen Rahmensystemen in Stahl- und Verbundbauweise sowie bei nichttragenden Mauerwerkswänden. Nur wenn Betonwände oder vertikale

Fachwerkverbände als steife Scheiben über mehrere Stützenfelder reichen, sind Zwängungen für die darunter liegenden Stützen zu untersuchen. Trägerausdehnungen sind zu beachten, wenn sie die Brandabschnittsbildung verletzen oder gefährden könnten, andernfalls sind sie meist irrelevant.

Für Träger und Decken darf im Brandfall die günstige Membrantragwirkung berücksichtigt werden, falls daraus entstehende Horizontalkräfte in kalten oder geschützten Bereichen aufgenommen werden. Insbesondere bei Verbunddecken bieten sich grosse Vorteile, so dass sekundäre Träger oft ungeschützt belassen werden dürfen [14].

Nachweis für Verbindungen

Grundsätzlich erhalten Verbindungen denselben oder einen gleichwertigen baulichen Brandschutz wie die verbundenen Bauteile. Durch Laschen, Rippen, Überlappungen und dicke Stirnplatten ist im Verbindungsbereich die Massigkeit der Bauteile tendenziell erhöht, so dass meist kein besonderer Nachweis des Feuerwiderstandes erforderlich ist (siehe Norm SIA 263 Ziffer 4.8.6). Für den Brandschutz geeignete Verbindungsarten von Verbundbauteilen sind in der SZS-Publikation C2.4 [12] dargestellt.

2 Euromonogramm

Im Folgenden wird das rechnerische Verfahren für den Nachweis des Feuerwiderstandes von unverkleideten und verkleideten Stützen und Trägern aus Stahl beschrieben, beruhend auf der ENV 1993-1-2 [9a] und dem EKS-Faltblatt [10].

2.1 Grundsätze der Berechnung

Stahltemperatur

Für die Erwärmung einer Stahlkonstruktion, welche dem Feuer ausgesetzt ist, sind folgende Faktoren von Bedeutung:

- Der Profilmfaktor (A_m/V), als Verhältnis von feuerbeanspruchter Oberfläche zum Volumen eines Stahlprofils. Für einen konstanten Querschnitt ist der Profilmfaktor zugleich das Verhältnis des feuerbeanspruchten Umfangs zur Fläche eines Querschnittes (U/A). Die Art seiner Bestimmung und die Werte für gebräuchliche Profile gehen aus Kapitel 2.4 und Anhang 3 hervor.

- Die wärmetechnischen Eigenschaften allfälliger Verkleidungen: die Wärmeleitfähigkeit λ_p [W/(m·K)], die Wärmekapazität c_p [J/(kg·K)] und die Dicke d_p [m]. Kapitel 2.3 enthält generelle Angaben für verschiedene Materialien. Alternative, produktbezogene Angaben sind nur anwendbar, wenn sie aus Brandversuchen von offiziellen Prüfinstituten stammen.
- Der Wassergehalt von Verkleidungen. Bei Verkleidungen mit gebundenem Wasser tritt bei Erreichen der Temperatur von 100 °C, bedingt durch die Verdampfung des Wassers in der Verkleidung, eine Verzögerung der Temperaturerhöhung ein (vgl. Beispiel A1, Kapitel 3.1).

Thermo-mechanische Eigenschaften des Stahls bei hohen Temperaturen

Die Eigenschaften von Baustahl sind temperaturabhängig (vgl. Abb. 4). Entsprechend nimmt der Tragwiderstand eines Bauteils bei steigender Temperatur ab. Wenn der Tragwiderstand gerade noch dem Wert der Beanspruchung im Brandfall entspricht, ist die sogenannte kritische

Temperatur Θ_{crit} erreicht (vgl. Kap. 4.2 im Teil I). Wie die Anwendungsbeispiele im Kapitel 3 zeigen, wird die kritische Temperatur bestimmt durch den Ausnutzungsgrad $\mu_{fi,t}$ im Brandfall.

Temperaturverteilung

Kalibrierungsfaktoren κ , abgeleitet aus Vergleichen mit Ofenversuchen, tragen der ungleichmässigen Temperaturverteilung über den Querschnitt und entlang der Stabachse Rechnung. Die Kalibrierungsfaktoren κ werden wie folgt angesetzt:

- für einfache Balken:
 - allseitig dem Feuer ausgesetzt: $\kappa = 1.0$
 - dreiseitig dem Feuer ausgesetzt, mit Betonplatte auf der 4. Seite ⁷: $\kappa = 0.7$
- für durchlaufende Balken mit Wärmesenken im Auflagerbereich:
 - allseitig dem Feuer ausgesetzt: $\kappa = 0.85$
 - dreiseitig dem Feuer ausgesetzt, mit Betonplatte auf der 4. Seite ⁷: $\kappa = 0.6$
- Stabilitätsprobleme (berücksichtigt Vereinfachungen) $\kappa = 1.2$

Voraussetzungen des Rechenverfahrens

Die Berechnung des Feuerwiderstandes beruht auf folgenden Annahmen und Einstiegsgrössen:

- Temperaturanstieg im Brandraum gemäss EN 1363-1 ⁸
- Gleichmässige Erwärmung des Stahlprofils (d. h. kein Temperaturgefälle im Stahlquerschnitt); ungleichmässige Erwärmung mit dem Kalibrierungsfaktor κ erfasst.
- Baustahlartenwahl gemäss Euronorm EN 10 025 (S235, S275, S355, S420, S460)
- Für den Nachweis an Einzelbauteilen darf der Einfluss der Temperaturdehnung vernachlässigt werden.
- Profile der Querschnittsklassen 1, 2, 3 (mit $A_m/V > 10 \text{ m}^{-1}$). Für Querschnittsklasse 4 vgl. Kapitel 3.3.
- Erwärmung berechnet nach Norm SIA 263 Anhang C [6].
- Erwärmungskurven von verkleideten Profilen für $\phi = 0$ dargestellt (für andere Werte von ϕ vgl. Kapitel 2.3).

2.2 Berechnungsablauf

Berechnung des Ausnutzungsgrades $\mu_{fi,t}$

$$\mu_{fi,t} = E_{d,fi} / R_{d,fi,t=0}$$

(vgl. Kapitel 1.2), vereinfachend darf für Wohn- und Bürobauten auch $\mu_{fi,t} = 0.65$ angenommen werden).

Bestimmung des Profilkfaktors

Der Profilkfaktor A_m/V für unverkleidete bzw. A_p/V für verkleidete Profile ist aus dem Kapitel 2.4 und dem Anhang 3 zu entnehmen. Der thermische Profilkfaktor wird gemäss Kapitel 2.3 und Beispiel A1 (Kapitel 3.1) bestimmt.

Stützen

Die Schlankheit von Stützen $\bar{\lambda}_{fi,\Theta}$ ist temperaturabhängig. Vereinfachend darf $\bar{\lambda}_{fi,\Theta,crit} = 1.2 \bar{\lambda}_{fi,t=0}$ gesetzt werden. $R_{d,fi,t=0}$ wird mit $\bar{\lambda}_{fi,\Theta,crit}$ und der Streckgrenze $f_{y,20^\circ}$ bei Raumtemperatur sowie mit Knickspannungskurve c berechnet.

Die genauere Berechnung von $\mu_{fi,t}$ führt zu einem iterativen Verfahren (vgl. Abb. 47):

$$\bar{\lambda}_{fi,\Theta,crit} = \bar{\lambda}_{fi,t=0} \cdot \sqrt{k_{y,\Theta,crit} / k_{E,\Theta,crit}}$$

mit Θ_{crit} = Stahlttemperatur bei Stützenversagen, $\bar{\lambda}_{fi,t=0}$ = Schlankheit bei Raumtemperatur (die Einspannung der Stützen in kalte Geschosse darf berücksichtigt werden).

Stahlttemperatur Θ_a [°C]	300	400	500	600	700	800	900
$\sqrt{k_{y,\Theta,crit} / k_{E,\Theta,crit}}$	1.12	1.20	1.14	1.23	1.33	1.11	0.94

Abb. 47: Faktoren $\sqrt{k_{y,\Theta,crit} / k_{E,\Theta,crit}}$ zur Anpassung der Schlankheit von Stützen bei hohen Temperaturen

Zur Vereinfachung werden die kritischen Temperaturen für Stützen mit $L_{K,fi} = 0.5 L$ in Abbildung 48 und für Stützen mit $L_{K,fi} = 0.7 L$ in Abbildung 49 direkt angegeben, so dass eine Iteration entfällt. Beispiel D (Kapitel 3.4) zeigt den Berechnungsablauf.

Abb. 48: Kritische Stahlttemperatur Θ_{crit} für Stützen mit $L_{K,fi} = 0.5 L$, $\kappa = 1.2$

$\mu_{fi,0}$	$\bar{\lambda}_0$									
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0.20	699	706	718	734	752	770	785	798	817	833
0.25	675	680	687	696	712	733	751	765	775	784
0.30	651	657	666	677	688	698	715	729	741	749
0.35	627	635	645	658	672	683	692	698	706	714
0.40	603	612	623	639	655	669	679	686	690	693
0.45	584	592	602	620	638	654	666	674	679	683
0.50	566	574	586	600	621	639	653	662	668	672
0.55	547	557	570	586	604	625	639	650	657	661
0.60	529	540	554	572	591	610	626	638	645	651
0.65	511	523	538	558	579	596	613	626	634	640
0.70	491	505	522	544	566	586	600	614	623	629

$\mu_{fi,0}$ Normalkraft im Brandfall ($N_{Ed,fi}$) / Knickwiderstand (berechnet für $\Theta = 20^\circ$, $L_{K,0} = 1.0 L$, Knickspannungskurve c, $\gamma_{M,fi} = 1.0$)
 $\bar{\lambda}_0$ bezogene Stützenschlankheit für $L_{K,0} = 1.0 L$

⁷ Gilt auch für Träger von Blechverbunddecken, sofern der Oberflansch zu mind. 90% abgedeckt ist oder Hohlräume mit Brandschutzmaterial gefüllt sind. Für Holzdecken gilt $\kappa = 1.0$.
⁸ Normbrandkurve gemäss ISO 834 / EN 1363-1, vgl. Abb. 2.

