



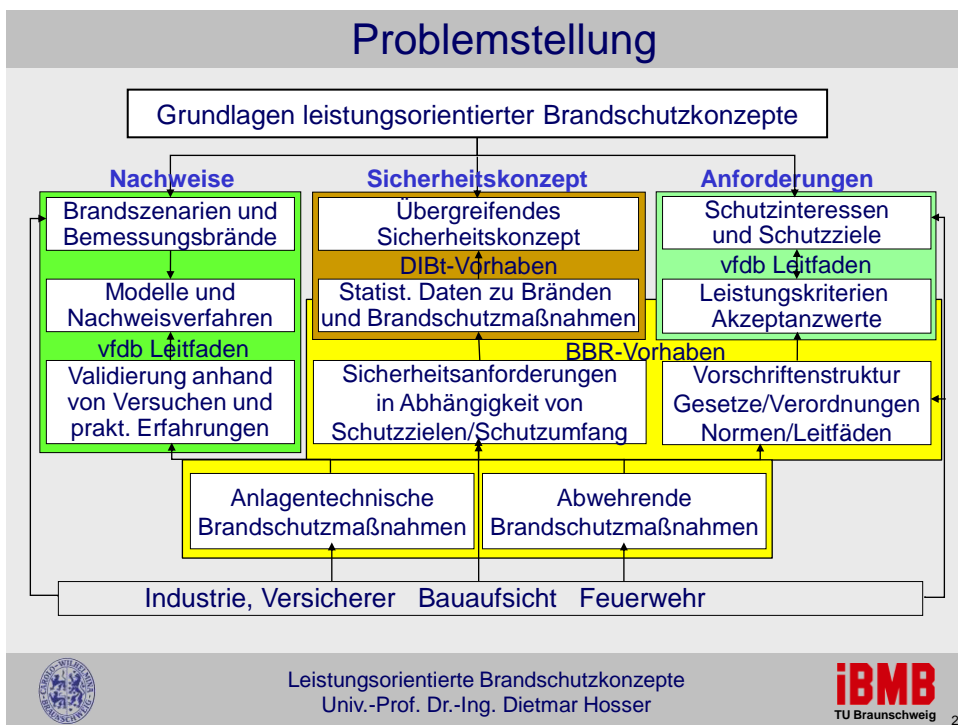
Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte

Ergebnisse eines Forschungsvorhabens für das BBR

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser
 Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB)
 Technische Universität Braunschweig



BBSR-Tagung "Brandschutz – Quo Vadis?"
 am 24. November 2009 am Flughafen Köln/Bonn



Schutzinteressen und Schutzziele

- Schutzinteressen
 - Schutz der Nutzer im Gebäude vor Brandeinwirkungen oder brandbedingtem Versagen der Konstruktion
 - Schutz angrenzender Nutzungen, Brandabschnitte oder Gebäude vor einer Ausbreitung von Feuer und Rauch
 - Schutz der Einsatzkräfte während der Personenrettung und Brandbekämpfung vor Bauteilversagen und Rauch
- Untergliederung des Schutzziele
 - Bauteile und Tragwerke
 - Nutzer im Gebäude
 - Einsatzkräfte der Feuerwehr
 - Nachbarschaft und der Umwelt



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser

iBMB
TU Braunschweig

3

Mögliche Leistungskriterien

- Konstruktion
 - Standsicherheit von Bauteilen während des Brandes
 - Gewährleistung des Raumabschlusses
 - Gewährleistung der Trennung von Brandabschnitten/Gebäuden
 - ggf. Resttragfähigkeit nach dem Brand (Objektschutz)
- Nutzer bzw. Einsatzkräfte
 - Maximale Temperatur, Wärmestrahlung bzw. Schadstoffbelastung
 - Mindesthöhe einer raucharmen Schicht oder maximale optische Dichte oder mindestens erforderliche Erkennungsweite
 - Maximale Flucht- bzw. Evakuierungsdauer
- Nachbarschaft und Umwelt
 - Maximale Belastung durch Wärme bzw. Temperatur
 - Maximale Schadstoffbelastung (Luft, Wasser Schutt)



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser

iBMB
TU Braunschweig

4



Leistungskriterien für die Konstruktion

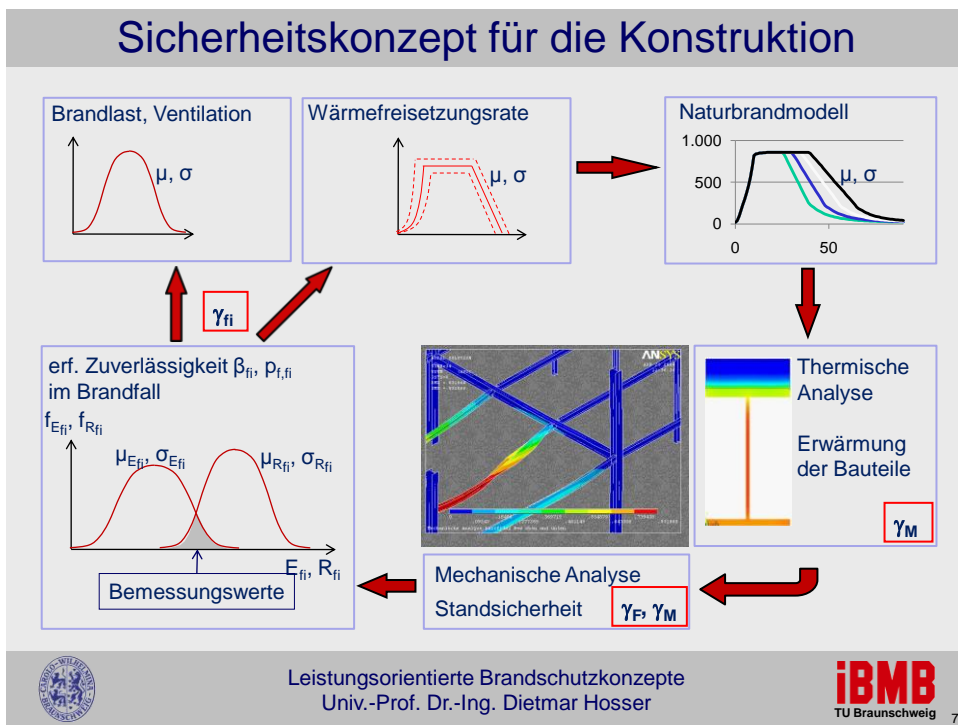
- Standsicherheit und/oder Raumabschluss für eine definierte Brandeinwirkung und Branddauer *)
 - Die Flucht von Personen und die Räumung des Gebäudes oder Abschnittes müssen innerhalb von **10 Minuten** nach Brandausbruch abgeschlossen sein.
 - Die Rettung von in Not geratenen Personen muss innerhalb von **15 bis 30 Minuten** nach Brandausbruch abgeschlossen sein.
 - Eine gefahrenarme Brandbekämpfung (Löschangriff) innerhalb des Gebäudes muss durch die Konstruktion für mindestens **60 Minuten** (Gebäudeklasse 4) gewährleistet sein. *) nach Mehl
- Leistungskriterien für ETK-Brand nach DIN 4102
 - Tragfähigkeit
 - Raumabschluss
 - Wärmeisolierung

*) nach Mehl



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser


6



Brandlastdichte

Nutzung	Brandlastdichte q [MJ/m ²]		
	Mittelwert	Standardabweichung	90 %-Fraktile
Wohngebäude	780	234	1085
Bürogebäude	420	126	584
Krankenhaus	230	69	320
Hotel	310	93	431
Bibliothek, Bücherei	1500	450	2087
Schule	285	85,5	397
Verkaufsstätte, Einkaufszentrum	600	180	835
Versammlungsstätte (Theater, Kino)	300	90	417
Verkehrsanlage (öffentl. Bereich)	100	30	139
Industrie – Lager	1180	*)	2240
Industrie – Produktion	300	*)	590

*) Die Brandlastdichten in Industriegebäuden streuen stark. Die angegebenen Werte dienen nur als Anhalt; sie ersetzen in der Regel nicht eine genauere Ermittlung.

Quelle: DIN EN 1991-1-2, Anhang E

Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser

Wärmefreisetzungsrate

Nutzung	Brandausbreitung	t_α [s]	RHR_t [MW/m ²]
Wohngebäude	mittel	300	0,25
Bürogebäude	mittel	300	0,25
Krankenhaus	mittel	300	0,25
Hotel	mittel	300	0,25
Bibliothek, Bücherei	mittel	450	0,25 ... 0,50
Schule	mittel	300	0,15
Verkaufsstätte, Einkaufszentrum	schnell	150	0,25
Versammlungsstätte (Theater, Kino)	schnell	150	0,50
Verkehrsanlage (öffentl. Bereich)	langsam	600	0,25

Quelle: DIN EN 1991-1-2, Anhang E



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser

iBMB
TU Braunschweig

9

Erforderliche Zuverlässigkeit im Brandfall

Der Brand als außergewöhnliches Ereignis:

Auftretenswahrscheinlichkeit
eines Entstehungsbrandes in einer
Nutzungseinheit der Fläche A in t Jahren

$$p_1 = 1 - \exp(-\lambda_1 \cdot A \cdot t) \approx \lambda_1 \cdot A \cdot t$$

mit λ_1 = mittlere Auftretensrate
je m² Grundfläche und Jahr

Auftretenswahrscheinlichkeit
eines Schadenfeuers (Vollbrandes)
mit p_2 = Versagen der Löscharbeiten
 p_3 = Versagen einer Löschanlage

$$p_{fi} = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3$$

gilt nur bei Unabhängigkeit
von p_1 , p_2 , p_3

Versagenswahrscheinlichkeit eines
Bauteils durch Tragfähigkeitsverlust

$$p_f = \Phi(-\beta)$$

Bedingte Versagenswahrscheinlich-
keit des Bauteils im Brandfall

$$p_{f,fi} = \frac{p_f}{p_{fi}}$$

Zuverlässigkeitsindex im Brandfall

$$\beta_{fi} = -\Phi^{-1}(p_{f,fi})$$

Quelle: Bub et al., 1983



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser

iBMB
TU Braunschweig

10

Brandentstehungshäufigkeit

Nutzung	Mittlere Auftretensrate je m ² und Jahr	Auftrittswahrscheinlichkeit je Nutzung und Jahr		
		p ₁ = a · A ^b		p ₁
	λ ₁ [1/(m ² ·a)]	a [1/(m ² ·a)]	b	[1/a]
Wohngebäude	4,7E-6	4,8E-5	0,9	3.0E-3
Bürogebäude	2,1E-6	5,9E-5	0,9	6.2E-3
Krankenhaus, Pflegeheim	5,6E-6	7,0E-4	0,75	3,0E-1
Hotel, Beherbergungsstätte		8,0E-5	1,0	3,7E-2
Schulen Bildungseinrichtungen	1,9E-6	2,0E-4	0,75	4.0E-2
Verkaufsstätte, Geschäftshaus	4,7E-6	6,6E-5	1,0	8,4E-3
öffentl. Versammlungsstätte	3,8E-6	9,7E-5	0,75	2.0E-2
private Versammlungsstätte			1,0	-1.2E-1
Industriegebäude, Produktion	6,4E-6	1,7E-3	0,53	4.4E-2
Industriegebäude, Lagerung	1,4E-5	6,7E-4	0,5	1.3E-2