$\bar{\lambda}_0$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
$\mu_{fi,0}$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
0.20	697	698	699	702	708	713	717	720	722	724
0.25	672	674	676	679	682	685	686	687	688	688
0.30	648	650	653	658	662	666	668	669	670	671
0.35	623	626	630	636	642	646	649	651	653	653
0.40	599	602	607	614	621	627	631	633	635	636
0.45	580	583	588	595	601	608	612	615	617	619
0.50	561	565	571	579	586	592	596	598	600	601
0.55	543	547	554	563	572	579	584	586	588	589
0.60	524	529	537	547	558	566	571	575	577	578
0.65	505	512	520	532	544	553	559	563	565	567
0.70	483	492	503	516	529	540	547	551	554	556

$\mu_{fi,0}$ Normalkraft im Brandfall ($N_{Ed,fi}$) / Knickwiderstand (berechnet für $\Theta = 20^\circ$, $L_{K,0} = 1.0 L$, Knickspannungskurve c, $\gamma_{M,fi} = 1.0$)
 $\bar{\lambda}_0$ bezogene Stützenschlankeit für $L_{K,0} = 1.0 L$

Verkleidungs-material	Spez. Masse ρ_p [kg/m ³]	Wasser-gehalt p [%]	Wärme-leitfähigkeit λ_p [W/(m·K)]	Spezifische Wärme c_p [J/(kg·K)]
Spritzputze				
- Mineralfaser	300	1	0.12	1200
- Vermiculite, Perlite	350	15	0.12	1200
Spezialputze				
- Vermiculite (oder Perlite) und Zement	550	15	0.12	1100
- Vermiculite (oder Perlite) und Gips	650	15	0.12	1100
Platten				
- Vermiculite (oder Perlite) und Zement	800	15	0.20	1200
- Faser-Silikate oder Faser-Calcium-Silikate	600	3	0.15	1200
- Faser-Zement	800	5	0.15	1200
- Gipskarton	800	20	0.20	170
Matten				
- Faser-Silikate, Mineralwolle, Steinwolle	150	2	0.20	1200
Beton	2300	4	1.60	1000
Leichtbeton	1600	5	0.80	840
Betonsteine	2200	8	1.00	1200
Isolierbacksteine	1000	-	0.40	1200
Backsteine	2000	-	1.20	1200

Profilfaktor	Kritische Temperatur Θ_{crit} nach 60 Min.						
	[m ⁻¹]	450	500	550	600	650	700
90	1'100	900	700	600	500	500	500
100	1'100	1'000	800	700	600	500	500
110	1'300	1'000	900	800	600	500	500
120	1'400	1'100	1'000	800	700	600	600
130	1'500	1'200	1'000	900	700	600	600
140	1'700	1'300	1'100	900	800	700	700
150	1'800	1'400	1'200	1'000	800	700	700
160	2'000	1'500	1'300	1'000	900	700	700
170	2'100	1'600	1'300	1'100	900	800	800
180	2'300	1'800	1'400	1'200	1'000	800	800
190	2'500	1'900	1'500	1'200	1'000	800	800
200	2'600	2'000	1'500	1'300	1'000	900	900
210	2'800	2'100	1'600	1'300	1'100	900	900
220	3'100	2'200	1'700	1'400	1'100	900	900
230		2'300	1'800	1'400	1'100	900	900
240		2'400	1'800	1'400	1'200	1'000	1'000
250		2'600	1'900	1'500	1'200	1'000	1'000
260		2'700	2'000	1'500	1'200	1'000	1'000
270		2'900	2'000	1'600	1'300	1'000	1'000
280		3'000	2'100	1'600	1'300	1'000	1'000
290		3'200	2'200	1'600	1'300	1'000	1'000
300			2'300	1'700	1'300	1'000	1'000

Abb. 49: Kritische Stahltemperatur Θ_{crit} für Stützen mit $L_{K,fi} = 0.7 L$, $\kappa = 1.2$

2.3 Verkleidungsmaterialien und Anstriche

Bei verkleideten Stahlelementen tritt an Stelle des Profilmfaktors A_m/V der thermische Profilmfaktor

$$\frac{A_p \cdot \lambda_p \cdot 1}{V \cdot d_p \cdot 1 + 0.5 \phi}; \text{ mit } \phi = \frac{c_p \cdot d_p \cdot \rho_p \cdot A}{c_a \cdot \rho_a \cdot V}$$

Als Vereinfachung darf $\phi = 0$ gesetzt werden (dies führt zu konservativem Ergebnis). Der Einfluss des Wassergehalts t_v darf gemäss Beispiel A1 (Kapitel 3.1) zusätzlich berücksichtigt werden. Die Verkleidung muss fachgerecht montiert werden, damit sie während des Brandes dauerhaft mit dem Profil verbunden bleibt. Die Materialeigenschaften gem. Abbildung 50 dürfen zur Bestimmung des thermischen Profilmfaktors benutzt werden.

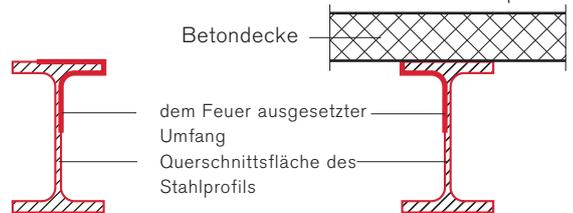
Für rechnerische Feuerwiderstandsnachweise mit dem Euronogramm dürfen differenzierte Schichtdicken von Brandschutzanstrichen in Funktion des Produkts, der kritischen Temperatur und des Profilmfaktors verwendet werden. Dadurch lassen sich die Schichtdicken teilweise erheblich reduzieren. Diese Produkttabellen, von denen Abbildung 51 ein Beispiel zeigt, sowie das zugehörige Grundlagendokument sind auf der Internetseite www.szs.ch zu finden und werden laufend ergänzt.

Abb. 50: Eigenschaften von typischen Verkleidungsmaterialien für Feuerwiderstandsberechnungen mit dem Euronogramm

2.4 Profilmfaktoren

Unverkleidete Stahlelemente

$$\text{Profilfaktor} = \frac{A_m}{V} = \frac{\text{dem Feuer ausgesetzter Umfang}}{\text{Querschnittsfläche des Stahlprofils}}$$



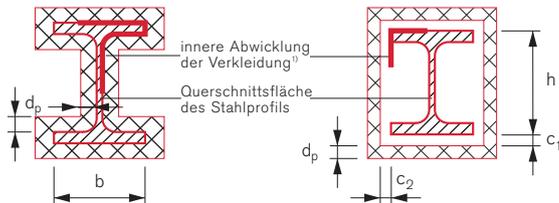
Beispiele:

Querschnittsform	Feuereinwirkung	A_m/V
Flacherzeugnisse 	allseits einseitig	$\approx 2/t$ $\approx 1/t$
Offene Querschnitte konst. Wanddicke 	allseits	$\approx 2/t$
Hohlprofile (rund oder rechteckig) 	allseits (aussern)	$\approx 1/t$
Vollstahl (rund oder quadratisch) 	allseits	$4/d$

Abb. 52: Profilmfaktoren von unverkleideten Stahlelementen

Verkleidete Stahlelemente

Profilfaktor: $= \frac{A_p}{V} = \frac{\text{innere Abwicklung der Verkleidung}}{\text{Querschnittsfläche des Stahlprofils}}$

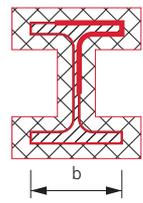


Legende:

 Isolation (Dicke d_p)
 Querschnittsfläche des Stahls
 Innere Abwicklung A_p

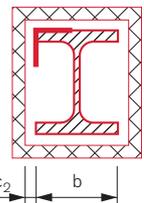
1) Die Luftspalte c_1 und c_2 sollten $h/4$ nicht überschreiten

Profilfolgende Verkleidung mit konstanter Dicke



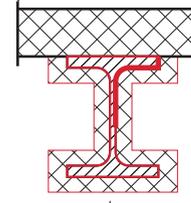
$$\frac{A_p}{V} = \frac{\text{Umfang Stahlprofil}}{\text{Stahlquerschnittsfläche}}$$

Kastenförmige¹⁾ Verkleidung mit konstanter Dicke



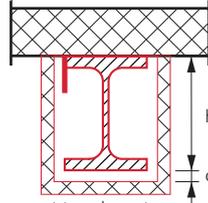
$$\frac{A_p}{V} = \frac{2(b+h)^1}{\text{Stahlquerschnittsfläche}}$$

Profilfolgende Verkleidung mit konstanter Dicke, dreiseitige Feueinwirkung



$$\frac{A_p}{V} = \frac{\text{Umfang Stahlprofil} - b}{\text{Stahlquerschnittsfläche}}$$

Kastenförmige¹⁾ Verkleidung mit konstanter Dicke, dreiseitige Feueinwirkung



$$\frac{A_p}{V} = \frac{(2h+b)^1}{\text{Stahlquerschnittsfläche}}$$

Abb. 53: Profilfaktoren von verkleideten Stahlelementen

Profilfaktoren für Walzprofile

Zahlenwerte der Profilfaktoren für die Walzprofile IPE, IPEA, INP, HEA, HEB, HEM, UNP und UPE sind im Anhang 3 gegeben.

2.5 Euromonogramm-Grafik

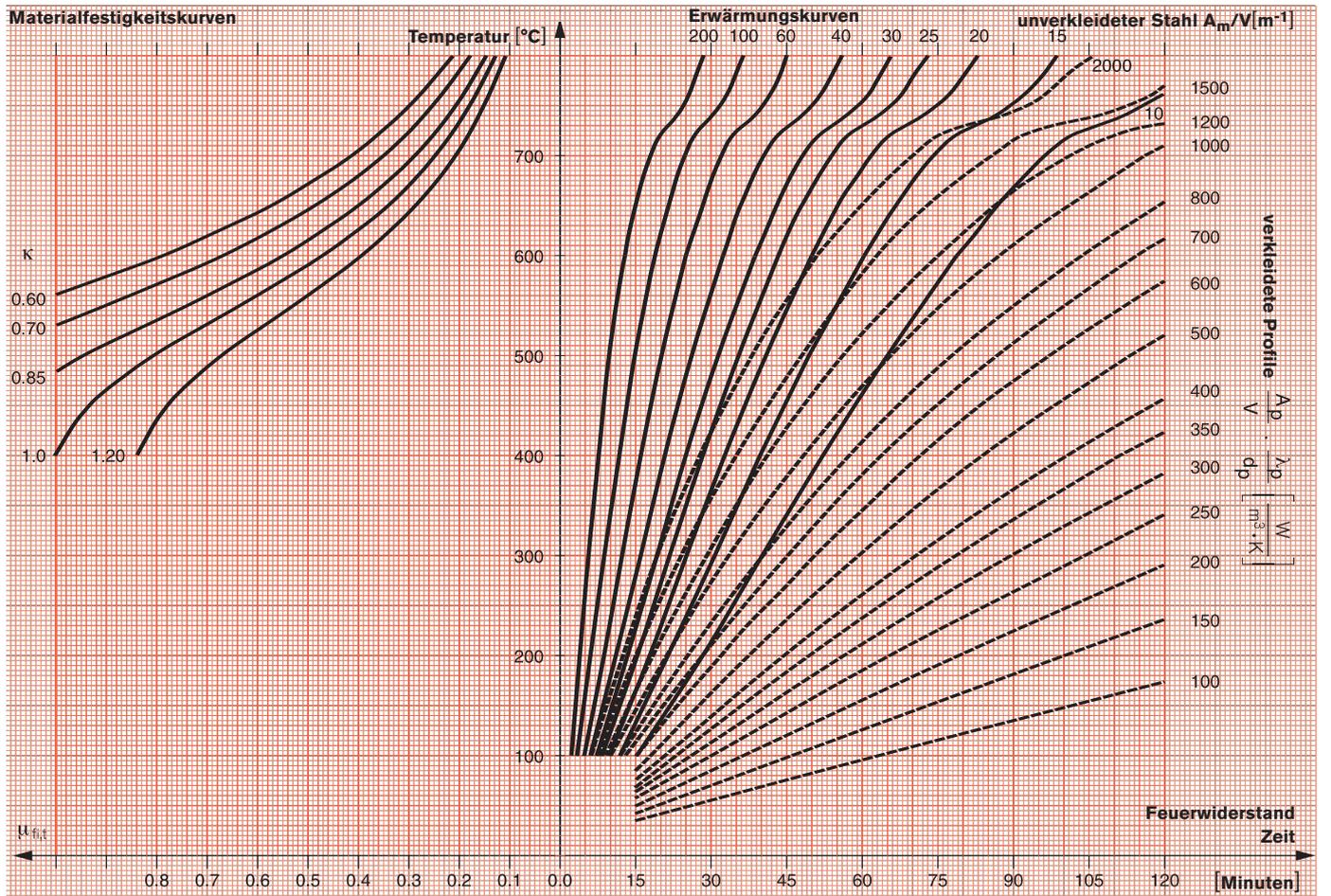


Abb. 54: Euronogramm

3 Euronomogramm-Anwendung

3.1 Beispiel A: verkleidete Stütze

Gegeben: Rechnerischer Ausnutzungsgrad, Verkleidungsdicke und Profilmfaktor
Gesucht: Feuerwiderstandsdauer

Beispiel A1: Stütze HEA 300, kastenförmig verkleidet mit Faser-Calcium-Silikat-Platten $d_p = 25$ mm, $\lambda_p = 0.15$ W/(m·K), $p = 3\%$, aus Abbildung 50. Ausnutzungsgrad $\mu_{fi,t} = 0.6$ (nach Iteration vgl. Beispiel E (Kapitel 3.5) und Kapitel 2.2); $A_p/V = 104$ m⁻¹ (Anhang 3).