Quelle: BS PD 7974-7



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser



11

Erforderliche Zuverlässigkeit

Schadensfolgeklassen	Folgen bei Verlust der Tragfähigkeit von Bauteilen	Beispiele im Hochbau oder bei sonstigen Ingenieurbauwerken
CC3 Zuverlässigkeitsklassen RC3	Hohe Folgen für Menschenleben oder sehr große wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen $p_f = 1,0 \cdot 10^{-7} / a$ $\beta = 5,2$	Tribünen, öffentliche Gebäude mit hohen Versagensfolgen (z. B. eine Konzerthalle)
CC2 RC2	Mittlere Folgen für Menschenleben, beträchtliche wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen $p_f = 1,3 \cdot 10^{-6} / a$ $\beta = 4,7$	Wohn- und Bürogebäude, öffentliche Gebäude mit mittleren Versagensfolgen (z. B. ein Verwaltungsgebäude)
CC1 RC2	Geringe Folgen für Menschen und kleine oder vernachlässigbare wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen $p_f = 1,3 \cdot 10^{-6} / a$ $\beta = 4,2$	Landwirtschaftliche Gebäude ohne regelmäßigen Personenverkehr, (z. B. Scheunen, Gewächshäuser)

$p_f = \Phi(-\beta) =$ Versagenswahrscheinlichkeit Quelle: DIN EN 1990



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser



12

Erforderliche Zuverlässigkeit

Nutzung	Schadensfolgen					
	hoch		mittel		gering	
	β	p_f	β	p_f	β	p_f
Wohngebäude, Bürogebäude und vergleichbare Nutzungen (nach LBO)	4,7	1,3E-6	4,2	1,3E-5	3,7	1,1E-4
Krankenhaus, Pflegeheim, Beherbergungsstätte, Hotel, Schule, Verkaufsstätte, Versammlungsstätte, Hochhaus	5,2	1,0E-7	4,7	1,3E-6	4,2	1,3E-5
Industriegebäude	4,7	1,3E-6	4,2	1,3E-5	3,7	1,1E-4
Landwirtschaftlich genutzte Gebäude	--	--	4,2	1,3E-5	3,7	1,1E-4

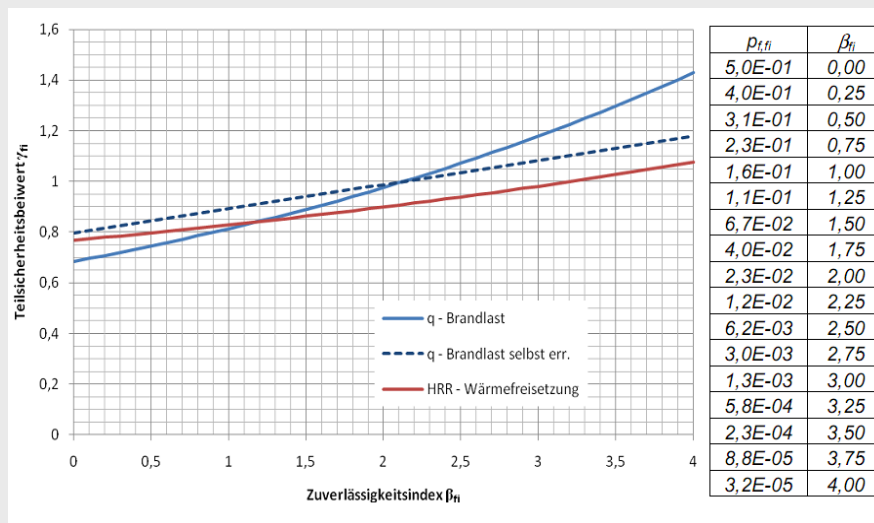
E DIN EN 1991-1-2/NA, Anhang BB



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser

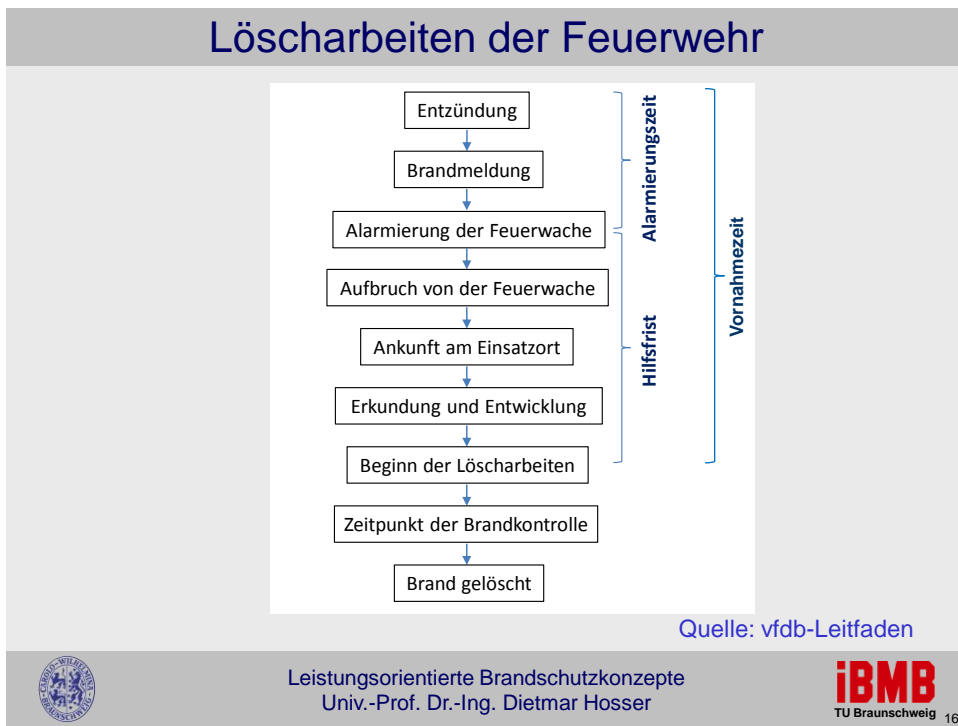
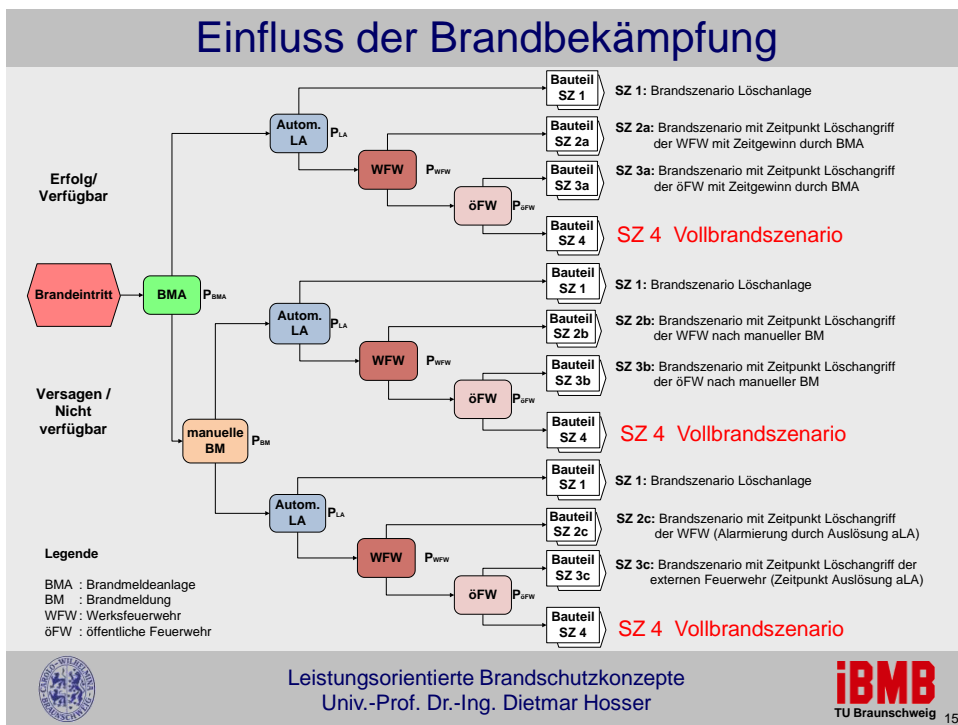


Teilsicherheitsbeiwerte γ_{fi}

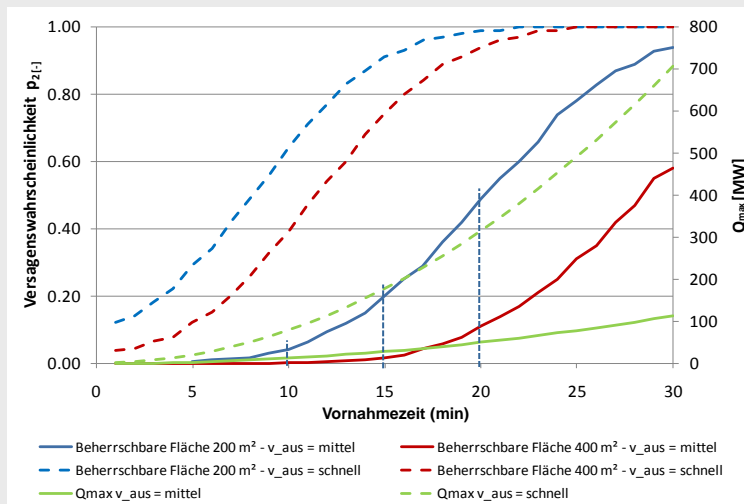


Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser





Versagen der Löscharbeiten



Versagenswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von Vornahmezeit, beherrschbarer Brandfläche und Brandausbreitungsgeschwindigkeit



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser



17

Versagen der Löschmaßnahmen

Brandbekämpfung durch	Ausfallwahrscheinlichkeit	
	p_2	p_3
Nutzer	0,5	
öffentliche Feuerwehr mit Vornahmezeit	< 15 min	0,2
	> 20 min	0,5
Werkfeuerwehr mit Vornahmezeit *)	< 10 min (vier Staffeln)	0,02
	< 10 min (zwei Staffeln)	0,05
Automatische Löschanlage	Sprinkleranlage nach VdS/CEA Standard	0,02
	in anderen Fällen	0,05
Sonstige Wasserlöschanlage		0,1
Gaslöschanlage		0,1