Der thermische Profilmfaktor (vereinfacht für $\phi = 0$) wird zu:

$$\frac{A_p}{V} \cdot \frac{\lambda_p}{d_p} = 104 \cdot \frac{0.15}{0.025} = 624 \text{ W}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$$

Aus dem Euronomogramm wird mit $\mu_{fi,t} = 0.6$ und $\kappa = 1.2$ hierfür ein Feuerwiderstand von $t_t = 101$ Minuten herausgelesen.

Berücksichtigt man den effektiven Wert von ϕ :

$$\phi = \frac{1200 \cdot 0.025 \cdot 600}{600 \cdot 7850} \cdot 104 = 0.397$$

berechnet sich der modifizierte thermische Profilmfaktor zu:

$$\frac{A_p}{V} \cdot \frac{\lambda_p}{d_p} \cdot \frac{1}{1 + 0.5\phi} = 521 \text{ W}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$$

Aus dem Euronomogramm wird hierfür mit $\mu_{fi,t} = 0.6$ und $\kappa = 1.2$ ein Feuerwiderstand von 117 Minuten herausgelesen, eine deutliche Verbesserung gegenüber der vereinfachten Annahme $\phi = 0$.

Die zusätzliche Erhöhung infolge gebundenen Wassers kann näherungsweise mit folgendem Ansatz berechnet werden:

$$t_v = \frac{p \cdot p_p \cdot d_p^2}{5 \cdot \lambda_p} = \frac{3 \cdot 600 \cdot 0.025^2}{5 \cdot 0.15} = 1 \text{ Minute}$$

NB: Sofern der Einfluss von gebundenem Wasser bereits in λ_p implizit enthalten ist, darf t_v nicht zusätzlich berücksichtigt werden.

Die verkleidete Stütze erfüllt die Klassierung R 90.

Beispiel A2: Gleiche Verhältnisse wie Beispiel A1, jedoch geringerer Ausnutzungsgrad ($\mu_{fi,t} = 0.4$). Hierfür wird aus dem Euronomogramm ein Feuerwiderstand von $t_t = 121$ Minuten herausgelesen (vereinfacht für $\phi = 0$). Für den effektiven Wert von $\phi = 0.397$ wird $t_t = 140$ Minuten.

3.2 Beispiel B: verkleideter Deckenträger

Gegeben: Rechnerischer Ausnutzungsgrad und erforderliche Feuerwiderstandsdauer R 90
Gesucht: Profilmfaktor und erforderliche Verkleidung für Deckenträger IPE 300

1. Rechnerischer Ausnutzungsgrad $\mu_{fi,t}$: Aus Statik (Biegebeanspruchung, Stahl S235, Kippen durch seitliche Halterung infolge der Decke ausgeschlossen):
 $M_{Ed,fi} = 67.5$ kNm
 $M_{fi,t=0,Rd} = 148$ kNm (für $\gamma_{M,fi} = 1.0$)
 $\mu_{fi,t} = M_{Ed,fi} / M_{fi,t=0,Rd} = 67.5 / 148 = 0.456$

Aus dem Euronomogramm mit $\mu_{fi,t} = 0.456$ und $\kappa = 0.7$ ergibt sich die kritische Temperatur von $\Theta_{crit} = 654$ °C.

2. Verkleidung: Für den oben durch eine Deckenplatte abgeschirmten Träger beträgt $A_p/V = 139$ m⁻¹ (vgl. Anhang 3). Gemäss Euronomogramm darf der thermische Profilmfaktor für $\mu_{fi,t} = 0.456$ und R 90 maximal 1150 W/(m³·K) betragen. Mit $A_p/V = 139$ m⁻¹ muss eine Verkleidung mit Faser-Zement-Platten folgende Bedingung erfüllen:

$$\frac{d_p}{\lambda_p} \geq \frac{A_p/V}{1150} = \frac{139}{1150} = 0.121 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Für Faser-Zement-Platten (Abbildung 50) mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_p = 0.15$ W/(m·K) ergibt sich die erforderliche Dicke der Verkleidung zu $d_p \geq \lambda_p \cdot 0.121 = 0.15 \cdot 0.121 = 0.018$ m = 18 mm.

3.3 Beispiel C: dünnwandiger Blechträger

Gegeben: Profilmfaktor, Feuerwiderstandsdauer R 60 und kritische Temperatur $\Theta_{crit} = 350$ °C
Gesucht: Erforderliche Dicke der Verkleidung für Profil der Klasse 4 (dünnwandiger Blechträger), $A_p/V = 200$ m⁻¹

Hinweis: Eine Beschränkung der Stahltemperatur kann mittels Euronomogramm direkt berücksichtigt werden ($\Theta_{crit} = 350$ °C für Profile der Klasse 4, gemäss Norm SIA 263 Ziffer 4.8.5.9).

Minimale Verkleidungsdicke mit Faser-Silikat-Platten: Gemäss Euronomogramm darf der thermische Profilmfaktor maximal 610 W/(m³·K) betragen. Mit $A_p/V = 200$ m⁻¹ muss für die Verkleidung folgende Bedingung erfüllt werden:

$$\frac{d_p}{\lambda_p} \geq \frac{A_p/V}{610} = \frac{200}{610} = 0.33 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Für Faser-Silikat-Platten (Abbildung 50) mit der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_p = 0.15$ W/(m·K) ergibt sich die Dicke $d_p \geq \lambda_p \cdot 0.33 = 0.15 \cdot 0.33 = 0.049$ m, also $d_p \geq 49$ mm als erforderliche Dicke der Verkleidung.

3.4 Beispiel D: Vollstahl-Durchlaufstütze

Gegeben: Profilmfaktor, Stützenlänge, Normalkraft im Brandfall

Gesucht: Feuerwiderstandsdauer für Stütze aus Rundstahl, $d = 250 \text{ mm}$, $L = 4.0 \text{ m}$ (durchlaufend), $f_{y,20^\circ} = 235 \text{ N/mm}^2$, Normalkraft $N_{Ed,fi} = 3000 \text{ kN}$

Profilfaktor: $A_m/V = 4/d = 4/0.25 = 16 \text{ m}^{-1}$
 Unter Verwendung von Abbildung 48 ergibt sich folgender Berechnungsablauf:

Bezogene Schlankheit: $\bar{\lambda}_0 = L_{K,0} / (i \cdot \pi \cdot \sqrt{E_{a,20^\circ} / f_{y,20^\circ}})$
 $= 4000 / (62.5 \cdot \pi \cdot \sqrt{210 / 0.235}) = 0.68$

Knickwiderstand für 20° C , $\gamma_{M,fi} = 1.0$, Knickspannungskurve c: Knickbeiwert $\chi = 0.737$

$N_{Rd} = \chi \cdot f_{y,20^\circ} \cdot A = 0.737 \cdot 0.235 \cdot 49100 = 8504 \text{ kN}$
 $\mu_{fi,0} = 3000 / 8504 = 0.35$ (vgl. unter Abbildung 48)
 Kritische Stahltemperatur $\Theta_{crit} = 632^\circ \text{ C}$

Aus dem Euronogramm wird für $\Theta_{crit} = 632^\circ \text{ C}$ und $A_m/V = 16 \text{ m}^{-1}$ eine Feuerwiderstandsdauer von 62 Minuten herausgelesen.

3.5 Beispiel E: Vollstahl-Pendelstütze

Gegeben: Profilfaktor, Stützenlänge, Normalkraft im Brandfall
 Gesucht: Feuerwiderstandsdauer für Stütze mit gelenkiger Lagerung im Brandfall

Stütze Rundstahl, $d = 250 \text{ mm}$, $L = 3.0 \text{ m}$, $L_{K,fi} = 1.0 L$, $f_{y,20^\circ} = 235 \text{ N/mm}^2$, Normalkraft $N_{Ed,fi} = 3000 \text{ kN}$

Da die Lagerungsbedingungen nicht durch die Abbildungen 48 ($L_{K,fi} = 0.5 L$) und 49 ($L_{K,fi} = 0.7 L$) abgedeckt sind (vgl. Beispiel D, Kapitel 3.4), ist ein iteratives Vorgehen erforderlich. Es ergibt sich folgender Berechnungsablauf:

1. Iterationsschritt: Raumtemperatur
 $\sqrt{k_{y,\Theta_{crit}} / k_{E,\Theta_{crit}}} = 1.0$: Bezogene Knickschlankheit für 20° C ; Lagerungsbedingung im Brandfall $L_{K,fi} = 1.0 L$:
 $\bar{\lambda}_{fi,t=0} = L_{K,fi} / (i \cdot \pi \cdot \sqrt{E_{a,20^\circ} / f_{y,20^\circ}}) = 3000 / (62.5 \cdot \pi \cdot \sqrt{210 / 0.235}) = 0.51$

Knickwiderstand für $\gamma_{M,fi} = 1.0$, Knickspannungskurve c: Knickbeiwert $\chi = 0.8374$, Knickwiderstand:
 $N_{K,Rd} = \chi \cdot f_{y,20^\circ} \cdot A = 0.8374 \cdot 0.235 \cdot 49100 = 9662 \text{ kN}$
 $\mu_{fi,t} = 3000 / 9662 = 0.31$

Aus dem Euronogramm wird für $\mu_{fi,t} = 0.31$ und $\kappa = 1.2$ eine kritische Stahltemperatur $\Theta_{crit} = 638^\circ \text{ C}$ herausgelesen.

2. Iterationsschritt: $\Theta_{crit} = 638^\circ \text{ C}$
 $\sqrt{k_{y,\Theta_{crit}} / k_{E,\Theta_{crit}}} = 1.27$ (interpoliert aus Abb. 47);
 $\bar{\lambda}_{fi,\Theta_{crit}} = 0.51 \cdot 1.27 = 0.65$

Knickwiderstand für $\gamma_{M,fi} = 1.0$, Knickspannungskurve c: Knickbeiwert $\chi = 0.7554$, Knickwiderstand:

$N_{K,Rd} = \chi \cdot f_{y,20^\circ} \cdot A = 0.7554 \cdot 0.235 \cdot 49100 = 8716 \text{ kN}$
 $\mu_{fi,t} = 3000 / 8716 = 0.344$

Die kritische Stahltemperatur Θ_{crit} für $\mu_{fi,t} = 0.344$ und $\kappa = 1.2$ ergibt sich aus dem Euronogramm zu $\Theta_{crit} = 620^\circ \text{ C}$. Die Iteration kann hier abgebrochen werden.

Aus dem Euronogramm wird für $\Theta_{crit} = 620^\circ \text{ C}$ und $A_m/V = 16 \text{ m}^{-1}$ eine Feuerwiderstandsdauer von 61 Minuten herausgelesen.

3.6 Beispiel F: Verbundträger mit Brandschutzanstrich oder Spritzputz

Ausgangslage

Verbundträger IPE 270 S235, Spannweite $L = 9000 \text{ mm}$, Abstand $a = 2200 \text{ mm}$, Kippen durch Betondecke verhindert. Dreiseitig beflammt. Deckenplatte $d_c = 160 \text{ mm}$ aus Beton C 25/30. Bodenbelag, Estrich, Trennwände. Nutzlast Büro. Erforderlicher Feuerwiderstand R 60.