*) Automatische Brandmeldung und Alarmierung vorausgesetzt

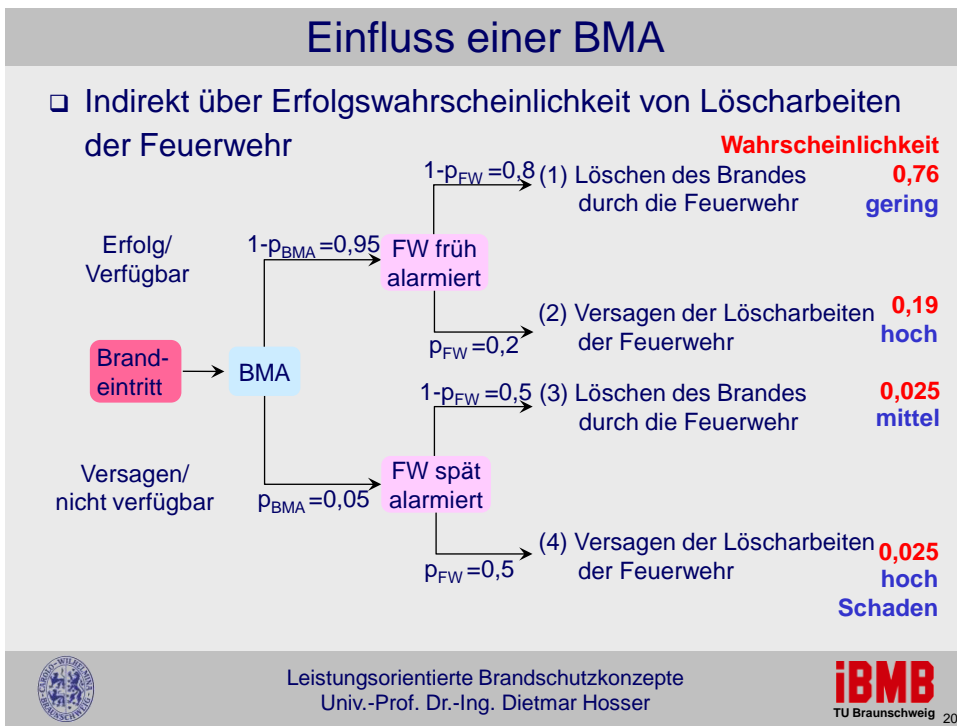
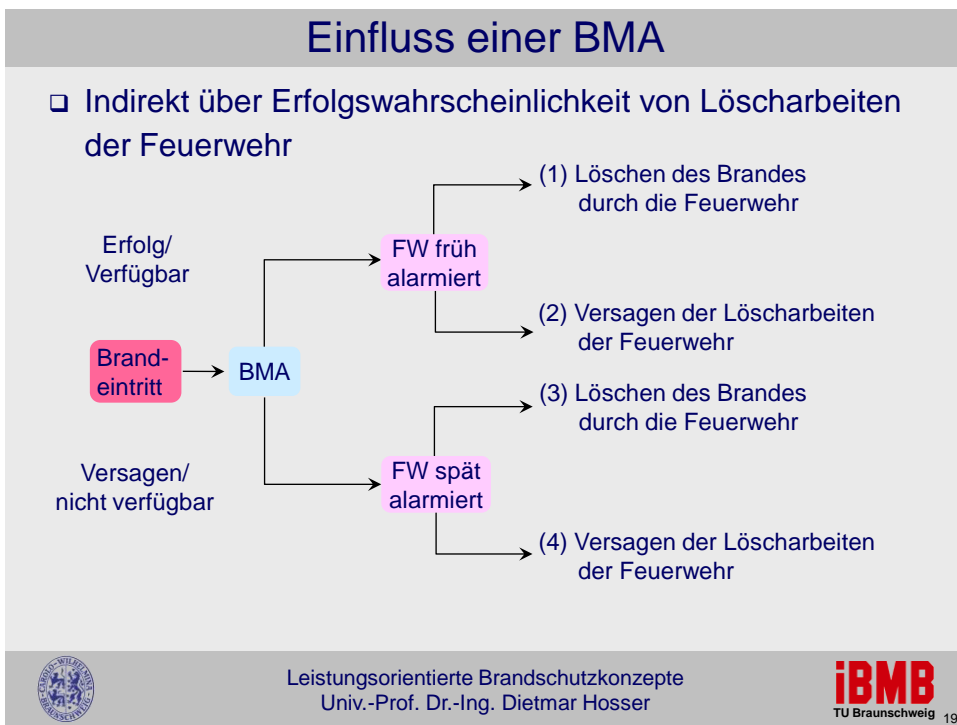
Quelle: E DIN 1991-1-2/NA, Anhang BB



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser



18



Berücksichtigung im Sicherheitskonzept

- Korrekte Erfassung der Wirkung
 - Bedingte Versagenswahrscheinlichkeiten der Brandbekämpfung (bei Ausfall oder Erfolg der BMA)
- Näherungsweise Erfassung
 - Reduktionsfaktor für die Versagenswahrscheinlichkeit der Brandbekämpfung ohne BMA
 - Auftretenswahrscheinlichkeit eines Schadenfeuers:

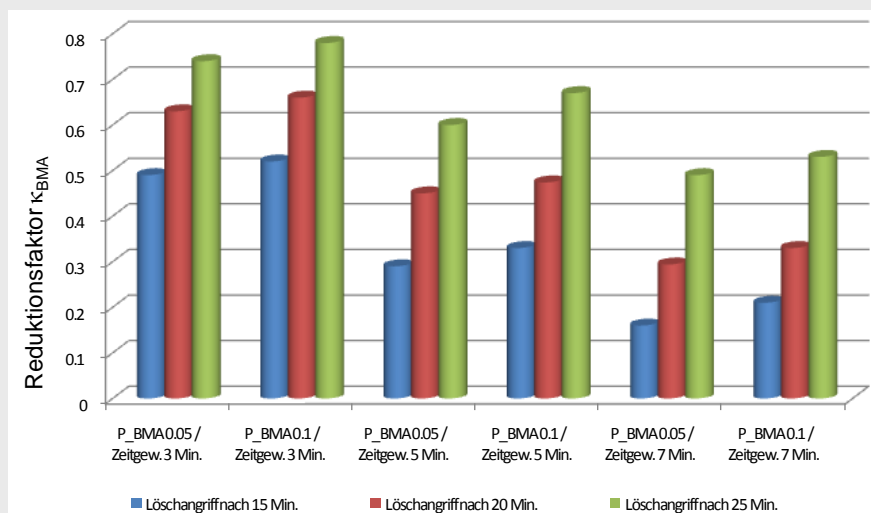
$$P_{fi} = P_1 \cdot (P_{2,FW} \cdot \kappa_{BMA}) \cdot P_3$$
 - Reduktionsfaktor κ in Abhängigkeit von
 - Ausfallwahrscheinlichkeit der BMA und
 - Zeitgewinn bei der Alarmierung der Feuerwehr
 - Ermittlung aus „genauer“ Systemzuverlässigkeitsanalyse



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser

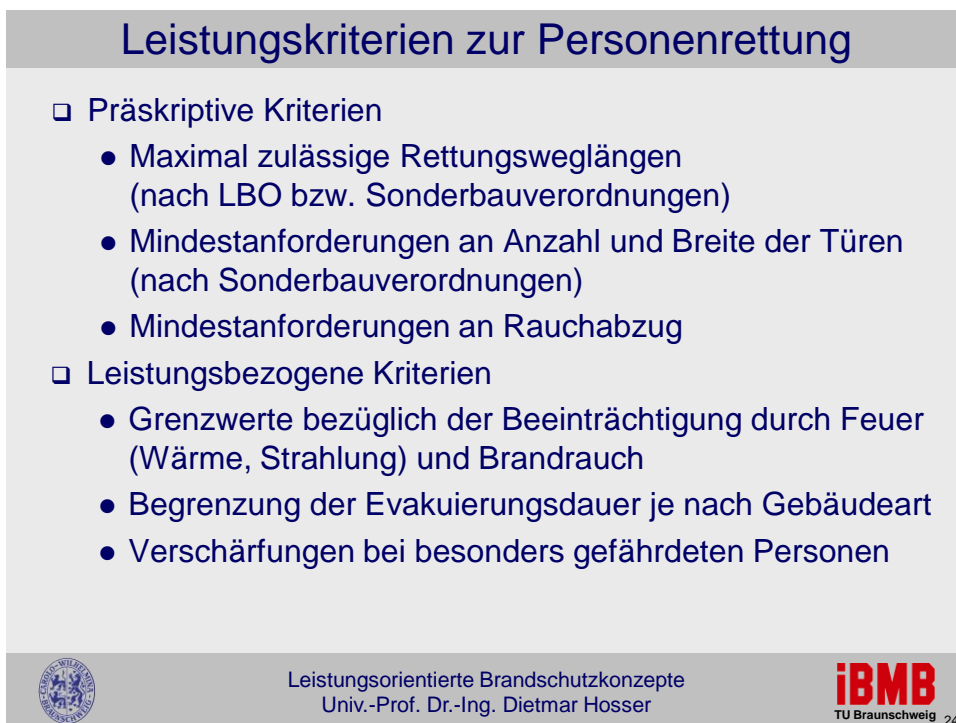
iBMB
TU Braunschweig 21

Berücksichtigung im Sicherheitskonzept



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser

iBMB
TU Braunschweig 22



Grenzbelastung von Personen

Beurteilungsgröße	längere Aufenthaltsdauer (< 30 min)	mittlere Aufenthaltsdauer (ca. 15 min)	kurze Aufenthaltsdauer (< 5 min)
CO-Konzentration	100 ppm	200 ppm	500 ppm
CO ₂ -Konzentration	1 Vol.-%	2 Vol.-%	3 Vol.-%
HCN-Konzentration ⁽¹⁾	30 ppm	40 ppm	55 ppm
Wärmestrahlung	1,7 kW/m ²	2,0 kW/m ²	< 2,5 kW/m ²
Gastemperatur	50 C	50 C	60 C
Rauchdichte D _L	0,1 m ⁻¹	0,1 m ⁻¹ / 0,15 m ⁻¹ ⁽²⁾	0,1 m ⁻¹ / 0,2 m ⁻¹ ⁽²⁾
Sichtweite ⁽³⁾	10 m – 20 m	10 m – 20 m	10 m – 20 m

Quelle: vfdb-Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser



Nachweis der Personenrettung

- $t_{\text{Räumung, d}}$ aus der Personenstromanalyse
- $t_{\text{verfügbar, d}}$ aus der Brandsimulation, z. B.
 - für das Kriterium raucharme Schichthöhe > 2,5 m
 - für das Kriterium Erkennungsweite in 2 m Höhe > 10 m
 - für das Kriterium FED in 2 m Höhe > 0,1
- gefahrlose Evakuierung (*Bemessungsgleichung*)