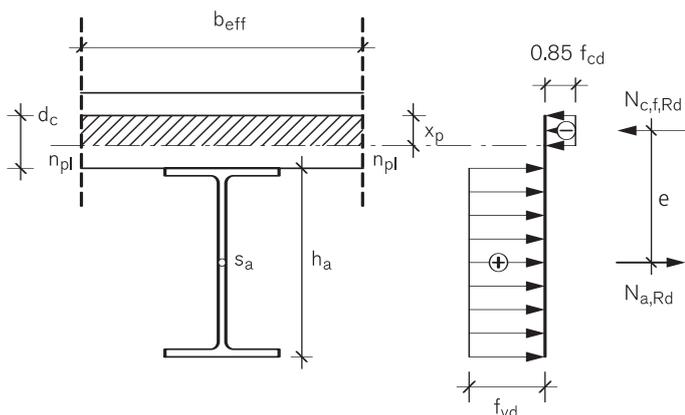
Einwirkungen, Feldmomente

$g_k = \text{ständige Einwirkungen} = 12.5 \text{ kN/m}^1$
 $q_k = \text{Nutzlasten} = 6.6 \text{ kN/m}^1$
 $q_d = 1.35 \cdot 12.5 + 1.5 \cdot 6.6 = 26.78 \text{ kN/m}^1$
 $M_d = 271.1 \text{ kNm}$
 $q_{Ed,fi} = 1.0 \cdot 12.5 + 0.3 \cdot 6.6 = 14.48 \text{ kN/m}^1$
 $M_{Ed,fi} = 146.6 \text{ kNm}$

Biege­widerstand (kalt, Annahme voller Verbund)

$b_{eff} = \Sigma b_{eff,i} + b_w$ (mit $b_{eff,i} = 0.2b_i + 0.1L_o$) = 2348 mm
 $b_{eff} > a \rightarrow b_{eff} = a = 2200 \text{ mm}$ (mitwirkende Breite)
 $x_p = N_{a,Rd} / (0.85 f_{cd}) = (4590 \cdot 235 / 1.05) / (0.85 \cdot 2200 \cdot 25 / 1.5) = 33 \text{ mm}$ (Beton­druck­zonen­höhe)
 $e = (h_a / 2 + d_c - x_p / 2) = 270 / 2 + 160 - 33 / 2 = 278.5 \text{ mm}$ (innerer Hebelarm)
 $M_R = M_{fi,t=0,Rd} = 0.2785 \cdot 4590 \cdot 0.235 = 300.4 \text{ kNm}$ (Biege­wider­stand kalt)

Abb. 55: Spannungsverteilung im Verbundträger für plastische Bemessung



Kritische Temperatur mit Euronogramm

Ausnutzungsgrad $\mu_{fi,t} = M_{Ed,fi} / M_{fi,t=0,Rd} = 146.6 / 300.4 = 0.49$, für Träger 3-seitig beflammt mit Betonplatte auf 4. Seite, mit Kurve für $\kappa = 0.7$ ergibt sich durch direkte Ableseung $\Theta_{crit} \approx 648 \text{ °C}$ (siehe Abbildung 56)

Alternative: kritische Temperatur mit Näherungsformel nach Eurocode EN 1993-1-2 [9a], Formel 4.18:

$$\Theta_{crit} = 39.19 \ln \left[\frac{1}{0.9674 \cdot \mu_0^{3.833}} - 1 \right] + 482$$

Durch Einsetzen von $\mu_0 = \mu_{fi,t} \cdot \kappa = 0.49 \cdot 0.7 = 0.34$ wird $\Theta_{crit} = 644 \text{ °C}$

Profilfaktor

IPE 270 3-seitig beflammt, $A_m/V = 197 \text{ m}^{-1}$ (Anhang 3)
Hinweis: Ohne Brandschutzanstrich erreicht dieser Verbundträger gemäss Euronogramm einen Feuerwiderstand von nur 15 Minuten.

Brandschutzanstrich

Erforderliche Trockenschichtdicke für R 60:

- a) Rechnerischer Nachweis mit Euronogramm und spezifischer Produkt-Tabelle (vgl. Abb. 51):
für R 60 und $A_m/V = 197 \text{ m}^{-1}$ wird $\Theta_{crit} = 648 \text{ °C}$
Tabelle für $A_m/V \leq 200 \text{ m}^{-1}$ und $\Theta_{crit} = 650 \text{ °C}$ ergibt erforderliche Trockenschichtdicke **1000 μm**
- b) Zum Vergleich vereinfachter Nachweis für dasselbe Produkt mit Tabellen aus dem Schweizerischen Brandschutzregister:

für $\Theta_{crit} = 500 \text{ °C}$, d.h. ohne Nachweis des Ausnutzungsgrades, beträgt die erforderliche Trockenschichtdicke **2350 μm** .

Somit führt der verfeinerte Nachweis unter Beachtung des Ausnutzungsgrades zu einer erheblichen Reduktion der Trockenschichtdicke!

Ähnliche Einsparungen ergeben sich auch für Verkleidungen, wie das folgende Beispiel zeigt:

Vergleichsbeispiel mit Verputz

Brandschutz-Isolation R 60 mit Mineralfaserspray, gleicher Träger mit gleichem Ausnutzungsgrad $\mu_{fi,t} = 0.49$

- a) Nachweis mit Euronogramm:
Mineralfaserspray: Dichte $\rho_p = 300 \text{ kg/m}^3$;
Wassergehalt $p = 1\%$; $\lambda_p = 0.12 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
für $\mu_{fi,t} = 0.49$, $\kappa = 0.7$, $\Theta_{crit} = 648 \text{ °C}$ und R 60 im Euronogramm ablesen (siehe Abbildung 56) erforderlich therm. Profilmfaktor $A_p/V \cdot \lambda_p/d_p \geq 2000 \text{ W/(m}^3 \cdot \text{K)}$

Berechnung der erforderlichen Dicke:
 $d_{p,erf} = 197/2000 \cdot 0.12 = \mathbf{12 \text{ mm}}$

- b) verfeinerter Nachweis mit Euronogramm unter Einbezug des modifizierten Profilmfaktors:
Berechnung wie oben a), aber mit

$$\phi = \frac{c_p \cdot d_p \cdot \rho_p \cdot A_p}{c_p \cdot \rho_a \cdot V} = \frac{1100 \cdot 0.012 \cdot 300}{600 \cdot 7850} \cdot 197 = 0.17$$

wird der thermische Profilmfaktor

$$A_p/V \cdot \lambda_p/d_p / (1 + 0.5\phi) = 2000/1.085 = 1847 \text{ W/(m}^3 \cdot \text{K)}$$

daraus die erforderliche Dicke
 $d_{p,erf} = 197/1847 \cdot 0.12 = \mathbf{11 \text{ mm}}$

- c) Vereinfachter Nachweis mit Schweizerischem Brandschutzregister für ein spezifisches Produkt, auf der Basis von $\Theta_{crit} = 500 \text{ °C}$
für $A_m/V \leq 200$ wird z.B. abgelesen $d_{p,erf} = \mathbf{25 \text{ mm}}$

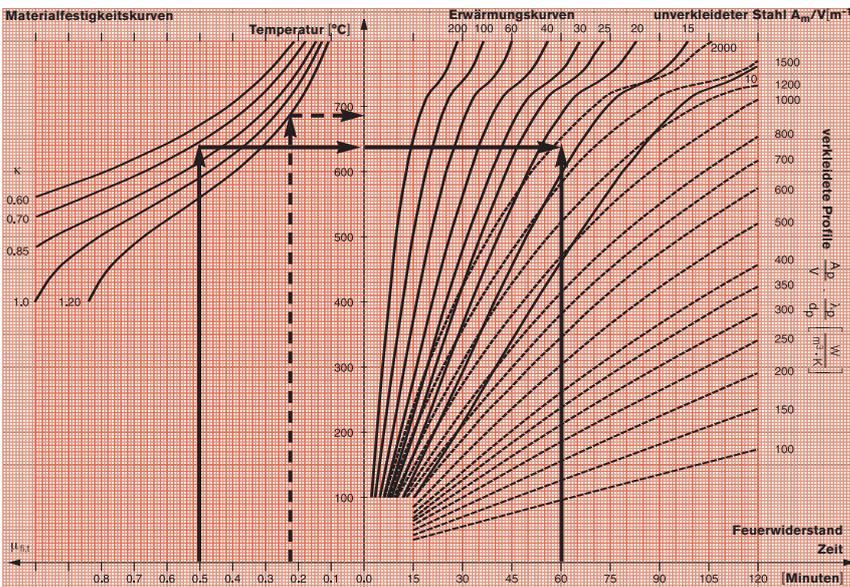
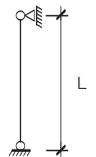


Abb. 56: Euronogramm-Anwendungsbeispiele: Pfeile ausgezogen für Träger, gestrichelt für Stütze

3.7 Beispiel G: Stütze mit Brandschutzanstrich

Ausgangslage

durchlaufende Erdgeschoss-Stütze
HEB 340 S235, L = 4000 mm,
ständige Lasten $N_{Gk} = 400 \text{ kN}$,
veränderliche Lasten $N_{Qk} = 1200 \text{ kN}$,
Büronutzung, erforderlicher
Feuerwiderstand R 60.



Einwirkungen

Lastfall «Nutzlast»: $N_{Ed} = 1.35 \cdot 400 + 1.5 \cdot 1200 = 2340 \text{ kN}$

Lastfall «Brand»: $N_{Ed,fi} = 1.0 \cdot 400 + 0.3 \cdot 1200 = 760 \text{ kN}$

Knickwiderstand bei Raumtemperatur

(für $\Theta_a = 20 \text{ °C}$, $\gamma_{M,fi} = 1.0$, $\bar{\lambda}_{fi,\Theta,crit} = 1.2$, $\bar{\lambda}_{fi,t=0} = 0.475$)

$\chi_K = 0.857 \rightarrow N_{fi,t=0,Rd} = 0.857 \cdot 0.235 \cdot 17100 = 3443 \text{ kN}$

(im Brandfall nur oben eingespannt, $L_{K,fi} = 0.7 \text{ L}$)

Kritische Temperatur

$\mu_{fi,t} = N_{Ed,fi} / N_{fi,t=0,Rd} = 760 / 3443 = 0.22$

kritische Temperatur für die Stütze, mit Euronogramm:

für $\mu_{fi,t} = 0.22$ und $\kappa = 1.2$ wird $\Theta_{crit} \approx 690 \text{ °C}$.

Daraus könnte für die ungeschützte, 4-seitig beflammete Stütze mit $A_m/V = 105 \text{ m}^{-1}$ eine Feuerwiderstandsdauer von 24 Minuten abgelesen werden.

Brandschutzanstrich

Erforderliche Trockenschichtdicke für R 60:

a) Rechnerischer Nachweis mit Euronogramm und spezifischer Produkt-Tabelle (vgl. Abb. 51 bzw. www.szs.ch): für R 60 wird $\Theta_{crit} = 690 \text{ °C}$
Tabelle für $A_m/V \leq 120 \text{ m}^{-1}$ und $\Theta_{crit} = 650 \text{ °C}$
ergibt erforderliche Trockenschichtdicke = **700 μm**

b) Zum Vergleich vereinfachter Nachweis für dasselbe Produkt mit Tabellen aus dem Schweizerischen Brandschutzregister: für $\Theta_{crit} = 500 \text{ °C}$, d.h. ohne Nachweis des Ausnutzungsgrades, beträgt die erforderliche Trockenschichtdicke **1900 μm** .

4 Besondere Verfahren

4.1 Andere Stahlqualitäten

Die mechanischen Materialeigenschaften von Baustählen im Brandfall sind in Abbildung 4 von Teil I dargestellt. Diese Angaben gelten auch für höherfeste Baustähle nach EN 10 025.

Nichtrostende und spezielle warmfeste Stähle weisen dank Legierungselementen ein günstigeres Brandverhalten auf als normaler Baustahl, vgl. Abb. 57 und 58. Für Konstruktionen aus solchen Stählen ergeben sich deshalb höhere Feuerwiderstände, die sich beispielsweise mittels eines modifizierten Nomogramms bestimmen lassen.

4.2 Spezielle Brandkurven

Die in SN EN 1991-1-2 [9] enthaltenen Temperaturzeitkurven für aussenliegende Bauteile (mit einer Maximaltemperatur von 680 °C) und für Hydrokarbon-Brände mit noch rascherem Temperaturanstieg als die Normbrandkurve nach ISO 834 / EN 1363-1 sind in Abbildung 59 dargestellt. Für Tunnelbrände gelten spezielle Temperaturzeitkurven, die durch die Strassen- oder Bahnbehörden festgelegt werden.

Auch in diesen Fällen lässt sich der Feuerwiderstand mittels modifizierter Nomogramme oder entsprechender Berechnungen bestimmen.

Aussenliegende, schlanke Stahlstützen werden im Brandfall somit höchstens eine Stahltemperatur von 680 °C erreichen. Sie dürfen deshalb, wie aus dem Euronogramm für diese kritische Temperatur und $\kappa = 1.2$ hervorgeht, bis zu einer Brandfall-Ausnutzung $\mu_{fi,t} \leq 0.24$ ungeschützt bleiben.

4.3 Naturbrand

Die Brandschutzrichtlinie «Tragwerke» [1] lässt in Art. 6.2 die Anwendung von Naturbrandkurven für rechnerische Nachweise als Sonderfall ausdrücklich zu, wobei die erforderlichen Parameter vorgängig mit der Brandschutzbehörde festzulegen sind.

Zur Bestimmung von Naturbrandkurven enthält SN EN 1991-1-2 [9] im Anhang A ein einfaches Berechnungsverfahren. Es liefert die Temperaturen in Räumen bis 500 m^2 Grundfläche und 4 m Höhe. Dieses Verfahren wurde als PC-Programm aufbereitet [15].

4.4 Berechnungssoftware

Das Stahlbau Zentrum Schweiz hält Berechnungssoftware für Brandschutznachweise zur Verfügung und weist auf zusätzliche Bezugsquellen hin (www.szs.ch).

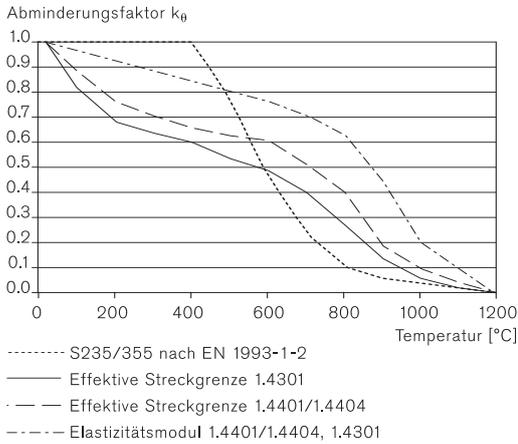


Abb. 57: Materialeigenschaften von warmfesten Stählen im Brandfall [19] im Vergleich mit Baustahl

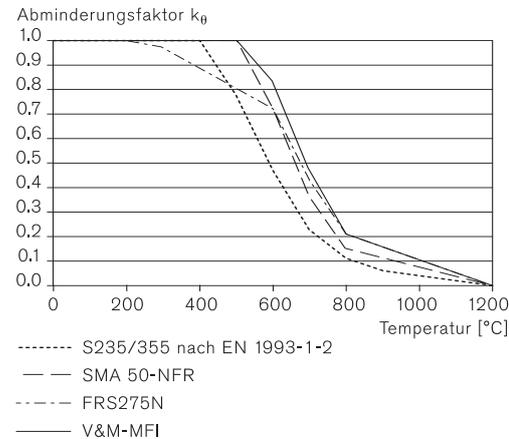


Abb. 58: Materialeigenschaften von nichtrostenden Stählen im Brandfall [19] im Vergleich mit Baustahl

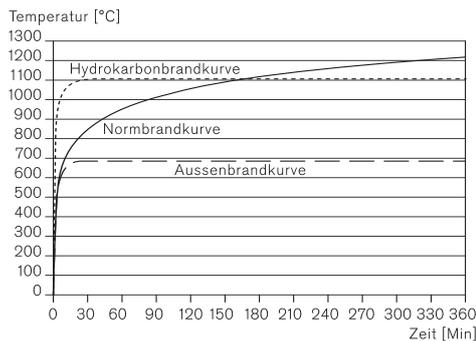


Abb. 59: Normbrandkurve ISO 834 / EN 1363-1 und weitere Temperaturzeitkurven gemäss [9]

4.5 Anwendungsbeispiel Naturbrand

Ausgangslage

Eine Schaltzentrale mit geringer Brandlast hat die Abmessungen L/B/H = 15m/15m/4m. Die Decken und Wände bestehen aus 15 cm Beton. Es gibt eine grosse Wandöffnung von H/B = 3.75m/3.0m. Die Decke ist eine Verbunddecke mit ungeschützten Trägern IPE 450, als einfache Balken gelagert, mit einem Ausnutzungsgrad von $\mu_{fi,t} = 0.6$ (Unterdecke ohne Feuerwiderstand). Die Brandbelastung beträgt 200 MJ/m², bezogen auf die Grundfläche. Können die Träger diesen Brand ohne Einsturz während 60 Minuten überstehen?

Mit Naturbrandberechnungen kann nachgewiesen werden, dass in diesem Fall die Stahlträger ungeschützt einen Brand überstehen können. Für Nachweise mit Naturbrand ist vorgängig die Zustimmung der Brandschutzbehörde einzuholen und die Berechnungsparameter sind gemeinsam festzulegen (vgl. Kapitel 4.3 und Teil I, Kapitel 4.5).

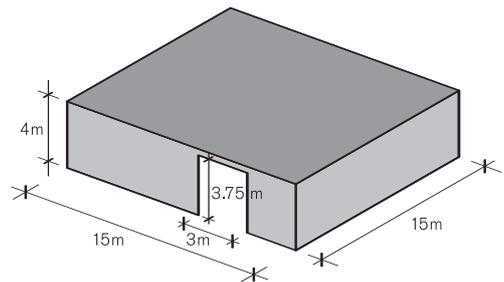


Abb. 60: Schaltzentrale, Abmessungen des Brandabschnittes

Bestimmen der kritischen Temperatur

Verbundträger mit Betondecke $\kappa = 0.7$
 Ausnutzungsgrad $\mu_{fi,t} = 0.6$
 → aus Euronogramm $\Theta_{crit} = 620 \text{ °C}$

Bestimmen der Temperatur bei Naturbrand

Die einfachste Methode ist im Anhang A zu SN EN 1991-1-2 [9] dargestellt. Die Berechnung kann mit dem Programm aus DIFISEK [15] erfolgen. Es liefert für den Brandraum und den Träger des Beispiels die in Abbildung 61 gegebenen Temperaturen.

Nachweis der Tragfähigkeit

Der ungeschützte Stahlträger erreicht nach 39 Minuten seine maximale Temperatur von 533 °C. Diese Temperatur liegt unterhalb der kritischen Temperatur von 620 °C – der Träger wird somit den Brand überstehen und kann ungeschützt bleiben. Ein alternativer Träger mit Spritzputz erreicht sogar nur 355 °C und hat somit noch grosse Tragreserven im Brandfall.

Vergleichsbeispiel mit höherer Brandlast

Bei einer Brandbelastung von 500 MJ/m², bezogen auf die Grundfläche, ergäben sich die Temperaturen gemäss Abbildung 62. Die Temperatur im ungeschützten Träger erreicht maximal 723 °C nach 66 Minuten. Weil der Träger die kritische Temperatur von 620 °C bereits nach rund 40 Minuten erreicht, würde er den Brand nicht überstehen (Feuerwiderstand < R 60). Der Träger mit Spritzputz erreicht nur 520 °C und übersteht somit den Brand.

Hinweis: Die Anwendung der parametrisierten Brände gemäss Anhang A von SN EN 1991-1-2 [9] ist an Bedingungen gebunden: Grundrissfläche A ≤ 500 m², Raumhöhe H ≤ 4.0 m, Öffnungen nur in den Wänden (nicht in Dach bzw. Decke), Öffnungsfaktor 0.02 ≤ O ≤ 0.20, wobei $O = A_v \sqrt{h_{eq}} / A_T$ (mit A_v totale Öffnungsfläche, h_{eq} gewichtete Öffnungsfläche, A_T Oberfläche des Raumes inkl. Öffnungen). Für O > 0.15 ergeben sich tendenziell zu hohe Temperaturen, und ausserhalb der genannten Grenzen sind andere Berechnungsmethoden, z.B. eine Brandsimulation erforderlich.

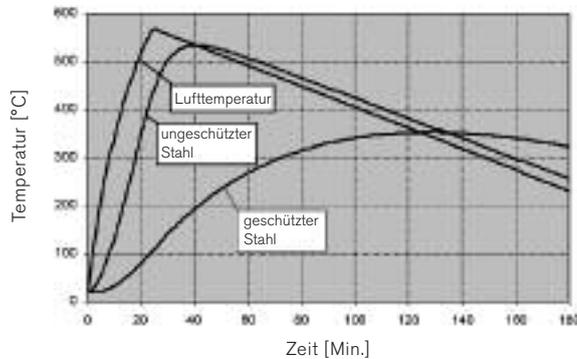


Abb. 61: Temperaturen im Brandraum und in einem ungeschützten Verbundträger IPE 450 (mit aufliegender Betonplatte) sowie in einem mit 20 mm Fasersilikatputz profilfolgend geschützten IPE 450 bei einer Brandbelastung von 200 MJ/m² für die oben beschriebene Schaltzentrale

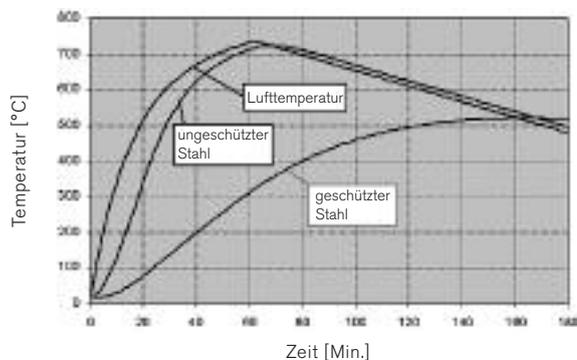


Abb. 62: Temperaturen im Brandraum und in einem ungeschützten Verbundträger IPE 450 (mit aufliegender Betonplatte) sowie in einem mit 20 mm Fasersilikatputz profilfolgend geschützten IPE 450 bei einer Brandbelastung von 500 MJ/m² für die oben beschriebene Schaltzentrale

5 Nachweisformular

Der rechnerische Nachweis des Feuerwiderstandes (gemäss VKF-Brandschutzrichtlinie «Tragwerke» Art. 6.3 [1]) lässt sich einfach mit den Formularen des SZS darstellen.

Das Nachweisformular mit dem zugehörigen Flussdiagramm (www.szs.ch) beruht auf den Tragwerksnormen des SIA und dem Euronormogramm [10] gemäss Kapitel 2.5. Es dient der Erstellung einheitlicher, prüffähiger Feuerwiderstands-Nachweise. Die aufgelisteten Eingabegrössen und das Flussdiagramm erleichtern die Berechnung. Das Formular kann sowohl für das vereinfachte Nachweisverfahren mit $\mu_{fi,t} = 0.65$ als auch für die differenzierte Betrachtungsweise mit $\mu_{fi,t} = E_{d,fi} / R_{d,fi,t} = 0$ verwendet werden.