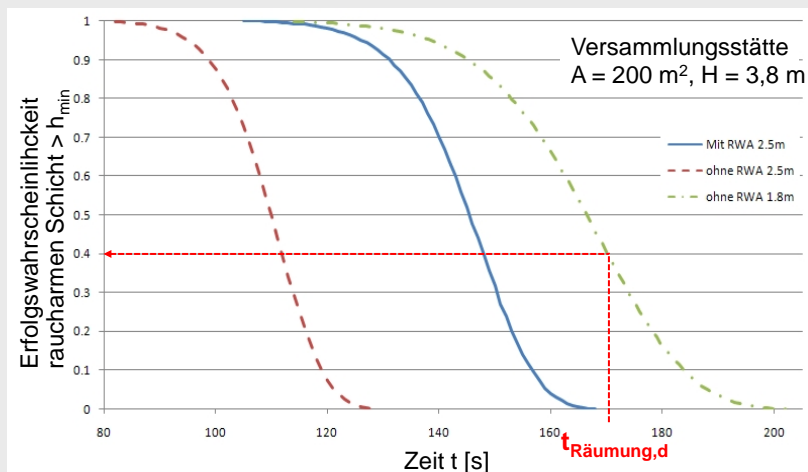
$t_{\text{verfügbar, d}} \geq t_{\text{Räumung, d}}$
- Sicherheitskonzept
 - Bemessungswerte für $t_{\text{verfügbar}}$ und $t_{\text{Räumung}}$ in Abhängigkeit von den Streuungen der Einflussgrößen
 - erf. Zuverlässigkeit abhängig vom Versagenskriterium



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser



Bemessungswert $t_{\text{verfügbar,d}}$



Versagenswahrscheinlichkeit: $p_f = p_1 \cdot p_{f,\beta} = 0,02 \cdot (1 - 0,4) = 0,012 \rightarrow \beta = 2,26$

vgl. erf. Zuverlässigkeit nach DIN EN 1990 für Gebrauchstauglichkeit: $\beta = 2,9$



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser

iBMB
TU Braunschweig 27

Leistungskriterien zu wirksamen Löscharbeiten

- Präskriptive Kriterien
 - Mindestanforderungen an Zufahrten, Flächen für die Feuerwehr, Zugänglichkeit
 - Maximal zulässige Rettungsweglängen
 - Mindestanforderungen an Anzahl und Breite der Türen
 - Mindestanforderungen an Rauchabzug
- Leistungsbezogene Kriterien
 - Grenzwerte bezüglich der Beeinträchtigung durch Feuer (Wärme, Strahlung) und Brandrauch (Erkennungsweite)
 - Maximal beherrschbare Brandfläche in Abhängigkeit von Stärke und Ausrüstung sowie Löschwasserversorgung
 - Grenzwerte für die Hilfsfrist ??

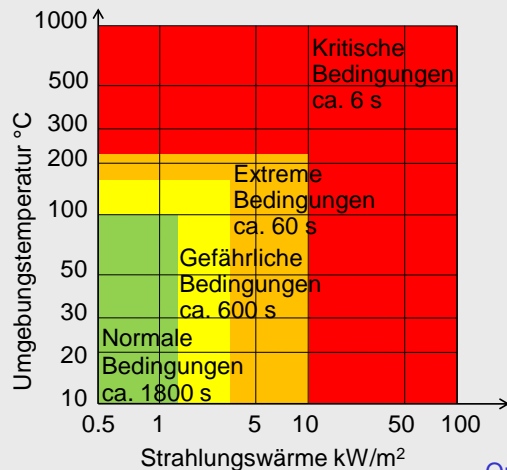


Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser

iBMB
TU Braunschweig 28

Grenzbelastung der Einsatzkräfte

Aufenthaltsdauer in Abhängigkeit von der Wärmestrahlung auf die Schutzausrüstung



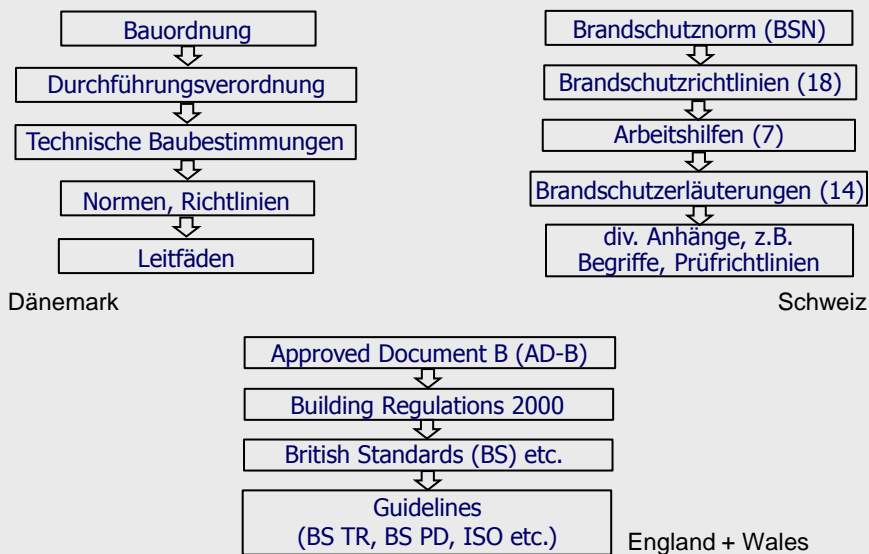
Quelle: Gressmann



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser



Vorschriftenstruktur im Ausland



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser



Brandschutzregelungen in anderen Ländern

- England und Wales (Approved Document B)



„Ingenieurmethoden des Brandschutzes können als alternative Herangehensweise verwendet werden.

In einigen Fällen kann es die einzige Nachweismethode sein, um die gesetzlichen Anforderungen zu erfüllen, wie beispielsweise bei großen und komplexen Gebäuden und Gebäuden mit verschiedenen Nutzungen, z. B. Flughäfen.