Abb. 63: Dokumentation des Feuerwiderstandsnachweises mit dem SZS-Formular

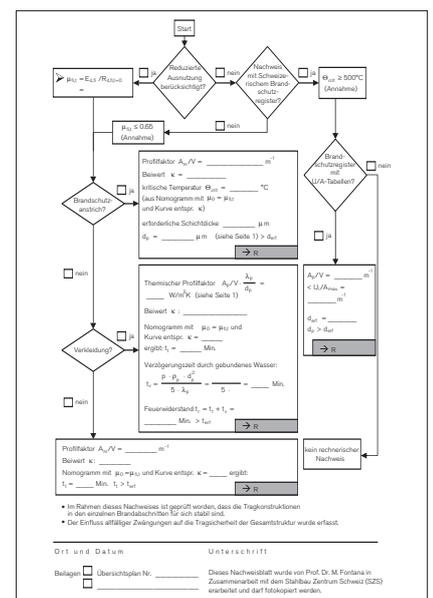


Abb. 64: Dokumentation des Feuerwiderstandsnachweises mit dem SZS-Flussdiagramm

6 Bezeichnungen und Einheiten

6.1 Bezeichnungen

A	Querschnittsfläche des Stahlprofils	[m ²]	t _t	Feuerwiderstandsdauer ohne Verdampfungseinfluss	[Min.]
A _m	dem Feuer ausgesetzte Fläche des Stahlprofils pro Längeneinheit	[m]	t _v	Erhöhung der Feuerwiderstandsdauer infolge Verdampfungszeit des Wassers	[Min.]
A _m /V	Profilfaktor unverkleidet	[m ⁻¹]	U _i /A	Profilfaktor (Bezeichnung gemäss Schweiz. Brandschutzregister)	[m ⁻¹]
A _p	innere Abwicklungsfläche der Verkleidung pro Längeneinheit	[m]	V	Volumen des Stahlprofils pro Längeneinheit	[m ²]
A _p /V	Profilfaktor verkleidet (thermischer Profilfaktor A _p /V · λ _p /d _p)	[m ⁻¹]	ε	Dehnungsbegrenzung	
c _p	spezifische Wärme der Verkleidung	[J/(kg·K)]	φ	[(c _p · ρ _p · d _p)/(c _a · ρ _a)] · A _p /V (vgl. Kapitel 2.3)	
c _a	spezifische Wärme des Stahls c _a ≈ 600 J/(kg·K)	[J/(kg·K)]	γ _{M1}	Widerstandsbeiwert für Festigkeit und Stabilität der Bauteile	
d _p	Dicke der Verkleidung	[m]	γ _{M,fi}	Widerstandsbeiwert für die Bauteile im Brandfall	
d _{erf}	erforderliche Dicke der Verkleidung bzw. des Brandschutzanstrichs	[μm]	κ	Kalibrierungsfaktor (Beiwert für ungleichmässige Temperaturverteilung oder Stabilitätsprobleme)	
E _{a,20°}	Elastizitätsmodul des Stahls bei 20 °C (E _{a,20°} = 210 · 103 N/mm ²)	[N/mm ²]	$\bar{\lambda}_{fi,t=0}$	bezogene Schlankheit bei Raumtemperatur und Lagerungsbedingungen für Brand	
E _{a,θ}	Elastizitätsmodul des Stahls bei der Temperatur θ	[N/mm ²]	$\bar{\lambda}_{fi,θ,crit}$	bezogene Schlankheit für Versagertemperatur θ _{crit} und Lagerungsbedingungen für Brand	
E _d	Bemessungswert der Beanspruchung		λ _p	Wärmeleitfähigkeit der Verkleidung	[W/(m·K)]
E _{d,fi}	Bemessungswert der Beanspruchung im Brandfall		μ _{fi,t}	rechnerischer Ausnutzungsgrad des Bauteils μ _{fi,t} = E _{d,fi} / R _{d,fi,t=0} (in [10] mit μ ₀ bezeichnet)	[-]
f _{y,20°}	Streckgrenze bei 20 °C	[N/mm ²]	ρ _p	Dichte (spez. Masse) der Verkleidung	[kg/m ³]
f _{y,θ}	Streckgrenze bei der Temperatur θ	[N/mm ²]	ρ _a	Dichte des Stahls (ρ _a = 7850 kg/m ³)	[kg/m ³]
i	Trägheitsradius	[m]	θ	Temperatur	[°C]
k _{y,θ}	Verhältniszahl für die Streckgrenze k _{y,θ} = f _{y,θ} / f _{y,20°}		θ _{crit}	kritische Temperatur des Bauteils im Brandfall (in [10] mit θ _{max} bezeichnet)	[°C]
k _{E,θ}	Verhältniszahl für den E-Modul k _{E,θ} = E _{a,θ} / E _{a,20°}				
L	Systemlänge (Stockwerkhöhe)	[m]			
L _K	Knicklänge	[m]			
L _{K,0}	Knicklänge bei Raumtemperatur (meist L _{K,0} = 1.0 L)	[m]			
L _{K,fi}	Knicklänge im Brandfall	[m]			
M _{Ed,fi}	Bemessungswert der Biegebeanspruchung im Brandfall	[kNm]			
M _{fi,t=0,Rd}	Bemessungswert des Biegewiderstands «kalt» für das System im Brandfall	[kNm]			
N _{Ed}	Bemessungswert der Normalkraft	[kN]			
N _{Ed,fi}	Bemessungswert der Normalkraft im Brandfall	[kN]			
N _{fi,t=0,Rd}	Bemessungswert des Normalkraftwiderstands «kalt» für das System im Brandfall	[kN]			
p	massenbezogener Wassergehalt der Verkleidung	[%]			
R _d	Bemessungswert des Tragwiderstands				
R _{d,fi,θ}	Bemessungswert des Tragwiderstands «warm»				
R _{d,fi,t=0}	Bemessungswert des Tragwiderstandes «kalt» für das System im Brandfall				
t	Wanddicke des Stahlprofils	[m]			
t _r	totale Feuerwiderstandsdauer (inkl. t _v)	[Min.]			

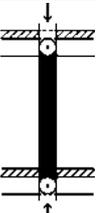
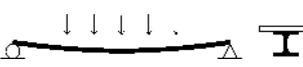
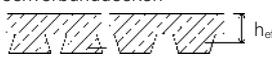
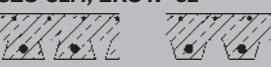
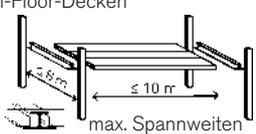
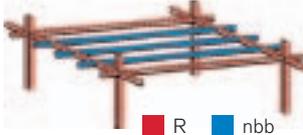
6.2 Einheiten

Generell werden SI-Einheiten verwendet. Temperaturen in Grad Celsius [°C] sind mit θ bezeichnet. Es gilt: 0 °C = 273 K, der Umrechnungsfaktor zwischen °C und K beträgt 1. Zwischen Joule [J], Watt [W] und der früher üblichen Einheit Kalorie [cal] gelten folgende Beziehungen: 1 W = 1 J/sec, 1 cal = 4.18 J.

Anhang:

1. Übersicht von Bauformen und Abmessungen im Brandschutz
2. Dämmschichtbildende Brandschutzsysteme - Checkliste
3. Profilfaktoren A_m/V (bzw. A_p/V) in [m⁻¹] für Walzprofile
4. Literaturverzeichnis, Quellenangaben

Anhang 1: Übersicht von Bauformen und Abmessungen im Brandschutz

Stahl sichtbar	Feuerwiderstand R30	Feuerwiderstand R60	Feuerwiderstand R90
Stützen (1) (2) 	($A_m/V < 50 \text{ m}^{-1}$) (3)  min. RND/VKT 80 min. 60 x 120 min. 150 x 150 min. HHD 320 x 300 min. HHD 400 x 382	($A_m/V < 14 \text{ m}^{-1}$) (3)  min. RND/VKT 280 min. 200 x 500 min. 400 x 400 min. 320 x 320	keine
Träger mit aufliegender Decke (2) 	min. HEM 300 	Vollstahl min. 150 x 300 	keine
Konstruktionen mit Brandschutzanstrich (4) 	alle Profile  http://bsronline.vkf.ch	alle Profile  http://bsronline.vkf.ch	nicht erlaubt (jedoch Prüfnachweise im Ausland vorhanden)
Stahl-Beton-Verbund (5)			
Stützen 	SZS C2.3, C2.4, ECCS N° 55 Norm SIA 264/1 min. HEA 160, RRR 140, ROR 139,7	SZS C2.3, C2.4, ECCS N° 55 Norm SIA 264/1 min. HEA 200, RRR 160, ROR 159	SZS C2.3, C2.4, ECCS N° 55 Norm SIA 264/1 min. HEA 240, RRR 180, ROR 177,8
Träger mit Kammerbeton mit aufliegender Decke ($\geq 120 \text{ mm}$) 	SZS C2.4 Norm SIA 264/1 min. HEA 100, IPE 120	SZS C2.4 Norm SIA 264/1 min. HEA 100, IPE 200	SZS C2.4 Norm SIA 264/1 min. HEA 180, IPE 300
Blechverbunddecken 	SZS C2.4, EKS N° 32  $h_{\text{eff}} \geq 60 \text{ mm}$	SZS C2.4, EKS N° 32  $h_{\text{eff}} \geq 80 \text{ mm}$	SZS C2.4, EKS N° 32  $h_{\text{eff}} \geq 100 \text{ mm}$
Slim-Floor-Decken 	SZS C2.4, Steeltec 03 Dicke d je nach Spannweite L Unterflansch unverkleidet	SZS C2.4, Steeltec 03 Dicke d je nach Spannweite L Kammerbewehrung	SZS C2.4, Steeltec 03 Dicke d je nach Spannweite L Kammer- und Auflagerbewehrung (Unterflansch evtl. verkleidet)
Verbunddeckenfelder (6) 	SCI P288 ▪ Randträger R30 ▪ Deckenträger ungeschützt ▪ Deckendicke $h = h_{\text{eff}} \geq 60 \text{ mm}$ (h für Beton-Volldecken, h_{eff} für Blechverbunddecken)	SCI P288 ▪ Randträger R60 ▪ Deckenträger ungeschützt ▪ Deckendicke $h = h_{\text{eff}} \geq 80 \text{ mm}$ (h für Beton-Volldecken, h_{eff} für Blechverbunddecken)	▪ Randträger R90 ▪ Deckenträger ungeschützt ▪ Deckendicke $h = h_{\text{eff}} \geq 100 \text{ mm}$ (h für Beton-Volldecken, h_{eff} für Blechverbunddecken)
Stahl verkleidet (7)			
kastenförmige Brandschutzplatten-Verkleidung (z. B. Stützen) 	http://bsronline.vkf.ch (7) alle Profile ca. 18 mm typische Verkleidungsdicke	http://bsronline.vkf.ch (7) alle Profile ca. 30 mm typische Verkleidungsdicke	http://bsronline.vkf.ch (7) alle Profile ca. 40 mm typische Verkleidungsdicke
profilfolgende Spritzputz-Ummantelung (z. B. Träger) 	http://bsronline.vkf.ch (7) alle Profile ca. 20 mm typische Spritzputzdicke	http://bsronline.vkf.ch (7) alle Profile ca. 30 mm typische Spritzputzdicke	http://bsronline.vkf.ch (7) alle Profile ca. 45 mm typische Spritzputzdicke

- (1) Angegebene Abmessungen berechnet mit Euronogramm für durchlaufende Stützen bei 3 m Geschosshöhe.
 (2) Bei statisch unvollständiger Ausnutzung sind auch kleinere Abmessungen möglich (vgl. Euronogramm).
 (3) Profilmassfaktor A_m/V (bzw. U/A gemäss früherer, im Brandschutz auch weiterhin verwendeter Bezeichnung).
 (4) Anwendung benötigt objektbezogene Genehmigung durch Brandschutzbehörde (vgl. VKF-Brandschutz-Erläuterung 1008, neue Nr. 113).
 (5) Beton stets bewehrt, ausser bei Hohlprofilen R30.

- (6) Brandschutz R30/R60/R90 dank Membranwirkung nur für Deckenfeld-Randträger erforderlich.
 (7) Verkleidungsprodukte gemäss VKF-Brandschutzregister, Anwendung und konstruktive Randbedingungen wie geprüft und zugelassen (QS-Verantwortung der Bauleitung). Dickenangaben im Brandschutzregister gültig für vollständige Ausnutzung und $T_{\text{crit}} = 500 \text{ °C}$.
 Informationsquellen, rechnerischer Nachweis des Feuerwiderstandes: siehe vorliegendes Heft und kursive Literaturhinweise.
fett = Bezugsquelle SZS.

Anhang 2: Dämmschichtbildende Brandschutzanstriche – Checkliste

Wirkungsweise

Die Beschichtungen von 0,3 bis 3,5 mm Dicke schäumen bei Hitzeeinwirkung (ab 120-200 °C) auf und bilden einen stabilen, kompakten, feinsporigen und gut isolierenden Schaum. Dieser Schaum erreicht die 40- bis 50-fache Dicke der Ausgangsschicht. Der Schaum bewirkt, dass der Stahl bei Feuereinwirkung die für den Verlust der Tragfestigkeit massgebende Temperatur (500-700 °C) erst mit Verzögerung erreicht – nach 30 Minuten bei R 30 bzw. nach 60 Minuten bei R 60.

Dämmschichtbildner-Zusammensetzung

- Lösemittel bzw. Wasser (lösemittelhaltige bzw. wässrige Dispersionen)
- Bindemittel
- Pigmente und Füllstoffe

Beschichtungsaufbau

Brandschutzanstriche sind ein System, bestehend aus Grundbeschichtung (Korrosionsschutz), dämmschichtbildendem Anstrich (intumeszierende Beschichtung) und in der Regel Deckbeschichtung (farblich frei wählbar).

Verfahren

Die Anwendung von Brandschutzanstrichen erfordert eine objektbezogene Bewilligung der zuständigen Brandschutzbehörde. Gesuche sind mittels entsprechendem SZS-Formular (www.szs.ch) einzureichen. Es dürfen nur von der VKF zugelassene Systeme verwendet werden. Diese sowie die erforderlichen Schichtdicken sind im Schweizerischen Brandschutzregister publiziert (<http://bsronline.vkf.ch>).

Anwendungsbeschränkungen

Exponierte, mit dämmschichtbildenden Brandschutzanstrichen geschützte Stahlbauteile sind gegen mechanische Beschädigung dauerhaft zu schützen. Der mechanische Schutz sowie anschliessende Bauteile müssen genügend Abstand zur Stahlkonstruktion aufweisen, damit der Brandschutzanstrich ungehindert aufquellen kann. In Wohnbauten sind unter Umständen zusätzliche feuerpolizeiliche Massnahmen zu ergreifen.

Feuerwiderstandsnachweis

Die Brandschutzbehörde kann einen Nachweis des Feuerwiderstands verlangen. Dieser erfolgt auf der Grundlage der Klassierung gemäss Schweizerischem Brandschutzregister oder rechnerisch unter Berücksichtigung des Ausnutzungsgrades mit dem Euronogramm und produktspezifischen Schichtdickentabellen. Bei geringer Ausnutzung und daher hoher kritischer Temperatur dürfen die Schichtdicken des Brandschutzanstrichs erheblich reduziert werden. Für den Nachweis finden sich die entsprechenden Formulare und Tabellen unter www.szs.ch

Applikation – Vorabklärungen

- Neue oder bestehende Konstruktion? (Altanstriche vor Ort durch den Systemlieferanten prüfen lassen)
- Feuerwiderstand: R 30 oder R 60 erforderlich?
- Innen- oder Aussenanwendung?
- Farbtonwünsche?
- Vorhandene Stahlprofiltypen? (z.B. IPE, HEA, HEB, ROR, RRW mit Profilmessungen U/A)

Applikation – Randbedingungen

- Grundbeschichtung trocken, sauber, gut haftend und wärmebeständig (Gitterschnittprüfung, Flammprobe)
- Klimabedingungen: Mindest- und Maximal-Temperatur, Taupunktstand. Die Einhaltung des Taupunktstands durch den Verarbeiter ist eine Grundvoraussetzung für die Qualität der Beschichtung, insbesondere die Haftung auf dem Untergrund, denn auf dem Untergrund darf sich kein Kondenswasser bilden. Wird der Taupunktstand von mind. 3 °C unterschritten, so müssen die Beschichtungsarbeiten eingestellt werden – was das Bauprogramm empfindlich beeinflussen kann.

Applikation – Ausführung

Im Werk (vor Montage):

- Oberflächenvorbereitung durch Strahlen Sa 2½ gemäss ISO 8501-1
- Systemverträgliche Grundbeschichtung applizieren

Auf Baustelle (nach Montage):

- Montagebeschädigungen der Grundbeschichtung reparieren
- Dämmschichtbildenden Anstrich im Airlessverfahren aufspritzen (evtl. rollen)
- Aufbringen der Deckbeschichtung nach Messung der Trockenschichtdicken

Je nach Produkt ist bei kleinen Schichtdicken, vor allem für R 30, auch eine Werksbeschichtung möglich.

Qualitätssicherung

- VKF: Brandschutzerläuterung 1008, Brandschutzregister, Brandschutz-Zulassungen (BZU-Nr.) (www.vkf.ch)
- SZS: Reglemente, Qualitätssicherungsprotokoll und Applikateur-Register auf Internet (www.szs.ch)
- Zertifizierte Unternehmer (SZS-Applikateur-Register)
- Messen der Nassschichtdicke des dämmschichtbildenden Anstrichs (während der Applikation, mit Messkamm)
- Messen und Protokollieren der Trockenschichtdicke durch den Systemlieferanten, vor Aufbringen der Deckbeschichtung
- Erstellen und Einreichen des SZS-Qualitätssicherungsprotokolls
- Prüfung durch die Brandschutzbehörde, Intervention bei ungenügenden Messresultaten

Kosten (grobe Richtpreise)

Beispiel: Träger HEA 300, dreiseitig beflammt ($U/A = 126 \text{ m}^{-1}$), Schichtdicken gemäss Brandschutz-Zulassung (ohne rechnerischen Nachweis), Kosten pro m^2 Stahloberfläche

- Grundbeschichtung ca. 12-15 CHF/ m^2
- Dämmschichtbildender Anstrich R 30 inkl. Deckbeschichtung ca. 60 CHF/ m^2
- Dämmschichtbildender Anstrich R 60 inkl. Deckbeschichtung ca. 120 CHF/ m^2

Anhang 3: Profilmomente A_m/V (bzw. A_p/V) in $[m^{-1}]$ für Walzprofile

verkleidet				
IPE				
80	430	329	370	269
100	387	301	334	247
120	359	278	310	230
140	335	259	290	215
160	309	240	268	200
180	292	226	254	188
200	269	210	234	175
220	253	197	221	164
240	235	184	204	153
270	226	176	197	147
300	215	167	187	139
330	199	156	174	131
360	185	145	162	122
400	174	137	152	116
450	163	129	143	110
500	150	120	132	103
550	140	113	124	97
600	129	105	115	91
750-137	143	116	128	101
147	134	109	120	95
173	114	93	102	81
196	102	83	91	72
PEA				
120	428	329	370	271
140	408	313	354	259
160	382	295	331	244
180	354	274	308	227
200	325	253	282	210
220	298	231	259	192
240	276	214	240	178
270	265	205	230	170
300	249	192	216	160
330	228	178	199	149
360	211	165	185	138
400	200	158	175	133
450	187	149	165	126
500	172	138	152	118
550	161	129	143	111
600	147	119	131	103
INP				
80	401	321	345	266
100	349	283	301	235
120	309	250	268	209
140	274	225	238	189
160	252	205	219	172
180	229	187	200	158
200	211	173	184	146
220	195	160	171	135
240	183	150	160	127
260	169	139	148	118
280	158	130	138	111
300	149	123	131	104
320	140	115	123	99
340	132	109	116	94
360	124	103	109	88
380	118	98	104	85
400	112	94	99	80
450	100	84	89	72
500	90	76	80	65
550	84	70	75	61
unverkleidet				

verkleidet				
HEA				
100	265	184	217	137
120	267	185	220	137
140	252	173	208	129
160	234	160	192	119
180	225	155	186	115
200	211	145	174	107
220	196	133	161	99
240	178	122	147	91
260	170	117	140	87
280	164	113	135	84
300	152	104	126	78
320	141	98	117	74
340	134	94	111	71
360	128	91	107	70
400	120	86	101	67
450	112	83	96	66
500	106	80	91	64
550	104	79	90	65
600	102	78	88	65
650	99	77	87	65
700	96	76	84	64
800	94	76	83	65
900	90	74	81	64
1000	89	74	80	65
HEB				
100	218	153	179	115
120	201	141	166	105
140	187	130	154	97
160	169	117	139	88
180	159	110	130	82
200	147	102	121	76
220	139	96	115	72
240	130	90	107	67
260	126	87	104	65
280	123	85	102	63
300	116	80	95	60
320	109	76	91	58
340	105	74	88	57
360	102	73	85	56
400	97	70	82	55
450	93	68	79	55
500	88	67	76	54
550	87	66	75	55
600	85	66	74	55
650	84	66	74	55
700	82	65	72	55
800	81	65	72	56
900	78	64	70	56
1000	77	65	70	57
HEM				
100	116	85	96	65
120	111	80	92	61
140	106	75	88	57
160	99	71	82	54
180	96	68	79	51
200	91	64	75	49
220	88	62	73	47
240	73	51	60	39
unverkleidet				

verkleidet				
HEM Fortsetzung				
260	71	50	59	38
280	70	49	58	37
300	60	42	50	32
320	59	42	50	32
340	60	43	50	33
360	60	44	50	34
400	61	45	52	35
450	62	46	53	37
500	63	48	54	39
550	64	49	55	40
600	65	50	56	42
650	66	52	58	44
700	67	53	59	45
800	68	55	60	48
900	69	57	62	50
1000	70	59	64	52
unverkleidet				
UNP				
65	302	237	256	190
80	283	227	242	186
100	275	222	238	185
120	255	205	222	173
140	239	196	210	166
160	227	187	200	160
180	218	178	193	153
200	205	170	182	147
220	192	160	170	139
240	183	153	163	133
260	172	144	154	126
280	167	140	149	122
300	161	136	144	119
320	129	110	116	97
350	135	116	122	103
380	138	119	125	107
400	129	111	117	99
UPE				
80	341	258	291	209
100	322	248	278	204
120	298	233	259	195
140	282	223	247	187
160	267	212	235	180
180	254	203	225	173
200	240	193	213	165
220	223	180	198	155
240	211	171	188	148
270	199	163	178	142
300	171	141	153	124
330	153	128	138	113
360	144	121	130	107
400	133	112	120	100
unverkleidet				

verkleidet				
HHD				
260x54,1	214	146	176	108
260x68,2	171	117	141	88
260x93,0	127	88	105	66
260x114	104	73	86	55
260x142	86	60	71	46
260x172	72	51	59	39
320x74,2	184	127	152	95
320x97,6	141	98	117	74
320x127	110	77	91	58
320x158	89	63	74	48
320x198	72	51	60	39
320x245	60	43	50	33
360x134	125	85	104	63
360x147	114	78	95	58
360x162	105	71	87	53
360x179	95	65	79	49
360x196	87	60	72	45
400x187	94	64	78	47
400x216	82	56	68	42
400x237	76	52	63	38
400x262	69	47	57	35
400x287	63	43	52	32
400x314	58	40	48	30
400x374	53	37	44	28
400x382	49	34	40	25
400x421	45	31	37	23
400x463	41	29	34	22
400x509	38	27	31	20
400x551	35	25	29	19
400x592	33	23	28	18
400x634	31	22	26	17
400x677	30	21	25	16
400x744	27	20	23	15
400x818	25	18	21	14
400x900	23	17	19	13
400x990	22	16	18	12
400x1086	20	15	17	11
HL				
1000 AA	92	73	82	63
1000 A	85	68	76	58
1000 B	74	59	66	51
1000 M	67	54	60	46
1100 A	85	68	76	59
1100 B	75	60	67	52
1100 M	68	55	61	47
1100 R	59	48	53	42
unverkleidet				