Ingenieurmethoden des Brandschutzes können auch geeignet sein, um Probleme hinsichtlich der Planung eines Gebäudes zu lösen, welches ansonsten den Anforderungen dieser gesetzlichen Richtlinie entspricht.“



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser

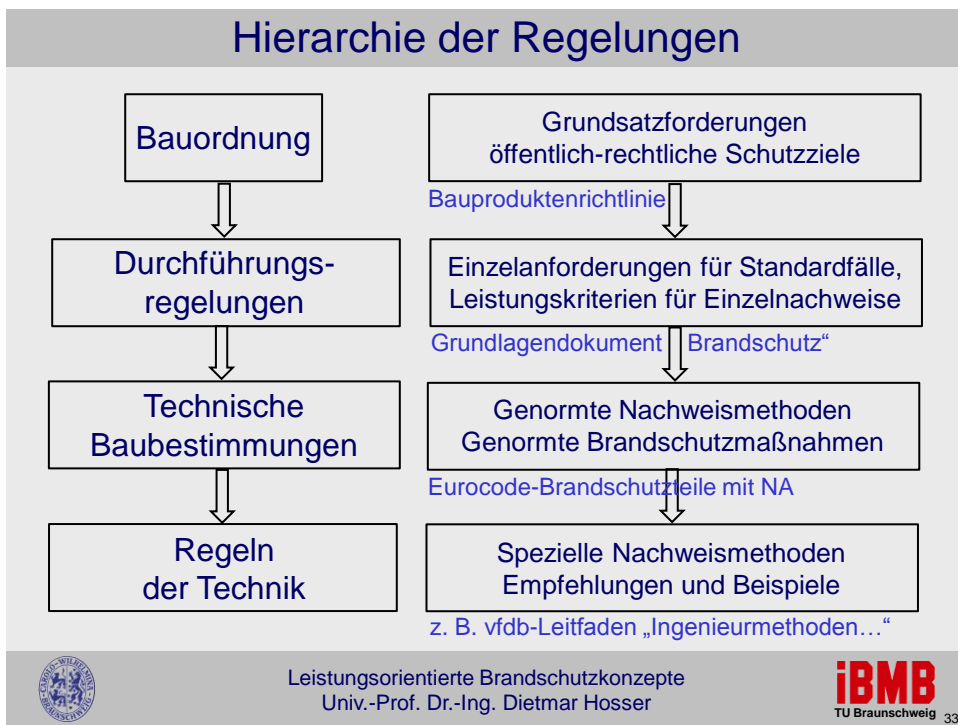


Vergleich mit ISO-Normungsstrategie



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser





Durchführungsregelungen

Durchführungsregelungen zur Bauordnung • Gebäudeklassen (wie MBO) und Sonderbauten (wie MBO) • Art von Brandschutznachweisen - Erfüllung von materiellen Anforderungen für Standardausführungen - Nachweis der Schutzzielerreichung mit Ingenieurmethoden	
Wohn- und Bürogebäude und Gebäude vergleichbarer Nutzung	
Standardisierte Anforderungen • Anforderungen an die tragenden Bauteile (Decken, Stützen, Wände) • Anforderungen an Brandabschnitte und abgetrennte Bereiche • Anforderungen an die Gestaltung und den Schutz der Rettungswege	Individuelle Anforderungen • funktionale Anforderungen zum Erreichen der Schutzziele • Anforderungen an Nachweise mit Ingenieurmethoden • quantitative Leistungskriterien und Beurteilungswerte
Hochhäuser	
Standardisierte Anforderungen • Anforderungen an die tragenden Bauteile (Decken, Stützen, Wände) • Anforderungen an Brandabschnitte und abgetrennte Bereiche • Anforderungen an die Gestaltung und den Schutz der Rettungswege	Individuelle Anforderungen • funktionale Anforderungen zum Erreichen der Schutzziele • Anforderungen an Nachweise mit Ingenieurmethoden • quantitative Leistungskriterien und Beurteilungswerte
Versammlungsstätten usw.	

Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser

34

Zusammenfassung

- ❑ Materielle Anforderungen nur für Standardgebäude, Abweichungen bei nahezu jedem Sonderbau
- ❑ Großer Ermessensspielraum bei Abweichungen und z.T. zweifelhafte Kompensationsmaßnahmen
- ❑ Alternative technische Lösungen grundsätzlich möglich und den Standardlösungen ggf. überlegen
- ❑ Bessere Verankerung leistungsorientierter Nachweise in den Brandschutzvorschriften notwendig, um die Möglichkeiten der Eurocodes flexibel nutzen zu können
- ❑ Schutzziele, Leistungskriterien und Sicherheitsniveau müssen geklärt und geregelt werden



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser

iBMB
TU Braunschweig 35

Ausblick

- ❑ Beschränkung der Bauordnung auf grundsätzliche Anforderungen (analog zu Regelungen im Ausland)
- ❑ Durchführungsregelungen für alle Gebäude- und Nutzungsarten mit alternativen Lösungen als Grundprinzip
 - Materielle Anforderungen für Standardgebäude sowie
 - Gleichwertige Alternativen (statt „Abweichungen“) mit konkreten Schutzzielen und Leistungskriterien
 - Schutzzielerrreichung bei Standardgebäuden nach heutigem Baurecht zum Teil noch nachzuweisen
- ❑ Beispiel: Muster-Industriebaurichtlinie 2000, Abschnitt 4
 - 3 alternative Nachweisverfahren
 - Vereinfachter Nachweis auf der sicheren Seite



Leistungsorientierte Brandschutzkonzepte
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dietmar Hosser

iBMB
TU Braunschweig 36