Profilmomente für die Berechnung des Feuerwiderstandes

Anhang 4: Literaturverzeichnis, Quellenangaben

Literaturverzeichnis

- [1] Schweizerische Brandschutzvorschriften VKF 2003, Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen VKF, Bundesgasse 20, Bern, 2003
- [2] Brandschutz-Erläuterung 1008, Dämmschichtbildende Brandschutzanstriche, Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen VKF, Bundesgasse 20, Bern, 2005
- [3] Schweizerisches Brandschutzregister VKF, Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen VKF, Bundesgasse 20, Bern, erscheint jährlich
- [4] SN 505 260, Norm SIA 260:2003, Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, SIA, Zürich, 2003
- [5] SN 505 261, Norm SIA 261:2003, Einwirkungen auf Tragwerke, SIA, Zürich, 2003
- [6] SN 505 263, Norm SIA 263:2003, Stahlbau, SIA, Zürich, 2003
- [7] SN 505 264, Norm SIA 264:2003, Stahl-Beton-Verbundbau, SIA, Zürich, 2003
- [8] SN 505 264/1, Norm SIA 264/1:2003, Stahl-Beton-Verbundbau – Ergänzende Festlegungen, SIA, Zürich, 2003
- [9] SN EN 1991-1-2 Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen – Brandeinwirkungen auf Tragwerke
- [9a] EN 1993-1-2 Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall
- [10] ECCS Technical Note No 89, Fire Resistance of Steel Structures, Brüssel 1996
- [11] Dokumentation SIA 81, Brandrisikobewertung – Berechnungsverfahren, SIA, Zürich, 1984 (Ersatz durch neue VKF-Publikation vorgesehen)
- [12] Stahlbau Zentrum Schweiz SZS, Brandsichere Stahl-Beton-Verbundtragwerke, Publikation C2.4, SZS, Zürich, 1997
- [13] Stahlbau Zentrum Schweiz SZS, Dokumentation zum Weiterbildungskurs Steelevent 2005 Brandschutz im Stahlbau, SZS, Zürich, 2005
- [14] Steel Construction Institute SCI, Publication SCI P288, Fire safe design: A new approach to multi-storey steel-framed buildings, SCI, Ascot, 2006
- [15] DIFISEK CD, Programm DIFISEK - EN 1991-1-2 Annex A, Profilabed S.A., Arcelor Group
- [16] Brandsicherheit im Stahlbau, eine globale Betrachtungsweise, Eurofer, Brüssel, 1993
- [17] Fontana M.: Beispiele für richtiges Konstruieren von Stahlbauten für den Brandfall, Stahlbau 65 (1996), pp. 60-63, Ernst & Sohn, Berlin
- [18] Hass R., Meyer-Ottens C., Richter E.: Stahlbau Brandschutz Handbuch, Ernst & Sohn, Berlin, 1993
- [19] Heinemeyer C.: Brandsicherheit durch Konstruktion und Stahlsortenwahl, RWTH Aachen, Schriftenreihe Stahlbau Heft 49, Shaker Verlag, Aachen, 2004
- [20] Competitive Steel Buildings through Natural Fire Safety Concept, Final Report, Part 4 Statistics. Profil ARBED Centre de Recherches, Esch/Alzette, March 1999 – beruhend auf einer Untersuchung von 40'000 Bränden 1986 bis 1995 im Kanton Bern

Internet-Links

www.szs.ch

Stahlbau Zentrum Schweiz (SZS)

- Rechnerischer Nachweis des Feuerwiderstandes: Formular und Flussdiagramm
- Dämmschichtbildende Brandschutzanstriche: Reglemente, Schichtdicken für rechnerische Nachweise, Register der zugelassenen Applikateure, Qualitätssicherungsprotokoll
- Gesuchformular für objektbezogene Anwendung dämmschichtbildender Brandschutzanstriche
- Software-Hinweise, Software-Sammlung für Feuerwiderstands-Nachweise (Difisek, Arcelor)
- Objekt-Umfrage (Erfahrungen bei der Umsetzung von Feuerwiderstands-Anforderungen)

www.vkf.ch

Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF)

- Brandschutzvorschriften (Brandschutznorm, Brandschutzrichtlinien), Brandschutz Erläuterungen, Brandschutzarbeitshilfen (<http://bsvonline.vkf.ch>)
- Schweizerisches Brandschutzregister: Klassierte Bauteile, zugelassene Produkte sowie die erforderlichen Dicken für Verkleidungen, Verputze, Brandschutzanstriche, in Abhängigkeit von Produkt, Profilform und Profillfaktor, samt Hersteller- oder Vertreiber-Adressen (<http://bsronline.vkf.ch>)

Adressen

Brandschutzbehörden

siehe VKF-Website (www.vkf.ch)

SZS-Brandschutz-Experten

siehe SZS-Website (www.szs.ch)

Das Stahlbau Zentrum Schweiz führt ein Verzeichnis von Brandschutzexperten, die Unterstützung in den Bereichen Beratung, Planung, Bauleitung und Prüfung anbieten.

Zugelassene Applikateure

siehe Register auf der SZS-Website (www.szs.ch)

Dank

Die Produktion und die Verbreitung der vorliegenden Publikation wurden unterstützt durch die nachstehenden beiden Firmen, denen das Stahlbau Zentrum Schweiz zu Dank verpflichtet ist.



Sika Schweiz AG, 8048 Zürich, www.sika.com
(Brandschutzanstriche, Spritzputze)



Eclatin AG, 4502 Solothurn, www.eclatin.ch
(Brandschutzanstriche)

Weitere Anbieter von Brandschutzlösungen:

Jud Bau-Stoffe + Systeme GmbH, 9015 St. Gallen, www.jud-baustoffe.ch
(Intumex-Rembrandtin-Markenvertretung CH, www.intumex.ch)

Knuchel Farben AG, 4537 Wiedlisbach, www.knuchel.ch
(Hensotherm R 30 / R 60)

Melliger + Spring AG, 3084 Wabern / Bern, www.melligerspring.ch
(Brandschutz, Maler- und Gipserarbeiten)

Paul Pfürter & Co. AG, 4133 Pratteln, www.pppmaler.ch
(Applikation von Brandschutzanstrichen)

Promat AG, 8544 Rickenbach-Attikon, www.promat.ch
(Baulicher Brandschutz)

Rigips AG, 5506 Mägenwil, www.rigips.ch
(Brandschutzdecken und -wände, Träger- und Stützenverkleidungen)

Max Schweizer AG, 8051 Zürich, www.schweizerag.com
(Brandschutzarbeiten: Anstriche, Gipsen, Isolieren)

Spannverbund Bausysteme GmbH, 8180 Bülach, www.spannverbund.ch
(Brandsichere Geilinger-Stützen®)

Stucortec AG, 4652 Winznau, www.stucortec.ch
(Brandschutzanstriche R 30 / R 60)

SyBra Schweiz AG, 8047 Zürich, www.sybra.ch
(Brandschutzanstriche, Spritzputze)

Taufer AG, 4710 Klus, www.taufer.ch
(Brandschutzanstriche R 30 / R 60)

Tuchs Schmid AG, 8501 Frauenfeld, www.tuchschmid.ch
(Stahlkernstützen T-ATLANT®)

Projektgruppe Brandschutz des Stahlbau Zentrums Schweiz

- Prof. Dr. Mario Fontana, ETH Zürich (Vorsitz)
- Ruedi Aepli, Aepli & Co. Stahlbau, Gossau
- Matthias A. Braun, Braun Brandsicherheit AG, Winterthur
- Ulrich Brunner, Gebäudeversicherung, Aarau
- Jean-Paul Favre, Favre Consult, Bern
- Prof. Dr. Tullio Frangi, Fachhochschule Nordwestschweiz, Muttenz
- Evelyn C. Frisch, SZS, Zürich
- Prof. Dr. Martin Mensinger, H. Wetter AG, Stetten und HTA Luzern
- Rolf Möhrle, Sika Schweiz AG, Winterthur
- Paul Odermatt, Kant. Amt für Feuerschutz, St. Gallen
- Werner Rinderknecht, H. Wetter AG, Stetten und HTA Luzern
- Enrico Schumacher, Gebäudeversicherung, Zürich
- Werner Zeberli, Sicherheitsinstitut, Zürich
- Stephan Zingg, SZS, Zürich

Impressum

Steeldoc 02/06, Juni 2006

Bauen in Stahl. Technische Dokumentation des Stahlbau Zentrums Schweiz (tec02)

Herausgeber:
SZS Stahlbau Zentrum Schweiz, Zürich
Evelyn C. Frisch, Direktorin

Designkonzept:
Gabriele Fackler, Reflexivity AG, Zürich
(www.reflexivity.ch)

Redaktion:
Stephan Zingg, SZS
Evelyn C. Frisch, SZS

Texte:
in Zusammenarbeit mit der Projektgruppe Brandschutz des SZS

Fotos / Quellen:

Titel: Stefan Rötheli, Zürich (Kuppel juristische Fakultät, Universität Zürich)

Editorial: Sacha Geiser, Bern (GIBB, Bern)

Einführung: Foto Ege, Luzern (La Ferriera, Locarno; Prix Acier 2005); Taufik Kenan, Petzinka Pink Architekten (Landesvertretung NRW, Berlin); Ruedi Walti, Basel (Messeturm, Basel); Abb. 6: Arcelor; Abb. 11 links: Ruedi Walti, Basel; Abb. 12: Stefan Rötheli, Zürich; Abb. 24: Taufik Kenan, Petzinka Pink Architekten; Abb. 34: Sacha Geiser, Bern; Abb. 35: Foto Ege, Luzern; Abb. 39: Ruedi Walti, Basel; Abb. S. 22 (von links oben): Evelyn C. Frisch, Zürich; Ruedi Walti, Basel; Evelyn C. Frisch, Zürich; Tilla Theus und Partner AG, Zürich; Foto Ege, Luzern; Theo Hotz AG, Zürich; Evelyn C. Frisch, Zürich; Stefan Rötheli, Zürich. Die übrigen Abbildungen wurden von den jeweiligen Planern und Firmen zur freien Verfügung gestellt. Die Grafiken sind teilweise in Zusammenarbeit mit dem IBK (ETH Zürich) entstanden, Überarbeitung: Tobias Oehmichen, Zürich.

Administration, Abonnemente, Versand:
Andreas Hartmann, SZS

Druck:
Kalt-Zehnder-Druck AG, Zug

ISSN 0255-3104

Jahresabonnement Steeldoc Inland:
CHF 40.- / Ausland CHF 60.-
Einzelexemplar dieser Ausgabe CHF 24.-
Preisänderungen vorbehalten.

Bauen in Stahl / steeldoc© ist die Bautendokumentation des Stahlbau Zentrums Schweiz und erscheint mindestens viermal jährlich in deutscher und französischer Sprache. Mitglieder des SZS erhalten das Jahresabonnement und die technischen Informationen des SZS gratis.

Ein Nachdruck, auch auszugsweise, ist nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers und bei deutlicher Quellenangabe gestattet. Die Angaben zu den Projekten stammen von den Planern. Das Copyright der Fotos liegt bei den Fotografen.



Stahlbau Zentrum Schweiz
Centre suisse de la construction métallique
Centro svizzero per le costruzioni in acciaio

Seefeldstrasse 25
Postfach
CH-8034 Zürich
Tel. 044 261 89 80
Fax 044 262 09 62
info@szs.ch | www.szs.ch